

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
BIODINÂMICA DO MOVIMENTO HUMANO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AS ADAPTAÇÕES DAS CURVATURAS DA COLUNA  
VERTEBRAL ÀS ATIVIDADES FÍSICAS PRATICADAS**

**DANIELA SALDANHA WITTIG**

**Campinas  
2004**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA - FEF  
UNICAMP

W785a Wittig, Daniela Saldanha  
As adaptações das curvaturas da coluna vertebral às atividades físicas praticadas / Daniela Saldanha Wittig.– Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: René Brenzikofer  
Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Biomecânica. 2. Coluna vertebral. 3. Curvatura. 4. Exercícios físicos. I. Brenzikofer, René. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
BIODINÂMICA DO MOVIMENTO HUMANO

**DANIELA SALDANHA WITTIG**

**AS ADAPTAÇÕES DAS CURVATURAS DA COLUNA  
VERTEBRAL ÀS ATIVIDADES FÍSICAS PRATICADAS**

Este exemplar corresponde à redação final do texto da dissertação de mestrado, defendida por Daniela Saldanha Wittig e aprovada pela Comissão Julgadora em 22/04/2004.

Orientador: Prof. Dr. René Brenzikofer

**Campinas  
2004**



*“Deus dá a todos uma estrela.  
Uns fazem dela um sol, outros nem  
sequer chegam a vê-la”.*

*Helena Kolody*



## Comissão Julgadora

---

Prof. Dr. René Brenzikofer (Orientador)

Departamento de Educação Motora - Universidade Estadual de Campinas

---

Prof. Dr. Sérgio Augusto Cunha

Departamento de Educação Física – UNESP (Rio Claro)

---

Prof. Dr. Marco Antônio Alves de Moraes

Departamento de Fisioterapia – UNIP (Campinas)

---

Prof. Dr. Luciano A. Mercadante (Suplente)

Departamento de Educação Física – Faculdades Integradas de Amparo



## **AGRADECIMENTOS**

---

Ao meu pai, que conseguiu me ensinar o significado de palavras como caráter, honra, amizade, respeito e amor.

À minha mãe, que mesmo nos momentos mais difíceis nunca recuou. Agradeço por sempre me incentivar nos meus objetivos.

Ao meu marido Ricardo, pelo incentivo e pela paciência. Sem você eu não estaria aqui. Muito obrigada pelo amor, carinho e dedicação.

Às famílias Saldanha, Costacurta e Wittig. Todos, sem exceção, de alguma forma contribuíram na minha trajetória.

Aos amigos e amigas do LIB. Obrigada pela amizade, pela ajuda e pelas risadas.

Meus irmãos de estudo: Cintia e Fer, que além de irmãs se tornaram amigas para qualquer hora; Mário, o caçulinha; e Pedro, que além de nosso irmão mais velho, ajudou em todos os momentos, nas dúvidas e nas inquietações. Obrigada a todos!

Aos professores Sergio, Marco Antonio, Barreto e Luciano. Obrigada pelas contribuições.

Prof. Ricardo, obrigada pela contribuição ao meu crescimento profissional.

Ao meu orientador Prof. René, que sempre esteve presente com paciência e sabedoria, e acreditou que eu era capaz. Obrigada.



# SUMÁRIO

---

LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xiii
LISTA DE QUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
RESUMO.....	xix
ABSTRACT .....	xxi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES.....	5
2.1. A Bicicleta Ergométrica .....	6
2.2. O <i>Step</i> .....	8
2.3. O Pular Corda.....	11
2.4. O <i>Jump Fit</i> .....	14
2.5. A Esteira Ergométrica .....	17
CAPÍTULO 3 – OBJETIVOS .....	19
3.1. Objetivo Geral.....	19
3.2. Objetivos Específicos .....	19
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA .....	20
4.1. Amostra .....	20
4.2. Descrição dos Marcadores.....	21
4.3. Marcação das Voluntárias .....	22
4.4. Registro em Vídeo .....	25
4.5. Aquisição das Informações pelo Sistema Dvideow.....	26
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
5.1. Análise dos Gráficos.....	34
5.2. Características Estudadas nos Resultados.....	38
5.3. Resultados Individuais das Atividades .....	46
5.4. Comparação dos Picos e das Variações de Curvatura entre as Atividades.....	66
CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
ANEXOS .....	75
ANEXO 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido da Pesquisa .....	76
ANEXO 2 – Ficha de Identificação e de Avaliação Física e Antropométrica.....	78



## **LISTA DE TABELAS**

---

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ANTROPOMÉTRICAS DAS VOLUNTÁRIAS ANALISADAS.....	21
TABELA 2 – VALORES EM [1/M] DAS VARIAÇÕES DE CURVATURA NOS PLANOS SAGITAL E FRONTAL DA VOLUNTÁRIA ‘P’.....	39
TABELA 3 – VALORES EM [1/M] DAS VARIAÇÕES DE CURVATURA NOS PLANOS SAGITAL E FRONTAL DA VOLUNTÁRIA ‘NP’.....	39
TABELA 4 – VALORES EM [1/M] DOS PICOS DE CURVATURA NO PLANO SAGITAL DAS VOLUNTÁRIAS ‘P’ E ‘NP’ PARA TODAS AS ATIVIDADES ESTUDADAS. ....	43
TABELA 5 – VALORES EM [1/M] DOS PICOS DE CURVATURA NO PLANO FRONTAL DAS VOLUNTÁRIAS ‘P’ E ‘NP’ PARA TODAS AS ATIVIDADES ESTUDADAS. ....	43

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

---

EQUAÇÃO 1: CÁLCULO DA CURVATURA GEOMÉTRICA (K) NO PLANO FRONTAL.....	31
--	----

## **LISTA DE QUADROS**

---

QUADRO 1 - RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DA PEDALADA.....	7
QUADRO 2 - RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DO EXERCÍCIO DO <i>STEP</i> . ....	10
QUADRO 3 – RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DO PULAR CORDA COM OS PÉS JUNTOS. ....	12
QUADRO 4 – RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DO PULAR CORDA COM OS PÉS ALTERNADOS.....	13
QUADRO 5 – RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DO <i>JUMP FIT</i> COM OS PÉS JUNTOS. ....	15
QUADRO 6 – RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DO <i>JUMP FIT</i> COM OS PÉS ALTERNADOS.....	16
QUADRO 7 – RELAÇÃO ENTRE MOMENTOS E EVENTOS DA MARCHA NA ESTEIRA. ....	17
QUADRO 8 – TEMPO EM SEGUNDOS E QUANTIDADE DE CICLOS ANALISADOS PARA CADA ATIVIDADE. ....	34
QUADRO 9 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE AS FASES DE CADA ATIVIDADE E A PORCENTAGEM QUE ELAS REPRESENTAM EM RELAÇÃO AO CICLO PADRÃO COMPLETO.....	37



## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA 1 - DEFINIÇÃO DOS EVENTOS DA BICICLETA ERGOMÉTRICA. ....	7
FIGURA 2 - 1º EVENTO DO <i>STEP</i> COM O PÉ DIREITO SENDO O INICIANTE. ....	10
FIGURA 3 - 1º EVENTO DO PULAR CORDA COM OS PÉS JUNTOS. ....	13
FIGURAS 4 E 5 - 3º EVENTO DO PULAR CORDA COM OS PÉS ALTERNADOS REALIZADOS PELAS VOLUNTÁRIAS 'P' E 'NP', RESPECTIVAMENTE. ....	14
FIGURA 6 – 1º EVENTO DO <i>JUMP FIT</i> COM PÉS ALTERNADOS. ....	16
FIGURA 7 - 1º EVENTO DA MARCHA NA ESTEIRA. ....	18
FIGURA 8 – ATIVIDADES COM MOVIMENTOS ASSIMÉTRICOS DOS MEMBROS INFERIORES: <i>STEP</i> (4º EVENTO), PULAR CORDA COM PÉS ALTERNADOS (8º EVENTO), E <i>JUMP FIT</i> COM OS PÉS ALTERNADOS (1º EVENTO). ....	18
FIGURA 9 – MARCADORES PLANOS (8). ....	22
FIGURA 10 - MARCADORES ESFÉRICOS (3) COMPARADOS AOS MARCADORES PLANOS. ....	22
FIGURAS 11 E 12 – MODELO DE MARCAÇÃO DO DORSO E DOS MEMBROS INFERIORES, RESPECTIVAMENTE. ....	25
FIGURA 13 – REPRESENTAÇÃO DO LABORATÓRIO E SEU SISTEMA DE COORDENADAS, ILUSTRANDO O POSICIONAMENTO DAS CÂMERAS FORMANDO O VOLUME DE CALIBRAÇÃO. ....	27
FIGURA 14 – EXEMPLO DO PROCESSO DE SUAVIZAÇÃO DE CURVAS POR <i>SPLINE</i> EM FUNÇÃO DO TEMPO, E DOS RESÍDUOS ELIMINADOS. ....	30
FIGURA 15 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS GEOMÉTRICAS BIDIMENSIONAIS NOS PLANOS DE PROJEÇÃO SAGITAL E FRONTAL, RESPECTIVAMENTE, AO LONGO DA COLUNA VERTEBRAL. ....	35
FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS NOS PONTOS ANATÔMICOS DE INTERESSE DURANTE O CICLO PADRÃO, NOS PLANOS DE PROJEÇÃO SAGITAL E FRONTAL, RESPECTIVAMENTE. ....	36
FIGURA 17 – REPRESENTAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE CURVATURA NO PLANO SAGITAL DURANTE AS ATIVIDADES DO <i>STEP</i> PARA AS VOLUNTÁRIAS 'P' (A) E 'NP' (B), E DURANTE AS ATIVIDADES DO <i>JUMP FIT</i> E DO PULAR CORDA TAMBÉM PARA 'P' (C) E 'NP' (D). ....	41
FIGURA 18 - REPRESENTAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE CURVATURA NO PLANO FRONTAL DURANTE AS ATIVIDADES DO <i>STEP</i> PARA AS VOLUNTÁRIAS 'P' (A) E 'NP' (B), E DURANTE AS ATIVIDADES DO <i>JUMP FIT</i> E DO PULAR CORDA TAMBÉM PARA 'P' (C) E 'NP' (D). ....	42
FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS DA COLUNA VERTEBRAL EM POSTURA ESTÁTICA, SENDO À ESQUERDA REFERENTE AO PLANO SAGITAL PARA AS VOLUNTÁRIAS 'P' (A) E 'NP' (C), E À DIREITA REFERENTE AO PLANO FRONTAL TAMBÉM PARA 'P' (B) E 'NP' (D). OS REGISTROS ESTÁTICOS FORAM REALIZADOS ANTES DAS ATIVIDADES DA BICICLETA ('B'), CORDA ('C'), <i>STEP</i> ('S'), <i>JUMP FIT</i> ('J') E ESTEIRA 'E'). ....	44
FIGURA 20 – VARIAÇÕES DE CURVATURA DA REGIÃO DE L4 NO DECORRER DO CICLO PADRÃO, DURANTE O EXERCÍCIO DE PULAR CORDA COM OS PÉS ALTERNADOS REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA 'NP', NOS PLANOS SAGITAL E FRONTAL, RESPECTIVAMENTE. ....	45



FIGURA 21 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL, DURANTE A ATIVIDADE DE PEDALAR NA BICICLETA ERGOMÉTRICA, REALIZADA POR ‘P’ COM CARGA DE 80W (A) E COM CARGA DE 100W (B); E REALIZADA POR ‘NP’ COM CARGA DE 80W (C) E COM CARGA DE 100W (D).....	47
FIGURA 22 – CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL DURANTE O CICLO PADRÃO NOS PONTOS ANATÔMICOS T1, T6, T12, L4 E EIPS, DE CIMA PARA BAIXO, RESPECTIVAMENTE. ATIVIDADE DE PEDALAR NA BICICLETA ERGOMÉTRICA REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM CARGA DE 80W (A) E COM CARGA DE 100W (B); ATIVIDADE REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM CARGA DE 80W (C) E COM CARGA DE 100W (D). .....	49
FIGURA 23 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL, NO EXERCÍCIO DO STEP, REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ ALTERNANDO O PÉ QUE INICIA O MOVIMENTO (A), INICIANDO COM O PÉ DIREITO (C), E INICIANDO COM O PÉ ESQUERDO (E); E REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ NAS MESMAS FORMAS DE EXECUÇÃO (B), (D) E (F), RESPECTIVAMENTE. ....	51
FIGURA 24 – CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL DURANTE O CICLO PADRÃO NOS PONTOS ANATÔMICOS T1, T6, T12, L4 E EIPS, DE CIMA PARA BAIXO, RESPECTIVAMENTE. EXERCÍCIO DO STEP, REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ ALTERNANDO O PÉ QUE INICIA O MOVIMENTO (A), INICIANDO COM O PÉ DIREITO (C), E INICIANDO COM O PÉ ESQUERDO (E); E REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ ALTERNANDO O PÉ QUE INICIA O MOVIMENTO (B), INICIANDO COM O PÉ DIREITO (D), E INICIANDO COM O PÉ ESQUERDO (F). ....	53
FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL, NO EXERCÍCIO DE PULAR CORDA REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM OS PÉS JUNTOS (A) E COM OS PÉS ALTERNADOS (B), E PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM OS PÉS JUNTOS (C) E COM OS PÉS ALTERNADOS (D).....	55
FIGURA 26 – CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL DURANTE O CICLO PADRÃO NOS PONTOS ANATÔMICOS T1, T6, T12, L4 E EIPS, DE CIMA PARA BAIXO, RESPECTIVAMENTE. ATIVIDADE DE PULAR CORDA REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM OS PÉS JUNTOS (A) E COM OS PÉS ALTERNADOS (B); ATIVIDADE REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM OS PÉS JUNTOS (C) E COM OS PÉS ALTERNADOS (D). ....	57
FIGURA 27 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL, NO EXERCÍCIO DO JUMP FIT REALIZADO PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM OS PÉS JUNTOS (A) E COM OS PÉS ALTERNADOS (B), E PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM OS PÉS JUNTOS (C) E COM OS PÉS ALTERNADOS (D).....	59
FIGURA 28 – CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL DURANTE O CICLO PADRÃO NOS PONTOS ANATÔMICOS T1, T6, T12, L4 E EIPS, DE CIMA PARA BAIXO, RESPECTIVAMENTE. ATIVIDADE DO JUMP FIT REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM OS PÉS JUNTOS (A) E COM OS PÉS ALTERNADOS (B); ATIVIDADE REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM OS PÉS JUNTOS (C) E COM OS PÉS ALTERNADOS (D). ....	61
FIGURA 29 – REPRESENTAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL, NA MARCHA NA ESTEIRA REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM VELOCIDADE BAIXA (A), E PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM VELOCIDADE BAIXA (B) E COM VELOCIDADE ALTA (C).....	63
FIGURA 30 – CURVATURAS SAGITAL E FRONTAL DURANTE O CICLO PADRÃO NOS PONTOS ANATÔMICOS T1, T6, T12, L4 E EIPS, DE CIMA PARA BAIXO, RESPECTIVAMENTE. ATIVIDADE DA MARCHA NA ESTEIRA REALIZADA PELA VOLUNTÁRIA ‘P’ COM VELOCIDADE MAIS BAIXA (A), E PELA VOLUNTÁRIA ‘NP’ COM VELOCIDADE MAIS BAIXA (B) E COM VELOCIDADE MAIS ALTA (C). ....	65



**Título da Dissertação:** As adaptações das curvaturas da coluna vertebral às atividades físicas praticadas  
**Autor:** Daniela Saldanha Wittig  
**Orientador:** Prof. Dr. René Brenzikofer  
**Instituição:** UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas  
FEF - Faculdade de Educação Física  
**Área de Concentração:** Biodinâmica do Movimento Humano  
**Número de Chamada:** Biblioteca FEF – UNICAMP - W785a  
**Ano:** 2004

---

## **RESUMO**

---

Este trabalho analisa as adaptações das curvaturas da coluna vertebral durante a prática de atividades físicas como a bicicleta ergométrica, o *step*, o pular corda, o *jump fit* e a marcha na esteira. Duas voluntárias realizam todas as atividades utilizando entre uma e três formas de execução diferentes. As atividades escolhidas são periódicas e apresentam ciclos característicos que se repetem ao longo do tempo. As colunas são analisadas ao longo de 8 a 16 ciclos de cada atividade e as informações obtidas são agrupadas para definir um ciclo padrão de alta qualidade, no qual são concentradas as informações relevantes. O objetivo deste trabalho centra-se na quantificação e análise das modificações das curvas da coluna vertebral. Estas adaptações aparecem localizadas ao longo da coluna e do ciclo. A metodologia utilizada para obter a forma geométrica das curvas da coluna vertebral é não invasiva, baseada na reconstrução tridimensional por videogrametria. Marcadores aderidos à pele do dorso das voluntárias, posicionados ao longo da linha definida pelos processos espinhosos das vértebras são localizados no espaço 3D e utilizados para definir uma curva representativa da coluna. Estas curvas e seus movimentos são quantificados usando o conceito de curvatura geométrica 2D nos planos sagital e frontal, para cada instante registrado. Com estes dados são construídos modelos matemáticos para cada atividade física, os quais são analisados isoladamente, comparados entre si e entre as duas voluntárias. São observadas características como as amplitudes das oscilações das curvaturas, os picos momentâneos e as mudanças bruscas. Os resultados apontaram que a atividade do *jump fit* provoca as menores adaptações das curvaturas da coluna vertebral quando comparadas às demais atividades, enquanto pular corda, seguido pelo *step*, provoca as maiores adaptações. A atividade de pedalar na bicicleta ergométrica é a que apresenta o ciclo mais contínuo, com as menores mudanças bruscas de curvatura.

**Palavras Chaves:** 1. Biomecânica. 2. Coluna Vertebral 3. Atividades Físicas



**Title:** The adaptations of the spine's curvatures to the practiced physical activities  
**Author:** Daniela Saldanha Wittig  
**Adviser:** Prof. Dr. René Brenzikofer  
**Institution:** UNICAMP – State University of Campinas  
FEF – Faculty of Physical Education  
**Year:** 2004

## ***ABSTRACT***

---

This work analyzes the adaptations of the curvatures of the spine during the practice of physical activities such as the ergometer bicycle, the stepping exercise, rope skipping, the jump fit and the walk in treadmill. Two volunteers accomplish all the activities using between one and three forms of different execution. The chosen activities are periodic and they present characteristic cycles that repeat along the time. The spines are analyzed along 8 to 16 cycles of each activity and the obtained information are contained to define a standard cycle of high quality, in which are concentrated the important information. The objective of this work is centered in the quantification and analysis of the modifications of the curves of the spine. These adaptations appear located along the column and along of the cycle. The methodology used to obtain the geometric form of the curves of the spine is non invasive, based on the three-dimensional reconstruction by videogrammetry. Markers stuck to the skin of the volunteers' back, positioned along the line defined by the vertebral processes of the vertebrae are located in the 3D space and used to define a representative curve of the spine. These curves and its movements are quantified using the concept of 2D geometric curvature in the plane sagittal and frontal, for each registered instant. With these results, mathematical models are built for each physical activity, which are analyzed separately, compared to each other and with the two volunteers. Characteristics are observed such as the widths of the oscillations of the curvatures, the momentary picks and the abrupt changes. The results aimed that the activity of the jump fit causes the smallest adaptations of the curvatures of the spine when compared to the other activities, while the rope skipping, followed by the stepping exercise, cause the largest adaptations. The activity in the ergometer bicycle is the one that presents the most continuous cycle, with the smallest abrupt changes of curvature.

**Key Words:** 1. Biomechanics. 2. Spine 3. Physical Activities

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

---

Do ponto de vista Biomecânico, a coluna vertebral é uma estrutura anatômica cuja configuração é fundamental na manutenção do equilíbrio e estabilidade do corpo humano.

O estudo das alterações dessa configuração durante o movimento traz informações importantes para o entendimento dos efeitos que a prática de determinadas atividades têm sobre a coluna vertebral.

Conhecer a movimentação da coluna vertebral normal em atividades físicas torna-se cada vez mais importante para a área da saúde. O conhecimento dos efeitos de uma determinada atividade sobre a coluna vertebral pode auxiliar na prevenção de lesões e, conseqüentemente, na recomendação de sua prática.

Por esta razão selecionamos como objeto de análise deste trabalho atividades físicas diferenciadas e praticadas freqüentemente nas academias de ginástica. Estas atividades são a bicicleta ergométrica, o *step*, o exercício de pular corda, o *jump fit* em mini trampolim e a marcha na esteira, buscando analisar e comparar o comportamento da coluna vertebral em movimento durante a execução dos exercícios. Cada atividade foi analisada na sua forma mais simples de execução, contendo de uma a três variações, dependendo da modalidade.

A utilização de metodologia não invasiva para a análise da coluna vertebral ainda é recente e restrita. Em 1983, THURSTON & HARRIS estudaram os movimentos da pélvis e da região torácica na marcha de pacientes normais, e THURSTON, em 1985, na marcha de pacientes com osteoartrite de quadril. CROSBIE et al (1997) investigaram as adaptações da coluna vertebral em voluntários durante a marcha, e para tal os autores definiram quatro segmentos considerados rígidos (torácico alto, torácico baixo, lombar

e pélvico) e estudaram seus movimentos relativos. Em 1999, WHITTLE & LEVINE estudaram a curva da lordose na região lombar durante a marcha normal, utilizando marcadores esféricos aderidos à pele ou montados em hastes leves.

BRENZIKOFER et al (2001) apresentaram uma metodologia que trata a coluna vertebral como uma curva contínua, desde a região sacra até a cervical, obtida em cada instante do movimento, a partir de marcadores aderidos à pele. Os autores estudaram as alterações da coluna vertebral durante a marcha sobre uma esteira ergométrica com velocidade constante.

A marcha na esteira é a atividade mais utilizada para a análise da coluna vertebral em movimento, através de técnicas de reconstrução 3D (BRENZIKOFER et al, 2000, WHITTLE & LEVINE, 1999 e CROSBIE et al, 1997). Em 2003, DEPRÁ & BRENZIKOFER analisaram a coluna vertebral durante a corrida, em diferentes velocidades, na esteira ergométrica.

Observa-se na literatura que os estudos desenvolvidos sobre as demais atividades propostas neste trabalho (bicicleta ergométrica, pular corda, *jump fit* e *step*) têm seu enfoque centrado na Fisiologia. Em relação à Biomecânica, os estudos são voltados principalmente aos efeitos destas atividades nos membros inferiores. Vejamos a seguir alguns trabalhos relacionados às atividades.

Para a bicicleta ergométrica, as análises biomecânicas se restringem à descrição da movimentação dos membros inferiores (HULL & JORGE, 1985) e do quadril (HULL et al, 1990). Outros trabalhos enfatizam a biomecânica na bicicleta, como podemos observar no estudo para o desenvolvimento de plataforma para medição simultânea das forças aplicadas sobre o pedal da bicicleta (MADERS & ZARO, 1999), e o estudo de MESTDAGH em 1998 aborda a busca da postura ideal no ciclismo, individualmente, através da adaptação dos componentes de cada bicicleta às medidas antropométricas dos ciclistas.

O estudo do *step* freqüentemente enfoca a mensuração do gasto energético e o comportamento da freqüência cardíaca durante sua prática (CULPEPPER & FRANCIS, 1987 e BROUHA, 1943). Na área da Biomecânica um trabalho recente estudou a FRS (força reação no solo) no movimento do *step* (WIECZOREK et al, 1997). Os autores afirmam que esta atividade traz vantagens ao condicionamento cardio-respiratório semelhantes à da corrida, porém com baixos níveis de sobrecarga sobre os membros inferiores.

Os exercícios com a corda há tempos têm sido estudados, em particular na área da Fisiologia, comprovando seus benefícios cardiovasculares (GARRETT et al, 1965). TOWN et al em 1980 estudaram o efeito da cadência no gasto energético. Concluíram que os gastos energéticos são quase os mesmos, pois apesar de nas cadências rápidas o indivíduo pular mais vezes, nas cadências lentas ele tem que pular mais alto para manter-se no ritmo. Na área da Biomecânica, não foram encontrados trabalhos específicos, relacionados à coluna vertebral.

A atividade de saltar no mini trampolim é um programa de condicionamento cardiovascular desenvolvido em academias, conhecido como *jump fit*. Recentemente foi estudado o impacto gerado ao pular no *jump fit* comparado ao impacto que ocorre em pular em piso duro (SCHIEHLL & LOSS, 2003). Os autores concluíram que o *jump fit* é uma atividade física de impacto moderado, enquanto o pular em piso duro é considerado de alto impacto. Outro estudo recente (ALDABE et al, 2003) analisou os aspectos biomecânicos e fisiológicos do *jump fit*, principalmente correlacionando o exercício com suas cadências de execução. Este trabalho concluiu que o aumento da cadência resulta em incremento da carga, mas não altera o consumo de oxigênio.

Percebemos, portanto, que para as atividades físicas estudadas foram encontrados diversos trabalhos, mas nenhum enfocando a movimentação da coluna vertebral durante

a realização das mesmas. Este trabalho visa a adaptação de uma metodologia existente para permitir a comparação da movimentação da coluna vertebral nas suas regiões, em várias atividades físicas.

## ***CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES***

---

Serão descritas a seguir as atividades estudadas, suas características, e a forma como foram realizadas neste trabalho.

A escolha se deu em função de serem atividades comuns em academias, e devido ao fato de cada uma apresentar particularidades na movimentação dos membros superiores e inferiores, as quais enriquecem os resultados que serão apresentados.

Todas as atividades escolhidas são periódicas, apresentando ciclos que se repetem com regularidade ao longo do tempo. Para cada atividade é definido o ciclo que a caracteriza. Para análise, cada ciclo completo de uma atividade é dividido em 8 eventos. As informações de todos os ciclos são agrupadas para obter um ciclo padrão de alta qualidade.

Visto que as atividades apresentam características distintas, para cada uma foi elaborado um quadro (ex. quadro 1) que apresenta os oito eventos considerados. Devido ao fato de que estes eventos são apenas movimentos observados visualmente que permitem a divisão do ciclo, estão também apresentados nos quadros os momentos do ciclo, ou seja, as principais características das voluntárias em cada evento que podem ser observadas durante a execução da atividade. Estes momentos do ciclo podem auxiliar na compreensão dos resultados.

Cabe ressaltar, que para todas as atividades executadas foi realizado aquecimento prévio. A forma do aquecimento consistiu na execução da própria atividade a ser analisada e teve uma duração de 4 minutos, tempo considerado suficiente para que as voluntárias se adaptassem à sua prática e para a estabilização das principais variáveis a serem analisadas.

Para todas as atividades foi realizado registro em vídeo para a reconstrução 3D por videogrametria, conforme detalhado no capítulo 4.

## **2.1. A Bicicleta Ergométrica**

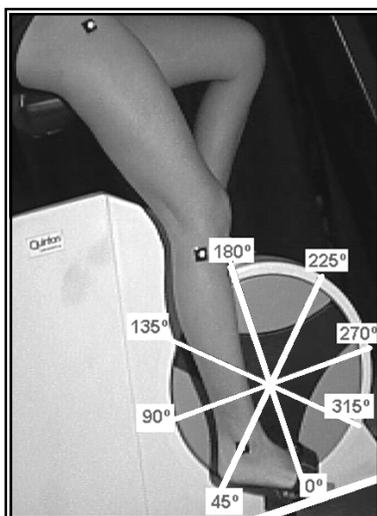
A bicicleta ergométrica é um dos aparelhos mais utilizados em academias para obtenção de condicionamento cardiovascular. É freqüentemente utilizada na fisioterapia para reabilitação cardíaca e de lesões ortopédicas.

A bicicleta ergométrica foi desenvolvida no século XIX, com a utilização de um pé de vela calibrado. Em 1936, uma bicicleta ergométrica simples foi construída por HOLZER & KALINKA. Os autores reportam as resistências de fricção em várias cargas e velocidades. No mesmo ano FLEISCH construiu uma bicicleta ergométrica que permitia um constante efeito de frenagem, graças a um sistema de freio mecânico. Um mecanismo ergométrico de frenagem para ser usado pedalando enquanto o indivíduo estivesse sentado foi desenvolvido pela Bosch da Alemanha. ATWATER & BENEDICT, em 1903, foram os primeiros a usar uma bicicleta elétrica com o sistema de frenagem determinado por um pequeno dinamômetro. Hoje muitos modelos são encontrados no mercado, tanto mecânicos como elétricos (MELLEROWICZ & SMODLAKA, 1981).

### **Realização das Atividades na Bicicleta Ergométrica e Escolha dos Eventos**

Neste trabalho a bicicleta ergométrica foi regulada inicialmente com uma carga de 80W, e no final do aquecimento de 4 minutos, foram registradas 8 pedaladas completas. Em seguida, a carga foi aumentada para 100W, foram realizados mais 2 minutos para acomodação com a carga, e mais 8 pedaladas completas foram registradas.

O ciclo de pedaladas foi definido de tal forma que seu início começa no ângulo de 0° entre o pé de vela e a vertical (Figura 1). Neste momento, o membro inferior direito está com sua maior extensão. Para o ciclo completo são definidos 8 eventos, que caracterizam a atividade; e os intervalos que transcorrem entre estes eventos, foram denominados “fases”.



**Figura 1 - Definição dos eventos da bicicleta ergométrica.**

Em seqüência os eventos ocorrem seguindo o sentido horário (Quadro 1).

Momentos (referentes à pedalada com o pé direito)	Evento	Ângulo entre o pé de vela e a vertical [graus]
Recuperação	1°	0
	2°	45
	3°	90
	4°	135
Impulsão	5°	180
	6°	225
	7°	270
	8°	315

**Quadro 1 - Relação entre momentos e eventos da pedalada.**

Segundo GREGOR et al (1991), o que consideramos aqui como sendo do 1° ao 4° evento, são os momentos de recuperação, e do 5° ao 8° evento, os momentos de impulsão da pedalada do membro inferior direito.

Ao observarmos visualmente a execução deste exercício, percebemos maior movimentação da coluna vertebral e do quadril a partir do 6º evento até o final do 8º evento, durante a extensão do membro inferior direito, e nos momentos correspondentes para o membro inferior esquerdo.

## **2.2. O Step**

O *step* ou *step training* é uma atividade física comumente praticada nas academias. O exercício é realizado em um banco de 48 [cm] de comprimento por 84 [cm] de largura, cuja altura pode variar entre 10 e 30 [cm]. A escolha da altura se dá em função de duas variáveis: a estatura do praticante e o seu nível de condicionamento físico, pois, quanto mais alto o banco maior será o gasto energético. Neste trabalho foi utilizado um banco com altura de 15 [cm], pois foi considerado o mais compatível com as características das voluntárias.

A prática desta atividade consiste em subir e descer de um banco próprio para a atividade, partindo da posição estática, de frente para o mesmo. Na coreografia básica o início do movimento pode ser com o membro inferior direito, com o esquerdo, ou alternando-os. O ciclo consiste em oito tempos, o que corresponde a subir e descer duas vezes do banco. Várias coreografias podem ser realizadas neste exercício, assim como podem ser utilizadas caneleiras de ginástica com pesos, as quais incrementam a carga do exercício, e pequenos halteres para coreografias que incluam os membros superiores.

O exercício de subir e descer de um banco começou a ser utilizado como teste de capacidade aeróbica com o Teste de Esforço de *Master*, em 1928. A seguir, em 1943, foi proposto por BROUHA um novo método de mensurar o condicionamento físico, partindo do mesmo princípio de subir e descer de um banco, utilizado ainda até hoje, conhecido

como Teste de *Harvard* (MALTA, 1994).

O *step* utilizado como atividade física para ser realizado em academia de ginástica foi apresentado ao público pela primeira vez na convenção da AAFA (*American Aerobic Fitness and Association*) em fevereiro de 1990. Entretanto, em 1986, a professora Gim Muller, da Geórgia (EUA), começou a usar o *step* como forma de recuperação de lesão no joelho. A professora Gim foi aconselhada por seu fisioterapeuta a fazer exercícios utilizando um banco, considerando que tal trabalho era seguro por promover menor impacto nas articulações do que a ginástica aeróbica. Desta forma, ela conseguiu recuperar-se da lesão no joelho, levando também o mérito da invenção e adaptação do *step* às aulas de ginástica (MALTA, 1994).

### **Realização do Exercício do Step e Escolha dos Eventos**

Neste trabalho as voluntárias realizaram a coreografia básica do *step* de três formas: subindo e descendo do banco, iniciando sempre com o pé direito, depois iniciando sempre com o pé esquerdo, e por último, alternando o pé que inicia a coreografia. Os ciclos se iniciam com a perda do contato do pé que inicia a coreografia, com o chão. Cada uma das três formas da coreografia básica do *step* considera um ciclo formado por 8 tempos, ou seja, cada ciclo constitui-se em subir e descer do banco duas vezes. Foram registrados quatro ciclos completos para cada forma de execução.

Para a definição dos 8 eventos, inicialmente são escolhidos 4 eventos de fácil identificação nos membros inferiores, e entre estes são considerados também os momentos intermediários, totalizando 8 eventos. Os termos pé e perna 'iniciante' ou 'não-iniciante' são usados para determinar o membro inferior que está iniciando o movimento. O ciclo completo do *step* foi dividido pelos seguintes eventos:

<b>Evento</b>	<b>Exercício do Step</b>	<b>Momentos</b>
1º	Último contato do pé dominante no chão	Flexão joelho dominante
2º	Movimento da perna dominante para subir no banco	Desnível de quadril no plano frontal (quadril dominante mais elevado)
3º	Contato do pé dominante no banco	Rotação do tronco no plano transversal/Aplicação de força (quadríceps dominante)
4º	Movimento da perna não-dominante para subir no banco	Inclinação anterior do tronco no plano sagital
5º	Contato do pé não-dominante no banco	Correção dos desvios do tronco no plano sagital
6º	Movimento da perna não-dominante para descer do banco	Desnível de quadril no plano frontal (quadril não-dominante mais elevado)
7º	Contato do pé dominante no chão	Pico de força vertical
8º	Contato do pé não-dominante no chão	Pico de força vertical

**Quadro 2 - Relação entre momentos e eventos do exercício do step.**

Segundo o trabalho realizado por WIECZOREK et al em 1997, os picos máximos de força vertical na realização do exercício básico do *step* ocorrem nos momentos de descida do banco.

A figura 2 ilustra o 1º evento do *step* começando com o pé direito, que corresponde à perda de contato do pé direito com o chão.



**Figura 2 - 1º evento do step com o pé direito sendo o iniciante.**

### **2.3. O Pular Corda**

Inicialmente o pular corda era apenas uma brincadeira infantil, relatada desde o século XVIII, sendo principalmente para meninos, porque a cultura da época não incentivava as meninas a serem ativas fisicamente. No século XIX ocorreram mudanças na sociedade que permitiram que a brincadeira fosse estendida às meninas. Com o passar dos anos foram inventados ritmos e brincadeiras variadas, tornando-se uma atividade cada vez mais popular. Principalmente no século XX, o pular corda passou a ser incorporado tanto em programas de treinamento físico como de reabilitação.

O exercício de pular corda é composto da combinação do movimento circular da corda com uma movimentação vertical do indivíduo saltador, uma vez que o deslocamento vertical do corpo deve ser realizado em conjunto com o movimento angular da corda. Nesta ação, o corpo assume condição equivalente a um projétil, sujeito a todas as leis que governam seu movimento, enquanto a corda se torna um volante dinâmico de diversos tipos, sujeito a todas as leis que governam o movimento rotativo (BARRETO, 2000).

A corda deve ser adaptada ao tamanho do indivíduo. Para isto, o mesmo deve ficar com os pés unidos em cima da corda, e as pontas da corda devem ficar em baixo das axilas. Quando a corda for maior, não se deve enrolar em torno das mãos, e sim fazer nós na própria corda.

O exercício de pular corda pode ser executado de diversas maneiras. Uma das formas de variação diz respeito à base de suporte, a qual pode ser pulando com os pés juntos (simultaneamente) ou alternados.

Atualmente o pular corda se tornou uma modalidade esportiva chamada em inglês

de *rope skipping*, a qual pode ser realizada por uma ou mais pessoas. Já possui praticantes em todo o mundo e competições são realizadas frequentemente.

### **Realização do Exercício de Pular Corda e Escolha dos Eventos**

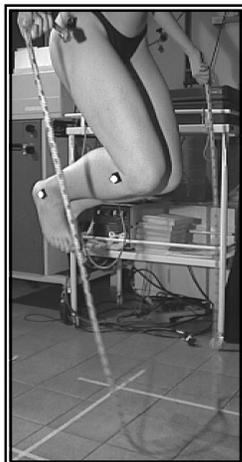
Para esta pesquisa a atividade de pular corda foi executada de duas formas distintas: pulando com os pés juntos simultaneamente, e pulando alternando os pés; sendo registrados 8 ciclos (16 pulos) completos para cada forma. Os ciclos se iniciam com o toque da corda no chão e se dividem nos seguintes eventos:

<b>Evento</b>	<b>Pular corda com os pés juntos</b>	<b>Momentos</b>
1º	Toque da corda no chão	Inicia discreta retroversão do quadril
2º	Flexão máxima dos joelhos no ar	Adução das escápulas com redução da cifose torácica
3º	Toque dos pés no chão	Recuperação da lordose lombar
4º	Flexão máxima dos joelhos no chão	Recuperação da cifose torácica
5º	Perda de contato dos pés com o chão	Inicia inclinação anterior do tronco no plano sagital
6º	Fase de voo 1 (pulo menor)	Aumento discreto da lordose lombar
7º	Segundo toque dos pés no chão	Maior contração do quadríceps e aumento da cifose torácica
8º	Fase de voo 2 (pulo maior)	Aumento da lordose lombar

**Quadro 3 – Relação entre momentos e eventos do pular corda com os pés juntos.**

Ao realizar a atividade com os pés juntos, o ciclo é composto por um pulo maior, onde a voluntária ultrapassa a corda, e um menor, para manter a cadência.

A figura 3 ilustra o exercício de pular corda com os pés juntos, durante o 1º evento.



**Figura 3 - 1º evento do pular corda com os pés juntos.**

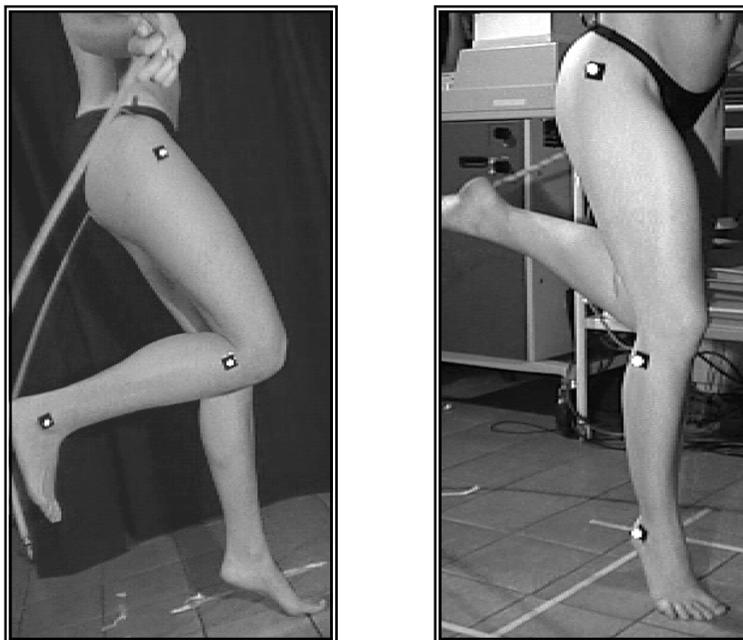
Ao realizar a atividade alternando os pés, foi livre para as voluntárias a escolha do membro inferior que faria o maior esforço. Este foi chamado de membro inferior ‘dominante’. Para a voluntária ‘P’, o membro inferior dominante foi o esquerdo, enquanto para a voluntária ‘NP’ foi o direito. Nesta forma de execução, um pulo maior é dado quando o membro inferior dominante ultrapassa a corda, e um menor realizado pelo outro membro inferior.

Isto significa que para cada ciclo completo, nas duas formas de execução, são realizados dois pulos, enquanto a corda completa uma única volta.

<b>Evento</b>	<b>Pular corda com os pés alternados</b>	<b>Momentos</b>
1º	Toque da corda no chão	Desnível de quadril no plano frontal
2º	Contato do pé dominante no chão	Aumento lordose lombar
3º	Flexão máxima do joelho dominante	Inclinação anterior do tronco no plano sagital
4º	Pés paralelos	Recuperação da cifose fisiológica e da lordose lombar
5º	Fase de vôo 1 (pulo menor)	Inicia ântero-versão do quadril
6º	Flexão máxima do joelho não-dominante	Inclinação anterior do tronco (plano sagital)/Inicia aplicação de força do quadríceps
7º	Perda de contato do pé não-dominante	Inicia desnível de quadril no plano frontal
8º	Fase de vôo 2 (pulo maior)	Rotação da lombar no plano transversos

**Quadro 4 – Relação entre momentos e eventos do pular corda com os pés alternados.**

As figuras 4 e 5 ilustram o exercício de pular corda alternando os pés, realizados pelas voluntárias 'P' e 'NP', respectivamente, durante o 3º evento. Nas figuras é possível observar a voluntária 'NP' faz uma flexão do joelho não-dominante maior do que a voluntária 'P', durante o mesmo evento.



**Figuras 4 e 5 - 3º evento do pular corda com os pés alternados realizados pelas voluntárias 'P' e 'NP', respectivamente.**

## **2.4. O *Jump Fit***

O *jump fit* é uma modalidade de exercício aeróbico, realizado em um mini trampolim elástico individual de 100 [cm] de diâmetro e 18 [cm] de altura.

É realizado em aulas coletivas com um programa intervalado e pré-coreografado. São utilizados movimentos de saltar e correr, entre outros, realizados sempre na vertical. As forças de aceleração e desaceleração ocorrem como em outras atividades, porém na

mesma direção vertical, paralela à força da gravidade.

Os movimentos realizados no mini trampolim produzem efeitos sobre o corpo do executante resultantes da força de reação aplicada no instante da aterrissagem dos pés sobre a lona elástica e da flutuação do corpo no ar.

As atividades em trampolim tiveram seus primeiros registros em 1911. Durante muitos anos era considerada apenas uma modalidade competitiva, mas após alguns anos passou a ser utilizada como recreação infantil. O mini trampolim foi criado em 1938 com o objetivo de popularizar a atividade. Com o passar do tempo, o mesmo foi adaptado e passou a ser utilizado com fins terapêuticos. Em 1975 iniciou-se a comercialização dos primeiros trampolins circulares, utilizados para treinamento físico (CONTI, 2002).

### **Realização do *Jump Fit* e Escolha dos Eventos**

Para este estudo, da mesma forma que o exercício com a corda, foram registrados 8 ciclos, formados por 16 pulos para o *jump fit* com os pés juntos, e 16 pulos com os pés se alternando para frente e para trás (figura 6). Os ciclos se iniciam nos momentos de menor distância entre o tornozelo direito e o chão. Na atividade realizada com os pés juntos, os eventos se repetem, pois cada ciclo é composto por dois pulos iguais. Portanto, os ciclos são divididos da seguinte forma:

<b>Evento</b>	<b><i>Jump fit</i> com os pés juntos</b>	<b>Momentos</b>
1° e 5°	Máxima deformação da cama elástica, menor distância na coordenada z	Abdução das escápulas/ Maior aplicação de força (membros inferiores)
2° e 6°	Último contato dos pés na cama elástica	Ântero-versão do quadril
3° e 7°	Distância máxima dos pés com a cama elástica	Retroversão do quadril
4° e 8°	Contato inicial do pé direito na cama elástica	Retroversão do quadril (contração abdominal)

**Quadro 5 – Relação entre momentos e eventos do *jump fit* com os pés juntos.**

Na figura abaixo (Figura 6) observamos o voluntário realizando o exercício do *jump fit*, no momento correspondente ao 1º evento.



Figura 6 – 1º evento do *jump fit* com pés alternados.

Evento	<i>Jump fit</i> com os pés alternados	Momentos
1º	Máxima deformação da cama com o pé direito para trás	Rotação do quadril (plano transversal)/ Contração abdominal e aplicação de força dos membros inferiores
2º	Fase intermediária I (subindo com o pé direito para trás)	Aumento da lordose lombar
3º	Distância máxima do pé direito com a cama	Maior retificação da coluna no plano sagital
4º	Fase intermediária II (descendo e passando o pé direito para frente)	Aumento da lordose lombar
5º	Máxima deformação da cama com o pé direito para frente	Rotação do quadril (plano transversal)/ Contração abdominal e aplicação de força dos membros inferiores
6º	Fase intermediária III (subindo com o pé direito para frente)	Aumento da lordose lombar
7º	Distância máxima do pé esquerdo com a cama	Maior retificação da coluna no plano sagital
8º	Fase intermediária IV (descendo e passando o pé direito para trás)	Aumento da lordose lombar

Quadro 6 – Relação entre momentos e eventos do *jump fit* com os pés alternados.

Na execução deste exercício observamos visualmente que para realizar a subida, existe um trabalho muscular maior dos membros inferiores, seguido por um esforço para

manter-se ereto durante a subida, em seguida há um relaxamento dos membros inferiores, até um novo contato com a cama elástica. O contato da voluntária com a cama elástica representa aproximadamente 60% do ciclo.

## 2.5. A Esteira Ergométrica

Assim como a bicicleta ergométrica, a marcha na esteira ergométrica tem papel fundamental nas academias.

### Realização da Marcha na Esteira Ergométrica e Escolha dos Eventos

Para o estudo, cada voluntário inicialmente caminhou sobre a esteira ergométrica horizontal regulada à baixa velocidade, da ordem de 1.20 [m/s], totalizando 16 ciclos de uma passada cada. Para a voluntária 'NP' foi incluída uma segunda velocidade na esteira, de 1.66 [m/s], a qual permite a marcha na mesma cadência das demais atividades (132 bpm), e foram registrados 16 ciclos de passadas. Nesta atividade, os eventos observados são os de contato e de perda de contato dos calcanhares com o chão, e os demais eventos (duplo apoio e balanço) são determinados a partir da mediana entre eles, e estão demonstrados a seguir:

<b>Evento</b>	<b>Marcha na esteira</b>	<b>Momentos</b>
1º	Contato do calcanhar direito no chão	Dissociação de cinturas/ Aplicação de força dos membros inferiores
2º	1º Duplo apoio	Ântero-versão do quadril/ Aumento lordose lombar
3º	Perda de contato do pé esquerdo do chão	Ântero-versão do quadril/ Aumento lordose lombar
4º	Fase de balanço do membro inferior esquerdo	Desnível do quadril no plano frontal/ Rotação à direita do tronco (plano transversal)
5º	Toque do calcanhar esquerdo no chão	Dissociação de cinturas (plano transversal)/ Aplicação de força dos membros inferiores
6º	2º Duplo apoio	Ântero-versão do quadril/ Aumento lordose lombar
7º	Perda de contato do pé direito do chão	Ântero-versão do quadril/ Aumento lordose lombar
8º	Fase de balanço do membro inferior direito	Desnível do quadril no plano frontal / Rotação à esquerda do tronco (plano transversal)

**Quadro 7 – Relação entre momentos e eventos da marcha na esteira.**

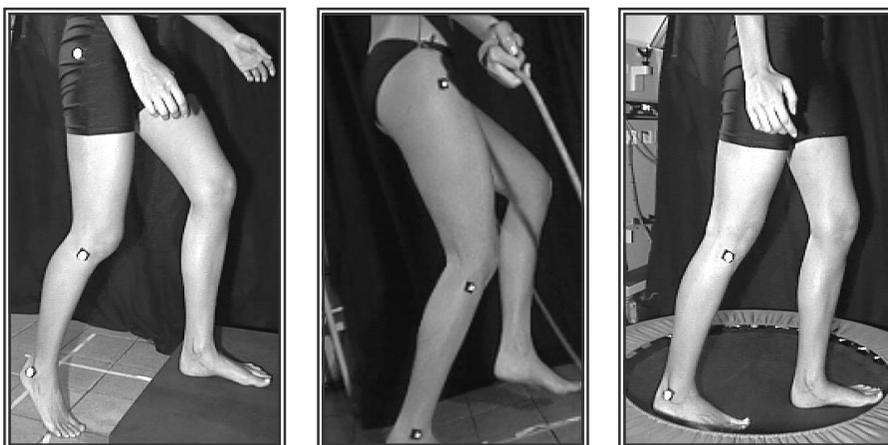
A figura 7 ilustra a marcha na esteira no 1º evento.



**Figura 7 - 1º evento da marcha na esteira.**

Desta forma, para todas as atividades estudadas foram definidos os 8 eventos, os quais são utilizados para definir na análise dos gráficos os momentos das atividades que mais interferem no comportamento da coluna vertebral.

Devemos aqui destacar as atividades que, devido ao posicionamento assimétrico dos membros inferiores, apresentam características especiais que estão detalhadas no capítulo 5, nos resultados.



**Figura 8 – Atividades com movimentos assimétricos dos membros inferiores: *step* (4º evento), pular corda com pés alternados (8º evento), e *jump fit* com os pés alternados (1º evento).**

## **CAPÍTULO 3 – OBJETIVOS**

---

### **3.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho centra-se na quantificação e análise das adaptações da forma geométrica da coluna vertebral e de suas curvaturas durante a prática de diferentes atividades físicas, procurando verificar a existência de particularidades que nos auxiliam na diferenciação de cada uma destas atividades.

### **3.2. Objetivos Específicos**

Adaptar a metodologia de BRENNIKOFFER et al (2000) para a análise das curvaturas da coluna vertebral durante a prática de atividades físicas.

Definir para cada atividade o ciclo e os eventos que o compõem.

Descrever a geometria da coluna vertebral e suas adaptações na atividade de pedalar na bicicleta ergométrica, no exercício do *step*, no pular corda, no *jump fit* e na marcha na esteira ergométrica.

Detectar quais regiões da coluna vertebral têm as maiores variações de curvatura durante a prática das atividades físicas.

Avaliar o comportamento dos picos e das mudanças bruscas de curvaturas ao longo das atividades realizadas.

Identificar quais atividades e que momentos de seus ciclos provocam as maiores variações, picos e mudanças bruscas de curvatura da coluna vertebral, nos planos de projeção sagital e frontal.

Comparar as informações sobre as adaptações da coluna vertebral obtidas entre as voluntárias e entre as atividades realizadas.

## ***CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA***

---

A coluna vertebral pode ser tratada como uma curva contínua, desde a região sacra até a cervical, em cada instante do movimento, e as propriedades destas curvas nos trazem informações quantitativas de seus movimentos (BRENZIKOFER et al, 2000).

Para reproduzir a movimentação da coluna vertebral ao longo das atividades realizadas, utilizamos técnicas convencionais de videogrametria adaptando a metodologia apresentada no trabalho citado acima.

Neste capítulo veremos as características das voluntárias e como as mesmas foram marcadas, o ambiente, como foi realizada a coleta, e quais os procedimentos para o tratamento dos dados obtidos.

### **4.1. Amostra**

A amostra é constituída de duas voluntárias do sexo feminino, denominadas aqui de 'P' e 'NP', não sedentárias, que não apresentavam histórico de doenças do aparelho músculo-esquelético, trajadas com biquíni e touca para natação de cor preta.

Antes de participar dos testes, as voluntárias foram devidamente orientadas de acordo com o "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido" (Anexo 1). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (Unicamp/Parecer 191/2003).

Foi preenchida uma ficha de identificação das voluntárias, na qual também

constavam dados antropométricos (Anexo 2).

Características físicas e antropométricas relevantes das voluntárias estão descritas na tabela 1.

<b>Identificação</b>	<b>Experiência nas atividades</b>	<b>Idade [anos]</b>	<b>Massa [kg]</b>	<b>Altura [m]</b>
P	Praticante	24	50,0	1,65
NP	Não-Praticante	26	44,5	1,53

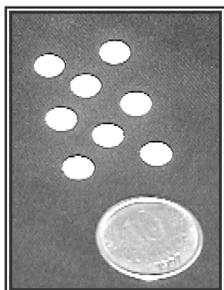
**Tabela 1 – Características físicas e antropométricas das voluntárias analisadas.**

Além dos registros dinâmicos, as voluntárias foram registradas em postura estática, braços soltos junto ao corpo, para permitir a comparação com suas curvaturas em movimento durante a prática das atividades. A voluntária 'P' teve estes registros realizados antes da prática das atividades, sendo um registro antes da atividade na bicicleta ergométrica e de pular corda, e outro antes da marcha na esteira ergométrica, do *step* e do *jump fit*. Para a voluntária 'NP' foram realizados registros da postura estática antes de cada uma das atividades, totalizando cinco registros.

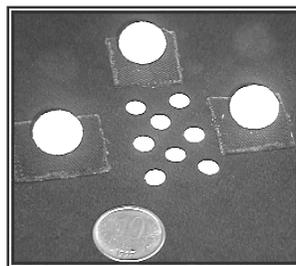
## **4.2. Descrição dos Marcadores**

Para este estudo utilizamos dois tipos de marcadores, os que representam a coluna vertebral e o dorso, e os que identificam o membro inferior. Os que representam a coluna vertebral são planos e de forma circular com 5 [mm] de diâmetro, enquanto que os utilizados para os membros inferiores são esféricos e de diâmetro maior (15 [mm]). Ambos têm propriedade reflexiva para permitir sua fácil identificação nas imagens e são montados sobre suportes adesivos analérgicos. A Figura 9 mostra os marcadores planos utilizados para a representação da coluna, comparados a uma moeda de dez centavos de

Real atual. A Figura 10 mostra os mesmos marcadores comparados aos esféricos posicionado nos membros inferiores. Percebe-se em ambas as figuras o brilho produzido pelos marcadores, o qual auxiliará a sua identificação nas imagens.



**Figura 9 – Marcadores planos (8).**



**Figura 10 - Marcadores esféricos (3) comparados aos marcadores planos.**

### **4.3. Marcação das Voluntárias**

O processo de colocação dos marcadores nos voluntários foi realizado através de identificação e localização por palpação.

O número de marcadores utilizado na coluna vertebral depende do comprimento do tronco do voluntário, sendo em média fixados de 30 a 38 adesivos no mesmo alinhamento dos processos espinhosos da coluna entre a região sacra e occipital. A experiência mostra que a distância entre os marcadores de 2,0 a 2,3 [cm] é eficiente (BRENZIKOFER et al, 2001).

Para identificar e localizar regiões anatômicas de interesse, cinco pares de marcadores são colocados bilateralmente à coluna. Estas regiões são as espinhas ilíacas postero-superiores e os processos espinhosos das vértebras L4, T12, T6, T1. Estes

marcadores bilaterais servirão também para detectar e quantificar oscilações do dorso.

O estudo da forma geométrica da coluna será realizado a partir de curvas contínuas representando as projeções nos planos frontal e sagital da linha desenhada pelos marcadores representando os processos espinhosos da coluna na pele do dorso.

Para auxiliar nos ajustes das funções nas extremidades dos intervalos, é conveniente colocar marcadores além da região da coluna que será analisada, como nas regiões coccígea e occipital, os quais serão desconsiderados posteriormente.

Inicialmente é pedido ao voluntário que realize a flexão cervical, que evidencia o processo espinhoso da sétima vértebra cervical. Por palpação, encontra-se logo abaixo o processo espinhoso da primeira vértebra torácica (T1). Para verificação, pede-se ao voluntário que realize a rotação cervical para um dos lados de forma lenta, enquanto o pesquisador mantém o contato com o processo espinhoso de T1. Como a rotação cervical acontece apenas até a sétima vértebra cervical, não deve ser percebido movimento na região de contato. Após esta confirmação, é fixado um marcador sobre este local. Para resguardar sua localização no dorso ao longo do experimento, são fixados bilateralmente dois marcadores a uma distância que, dependendo do biótipo do voluntário, pode variar de 4 a 7 [cm], desde que sejam visíveis posteriormente.

Em seguida, realiza-se a palpação dos próximos processos espinhosos, até que seja encontrado o da sexta vértebra torácica (T6). Para verificação, deve-se confirmar que o processo espinhoso da oitava vértebra torácica deve estar na mesma altura do ângulo inferior da escápula. Uma vez confirmado, é aderido o marcador e são fixados mais dois marcadores bilaterais.

Continua-se a palpação do dorso, até que seja encontrado o processo espinhoso da

décima segunda vértebra torácica (T12), o qual deve se encontrar na altura do último arco costal. Este ponto é marcado, e em seguida os pontos bilaterais.

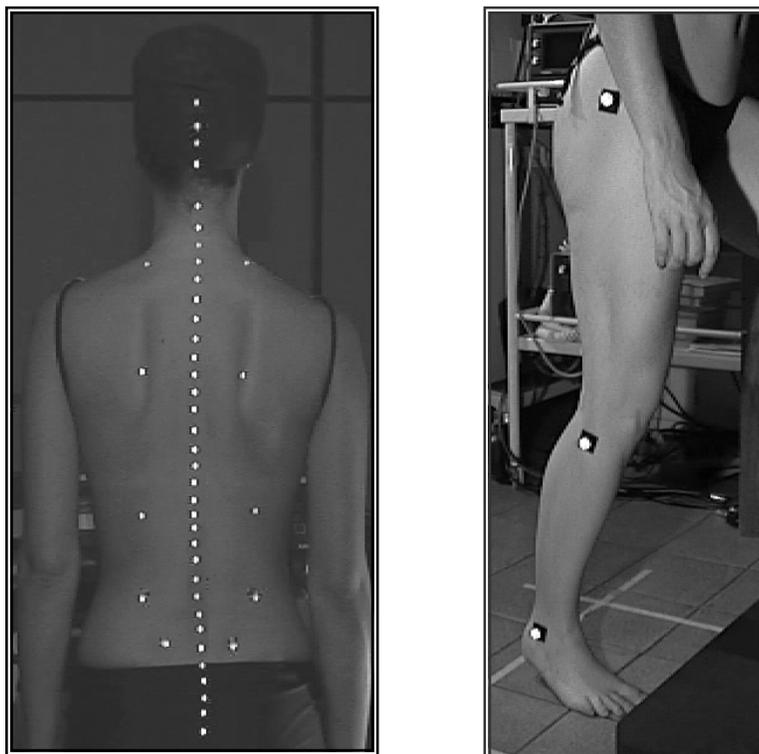
O último processo espinhoso a ser identificado é o da quarta vértebra lombar (L4). Para encontrá-lo, colocam-se os dedos sobre os pontos mais altos das cristas ilíacas e os polegares na linha média, encontrando-se a junção de L4-L5 (HOPPENFELD, 1993). Novamente é marcado o local do processo espinhoso de L4 e os pontos bilaterais.

Os próximos pontos anatômicos a serem identificados são as espinhas ilíacas postero-superiores. Estas são encontradas imediatamente abaixo das depressões circulares, encontradas logo acima das nádegas, e por serem subcutâneas, são facilmente palpáveis (HOPPENFELD, 1993). Neste procedimento as espinhas ilíacas postero-superiores e o ponto médio entre elas, são identificados com marcadores, na direção da linha definida pelos processos espinhosos.

Uma vez definida a posição destes 15 marcadores de referência, define-se uma linha com marcadores a cada 2.0 a 2.5 [cm], seguindo os processos espinhosos (Figura 11).

Para os membros inferiores foram utilizados 3 marcadores esféricos, fixados no membro inferior direito, nas seguintes estruturas ósseas: trocânter maior, epicôndilo lateral e maléolo lateral (Figura 12). As mesmas são identificadas através de palpação. O trocânter maior do fêmur pode ser encontrado mantendo o polegar sobre a espinha ilíaca postero-superior, e movendo os dedos para baixo, palpando assim a sua face posterior. A palpação do epicôndilo lateral do joelho é facilitada fletindo o joelho, quando uma superfície maior do epicôndilo lateral se torna palpável, distalmente à junção do fêmur com a tíbia. O maléolo lateral se localiza na extremidade distal da fíbula, na região do

tornozelo, e é uma estrutura óssea bastante evidente e facilmente palpável.



**Figuras 11 e 12 – Modelo de marcação do dorso e dos membros inferiores, respectivamente.**

#### **4.4. Registro em Vídeo**

São utilizadas três câmeras para a coleta de dados, sendo duas posteriores e uma lateral. As câmeras posteriores são fixadas em uma haste metálica que se encaixa entre o chão e o teto, e ao lado, é utilizada outra haste onde se fixam os iluminadores. As câmeras se encontram no mesmo plano sagital, separadas por uma distância vertical de 80 [cm]. A câmera e o iluminador lateral são colocados em tripés a uma altura de 70 [cm] do chão, e tem como objetivo registrar os movimentos dos membros inferiores, sem o intuito de reconstruir os pontos marcados nos mesmos.

Os iluminadores são orientados na mesma direção óptica da câmera para acentuar a retro-reflexividade dos marcadores, tornando-os mais contrastantes na imagem. Os registros são armazenados em fitas de vídeo para serem posteriormente digitalizadas.

Para este trabalho utilizamos câmeras de vídeo digital JVC modelo GR-DVL9500, com frequência de captura de 60 quadros por segundo. As imagens são registradas em fitas de vídeo tipo mini DV *Linear Plus Panasonic*. Para a reflexão dos marcadores foram utilizadas lâmpadas iluminadoras Focal VL-300, de potência de 300W.

As imagens das três câmeras são sincronizadas através de um sinal de áudio para que possamos definir as seqüências correspondentes com os mesmos instantes das atividades.

Um *mini system* portátil é utilizado para a reprodução das músicas com 132 bpm gravadas em *compact disc*.

## **4.5. Aquisição das Informações pelo Sistema Dvideow**

A localização 3D dos marcadores é obtida a partir de registros em vídeo e da calibração, utilizando o software “DVIDEOW – Digital Vídeo for Biomechanics for Windows 32 bits” desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LIB) – Faculdade de Educação Física – UNICAMP (BARROS et al, 1999; FIGUEROA et al, 2003).

### **4.5.1. Calibração**

Para localizar os marcadores no espaço usamos um sistema de referência ortogonal fixo no laboratório. O método de calibração utilizado é o DLT ou Transformação Linear

Direta (ABDEL-AZIZ,1971).

Na calibração define-se o sistema de referências, sendo 'X' (horizontal) com sentido positivo de trás para frente das voluntárias, 'Y' (horizontal) da direita para a esquerda das voluntárias, e 'Z' (vertical) de baixo para cima.

A figura 13 ilustra o ambiente com o volume calibrado, com o voluntário em postura estática.

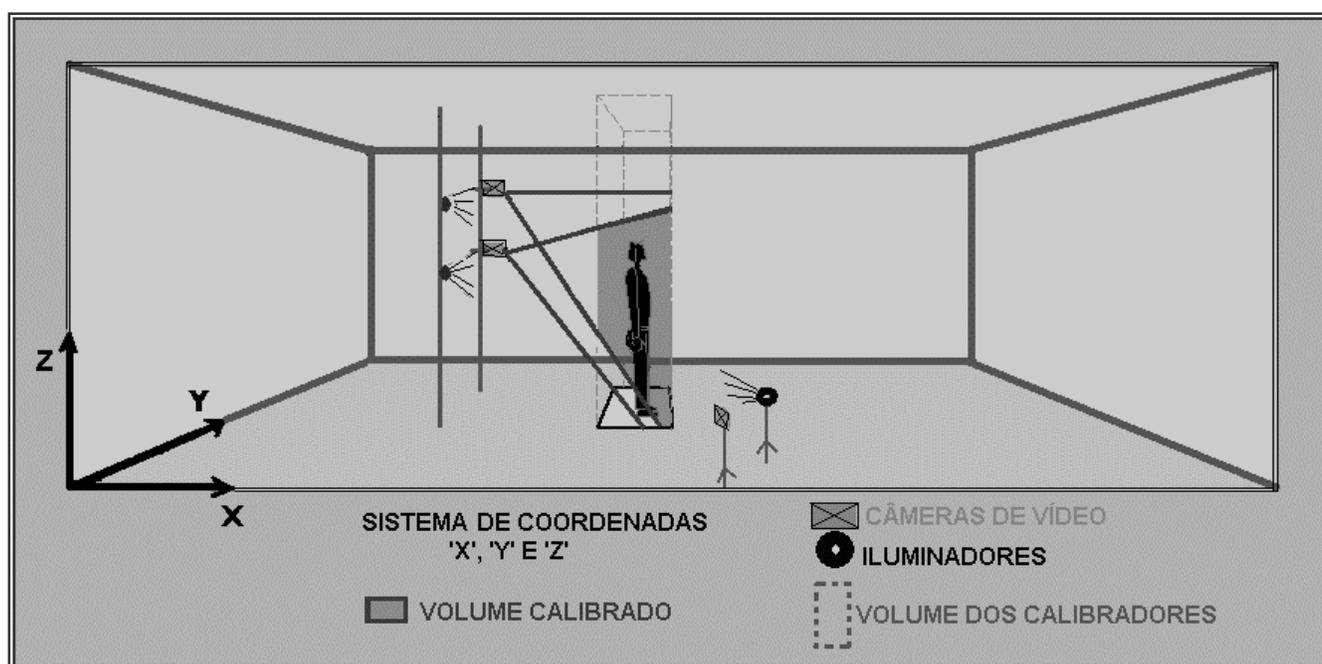


Figura 13 – Representação do laboratório e seu sistema de coordenadas, ilustrando o posicionamento das câmeras formando o volume de calibração.

#### 4.5.2. Tratamento das imagens

O tratamento das imagens é realizado basicamente utilizando o *software* Dvideow, o qual contém as ferramentas necessárias de morfologia matemática e processamento digital. Nele são realizados o desentrelaçamento das imagens, o *tracking*, a calibração e a

reconstrução 3D.

#### 4.5.2.1. Processo de digitalização das imagens

As imagens capturadas pelas câmeras são armazenadas em fita de vídeo. Elas são transferidas para um microcomputador através do *software* de captura AMCap – *Capture Application Microsoft Corporation*. Para as três câmeras são escolhidos trechos em comum e estes são gravados em formato AVI (*Audio Video Interleaved*).

Escolhemos no registro da câmera lateral os trechos com os eventos de interesse, e as imagens sincronizadas correspondentes das três câmeras são selecionadas para medição e análise.

#### 4.5.2.2. *Tracking*

*Tracking* é a obtenção automática das coordenadas de tela dos marcadores nas imagens. No *Dvideow*, para o tipo de imagem que trabalhamos, com marcadores planos retro-reflexivos bastante próximos uns dos outros, é indicada a definição pelo pesquisador de uma região de segmentação no primeiro *frame*. Para que sejam encontrados os pontos nesta área selecionada, o programa usa operadores de morfologia matemática e processamento digital de imagem. No *software* existem diversas opções de operadores. Para este trabalho foram usadas sempre inversão, erosão e *get markers*. Uma vez encontrados os pontos, os mesmos são reconhecidos em todos os quadros da seqüência. A correspondência destes marcadores é dada através de um algoritmo desenvolvido no Matlab®, o qual elimina os pontos adicionais (ruídos) encontrados no *tracking* e ordena os marcadores, resultando em dois arquivos de dados (um para cada câmera) com as coordenadas de tela dos pontos que representam a coluna vertebral.

#### 4.5.2.3. Reconstrução 3D

A reconstrução 3D é realizada utilizando-se os arquivos de dados das duas câmeras obtidos após o *tracking*, e os arquivos de calibração. Ela está implementada no *software Dvideow* e aplica o método DLT (ABDEL-AZIZ,1971).

Através da reconstrução 3D cria-se um arquivo com as coordenadas em 'X', 'Y' e 'Z' de cada marcador que representa a coluna vertebral do voluntário em função do tempo.

#### 4.5.2.4. Filtragem

As flutuações aleatórias de maior freqüência nas três coordenadas foram reduzidas filtrando os dados através de um ajuste por *Spline* cúbico em função do tempo. Pela filtragem, a modificação das coordenadas reconstruídas não ultrapassou 0.2 [cm], ou seja, os ajustes foram menores do que o raio de um marcador no espaço real.

Na figura 14 é possível observar no gráfico de cima o deslocamento do ponto correspondente ao processo espinhoso de T12 da voluntária 'P', na coordenada 'x', durante a marcha na esteira. Em baixo o segundo gráfico representa as correções aplicadas pelo filtro, demonstrando que neste caso estas não ultrapassaram 0.1 [cm]. Estes arquivos 3D filtrados serão utilizados para análise.

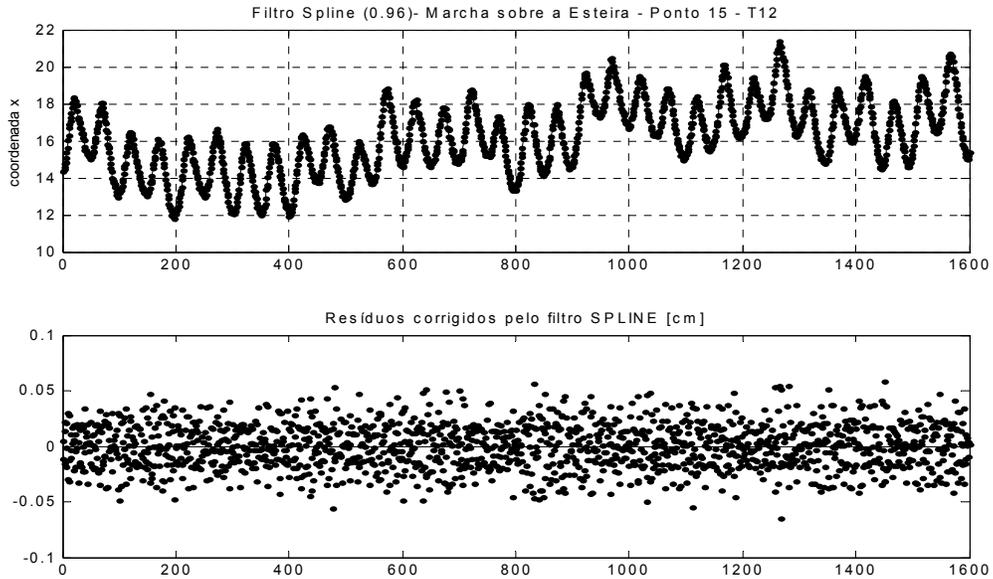


Figura 14 – Exemplo do processo de suavização de curvas por *Spline* em função do tempo, e dos resíduos eliminados.

#### 4.5.3. Utilização do Arquivo 3D

Os arquivos 3D contêm toda informação sobre a posição dos marcadores no espaço e no tempo.

A curva contínua representativa da coluna vertebral nos planos de projeção sagital (XZ) e frontal (YZ) é obtida ajustando polinômios às coordenadas reconstruídas (BEVINGTON, 1969). Neste trabalho foi utilizado grau 9.

As funções polinomiais são contínuas e deriváveis permitindo o cálculo da curvatura geométrica bidimensional em função do parâmetro  $z$ , conforme demonstrado na equação:

$$K_y(z) = \frac{\frac{d^2 P_y(z)}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dP_y(z)}{dz}\right)^2\right]^{3/2}}$$

**Equação 1: Cálculo da curvatura geométrica (K) no plano frontal.**

A curvatura geométrica pode ser definida como o inverso do raio da circunferência que tangencia a curva na região considerada (LANG, 1970). Desta forma, a curva da coluna vertebral tem, para cada valor da coordenada (z), uma curvatura tanto no espaço tridimensional como nas projeções (BRENZIKOFER et al, 2000).

Aqui, z é o parâmetro (coordenada vertical),  $P_y$  é a função polinomial que descreve a curva  $y(z)$ , e  $\frac{dP_y(z)}{dz}$  e  $\frac{d^2 P_y(z)}{dz^2}$  são a primeira e segunda derivadas de  $P_y$ , respectivamente.

Após o cálculo das curvaturas, são gerados gráficos representando as projeções da coluna vertebral suas curvaturas geométricas 2D nos planos de projeção frontal e sagital.

Será pela análise destes gráficos que os resultados do trabalho serão definidos e as adaptações das colunas analisadas e comparadas entre as diversas atividades praticadas. Para as duas voluntárias, em todas as atividades serão observadas características com relação aos valores de curvatura, assim como indicados em que momentos do ciclo de cada atividade estas características aparecem.

São três as variáveis analisadas nos resultados:

- i) as variações de curvatura, que são as diferenças entre os extremos de curvatura encontrados em um determinado local da coluna vertebral, durante um ciclo completo da atividade;
- ii) os picos de curvatura, os quais são os maiores valores de curvatura encontrados em determinada região da coluna;
- iii) e as mudanças bruscas de curvaturas que são diferenças grandes dos valores de curvatura em um curto espaço de tempo.

Os resultados serão discutidos no capítulo seguinte.

## ***CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO***

---

Neste capítulo serão analisados os resultados obtidos, através de gráficos e tabelas, para as duas voluntárias, de forma individual e comparativa. Foram analisadas 5 atividades e suas variações executadas pelas duas voluntárias, totalizando 10 análises 'P' e 11 análises para 'NP'.

Estudamos diferentes aspectos relacionados à coluna vertebral, os quais serão explicados em seguida. Entre eles estão os picos, as mudanças bruscas e as amplitudes das variações da curvatura em função da atividade praticada e os momentos e locais em que estas ocorrem na coluna vertebral.

As atividades foram analisadas isoladamente entre suas variedades de execução, e em seguida, foram comparadas entre si, buscando informações que as diferenciassem e as caracterizassem.

Para todas as atividades é importante lembrar que, além das modificações que ocorrem na coluna vertebral, e que tem origem nas atividades executadas, estão presentes as características próprias das voluntárias, ou seja, sua curva natural. Por esta razão, estão apresentados também os gráficos das curvaturas da coluna vertebral das voluntárias durante a postura estática.

Na análise dos resultados, observando os gráficos e as tabelas, devemos chamar a atenção para as convenções sobre os valores atribuídos à curvatura 2D para determinados locais (z). Quanto mais próximo de zero, menor a curvatura nesta região, pois a curvatura de valor zero representa a retificação neste local. Quanto mais afastado

o valor estiver do zero, maior a curvatura, tanto para valores positivos, quanto negativos.

O sinal da curvatura está relacionado com a concavidade/convexidade da curva da coluna. No plano sagital, curvaturas 2D com valores positivos representam lordoses, enquanto as com valores negativos representam cifoses. Para o plano frontal, a concavidade para a esquerda é positiva, e a concavidade para a direita é negativa.

As curvaturas apresentadas em todos os gráficos analisados desconsideram os marcadores adicionais, os quais foram utilizados apenas para os ajustes polinomiais.

Deve ser considerado na análise dos gráficos, que para cada atividade, o tempo do ciclo e de suas fases são diferentes. Para tal entendimento, estes tempos estão demonstrados no quadro abaixo.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>FORMA DE EXECUÇÃO</b>	<b>Nº CICLOS ANALISADOS</b>	<b>TEMPO MÉDIO POR CICLO [s]</b>
Bicicleta	Carga 80 W	8	0.89 ±0.05
	Carga 100 W	8	0.77 ±0.01
Step	Pés Alternados	8	1.78 ±0.04
	Pé Direito	8	1.78 ±0.02
	Pé Esquerdo	8	1.78 ±0.03
Pular Corda	Pés juntos	8	0.85 ±0.02
	Pés alternados	8	0.84 ±0.02
Jump fit	Pés juntos	8	0.88 ±0.01
	Pés alternados	8	0.89 ±0.01
Esteira	Velocidade baixa	16	0.98 ±0.01
	Velocidade alta	16	0.82 ±0.01

**Quadro 8 – Tempo em segundos e quantidade de ciclos analisados para cada atividade.**

## **5.1. Análise dos Gráficos**

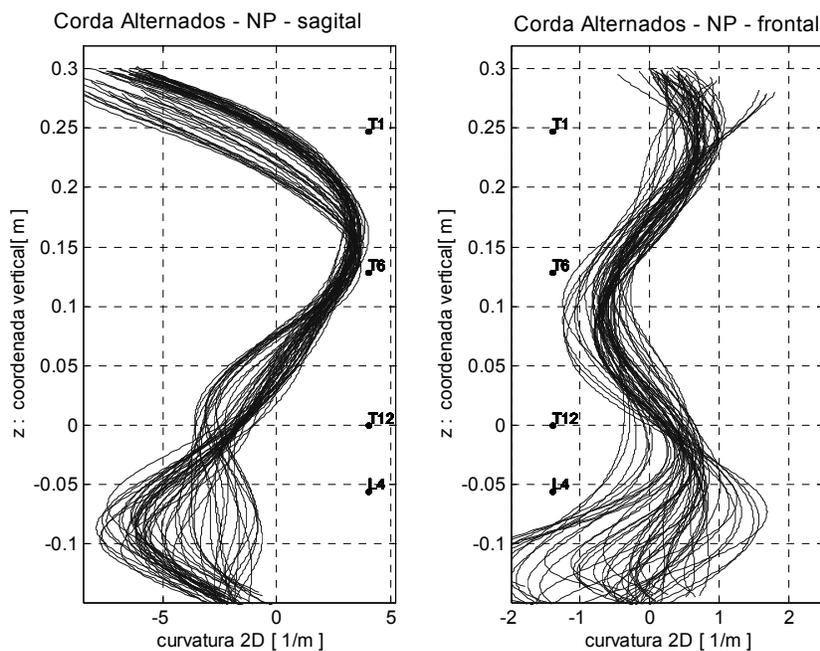
Estudaremos as variações de curvatura, os picos máximos de curvatura, as

mudanças bruscas de curvatura, as regiões e os momentos em que estes ocorrem, para todas as atividades. Para cada atividade realizada, serão apresentados os gráficos de curvatura 2D. Valores extremos nestes gráficos serão resumidos em tabelas. Em seguida apresentamos explicações sobre esses gráficos e indicações para sua interpretação.

### **5.1.1. Características dos Gráficos Apresentados**

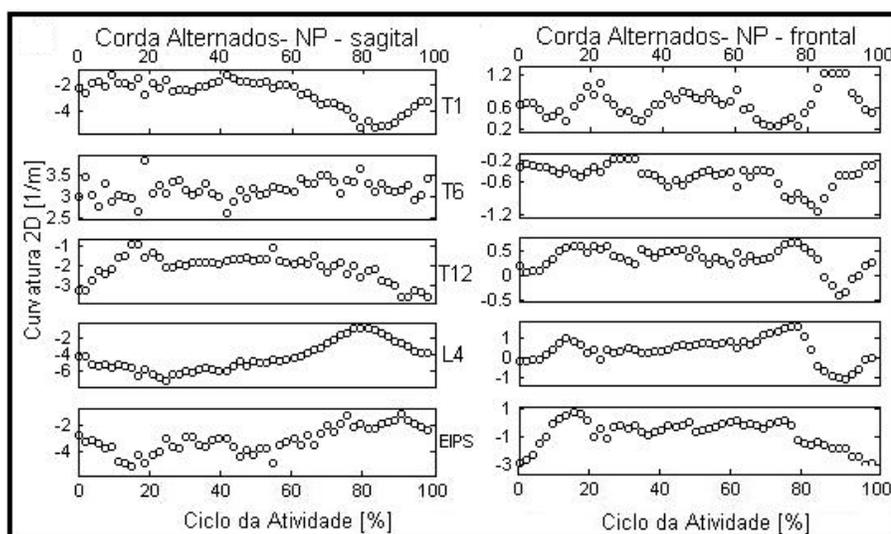
Veremos para cada atividade os gráficos de curvatura 2D, apresentados de duas formas.

Na primeira forma de apresentação dos gráficos (figura 15), estão representadas as curvaturas nos planos de projeção sagital e frontal. As curvas são contínuas, e representam todos os instantes dos ciclos das atividades.



**Figura 15 – Representação das curvaturas geométricas bidimensionais nos planos de projeção sagital e frontal, respectivamente, ao longo da coluna vertebral.**

Na segunda forma de apresentação dos gráficos (figura 16), é possível acompanhar, em detalhe, como estas mesmas curvaturas evoluem em função do tempo no ciclo padrão, para um certo valor de z nos dois planos de projeção, sagital e frontal. Convencionamos aqui acompanhar as curvaturas nas regiões dos pontos anatômicos de interesse (T1, T6, T12, L4 e EIPS). Nestes gráficos, na abscissa está representado o ciclo padrão completo, em porcentagem. Na ordenada encontramos os valores de curvatura calculados para cada região determinada.



**Figura 16 – Representação das curvaturas nos pontos anatômicos de interesse durante o ciclo padrão, nos planos de projeção sagital e frontal, respectivamente.**

Conforme já foi explicado, o tempo que transcorre entre os eventos é chamado de fase. Portanto, a primeira fase de uma atividade ocorre entre o 1º e o 2º eventos, e assim consecutivamente. A porcentagem do tempo ocupada por cada uma das oito fases no ciclo padrão é diferente entre as atividades, pois estas apresentam características próprias. A seguir está representado no quadro 9 a porcentagem do tempo do ciclo ocupado por cada fase das atividades físicas estudadas. Entre as variações de cada execução, as diferenças são pequenas, por esta razão, foram considerados os valores medianos. A única exceção encontrada foi na atividade de pular corda, sendo, portanto,

apresentadas as porcentagens de cada fase para as duas formas de execução.

	[%] do ciclo para cada fase das atividades							
<b>Fase da atividade</b>	1 <sup>a</sup> Fase	2 <sup>a</sup> Fase	3 <sup>o</sup> Fase	4 <sup>a</sup> Fase	5 <sup>a</sup> Fase	6 <sup>a</sup> Fase	7 <sup>a</sup> Fase	8 <sup>a</sup> Fase
<b>Atividade</b>								
Bicicleta	12	14	10	12	12	12	14	14
<i>Step</i>	10	10	12	13	12	12	15	16
Corda pés juntos	12	11	10	10	12	13	15	17
Corda pés alternados	10	16	38	6	14	12	8	6
<i>Jump fit</i>	13	13	12	12	12	12	13	13
Esteira	10	10	15	15	10	10	15	15

**Quadro 9 – Correspondência entre as fases de cada atividade e a porcentagem que elas representam em relação ao ciclo padrão completo.**

Para ambos os planos de projeção, as curvaturas 2D, assim como suas variações e picos de curvatura, podem ser observados visualmente nos diversos gráficos (figuras 21 à 30), e comparados através das tabelas 2 à 5.

A sobreposição de curvas resultante da representação de cada instante dos ciclos das atividades no primeiro par de gráficos (exemplo figura 15) permite visualizar as variações da curvatura durante todo o ciclo, mas impede a identificação dos momentos em que cada situação acontece, assim como não permite a visualização das mudanças bruscas de curvatura. Por este motivo apresentamos o segundo par de gráficos (ver exemplo figura 16).

Para todos os gráficos o ponto equivalente ao processo espinhoso de T12 corresponde a 0 [m] para a coordenada vertical (z). São identificados no gráfico (figura 15) os locais que correspondem à localização dos pontos anatômicos T1, T6, T12 e L4.

A seguir estão descritas as características estudadas das curvaturas da coluna vertebral.

## **5.2. Características Estudadas nos Resultados**

Neste capítulo estudaremos as variações de curvatura, os picos máximos de curvatura, as mudanças bruscas de curvatura e os momentos do ciclo das atividades em que estas características ocorrem. Cada atividade será analisada separadamente, e ao final do capítulo serão comparadas entre si.

### **5.2.1. Variação da Curvatura**

As curvaturas da coluna vertebral se alteram conforme o movimento realizado. De acordo com o tipo e intensidade deste movimento, as curvaturas se acentuam, diminuem ou se invertem em determinadas regiões da coluna.

Consideramos como variação da curvatura a amplitude das oscilações da curvatura geométrica 2D encontrada em uma determinada região da coluna vertebral, durante um ciclo completo da atividade. Estas variações da curvatura são obtidas a partir da análise dos gráficos 22, 24, 26, 28 e 30.

Existem diferenças significativas de variação de curvatura e o local onde ela ocorre, tanto entre as atividades comparadas entre si, como em uma mesma atividade com suas variantes. Estas diferenças são observadas analisando os gráficos das curvaturas, e para resumir e facilitar a comparação entre estes dados, estes valores estão apresentados em tabela.

A seguir a tabela 2 mostra os valores em [1/m] das variações de curvatura para a voluntária 'P' nos planos de projeção frontal e sagital, para todas as atividades, apuradas nas regiões dos processos espinhosos de T1, T6, T12 e L4, além das EIPS (espinhas ilíacas postero-superiores).

Vale lembrar que as regiões das EIPS são pontos de referência na marcação, mas

não têm movimentação própria. As variações de curvaturas atribuídas a ela são referentes à articulação lombo-sacra (L5-S1), a qual se encontra na mesma altura das EIPS.

Atividades	Variações - T1		Variações - T6		Variações - T12		Variações - L4		Variações - EIPS		Variações - MÉDIA	
	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal
Bicicleta 80W	0.9	1.4	0.4	1.1	0.8	1.0	0.7	2.4	1.4	2.1	<b>0.8</b>	<b>1.6</b>
Bicicleta 100W	1.4	1.7	0.4	0.8	0.7	0.8	0.9	2.9	1.7	2.1	<b>1.0</b>	<b>1.7</b>
Step pés alternados	1.9	0.9	1.1	0.8	0.8	0.4	2.9	0.9	2.6	2.2	<b>1.9</b>	<b>1.0</b>
Step pé direito	1.6	0.9	0.7	0.8	1.1	0.6	1.4	3.0	3.1	3.0	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>
Step pé esquerdo	2.0	0.9	0.8	1.3	1.0	0.7	1.4	3.0	2.8	2.7	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>
Cordeira pés juntos	5.2	1.7	0.9	0.9	1.4	0.4	2.2	0.8	3.6	1.6	<b>2.7</b>	<b>1.1</b>
Cordeira pés alternados	2.5	2.1	0.8	1.0	1.4	1.4	3.1	2.9	3.3	2.7	<b>2.1</b>	<b>2.0</b>
Jump fit pés juntos	1.8	0.5	0.7	0.4	1.0	0.3	2.8	0.5	2.2	1.2	<b>1.7</b>	<b>0.6</b>
Jump fit pés alternados	1.4	0.5	0.8	0.6	0.8	0.4	2.4	0.9	2.5	1.1	<b>1.6</b>	<b>0.7</b>
Esteira velocidade baixa	0.5	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	1.1	2.2	2.1	2.2	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>1.9</b>	<b>1.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.6</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>1.6</b>	<b>1.3</b>

**Tabela 2 – Valores em [1/m] das variações de curvatura nos planos sagital e frontal da voluntária ‘P’.**

Na tabela 3 estão os mesmos valores referentes à voluntária ‘NP’.

Atividades	Variações - T1		Variações - T6		Variações - T12		Variações - L4		Variações - EIPS		Variações - MÉDIA	
	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal	sagital	frontal
Bicicleta 80W	1.7	2.7	0.5	0.7	1.1	0.7	1.6	3.0	2.9	1.4	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>
Bicicleta 100W	1.2	3.0	0.7	0.6	0.9	1.4	1.0	2.9	2.3	2.2	<b>1.2</b>	<b>2.0</b>
Step pés alternados	2.2	0.8	0.9	0.7	1.1	0.3	2.2	0.8	1.9	1.8	<b>1.7</b>	<b>0.9</b>
Step pé direito	1.8	0.6	1.2	0.8	1.1	0.7	2.0	2.7	2.6	4.3	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>
Step pé esquerdo	2.2	0.6	1.0	0.8	1.0	0.8	2.3	2.4	2.5	4.2	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>
Cordeira pés juntos	4.4	0.8	1.5	0.6	1.9	0.8	3.6	0.9	2.8	2.3	<b>2.8</b>	<b>1.1</b>
Cordeira pés alternados	4.0	1.0	1.3	1.0	2.6	1.1	6.5	2.7	4.1	3.9	<b>3.7</b>	<b>1.9</b>
Jump fit pés juntos	1.1	0.5	0.7	0.4	1.4	0.5	1.0	0.5	2.4	1.1	<b>1.3</b>	<b>0.6</b>
Jump fit pés alternados	1.6	0.4	0.8	0.5	1.1	0.6	1.3	1.1	2.1	3.1	<b>1.4</b>	<b>1.1</b>
Esteira velocidade baixa	0.9	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	1.6	1.7	1.7	2.4	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>
Esteira velocidade alta	1.1	0.6	0.4	0.9	0.7	0.8	1.6	2.3	2.2	1.6	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>2.0</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>1.2</b>	<b>0.8</b>	<b>2.2</b>	<b>2.1</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>

**Tabela 3 – Valores em [1/m] das variações de curvatura nos planos sagital e frontal da voluntária ‘NP’.**

Ao observar as tabelas acima, percebemos que algumas atividades possuem uma variação de curvatura superior a outras. Por exemplo, na região de T6, no plano frontal, a variação de curvatura que ocorre na atividade do *jump fit* realizado com os pés juntos pela 'P' corresponde a apenas 30% da variação que ocorre no exercício do *step* realizado iniciando com o pé esquerdo. No plano sagital, ainda observando os resultados de 'P', na mesma região, os exercícios na bicicleta ergométrica têm variações da curvatura que correspondem a 36% da variação que ocorre no *step* alternando o pé que inicia o movimento.

Da mesma forma, observando a voluntária 'NP', na região de T12, no plano frontal, a variação de curvatura que ocorre durante o exercício do *step* alternando o pé que inicia o movimento corresponde a 22% do que a que ocorre durante o pedalar na bicicleta ergométrica com carga de 100W. Na mesma região, no plano sagital, a marcha na esteira regulada a baixa velocidade provoca variações de curvatura que correspondem a 23% do que as que ocorrem durante o exercício da corda alternando os pés.

Para melhor demonstrar as diferenças de valores das variações de curvatura entre as atividades, abaixo estão apresentados gráficos, nos planos sagital (figura 17) e frontal (figura 18), que fazem estas comparações.

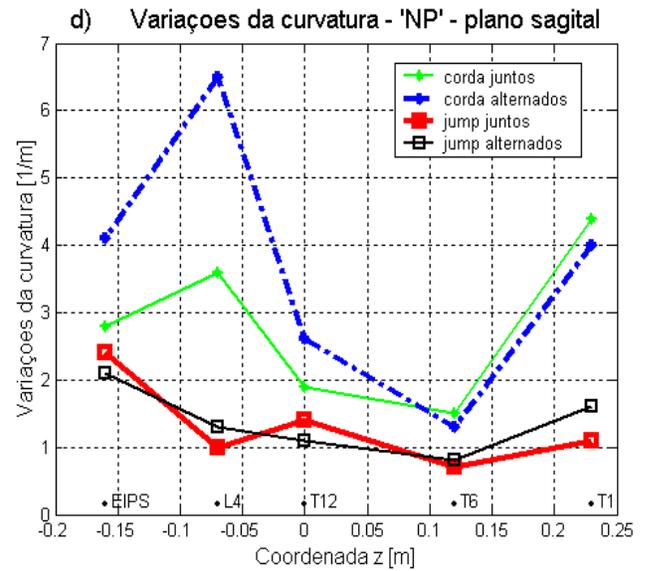
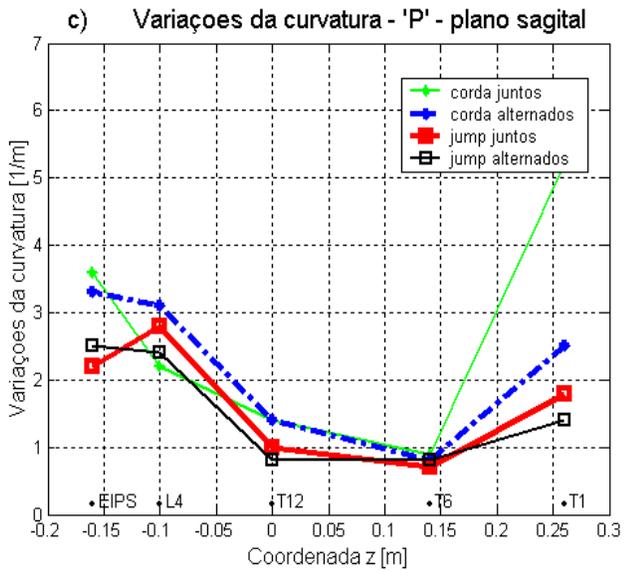
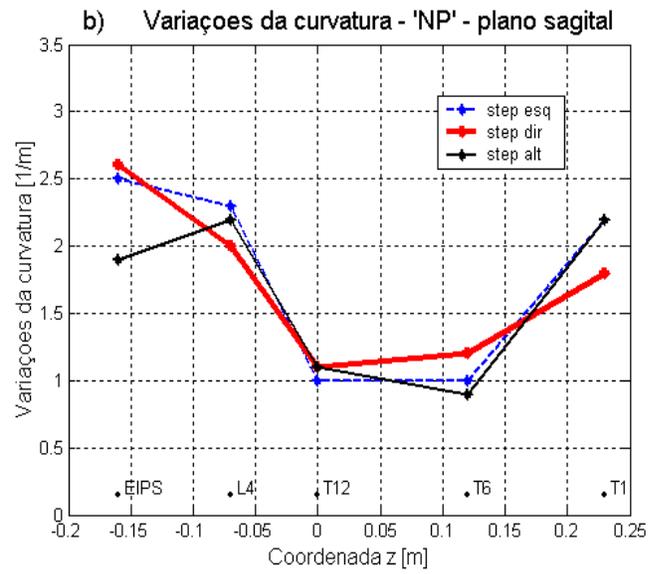
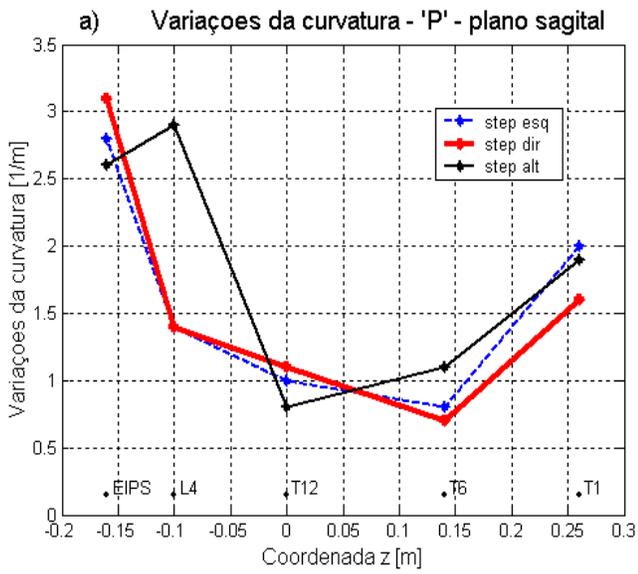
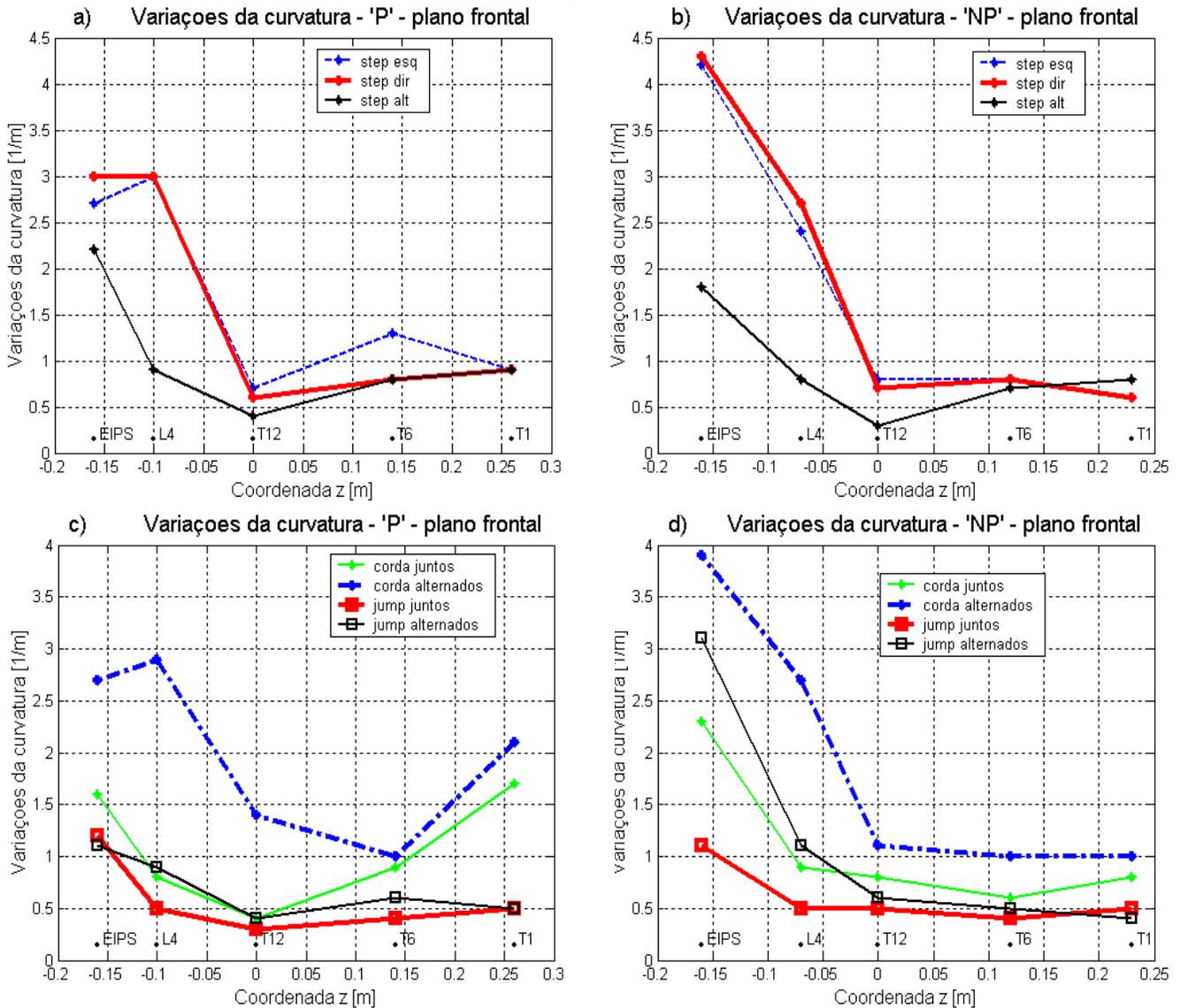


Figura 17 – Representação das variações de curvatura no plano sagital durante as atividades do step para as voluntárias 'P' (a) e 'NP' (b), e durante as atividades do jump fit e do pular corda também para 'P' (c) e 'NP' (d).



**Figura 18 - Representação das variações de curvatura no plano frontal durante as atividades do step para as voluntárias 'P' (a) e 'NP' (b), e durante as atividades do jump fit e do pular corda também para 'P' (c) e 'NP' (d).**

O maior detalhamento sobre as atividades estudadas está apresentado nos gráficos das curvaturas geométricas 2D da coluna vertebral nos planos de projeção sagital e frontal. Neles estão representadas as curvaturas 2D de cada instante registrado na coleta

de dados, durante todo o ciclo padrão das atividades.

### **5.2.2. Localização dos Picos de Curvatura e os Momentos do Ciclo das Atividades em que Estes Aparecem**

Abaixo estão apresentadas as regiões da coluna vertebral que apresentam as curvaturas mais acentuadas, durante a prática das atividades, nos planos sagital e frontal. Os dados apresentados resultam da análise dos gráficos das curvaturas 2D de cada atividade (figuras 21, 23, 25, 27 e 29).

Para a análise e comparação dos picos de curvatura das atividades estudadas, nos planos sagital e frontal, estão apresentadas a seguir as tabelas com os valores encontrados para as duas voluntárias (tabelas 4 e 5).

Regiões atividade	Bici080		Bici100		StepAlt		StepDir		StepEsq		CordaJu		CordAlt		JumpJu		JumpAlt		EstBaixa		EstAlta	
	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP												
T3-T6	2.5	4.0	2.9	3.1	3.8	4.7	3.3	4.3	3.4	4.5	4.7	4.4	4.1	4.0	3.3	3.9	3.4	3.9	3.0	4.1	-	3.8
T11-L2	3.5	-2.0	2.7	-1.1	1.1	-3.0	1.2	-2.3	1.6	-2.5	3.0	-4.1	3.0	-3.6	2.2	-2.9	2.4	-2.3	2.3	-0.6	-	-0.4
L4-L5	-3.6	2.6	-3.1	3.7	-6.5	-4.3	-6.1	-5.7	-6.3	-4.9	-8.3	-6.0	-8.0	-7.9	-7.6	-5.5	-7.9	-5.1	-8.6	-6.5	-	-6.5

**Tabela 4 – Valores em [1/m] dos picos de curvatura no plano sagital das voluntárias ‘P’ e**

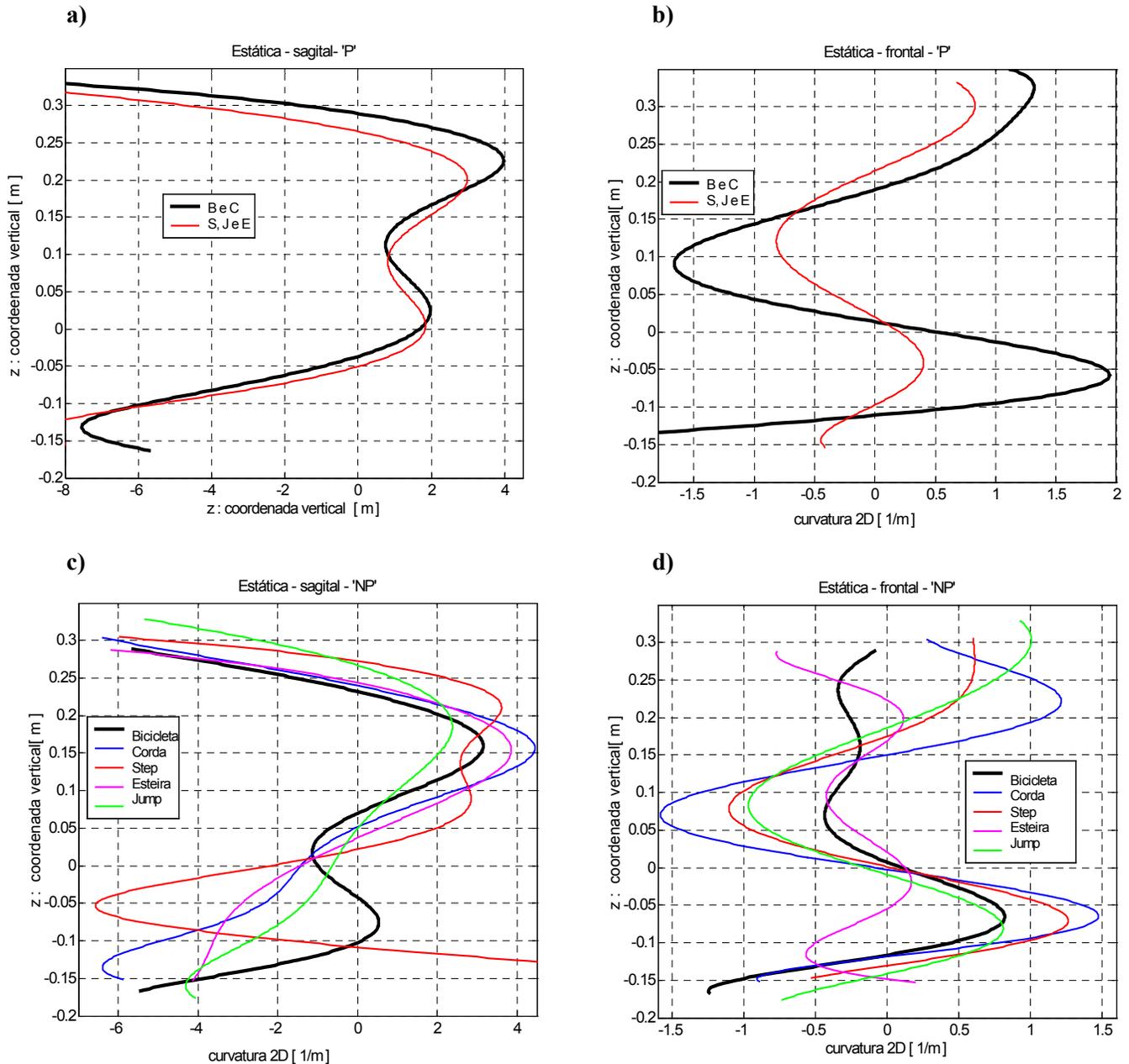
**‘NP’ para todas as atividades estudadas.**

Regiões atividade	Bici080		Bici100		StepAlt		StepDir		StepEsq		CordaJu		CordAlt		JumpJu		JumpAlt		EstBaixa		EstAlta	
	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP												
C7-T2	2.8	-3.4	2.8	-4.8	1.7	1.4	1.4	1.4	1.8	1.0	2.9	1.4	2.6	1.1	1.7	1.4	1.7	1.2	0.8	-0.7	-	-0.8
T6-T9	-1.6	0.4	-1.7	0.4	-1.1	-1.2	-0.8	-1.4	-1.1	-1.5	-1.6	-1.0	-1.7	-1.2	-0.6	-1.0	-0.7	-1.4	-0.1	-0.6	-	-0.8
T11-L2	2.3	-	2.6	-	0.4	-	0.6	-	0.5	-	1.8	-	2.3	-	0.5	-	0.6	-	1.0	-	-	-
L4-L5	-3.3	2.1	-3.8	1.4	-1.0	1.0	-2.4	1.9	-2.0	2.5	-4.4	1.2	-5.1	1.7	-1.1	0.8	-1.7	1.8	-2.0	0.8	-	1.2

**Tabela 5 – Valores em [1/m] dos picos de curvatura no plano frontal das voluntárias ‘P’ e**

**‘NP’ para todas as atividades estudadas.**

Para obtermos valores de referência estão apresentados abaixo os gráficos de curvatura da coluna vertebral das voluntárias durante a postura estática. Conforme foi explicado no Capítulo 4, para a voluntária 'P' temos dois registros de curvaturas em postura estática, enquanto para a voluntária 'NP' temos cinco registros (figura 19).



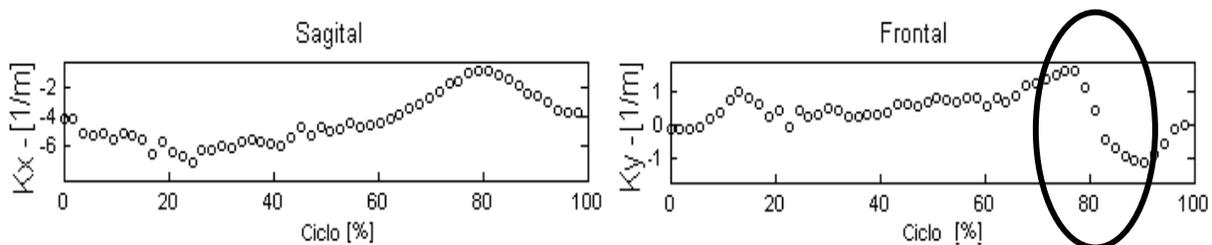
**Figura 19 – Representação das curvaturas da coluna vertebral em postura estática, sendo à esquerda referente ao plano sagital para as voluntárias 'P' (a) e 'NP' (c), e à direita referente ao plano frontal também para 'P' (b) e 'NP' (d). Os registros estáticos foram realizados antes das atividades da bicicleta ('B'), corda ('C'), step ('S'), jump fit ('J') e esteira ('E').**

As curvaturas da coluna vertebral em postura estática obtidas antes de cada atividade mostram diferenças entre si, o que evidencia a variabilidade na forma geométrica da coluna vertebral em diferentes posturas estáticas.

### **5.2.3. Mudanças Bruscas de Curvatura**

Ao analisarmos as variações de curvatura, percebemos que, em alguns casos, ocorrem mudanças grandes dos valores de curvatura em um curto espaço de tempo. Estas mudanças podem ser de acentuação, retificação ou inversão da curvatura. Consideramos estes momentos como mudanças bruscas de curvatura, e que indicam movimentos executados rapidamente, resultando em deformações dos discos intervertebrais.

Como exemplo, na figura 20, está representada a região que corresponde ao processo espinhoso de L4. Nestes gráficos, na abscissa está representado o ciclo padrão completo. Na ordenada encontramos os valores de curvatura calculados em cada região, para os planos de projeção sagital ( $K_x$ ) e frontal ( $K_y$ ). Estes gráficos permitem detectar mudanças bruscas de curvatura, conforme circulado no plano frontal na região de L4 entre 80% e 90% do ciclo padrão, bem como os picos máximos e variações de curvatura na região analisada.



**Figura 20 – Variações de curvatura da região de L4 no decorrer do ciclo padrão, durante o exercício de pular corda com os pés alternados realizado pela voluntária ‘NP’, nos planos sagital e frontal, respectivamente.**

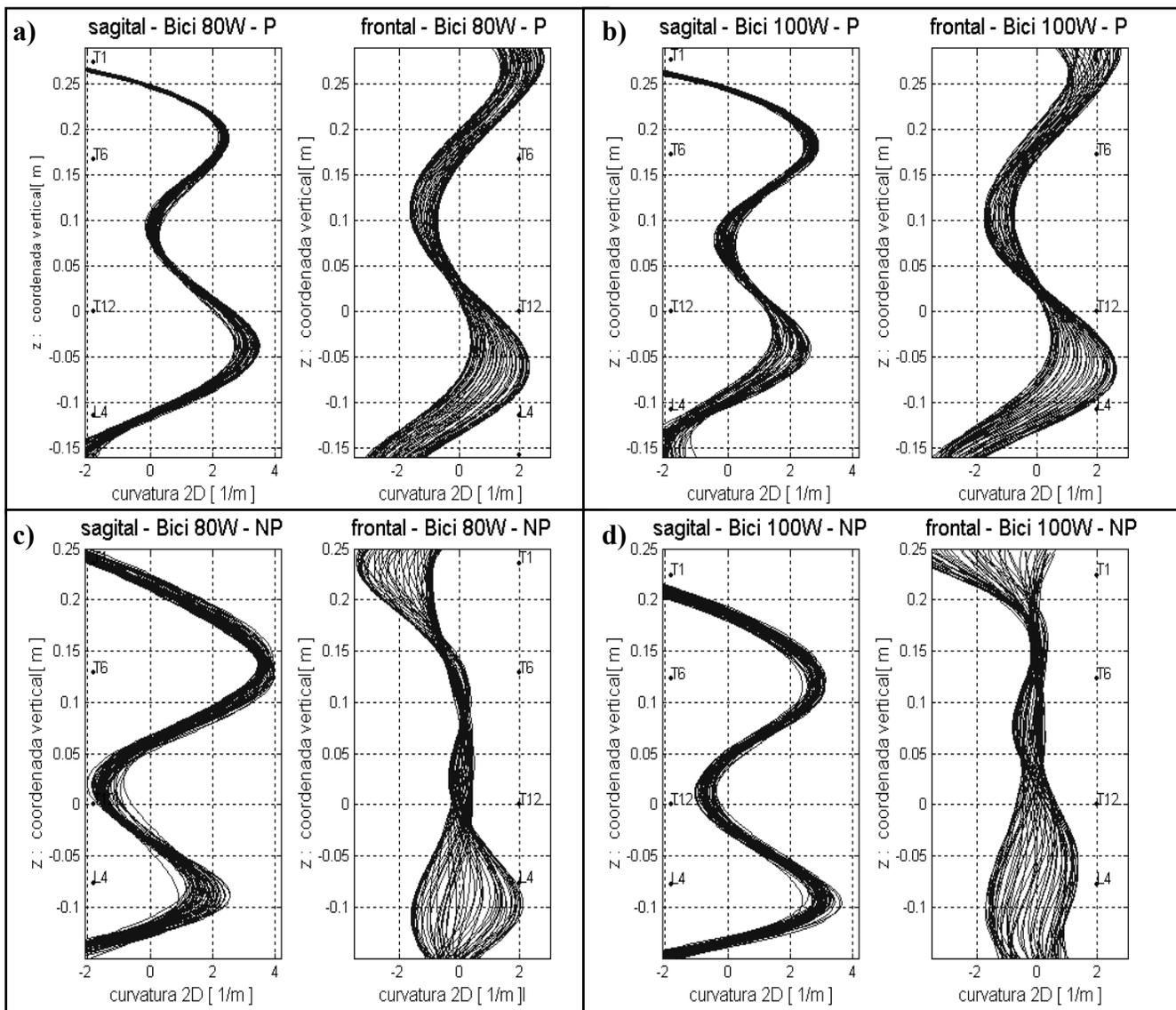
As mudanças bruscas de curvatura podem ser quantificadas pela razão entre a variação da curvatura e a variação do tempo em que esta ocorreu. Como exemplificado na figura 20, temos a variação da curvatura de  $2.8 \text{ [m}^{-1}\text{]}$  ocorrendo durante 15% do ciclo. Portanto, esta mudança brusca corresponde a  $0.19 \text{ [m}^{-1}\text{/}\%]$ . Mencionamos para este trabalho, nos dois planos, valores acima de  $0.1 \text{ [m}^{-1}\text{/}\%]$ .

### **5.3. Resultados Individuais das Atividades**

#### **5.3.1. BICICLETA ERGOMÉTRICA**

No caso da bicicleta ergométrica, as curvaturas 2D apresentadas na figura 21, permitem verificarmos, visualmente, as diferenças de variação das curvaturas durante a prática da atividade, realizada com cargas de 80W e 100W, pelas duas voluntárias.

É importante lembrar que esta é a única das atividades estudadas neste trabalho que limita a movimentação das mãos, braços e antebraços. Isto reduz os graus de liberdade para a coluna vertebral no plano sagital.



**Figura 21 – Representação das curvaturas sagital e frontal, durante a atividade de pedalar na bicicleta ergométrica, realizada por ‘P’ com carga de 80W (a) e com carga de 100W (b); e realizada por ‘NP’ com carga de 80W (c) e com carga de 100W (d).**

No plano sagital, para a voluntária ‘P’, são poucas as diferenças na variação das curvaturas entre as formas de execução do exercício, exceto na região lombar. Para a voluntária ‘NP’, a posição adotada nas duas execuções foi diferente, podendo ser observada na coordenada z, que a voluntária realizou a atividade mais abaixada com a carga de 100W que na outra execução. Isto resultou em curvas diferentes ao longo de toda a coluna vertebral. Com a carga de 100W, ‘NP’ tem picos 25% menores na região de

T6 do que com a carga de 80W, e 45% menores na região de T11-12 (vide tabela 4). Já na região lombar, a atividade com a carga mais alta resultou em picos 45% maiores do que com a carga mais baixa.

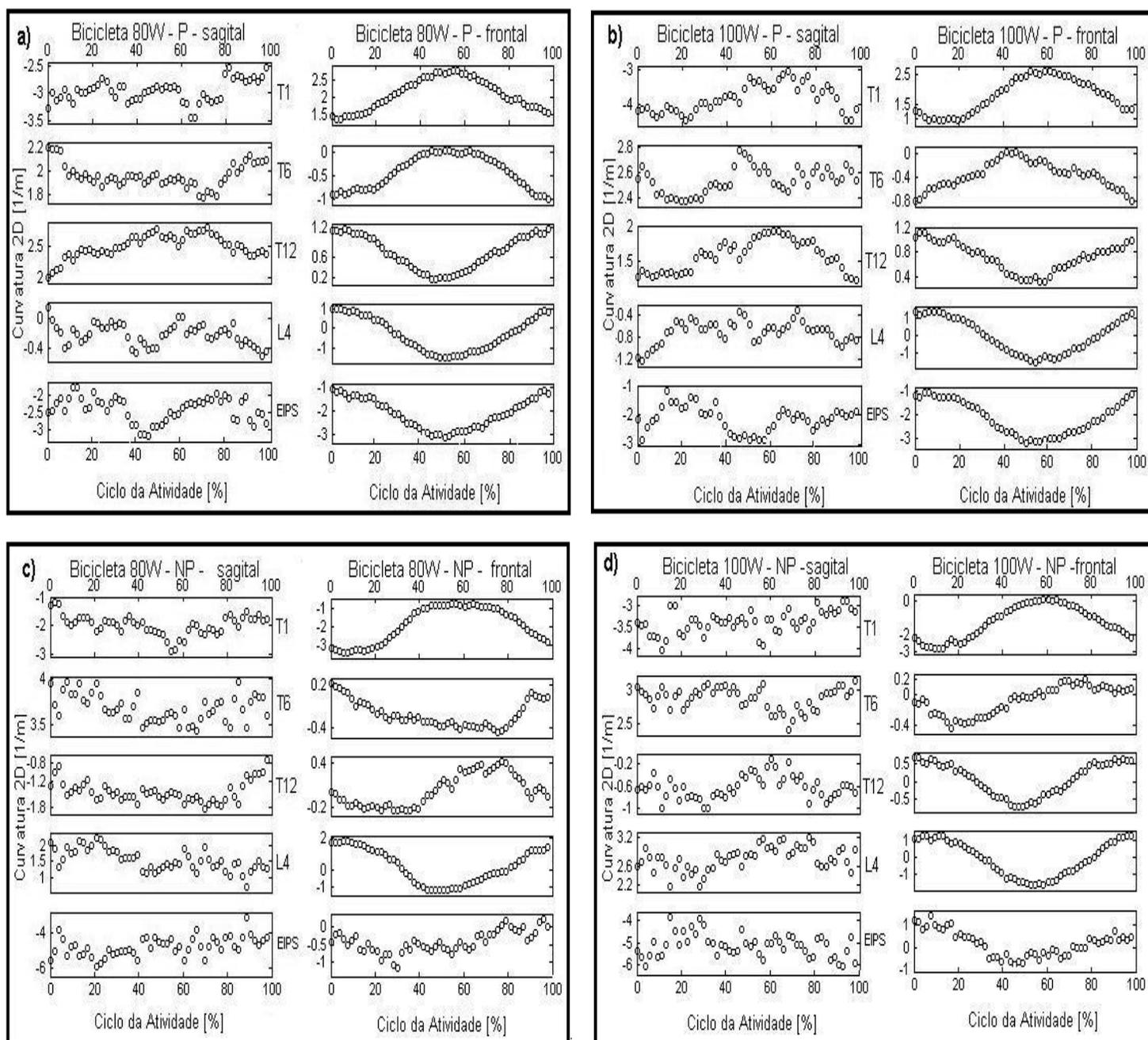
As maiores variações de curvatura, neste plano, ocorrem para ambas voluntárias nas regiões lombar e lombo-sacra, e apenas para 'NP' na região de T1.

No plano frontal, as principais diferenças são percebidas em 'NP', com relação às variações de curvatura. Estas são 100% maiores na região de T12, e 60% maiores na região lombo-sacra (EIPS), com a carga de 100W do que com a carga de 80W (vide tabela 5).

Observando os gráficos percebemos no plano sagital (figura 21), a região torácica, no local próximo ao processo espinhoso de T8, possui valores muito próximos de zero, indicando que há uma constante tendência à retificação da coluna nesta região. Isto acontece pela própria postura adotada durante o exercício, que apesar de manter o tronco inclinado à frente, se encontra ereto, e com a influência dos membros superiores, que se fixam no guidão da bicicleta.

Ainda no plano sagital, na região toraco-lombar, percebemos que o pedalar na bicicleta ergométrica promove uma inversão da curvatura, a qual deveria apresentar valores negativos, se levarmos em conta as curvaturas fisiológicas normais. Significa dizer que esta região se encontra com uma cifose, numa região que em postura estática normal seria esperado o início da lordose fisiológica.

Analisando a figura 22, é possível localizar os eventos que determinam os picos e as mudanças bruscas de curvatura, para a bicicleta ergométrica realizada com cargas de 80W e 100W.



**Figura 22 – Curvaturas sagital e frontal durante o ciclo padrão nos pontos anatômicos T1, T6, T12, L4 e EIPS, de cima para baixo, respectivamente. Atividade de pedalar na bicicleta ergométrica realizada pela voluntária ‘P’ com carga de 80W (a) e com carga de 100W (b); atividade realizada pela voluntária ‘NP’ com carga de 80W (c) e com carga de 100W (d).**

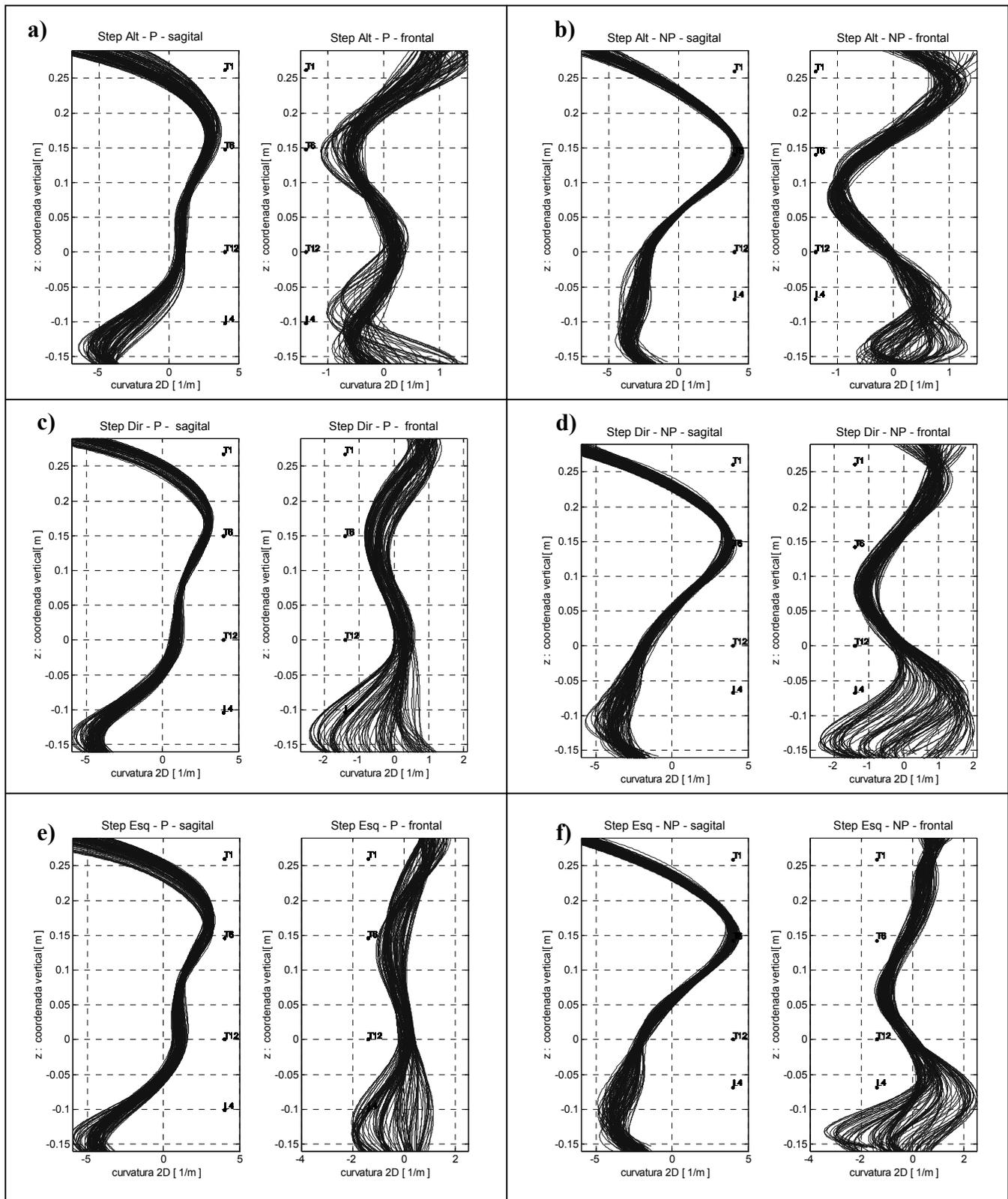
Para o exercício de pedalar na bicicleta ergométrica, percebemos que, no plano sagital, os picos estão relacionados ao 5º e ao 8º evento, que correspondem aos 180 e 315 [graus] do ângulo de pé de vela, que marcam o início e fim da fase de impulsão da pedalada.

No plano frontal, estes momentos correspondem ao 1º, 5º e 8º eventos. São os eventos em que o pedal está próximo de 0 [graus] do ângulo do pé de vela, que correspondem aos momentos de extrema extensão do membro inferior de um dos membros inferiores, seja o direito (1º e 8º), ou o esquerdo (5º).

A mudança brusca de curvatura mais evidente ocorre para a voluntária 'P' utilizando a carga de 100W, no plano sagital, na região lombo-sacra (EIPS), e que ocorre entre o 1º e o 2º evento. No plano frontal não são encontradas estas mudanças bruscas, pelas próprias características da atividade.

### **5.3.2. STEP**

Na atividade do *step*, estão apresentados inicialmente três pares de gráficos para cada voluntária, que representam as curvaturas 2D, nos planos sagital e frontal, para o *step* alternando o pé que inicia o movimento, o *step* iniciado com o pé direito, e o *step* iniciado com o pé esquerdo. A verificação visual permite observar diferenças das variações de curvatura para as três formas de execução (Figura 23).



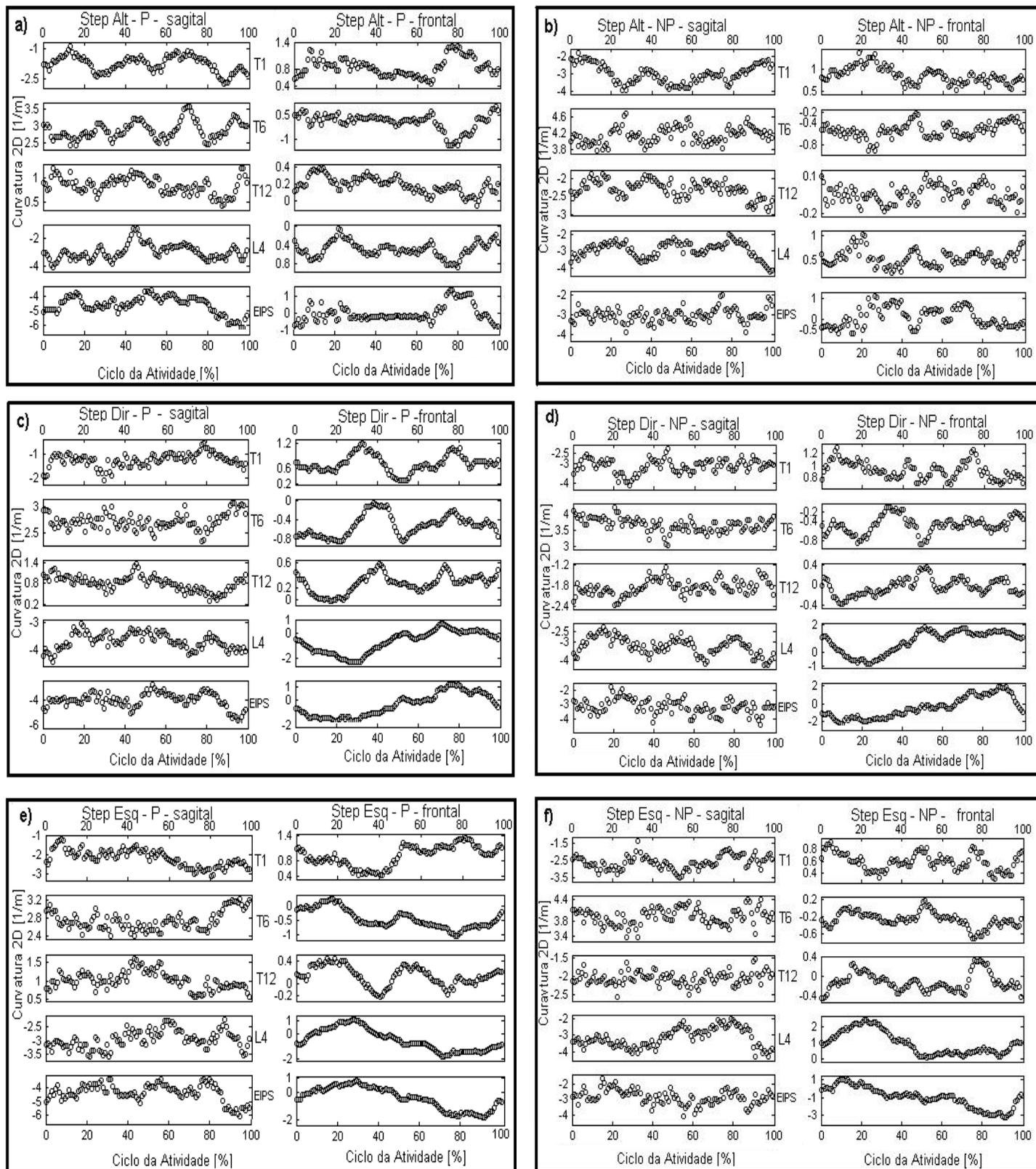
**Figura 23 – Representação das curvaturas sagital e frontal, no exercício do *step*, realizado pela voluntária ‘P’ alternando o pé que inicia o movimento (a), iniciando com o pé direito (c), e iniciando com o pé esquerdo (e); e realizado pela voluntária ‘NP’ nas mesmas formas de execução (b), (d) e (f), respectivamente.**

Apesar do exercício executado ser o mesmo, utilizando a mesma cadência, e apenas o pé que inicia o movimento mudar, veremos na análise dos gráficos que várias diferenças são percebidas. No exercício do *step* alternando o pé que inicia o movimento, vale lembrar que é realizada uma combinação entre as outras duas formas de execução, pois cada ciclo completo é composto de meio ciclo do *step* que inicia com o pé direito, e meio ciclo do *step* que inicia com o pé esquerdo.

No exercício do *step* realizado por 'P', no plano sagital, a maior diferença da variação da curvatura ocorre na região lombar para o *step* alternando os pés, comparado às outras modalidades de execução. Neste plano, os gráficos do *step* iniciando com o pé direito e o do *step* iniciando com o pé esquerdo são semelhantes. Para 'NP', as maiores diferenças entre as variações de curvatura também ocorrem na região lombar.

No plano frontal, as diferenças de variação da curvatura para as duas voluntárias ocorrem principalmente em L4 e região lombo-sacra. Observando o registro em vídeo na execução desta atividade, notamos que, ao inverter a perna que iniciará o movimento de subir no banco, no meio do ciclo, é realizado um movimento abrupto com o membro inferior. Este movimento explica o *step* com o pé direito e o *step* com o pé esquerdo possuírem valores semelhantes entre si (pois realizam os mesmos movimentos), e diferentes ao compará-los com o *step* alternando os pés, principalmente na região lombo-sacra.

Na figura 24 estudaremos os momentos que acentuam as curvaturas e causam mudanças bruscas das mesmas no exercício do *step*. Estão apresentados os gráficos da atividade realizada alternando o pé que inicia o movimento, iniciando com o pé direito e iniciando com o pé esquerdo.



**Figura 24 – Curvaturas sagital e frontal durante o ciclo padrão nos pontos anômicos T1, T6, T12, L4 e EIPS, de cima para baixo, respectivamente. Exercício do step, realizado pela voluntária ‘P’ alternando o pé que inicia o movimento (a), iniciando com o pé direito (c), e iniciando com o pé esquerdo (e); e realizado pela voluntária ‘NP’ alternando o pé que inicia o movimento (b), iniciando com o pé direito (d), e iniciando com o pé esquerdo (f).**

No exercício do *step*, observamos eventos em comum para as três formas de execução. O 7º e 8º eventos, que correspondem ao pico de força vertical aplicada no exercício, ao descer o banco, são responsáveis por valores máximos de curvatura, nos dois planos de projeção.

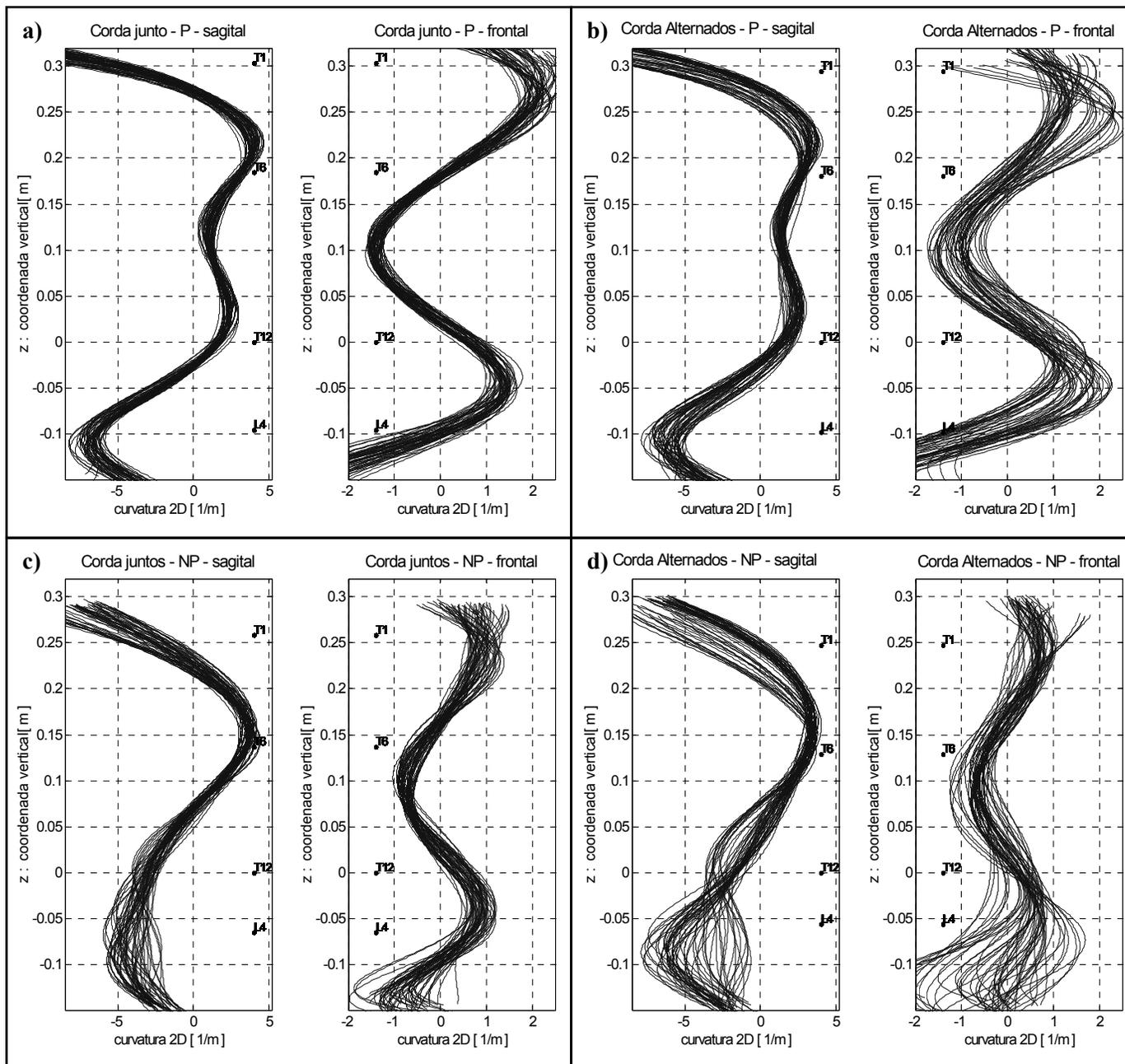
No plano sagital, nas três formas de execução, o 8º evento promove os picos de curvatura da região lombar, para as duas voluntárias.

No plano frontal, além do 7º e 8º eventos, outros que também provocam picos de curvatura nesta atividade estão relacionados a movimentos de rotação e inclinação do tronco (3º ao 6º evento) durante a prática destas atividades, e de maior aplicação de força dos membros inferiores para subir no banco, em especial do quadríceps (3º evento), e podem ser observados nos gráficos (figura 24).

As mudanças bruscas mais evidentes ocorrem, no plano sagital, na execução da atividade com os pés alternados realizada pela voluntária 'P', durante o 6º evento na região de T6 e durante o 4º evento na região de L4. Já no plano frontal, a voluntária 'NP' apresenta as mudanças de curvatura de maior valor, quando realiza a atividade iniciando com o pé direito, na região lombo-sacra durante o 8º evento.

### **5.3.3. PULAR CORDA**

Para o exercício de pular corda realizado com os pés juntos e alternando os pés, verificamos visualmente nos gráficos da figura 25 diferenças expressivas nas variações da curvatura 2D.



**Figura 25 – Representação das curvaturas sagital e frontal, no exercício de pular corda realizado pela voluntária ‘P’ com os pés juntos (a) e com os pés alternados (b), e pela voluntária ‘NP’ com os pés juntos (c) e com os pés alternados (d).**

Ao observarmos estes gráficos como um todo, percebemos que, para ambos os planos de projeção, o pular corda com os pés alternados possui variações de curvatura maiores em todas as regiões da coluna, para as duas voluntárias. Isto se deve ao fato de que neste modo de execução são realizados movimentos assimétricos, e há um deslocamento maior

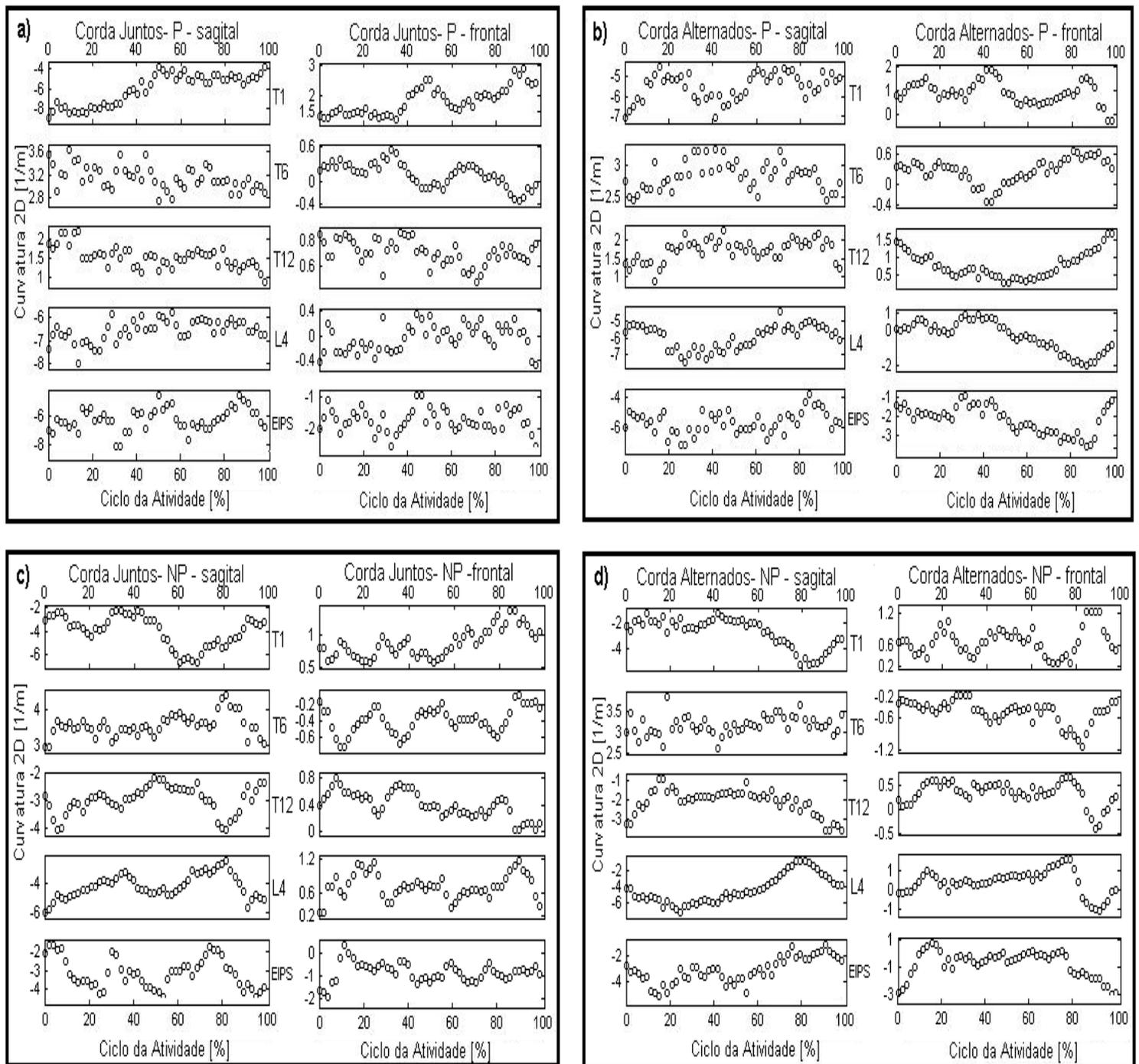
do corpo para realizá-los.

No plano sagital, observamos na figura 25 e nas tabelas 2 e 3 que as maiores diferenças na variação de curvatura destas atividades aparece nas regiões entre T1 e T6, e próximo à L4, para as duas voluntárias.

No plano frontal, em todas as regiões as variações de curvatura são maiores ao pular corda com os pés alternados. Na região entre T12 e as EIPS, estes valores são bem distintos, entre as atividades. Esta diferença ocorre devido ao fato de que ao pular corda com os pés alternados o voluntário faz uma rotação do quadril, e na maior parte do tempo um membro inferior se encontra à frente e o outro atrás, conforme visto na figura 8 do capítulo 2.

O exercício de pular corda, ao lado do pedalar na bicicleta ergométrica, apresenta os maiores picos de curvatura no plano frontal, em todas as regiões da coluna vertebral, quando comparado às demais atividades. Na região cervico-torácica, observamos que esta atividade possui picos de curvatura com valores altos devido à ação dos membros superiores para movimentar a corda, pois é a única dentre as atividades estudadas que realiza movimentos amplos com os membros superiores. Durante o pedalar na bicicleta ergométrica, o quadril se mantém fixo no banco da bicicleta e os membros inferiores realizam movimentos de flexão/extensão alternados, modificando continuamente as curvaturas da coluna no plano frontal.

Para o exercício de pular corda, estão representadas (figura 26) as curvaturas 2D nos planos sagital e frontal no decorrer do ciclo padrão nos pontos anatômicos de interesse, permitindo a identificação dos momentos em que ocorrem os picos e as mudanças bruscas de curvatura.



**Figura 26 – Curvaturas sagital e frontal durante o ciclo padrão nos pontos anatômicos T1, T6, T12, L4 e EIPS, de cima para baixo, respectivamente. Atividade de pular corda realizada pela voluntária 'P' com os pés juntos (a) e com os pés alternados (b); atividade realizada pela voluntária 'NP' com os pés juntos (c) e com os pés alternados (d).**

Na atividade de pular corda, no plano sagital, durante as duas formas de execução, temos o 1º (toque da corda no chão) e 3º eventos como os principais responsáveis pelos picos de curvatura para a voluntária 'P'. Este 3º evento corresponde ao momento que a voluntária toca o pé no chão, e realiza ao mesmo tempo uma retroversão do quadril, promovendo, conseqüentemente, aumento da lordose lombar. Já a voluntária 'NP' apresenta os maiores picos de curvatura durante o 7º e o 8º evento. Estes correspondem ao momento de impulsão da voluntária para realizar o pulo maior da atividade, seguido da fase de vôo.

No plano frontal, estes mesmos momentos de impulsão e vôo (7º e 8º eventos) causam os maiores picos de curvatura, principalmente nas regiões da torácica alta e lombar.

As mudanças bruscas de curvatura são percebidas na voluntária 'NP', na região lombar, também entre o 7º e o 8º evento.

#### **5.3.4. JUMP FIT**

Para o exercício do *jump fit*, as curvaturas 2D estão apresentadas na figura 27, representando as duas formas de execução da atividade, para as quais faremos alguns comentários.

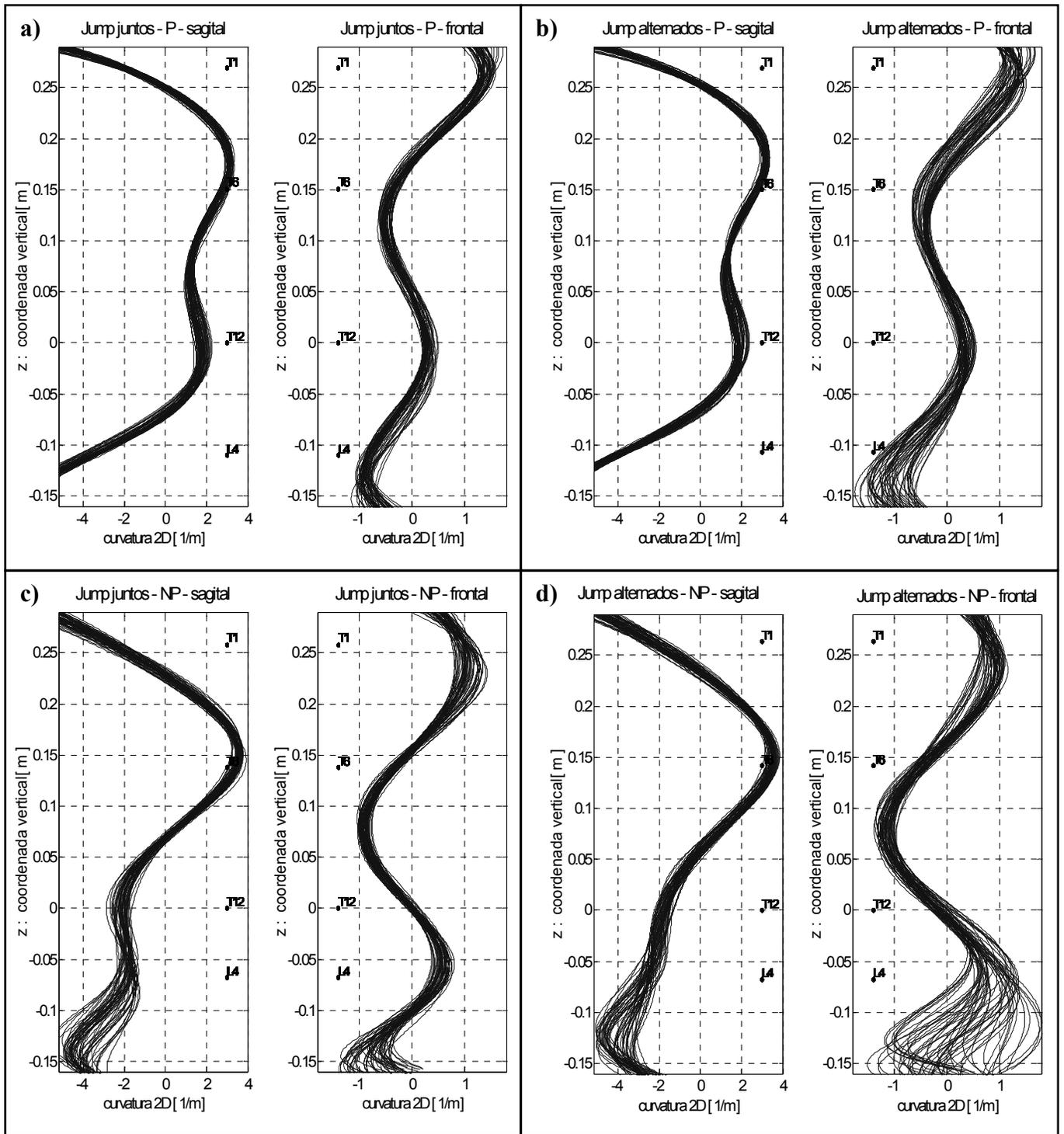


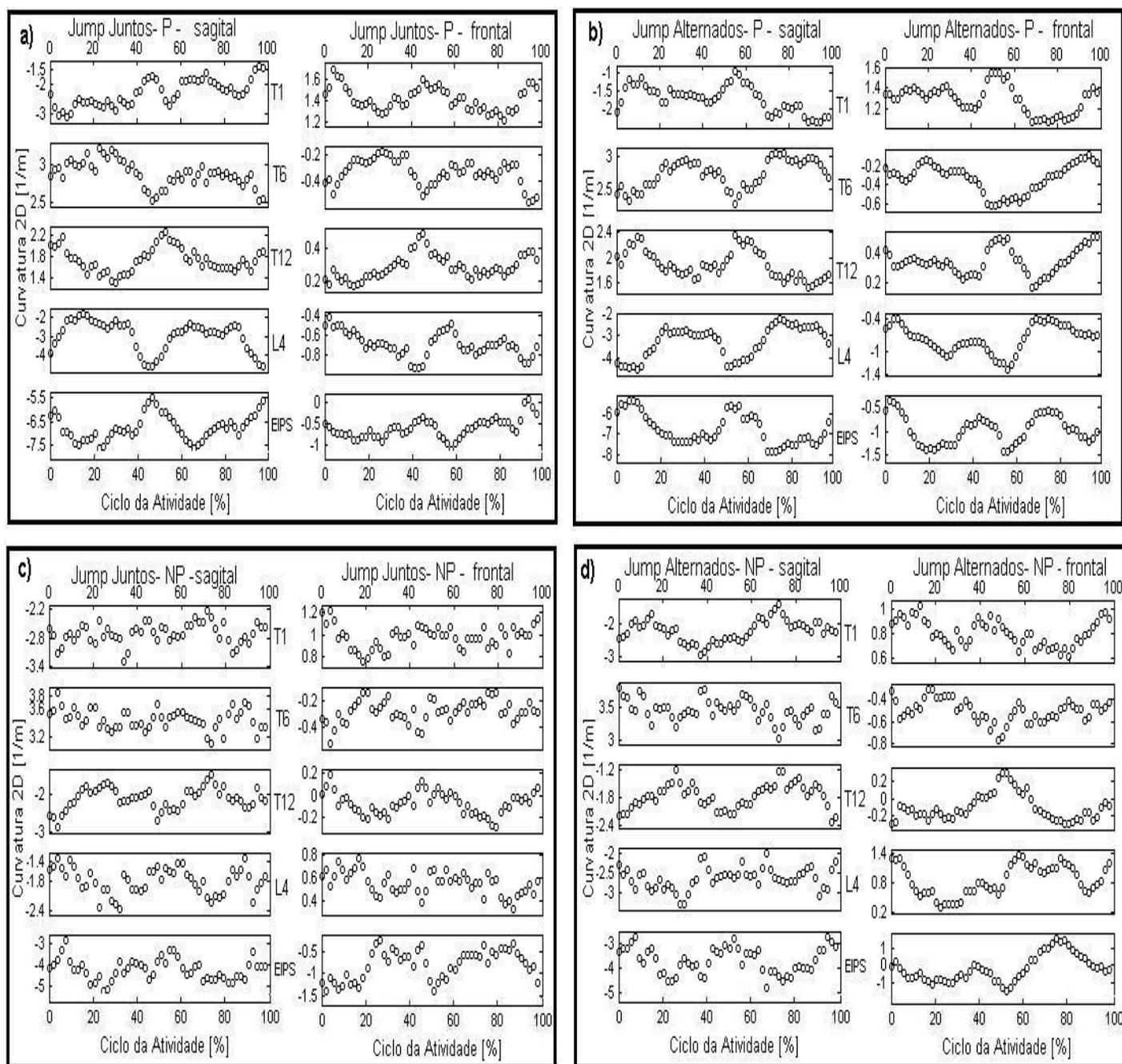
Figura 27 – Representação das curvaturas sagital e frontal, no exercício do *jump fit* realizado pela voluntária 'P' com os pés juntos (a) e com os pés alternados (b), e pela voluntária 'NP' com os pés juntos (c) e com os pés alternados (d).

No exercício do *jump fit*, no plano sagital, as variações de curvatura são semelhantes entre si. Encontramos uma pequena diferença nas regiões de T1 e de L4 (ver tabelas 2 e 3).

No plano frontal, as maiores variações de curvatura ocorrem também nas EIPS e em L4, para o *jump fit* alternando os pés, chegando a variar 120% a mais do que com os pés juntos na região de L4 para a voluntária 'NP' e 80% a mais para a voluntária 'P'; e 180% a mais na região das EIPS para a voluntária 'NP'. Esta diferença é explicada pelos movimentos alternados dos membros inferiores.

Ainda no plano frontal, para a voluntária 'P', as menores variações de curvatura em todas as regiões da coluna vertebral, dentre todas as atividades estudadas aparecem no exercício do *jump fit* (tabela 2), em especial no realizado com os pés juntos, pois o deslocamento lateral do corpo nesta atividade é reduzido.

Na figura 28, estão demonstrados os gráficos para o *jump fit* das curvaturas 2D nos planos de projeção sagital e frontal, no decorrer do ciclo padrão nos pontos anatômicos de interesse, permitindo a identificação dos momentos em que ocorrem os picos e as mudanças bruscas de curvatura.



**Figura 28 – Curvaturas sagital e frontal durante o ciclo padrão nos pontos anômicos T1, T6, T12, L4 e EIPS, de cima para baixo, respectivamente. Atividade do *jump fit* realizada pela voluntária ‘P’ com os pés juntos (a) e com os pés alternados (b); atividade realizada pela voluntária ‘NP’ com os pés juntos (c) e com os pés alternados (d).**

No plano sagital, o exercício do *jump fit* realizado nas duas formas, apresenta o 1º evento (menor distância na coordenada z) como o principal responsável pelos picos de curvatura, para as duas voluntárias. Para a voluntária 'P', o 5º evento, que é uma repetição do 1º evento, provoca estes picos; enquanto para a voluntária 'NP', também é o 3º evento, o qual corresponde à maior distância na coordenada z (maior distância atingida durante o primeiro pulo).

No plano frontal, o 1º, o 5º e o 8º evento são os responsáveis pelos picos de curvatura nas duas formas de execução, para as duas voluntárias. Estes eventos representam os momentos em que as voluntárias estão na menor distância na coordenada z, quando há maior deformação da cama elástica, e está havendo a aplicação de força dos membros inferiores para subir.

Nestes mesmos momentos citados são observadas mudanças bruscas de curvatura nos dois planos de projeção, principalmente nas regiões lombar e lombo-sacra.

### **5.3.5. ESTEIRA ERGOMÉTRICA**

No caso da marcha na esteira ergométrica, as curvaturas 2D apresentadas na figura 29, permitem a análise do comportamento da coluna vertebral nesta atividade. Suas características estão descritas a seguir.

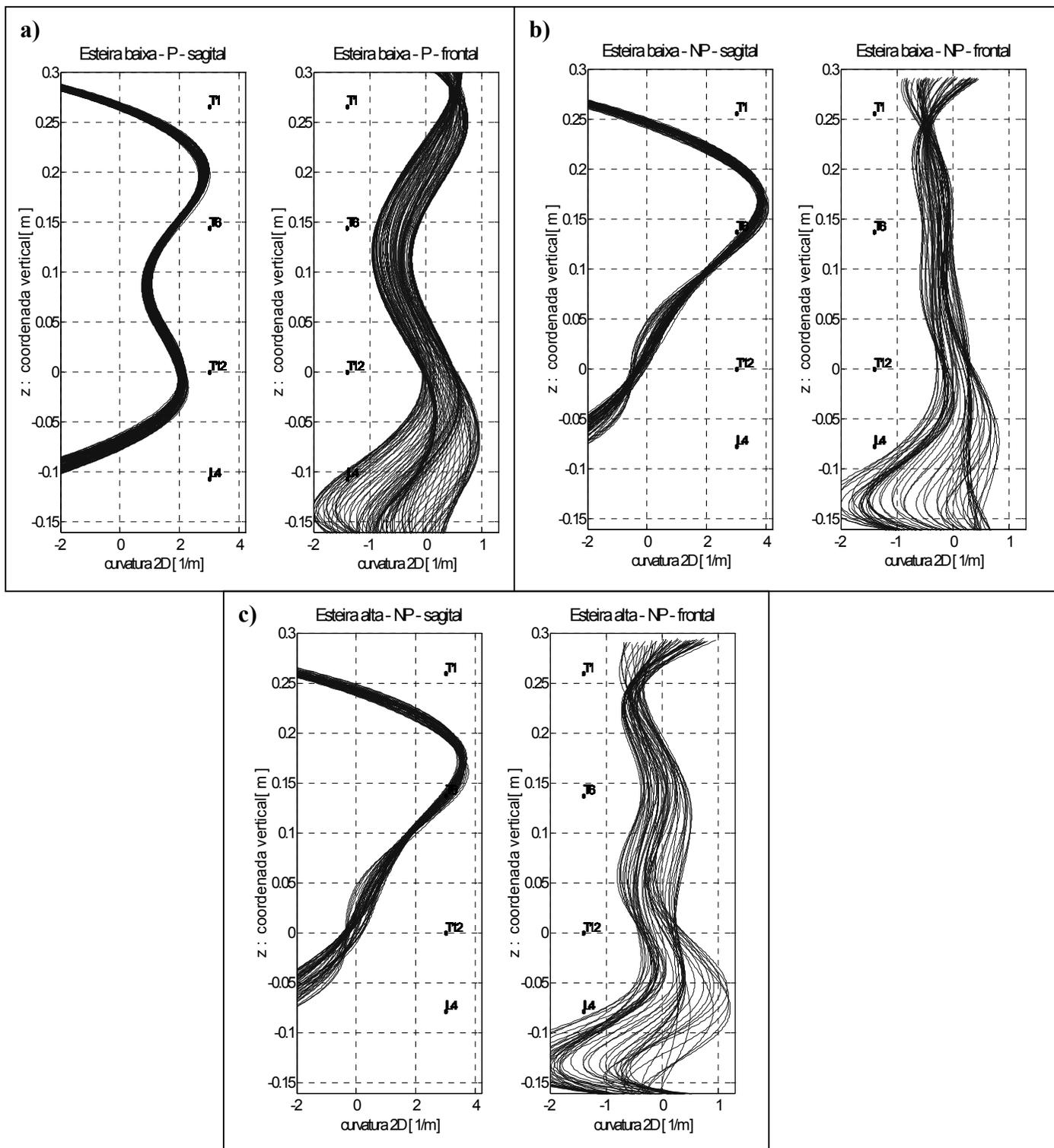
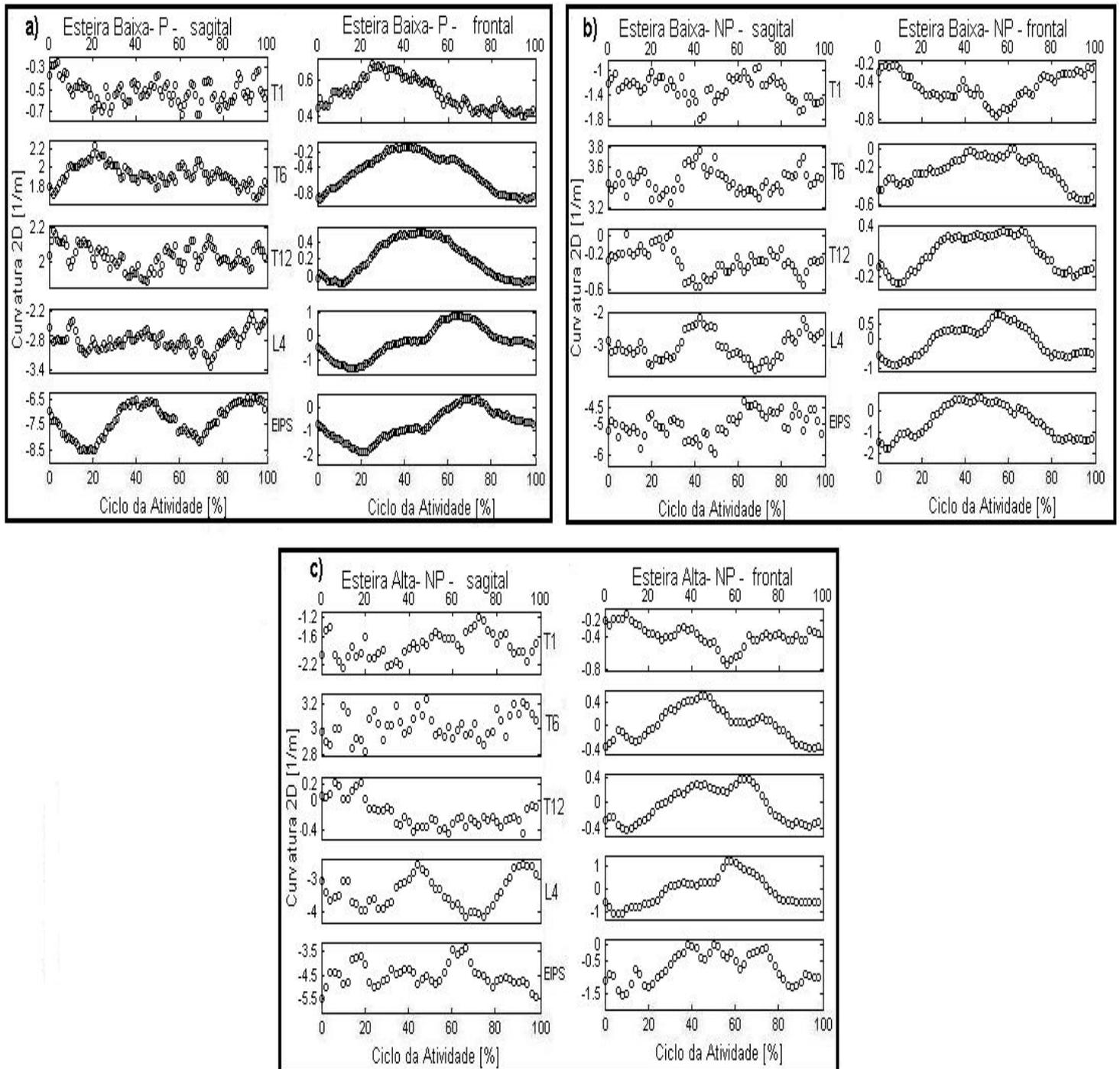


Figura 29 – Representação das curvaturas sagital e frontal, na marcha na esteira realizada pela voluntária ‘P’ com velocidade baixa (a), e pela voluntária ‘NP’ com velocidade baixa (b) e com velocidade alta (c).

No plano sagital, para as duas voluntárias, as menores variações de curvatura acontecem na região torácica alta, e as maiores, na região lombo-sacra. Nas regiões de T1 e T12, os valores são os menores encontrados dentre todas as atividades estudadas (tabelas 2 e 3). Para a voluntária 'NP', que realizou a atividade com velocidade mais baixa e velocidade mais alta, neste plano, não houve diferença considerável entre as variações de curvatura comparando as duas formas de execução.

No plano frontal, as maiores variações de curvatura ocorrem nas regiões lombar e lombo-sacra para a voluntária 'P'. Comparando as duas formas de execução da voluntária 'NP', a maior diferença ocorreu na região de T6, em que a marcha na esteira com velocidade mais alta teve 80% a mais de variação do que quando realizada com a velocidade mais baixa.

Os gráficos a seguir (figura 30) representam as curvaturas 2D nos planos de projeção sagital e frontal, no decorrer do ciclo padrão nos pontos anatômicos de interesse, permitindo a identificação dos momentos em que ocorrem os picos e as mudanças bruscas de curvatura para a marcha realizada na esteira ergométrica.



**Figura 30 – Curvaturas sagital e frontal durante o ciclo padrão nos pontos anatômicos T1, T6, T12, L4 e EIPS, de cima para baixo, respectivamente. Atividade da marcha na esteira realizada pela voluntária ‘P’ com velocidade mais baixa (a), e pela voluntária ‘NP’ com velocidade mais baixa (b) e com velocidade mais alta (c).**

Na marcha na esteira, no plano sagital, as fases do toque de um dos pés no chão e de duplo apoio, quando aumenta a lordose lombar, provocam os maiores valores de curvatura, para as duas voluntárias.

No plano frontal, os momentos de toque de um dos pés no chão (1° e 5°) e de balanço (8°), durante a marcha, causam os maiores picos de curvatura, nas regiões torácica, lombar e lombo-sacra, para as duas voluntárias. Entretanto, enquanto a voluntária 'NP' tem estes picos no início destas fases (1° e 5° evento), para a voluntária 'P' é notado um atraso, ocorrendo no início dos eventos subseqüentes (2° e 6°).

As mudanças bruscas de curvatura ocorrem principalmente no plano sagital. Podemos destacar neste plano o 3° evento, que corresponde à perda de contato do pé direito do chão, onde ocorre um aumento da lordose lombar, para a voluntária 'P', na região lombo-sacra. No plano frontal, encontramos, também nesta região, para a voluntária 'NP', mudança brusca de curvatura durante o 7° evento, o qual corresponde ao 3° evento, porém com o pé esquerdo.

#### **5.4. Comparação dos Picos e das Variações de Curvatura entre as Atividades**

Ao compararmos todas as atividades entre si, percebemos que, para as duas voluntárias, no plano sagital, as maiores variações de curvatura são encontradas nos exercícios de pular corda.

Salientamos que, na região cervico-torácica, o pular corda, nas suas duas formas de execução, resultou em valores muito acima da média. O pular corda com os pés juntos chega a ter uma variação de curvatura 110% a mais do que no pular com os pés alternados nesta região, para a voluntária 'P', demonstrando que a mesma realiza uma compensação com a cabeça e coluna cervical para realizar a atividade. Para a voluntária 'NP', é apenas

10% a mais. Para as duas variações da atividade, é realizada uma movimentação da cabeça e dos membros superiores movendo a corda, que não ocorre nas demais atividades.

As menores variações de curvatura, ainda no plano sagital, ocorrem na marcha na esteira e no pedalar na bicicleta ergométrica (tabelas 2 e 3). No exercício da bicicleta, o tronco tem pouca movimentação antero-posterior, pois o quadril está fixo no banco, e as mãos segurando no guidão, fazendo com que esta movimentação do tronco dependa em grande parte da posição dos membros superiores.

No plano frontal, os maiores valores das variações ocorrem principalmente durante o pedalar na bicicleta ergométrica, o pular corda e o exercício do *step*. Ou seja, nas atividades que têm assimetria no posicionamento dos membros inferiores neste plano.

Ainda no plano frontal, as menores variações de curvatura em todas as regiões da coluna vertebral aparecem no exercício do *jump fit*, para as duas voluntárias, em especial no realizado com os pés juntos, pois o deslocamento lateral do corpo nesta atividade é reduzido.

Com relação aos picos de curvatura, notamos que, no plano sagital, os menores valores na região cervico-torácica ocorrem na bicicleta ergométrica, e os maiores no exercício de pular corda e do *step*. Já os picos máximos na região lombo-sacra estão relacionados à esteira e ao pular corda, enquanto os menores estão relacionados à bicicleta ergométrica.

No plano frontal, na região cervico-torácica, para as duas voluntárias, os menores valores de pico de curvatura ocorre na marcha na esteira, enquanto os maiores valores ocorrem no pular corda.

Na região lombar, os menores picos de curvatura no plano frontal ocorrem nos exercícios do *step* alternando o pé que inicia o movimento, no *jump fit*, realizado com os pés juntos e na esteira. Mais uma vez o pular corda alternando os pés, seguido do pular corda com os pés juntos é o responsável pelos maiores valores de pico de curvatura nesta região, para a voluntária 'P', enquanto para 'NP', estes ocorrem com maior valor no exercício do *step* alternando o pé que inicia o movimento.

## CONCLUSÃO

---

Este estudo permitiu uma adaptação eficiente da metodologia ao estudo da cinemática da coluna vertebral durante as atividades de pedalar na bicicleta ergométrica, do *step*, do pular corda, do *jump fit* e da marcha na esteira ergométrica.

Foram detectadas e quantificadas características como as variações, os picos e as mudanças bruscas das curvaturas da coluna vertebral durante a prática das atividades. Além da quantificação das curvaturas, possibilitou a identificação dos momentos de aparecimento dessas características e localização da região da coluna onde ocorrem.

Com estas informações, foi possível identificar nas atividades estudadas quais movimentos interferem mais em determinadas regiões da coluna vertebral, o que possibilita a indicação de mudanças nestes movimentos ou mesmo o aconselhamento de evitar a prática do exercício, de acordo com as características e necessidades do praticante.

Os resultados apontaram que atividades como o *jump fit* provocam menos adaptações nas curvaturas da coluna vertebral do que as demais atividades, enquanto pular corda, seguido pelo *step*, entre as atividades estudadas, são as de maiores picos e variações de curvatura, principalmente nas regiões cervical e lombar. A atividade de pedalar na bicicleta ergométrica é a que apresenta o ciclo mais contínuo, com as menores mudanças bruscas de curvatura. A marcha na esteira apresenta as menores variações de curvatura no plano sagital. No plano frontal, os valores são próximos da média das atividades.

De um modo geral, as menores variações de curvatura ocorrem na região torácica, entre os processos espinhosos de T6 e T12, para ambos os planos de projeção, em todas as atividades estudadas. As regiões dos processos espinhosos de T1 e L4, e região lombo-

sacra sofrem maiores interferências da movimentação dos membros superiores e inferiores, por isto possuem variações maiores.

Em todas as atividades, os picos de curvatura ocorrem, em geral, nos momentos em que há maior aplicação de força, havendo uma compensação, principalmente da coluna lombar, aparentemente para manter o equilíbrio e estabilidade da coluna. Movimentos de rotação do tronco e alternância dos membros inferiores e/ou superiores também influenciam no aparecimento dos picos de curvatura.

Os maiores picos e variações de curvatura que ocorrem no plano frontal, para a região lombar são aquelas que alternam o posicionamento dos membros inferiores, estando um à frente do outro, em determinados momentos do ciclo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

ABDEL-AZIZ Y.I., KARARA H.M. **Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates.** Proc. ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry, 1971.

ALDABE, D.; RIBEIRO, J.; SOARES, D.; OLIVEIRA, A. R; LOSS, J. F. **Aspectos biomecânicos e fisiológicos do jumpfit®.** Anais X Congresso Brasileiro de Biomecânica, Vol. 1, p. 311-314, 2003.

ATWATER, W. O. & BENEDICT, F. G. **Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body.** US Dpt Agr. Office of experiment stations, 136, 1903.

BARRETO, S. M. G. **Estabilidade na organização temporal relativa do pular corda.** [dissertação] Rio Claro: UNESP, 2000.

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

BEVINGTON, P. R. **Data reduction and error analysis for the physical sciences.** McGraw-Hill, New York, 1969.

BRENZIKOFER, R.; DEPRÁ, P. P.; LIMA FILHO, E. C.; BARROS, R. M. L. **Quantificação das curvaturas da coluna vertebral durante a marcha.** Anais IX Congresso Brasileiro de Biomecânica, p. 230-235, 2001.

BRENZIKOFER, R.; BARROS, R. M. L.; LIMA FILHO, E. C.; TOMA, E.; BORDINI, L. S. **Alterações no dorso e coluna vertebral durante a marcha.** Revista Brasileira de Biomecânica, p. 21-26, 2000.

BROUHA, L. **The step test: A simple method of measuring physical fitness for muscular work in young men.** Research Quarterly, 14, p. 31-36, 1943.

CONTI, C. **Planilha de informações *jumpfit*.** São Paulo, 2002.

CROSBIE, J.; VACHALATHITI, R.; SMITH, R. **Patterns of spinal motion during walking.** Gait & Posture, 5, p. 6 – 12, 1997.

CULPEPPER, M. I.; FRANCIS, K. T. **An anatomical model to determine step height in step testing for estimating aerobic capacity.** J. Theor. Biol., 129, p. 1-8, 1987.

DEPRÁ, P. P.; BRENZIKOFER, R. **Detecção de picos de curvatura da coluna vertebral durante a corrida.** Anais X Congresso Brasileiro de Biomecânica, Vol. 2, p. 123-127, 2003.

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

FLEISCH, A. Pflügers Arch. Physiol., 212, 81, 1936.

GARRETT, L.; SABIE M.; PANGLE, R. **Four approaches to increasing cardiovascular fitness during volleyball instruction.** Research Quart., 36(4), p. 496-9, 1965.

GREGOR, R. J.; KOMI, P. V.; BROWNING, R. C.; JARVINEN, M. **A comparison of**

**the triceps surae and residual muscle moments at the ankle during cycling.** J. Biomechanics, 24(5), p. 287-297, 1991.

HOLZER, W. & KALINKA, N. *Arbeitsphysiologie*, 9, p. 778, 1936.

HOPPENFELD, STANLEY. **Propedêutica ortopédica – coluna e extremidades.** Livraria Atheneu, Rio de Janeiro, 1993.

HULL, M. L.; ANDREW BEARD; HEMANT, VARMA. **Goniometric measurement of hip motion in cycling while standing.** J. Biomechanics, 23, p. 687-703, 1990.

HULL, M. L.; JORGE, M. **A method for biomechanical analysis of bicycle pedalling.** J. Biomechanics, 18, p. 631-644, 1985.

LANG, S. **Cálculo.** Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, v. 2, 1970.

MADERS, A.; ZARO, M.A. **Desenvolvimento de plataforma para medição de força, em duas direções, da pedalada.** Anais VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, p. 397-400, 1999.

MALTA, PAULO. **STEP – Aeróbico e Localizado.** Editora SPRINT Ltda, Rio de Janeiro, 1994.

MELLEROWICZ, H.& SMODLAKA, V. N. **Ergometry – Basics of Medical Exercise Testing.** Urban & Schwarzenberg . Baltimore – Munich, 1981.

MESTDAGH, K. DE VEY. **Personal perspective: in search of an optimum cycling posture.** Applied ergonomics, 29(5), p. 325-334, 1998.

SCHIEHLL, P. E.; LOSS, J. F. **Impacto no jumpfit®.** Anais X Congresso Brasileiro de

Biomecânica, Vol. 1, p. 307-310, 2003.

THURSTON, A. J.; HARRIS, JD. **Normal kinematics of the lumbar spine and pelvis.** Spine, 8(2) p.199-205, 1983.

THURSTON, A. J. **Spinal and pelvic kinematics in osteoarthritis of the hip joint.** Spine, 10(5) p.467-71, 1985.

TOWN, GLENN P.; SOL, N.; SINNING, W.E. **The effect of rope skipping rate on energy expenditure of males and females.** Medicine and Science in Sports and Exercise, 12 (4), p. 295-298, 1980.

WHITTLE, M. W.; LEVINE, D. **Three-dimensional relationships between the movements of the pelvis and lumbar spine during normal gait.** Human Movement Science, 18, p.681-692, 1999.

WIECZOREK, S. A.; DUARTE, M.; AMADIO, A. C. **Avaliação da força reação do solo no movimento básico do *step*.** Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica, Campinas. p. 109-114, 1997.

## **ANEXOS**

---

Constam nos anexos os modelos do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e da Ficha de Identificação e de Avaliação Física e Antropométrica.



A identificação tem como objetivo obter meus dados pessoais (nome, idade, data de nascimento). Na avaliação antropométrica serão medidas: a estatura, a massa corporal e, os comprimentos e circunferências corporais.

Estou ciente de que poderei interromper o teste em qualquer momento, sem qualquer justificativa.

Os benefícios que obterei participando como voluntário do projeto mencionado inclui uma avaliação da minha condição física geral.

Estou ciente ainda, de que, as informações obtidas durante as avaliações laboratoriais serão mantidas em sigilo e, não poderão ser consultadas por pessoas leigas, sem a minha devida autorização. As informações assim obtidas, no entanto, poderão ser usadas para fins de pesquisa científica, inclusive para publicação, desde que minha privacidade seja sempre resguardada, contribuindo assim para o alcance dos objetivos deste trabalho de tese de mestrado.

Li e entendi as informações precedentes, bem como, eu e os responsáveis pelo projeto já discutimos todos os riscos e benefícios decorrentes destas. Estou ciente também que as dúvidas sobre metodologia, poderão ser esclarecidas, antes e durante o curso da pesquisa.

---

**Voluntário**

---

**Daniela Saldanha Wittig  
Pós-graduanda**

---

**Prof. Dr. René Brenzikofer  
Orientador**

**Os responsáveis pelo projeto podem ser encontrados nos telefones  
(19)3788-6626 e (19) 9157-7078 – Laboratório de Biomecânica da FEF/UNICAMP.  
Reclamações ou dúvidas sobre os aspectos éticos  
CONEP – Comitê de Ética. Fone: (19) 3788-8936 ou 3788-8925**

## ANEXO 2 – Ficha de Identificação e de Avaliação Física e Antropométrica

### LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA BIOMECÂNICA FEF - UNICAMP

IDENTIFICAÇÃO		
NOME:		
IDADE:	DATA NASCIMENTO:	/ / 19
ENDEREÇO:		
CIDADE:	ESTADO:	CEP:
FONE: ( )	CELULAR: ( )	
E-MAIL:		

AVALIAÇÃO FÍSICA E ANTROPOMÉTRICA	
ESTATURA:	[cm]
MASSA CORPÓREA:	[kg]
PRESSÃO ARTERIAL:	[mmHg]
OUTROS COMENTÁRIOS:	

DATA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 2003.