

UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2002



1110000502



***"Análise de Uma Prótese de Joelho,
Durante a Marcha Humana"***

ALVARO HENRIQUE PEREIRA

189



ALVARO HENRIQUE PEREIRA

ANÁLISE DE UMA PRÓTESE DE JOELHO DURANTE A MARCHA
HUMANA

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mecânica na área de Projetos e
Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias

00502

502

Guaratinguetá
2002

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

P436 **Pereira , Alvaro Henrique**
Análise de uma prótese de joelho durante a marcha humana /
Alvaro Henrique Pereira – Guaratinguetá : [s.n.], 2002
212f.: il.

Bibliografia: f.98
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá, 2002
Orientador: Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias

1. Biomecânica 2. Prótese de joelho. I. Título

CDU 612.766

**“ANÁLISE DE UMA PRÓTESE DE JOELHO,
DURANTE A MARCHA HUMANA”**

ALVARO HENRIQUE PEREIRA

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Prof. Dr. José Luz Silveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS
Orientador / Unesp-Feg



Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI
Unesp-Feg



Prof. Dr. JOSÉ GLENIO MEDEIROS DE BARROS
UERJ

Dezembro de 2002

DADOS CURRICULARES

ALVARO HENRIQUE PEREIRA

NASCIMENTO	03.06.1956 – RIO DE JANEIRO / RJ
FILIAÇÃO	Alvacy Caiado Pereira Zulma Henrique de Faria Pereira
1974/1978	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia Mecânica – UFRJ
2000/2002	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da UNESP



DEDICATÓRIA

À minha esposa Elizabeth e a minha filha Fabiana
Aos meus queridos pais Alvacy (In memorian) e Zulma
Aos meus irmãos Antônio Carlos e Olympio
A toda minha família
E a todos os meus amigos pela eterna amizade

AGRADECIMENTOS

Ao professor Doutor Mauro Hugo Mathias, meu orientador, pela sua efetiva orientação e dedicação para a conclusão e participação na escolha desse trabalho, dos ensinamentos transmitidos em sala de aula e da sua cordialidade e atenção.

Ao professor Doutor Tamotsu Hirata, co-orientador, pelo seu incentivo ao desenvolvimento dessa tese na área de biomecânica e do privilégio de tê-lo como professor em duas disciplinas.

Aos professores Doutores Victor Orlando Gamarra Rosado, Araújo Lima da Silva, José Elias Tomazini e Julio Santana Antunes pelos ensinamentos.

Aos colegas do DME Rose, Lúcia, Urbano, Quirino, Sávio, Pedro e Valter pela fraterna acolhida durante a execução dessa tese.

Às funcionárias da secretaria de pós-graduação Elisa, Regina e Maria Auxiliadora pela cordialidade e principalmente pela paciência.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo no período de junho de 2001 a junho de 2002.

Aos colegas do corpo técnico da AACD: Eduardo Inglez Yamanaka, Eduardo Miranda Dias, Luiz Antônio Mergulhão, Milton Seigui e Paulo Marcos de Aguiar pela inestimável ajuda e suporte técnico, sem os quais não seria possível a realização dessa tese.

PEREIRA, A. H. *Análise de uma prótese de joelho durante a marcha humana*. 2002. 212f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

RESUMO

Este trabalho analisa uma prótese de joelho, que foi desenvolvida pela Associação de Amparo à Criança Deficiente (AACD) em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) ambas instituições em São Paulo / SP. Na primeira parte do trabalho foi feita uma avaliação através de modelos matemáticos de uma marcha de uma pessoa não amputada, que é o padrão a ser alcançado. Na sequência foi feita uma avaliação, também através de modelos matemáticos, de uma pessoa com amputação acima do joelho utilizando essa prótese. Com isso foi obtido as curvas de torques no quadril durante o ciclo da marcha para as duas situações (amputado e não amputado), e as forças e torques necessários na prótese de joelho para uma caminhada similar a uma pessoa não amputada. Com esses dados pode-se verificar o torque a ser dado no quadril pelo usuário da prótese; se os componentes estão adequados para resistir aos esforços atuantes, e determinar a posição e o tipo de dispositivo para travamento do joelho (mola) mais adequado, possibilitando assim, uma prótese de melhor performance para o usuário.

Neste trabalho, os movimentos dos membros inferiores assim como suas velocidades e acelerações, foram colocados em forma de equações harmônicas, para permitir simulações e proporcionar um banco de dados para a marcha humana.

PALAVRAS-CHAVE: Marcha humana, biomecânica, prótese de joelho.



PEREIRA, A. H. *Analisis of the prosthetic knee, during walking*. 2002. 212f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of a knee prosthesis that has been developed by the Associação de Amparo a Criança Deficiente (AACD) in partnership with the Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), being both institutions located in the city of São Paulo, São Paulo state. The first part of the herein paper presents an evaluation, by means of mathematical models, of a non amputee human gait, which is the standard to be reached. The second one presents, also by means of mathematical model, the assessment of a person who had undergone an amputation above the knee and makes use of the mentioned prosthesis. In this way, it was possible to determine the torque curves on the hip, during the human gait cycle, of both situations (amputee and non-amputee), as well as the necessary torque and forces demanded from a knee prosthesis for a walking similar to the one developed by a non-amputee person. By analyzing this data one can verify the torque to be applied on the hip by the prosthesis user; determine whether the components are adequate to bear the actuating efforts as well as determine the appropriate knee locking device (spring) position and type. Therefore, allowing for a prosthesis of ultimate performance for the user.

On this paper, the lower limbs movement as well as their speeds and accelerations, have been considered in terms of harmonic equations, aiming at allowing room for simulations and establishing a data base for the human gait.

KEY-WORDS: Human gait, bio-mechanic, knee prosthesis

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE PROGRAMAS

LISTA DE PROCEDIMENTOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1.2	MARCHA HUMANA	18
1.3	ETAPAS DA MARCHA	20
1.4	PRÓTESE DE JOELHO ANALISADA	22
1.5	OBJETIVOS	23
1.6	METODOLOGIA UTILIZADA	24
2	PRÓTESE DE JOELHO	26
2.1	CONSIDERAÇÕES	26
2.2	ARTICULAÇÃO DO JOELHO	25
2.3	BIOMECÂNICA DA PRÓTESE	31
2.4	PRÓTESE DE JOELHO COM UNIÃO DE 4 BARRAS	33
2.4.1	Joelho de eixo simples	33
2.4.2	Joelhos de 4 barras	34
2.4.2.1	Joelho de 4 barras com centro instantâneo elevado	36
2.4.2.2	Joelho de 4 barras hiper-estabilizado	37
2.4.2.3	Joelho de 4 barras de controle voluntário	39
3	DADOS DE MARCHA PARA NÃO AMPUTADO	41
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	41
3.2	DADOS DE MARCHA	41
3.3	AJUSTES DE CURVAS	44

3.3.1	Tronco-cabeça-braços	46
3.3.2	Coxa	50
3.3.3	Perna	51
3.3.4	Pé	53
3.4	FORÇAS E TORQUES ATUANTES NOS MEMBROS	55
3.4.1	Ajustes das forças horizontais e verticais	58
3.4.2	Forças e torques atuantes no pé	60
3.4.3	Forças e torques atuantes na perna	61
3.4.4	Forças e torques atuantes na coxa	62
3.4.5	Determinação das forças e torques nas extremidades dos membros	63
4	MODELO MATEMÁTICO DE MARCHA P/ AMPUTADO	68
4.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	68
4.2	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	70
4.2.1	Posições do c.g. da parte inferior em relação ao referencial local	72
4.2.2	Valor de cada componente	74
4.2.3	Velocidades do c.g. da parte inferior em relação ao referencial fixo ...	77
4.2.4	Acelerações do c.g. da parte inferior em relação ao referencial fixo ...	77
4.2.5	Determinação das forças e torques atuantes na parte inferior	78
4.2.5.1	Considerações	78
4.2.5.2	Determinação dos ângulos dos referenciais locais 2 e 3	79
4.2.6	Forças e torques atuantes na prótese	84
4.2.7	Forças e torques atuantes na coxa	87
4.2.8	Resultados	88
5	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS	98
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	100
	ANEXO A - Tabelas	102
	ANEXO B - Gráficos	131
	ANEXO C - Programas	144
	ANEXO D – Procedimentos para ajustes de curvas	207

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Planos de marcha	19
FIGURA 2 – Ciclo típico da marcha normal	21
FIGURA 3 – Ciclo da marcha, períodos e fases	22
FIGURA 4 – Prótese de joelho – AACD /SENAI	23
FIGURA 5 – Joelho humano – vista frontal	27
FIGURA 6 – Joelho humano – vista lateral	28
FIGURA 7 – Centro instantâneo de rotação do joelho	28
FIGURA 8 – Rotação no plano sagital do joelho	29
FIGURA 9 – Extensão isométrica do joelho – homens jovens	31
FIGURA 10 – Flexão isométrica do joelho – homens jovens	31
FIGURA 11 – Forças atuantes no coto – fase de apoio	32
FIGURA 12 – Prótese de joelho de eixo simples	34
FIGURA 13 – Prótese de joelho de 4 barras – centro instantâneo elevado	35
FIGURA 14 – Centros instantâneos de rotação	36
FIGURA 15 – Prótese de joelho de 4 barras – hiper-estabilizado	38
FIGURA 16 – Prótese de joelho de 4 barras – controle voluntário	39
FIGURA 17 – Diagrama de posições x, y e teta da coxa	43
FIGURA 18 – Diagrama de corpo livre para não amputado	56
FIGURA 19 – Forças de reação do solo – amputado transfemural	57
FIGURA 20 – Posicionamento de marcadores	61
FIGURA 21 – Forças nos membros inferiores - não amputado	64
FIGURA 22 – Momentos nos membros inferiores - não amputado	65
FIGURA 23 – Forças nos membros inferiores /Kg - não amputado	66
FIGURA 24 – Momentos nos membros inferiores /Kg - não amputado	67
FIGURA 25 – Inclinação do pé e do joelho – lado são e lado amputado	69
FIGURA 26 – Modelo físico – lado amputado	71
FIGURA 27 – Modelo antropométrico do membro inferior amputado – Referenciais locais e global	72
FIGURA 28 – Posição do cg da prótese no Referencial 3	72

FIGURA 29 – Modelo matemático – Referencial 2 e 3	73
FIGURA 30 – Prótese de joelho AACD /SENAI	78
FIGURA 31 – Prótese de joelho AACD /SENAI - Centros instantâneos	80
FIGURA 32 – Referenciais da prótese AACD /SENAI	81
FIGURA 33 – Diagrama dos centros instantâneos da prótese.....	83
FIGURA 34 – Diagrama de corpo livre com prótese	86
FIGURA 35 – Forças no quadril - lado amputado	88
FIGURA 36 – Momentos no quadril - lado amputado	89
FIGURA 37 – Momentos no quadril, prótese de joelho e prótese de pé – lado amputado.....	90
FIGURA 38 – Posição do centro instantâneo em relação a linha de reação do solo	91
FIGURA 39 – Inclinação do centro instantâneo e da linha de reação do solo – lado amputado.....	92
FIGURA 40 – Braço de momento da linha de reação do solo em relação ao centro instantâneo	93
FIGURA 41 – Posição da parte inferior da falange da prótese de pé.....	94
FIGURA 42 – Ângulo da haste anterior da prótese x Momento na prótese.....	95

LISTA DE TABELAS

ANEXO A

TABELA 1 – Marcha humana - Dados do tronco/cabeça/braços	103
TABELA 2 – Marcha humana - Dados modificados do tronco/cabeça/braços	105
TABELA 3 – Marcha humana - Dados da coxa	107
TABELA 4 – Marcha humana - Dados modificados da coxa	109
TABELA 5 – Marcha humana - Dados da perna.....	111
TABELA 6 – Marcha humana - Dados modificados da perna.....	113
TABELA 7 – Marcha humana - Dados do pé.....	115
TABELA 8 – Marcha humana - Dados modificados do pé.....	117
TABELA 9 – Marcha humana – Forças de reação do solo	119
TABELA 10 - Marcha humana – Forças modificadas de reação do solo	121
TABELA 11 - Marcha humana – Coordenadas dos pontos com marcadores.....	123
TABELA 12 - Marcha humana – Coord. mod. dos pontos com marcadores.....	127

LISTA DE GRÁFICOS

ANEXO B

GRÁFICO 1 – Marcha humana: Cg dos membros – Elev. (y) x desloc. (x).....	132
GRÁFICO 2 – Marcha humana: Cg dos membros – velocidade (x) x tempo	133
GRÁFICO 3 – Marcha humana: Cg dos membros – velocidade (y) x tempo	134
GRÁFICO 4 – Marcha humana: Cg dos membros – aceleração (x) x tempo	135
GRÁFICO 5 – Marcha humana: Cg dos membros – aceleração (y) x tempo	136
GRÁFICO 6 – Marcha humana: Cg dos membros – inclinação x desloc. (x).....	137
GRÁFICO 7 – Marcha humana: Cg dos membros – inclinação x tempo	138
GRÁFICO 8 – Marcha humana: Cg dos membros – vel. angular x tempo.....	139
GRÁFICO 9 – Marcha humana: Cg dos membros – acel. angular x tempo	140
GRÁFICO 10 - Marcha humana: Cg dos membros – elevação (y) x tempo.....	141
GRÁFICO 11 - Marcha humana: Cg dos membros – deslocamento (x) x tempo .	142
GRÁFICO 12 - Marcha humana: Reações do solo	143

LISTA DE PROGRAMAS

ANEXO C

PROGRAMA 1 – Ajuste de curva dos cg dos membros – posição (y).....	145
PROGRAMA 2 – Ajuste de curva dos cg dos membros – ângulo de inclinação ..	151
PROGRAMA 3 – Ajuste de curva dos cg dos membros – posição (x).....	157
PROGRAMA 4 – Transformada de vetor Excel x Matlab – programas 1 a 3.....	163
PROGRAMA 5 – Ajuste de curva das reações do solo.....	164
PROGRAMA 6 – Transformada de vetor Excel x Matlab – programa 5	167
PROGRAMA 7 – Determinação de forças e torques atuantes nos membros inferiores	168
PROGRAMA 8 – Transformada de vetor Excel x Matlab – programa 7	177
PROGRAMA 9 – Ajuste de curva da junta do quadril – posição (y).....	179
PROGRAMA 10 - Transformada de vetor Excel x Matlab – programas 9 e 11.....	183
PROGRAMA 11 - Ajuste de curva da junta do quadril – posição (x)	184
PROGRAMA 12 - Lado da prótese: Determinação de forças e torques	189

LISTA DE PROCEDIMENTOS PARA AJUSTES DE CURVAS

ANEXO D

PROCEDIMENTO 1 – Para ajuste de curva das posições x , y e θ	208
PROCEDIMENTO 2 – Para ajuste de curva das reações do solo	210
PROCEDIMENTO 3 – Para cálculo de forças e torques.....	211



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AACD - Associação de Amparo à Criança Deficiente
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
C.G. - Centro de gravidade

LISTA DE SÍMBOLOS

a	aceleração linear	m/s^2
d	distância	m
F	força	N
g	aceleração gravitacional	m/s^2
I	momento de inércia	$Kg*m^2$
m	massa	Kg
M	momento ou torque	$N*m$
t	tempo	s
w	frequência	rad/s
x	posição horizontal dos membros	m
y	posição vertical dos membros	m
α	aceleração angular	Rad/s^2

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nessa fantástica máquina humana, além da criação divina, têm-se milhões de anos de evolução natural da espécie.

Nesse contexto, qualquer mutilação sofrida ou uma patologia onde haja necessidade de utilização de uma prótese, é claro, ter-se-á uma enorme diferença para um organismo saudável.

Os estudos de biomecânica permitem uma análise com parâmetros técnicos para desenvolvimento de próteses, tendo sempre como parâmetro um indivíduo sã.

Dessa forma, dados são coletados para uma situação de uma pessoa sã, para que os mesmos sirvam como base para um comparativo para uma situação de uma pessoa que utilize prótese.

Para avaliação dinâmica e cinemática da prótese de joelho, foi utilizado como movimento de interesse a marcha humana, pois voltar a caminhar é a necessidade básica do indivíduo após a amputação transfemural.

1.2 MARCHA HUMANA

A locomoção bípede é uma característica humana para possibilitar que uma pessoa se movimente de uma posição geométrica para outra, em vários tipos de pisos, inclinações e direções.

Cada indivíduo tem a sua forma de marcha, cada um de nós tem uma característica própria de andar, tanto é, que se reconhece muitas vezes, mesmo estando longe, uma pessoa pela maneira peculiar do seu andar.

Mesmo esse andar individual, altera-se e muito em função do estado emocional da pessoa (deprimida / feliz / pensativa / ...), do seu estado físico e da sua idade.



A marcha é um movimento sincronizado e com ciclos (passos) praticamente repetitivos dos membros de nosso corpo. Através de nossos sistemas neuromusculares, os músculos são comandados para distensão ou contração, e através dos tendões movimentam as articulações (joelhos, tornozelos, bacia, cotovelos e coluna) (HALL, 2000).

A marcha é analisada em três planos, Figura 1:

- Plano sagital
- Plano coronal ou frontal
- Plano horizontal ou transversal

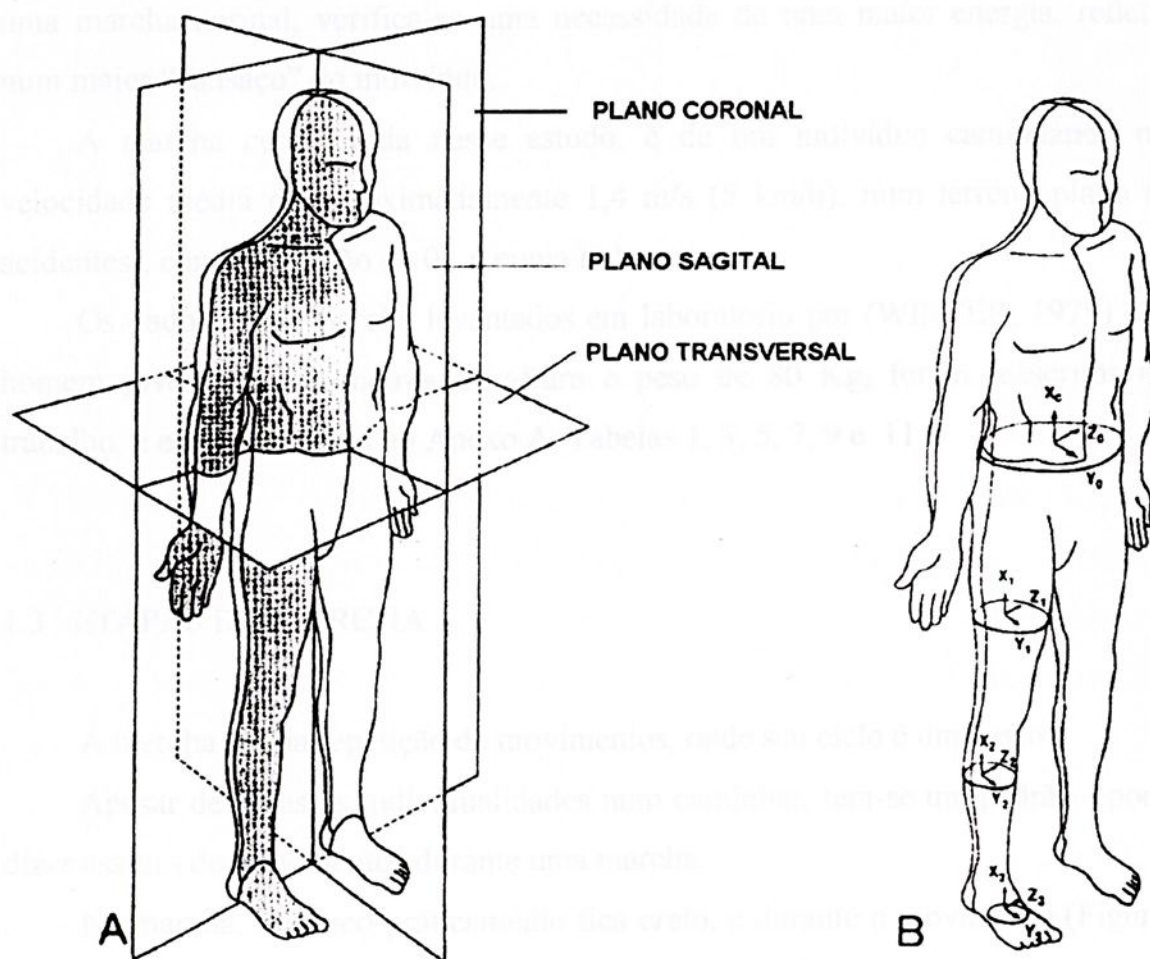


Figura 1 - Planos de marcha (ROSE; GAMBLE, 1998)

A análise da marcha nesses três planos (ROSE; GAMBLE, 1998), apresenta diversos movimentos, tais como: a rotação e obliquidade pélvica (bacia); flexão e extensão dos joelhos; rotações dos tornozelos; rotações dos pés; rotações das pernas e das coxas; rotações dos ombros; rotação do tórax e o movimento da coluna cervical. Isso mostra o quanto é complexo o movimento de uma marcha humana, devido a todos esses graus de liberdade que se tem em função desses movimentos.

Constata-se que numa marcha normal, com os diversos movimentos sincronizados, tem-se um mínimo consumo de energia metabólica. E isso pode ser verificado pessoalmente, quando se tem uma contusão, ou algum problema que impeça uma marcha normal, verifica-se uma necessidade de uma maior energia, refletindo num maior “cansaço” do indivíduo.

A marcha considerada nesse estudo, é de um indivíduo caminhando numa velocidade média de aproximadamente 1,4 m/s (5 km/h), num terreno plano (sem acidentes), com inclinação de 0° e numa linha reta.

Os dados dessa marcha levantados em laboratório por (WINTER, 1979) de um homem jovem de 1,8 metros de altura e peso de 80 Kg, foram reescritos nesse trabalho, e estão indicados no Anexo A, Tabelas 1, 3, 5, 7, 9 e 11.

1.3 ETAPAS DA MARCHA

A marcha é uma repetição de movimentos, onde seu ciclo é um passo.

Apesar de todas as individualidades num caminhar, tem-se um padrão - pode-se dizer assim - de movimentos durante uma marcha.

Na marcha, o tronco praticamente fica ereto, e durante o movimento (Figura 2), quando uma das pernas está apoiada, a outra ao perder o contato com o solo, é flexionada fazendo um movimento pendular para frente, e ao passar pela perna de apoio, essa perna começa a distender até que se tenha o contato do calcanhar, nesse momento tem-se um período de duplo apoio, em seguida o peso começa a ser transferido para essa perna à frente, com isso a outra perna com o movimento perde o contato com o solo, o joelho é ligeiramente flexionado para que a perna seja

movimentada para a frente, até termos novamente um duplo apoio (ROSE; GAMBLE, 1998).

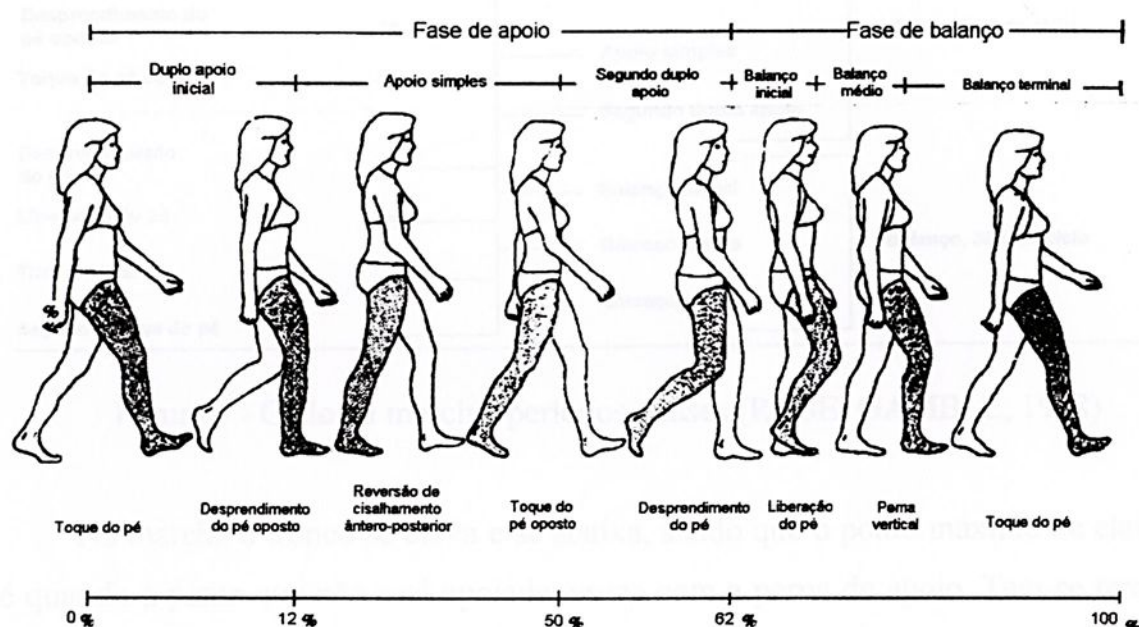


Figura 2 - Ciclo típico da marcha normal (ROSE; GAMBLE, 1998)

No movimento de marcha, tem-se nos apoios dos pés uma interface natural com o solo, tendo as reações normais e as de atrito com o solo: frenagem que impede que o pé “escorregue” para frente no período de apoio e a de impulsão, que faz que o corpo seja movimentado para frente. Não foi analisado nesse estudo as forças transversais ao movimento.

Durante a marcha cada pé fica apoiado (entre o contato do calcanhar e o desprendimento dos dedos do pé) cerca de 62% do ciclo da marcha (ROSE; GAMBLE, 1998) é chamada de fase de apoio, nos outros 38 % a fase é dita de balanço. Na Figura 3 têm-se os eventos, períodos e fases de uma caminhada.

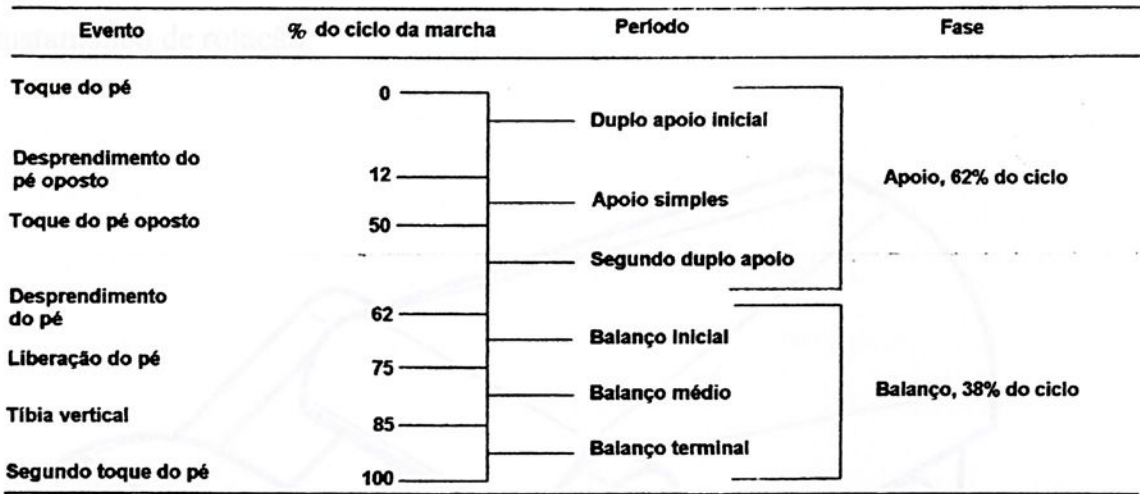


Figura 3 - Ciclo da marcha, períodos e fases (ROSE; GAMBLE, 1998)

Na marcha o tronco se eleva e se abaixa, sendo que o ponto máximo de elevação é quando a perna que não está apoiada, cruza com a perna de apoio. Tem-se também, uma oscilação lateral do corpo no plano coronal, assim como as rotações e movimentos das articulações.

Apesar de ter-se uma velocidade média na marcha, durante o ciclo tem-se acelerações e desacelerações, que não é tão fácil de visualizar.

Portanto, é fundamental o estudo cinemático com a medição dos deslocamentos lineares e angulares dos membros do corpo humano e dos deslocamentos angulares das articulações, assim como do estudo das forças de reações do solo (forças externas) e das forças internas (torques nas articulações) para o estudo dinâmico de uma marcha.

Em resumo, foi aqui apresentado um preâmbulo da marcha, pois é nesse tipo de locomoção é que será analisado a prótese de joelho.

1.4 PRÓTESE DE JOELHO ANALISADA

A prótese de joelho alvo desse trabalho, foi desenvolvida pela AACD em conjunto com o SENAI / SP. Esse joelho (Figura 4), é uma prótese de 4 barras –duas de cada lado. Essas barras tornam esse mecanismo com centro de rotação com infinitas

posições, sendo que para cada posição de flexão do joelho tem-se um centro instantâneo de rotação.

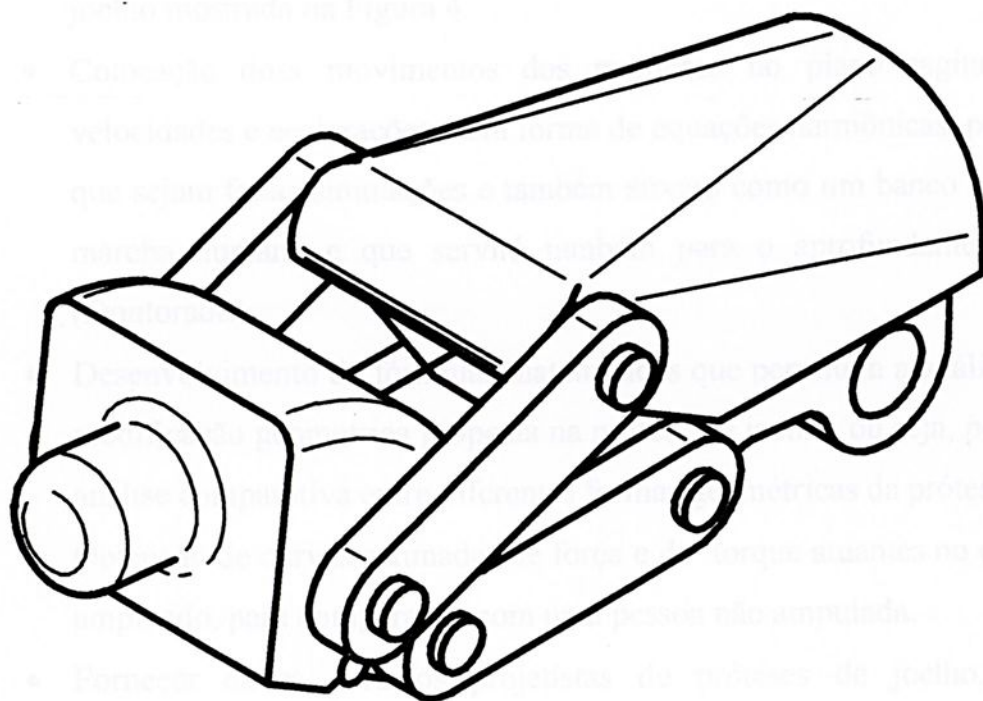


Figura 4 - Prótese de joelho AACD-SENAI

As posições desses centros de rotação definem a performance cinética desse tipo de prótese.

1.5 OBJETIVOS

Nos primeiros contatos com o pessoal da bioengenharia da Associação de Amparo à Criança Deficiente (AACD) em São Paulo, buscou-se desenvolver uma parceria com essa instituição, no sentido de desenvolvimento de um trabalho técnico-científico em biomecânica, que tivesse um sentido de aplicação para a referida

instituição. Seguindo essa premissa fundamental, os objetivos desse trabalho são as seguintes:

- Fazer uma análise cinemática e dinâmica e uma simulação teórica da prótese de joelho mostrada na Figura 4.
- Colocação dos movimentos dos membros no plano sagital – posições, velocidades e acelerações – em forma de equações harmônicas, para possibilitar que sejam feitas simulações e também sirvam como um banco de dados para a marcha humana e que servirá também para o aprofundamento dessa tese (Doutorado).
- Desenvolvimento de fórmulas matemáticas que permitem a análise de qualquer modificação geométrica proposta na prótese de joelho, ou seja, possibilidade de análise comparativa entre diferentes formas geométricas da prótese de joelho.
- Obtenção de curvas estimadas de força e de torque atuantes no quadril do lado amputado, para comparação com uma pessoa não amputada.
- Fornecer dados para os projetistas de próteses de joelho, assim como informações para os profissionais da área médica que lidam com amputados acima do joelho (transfemural).

1.6 METODOLOGIA UTILIZADA

Para obtenção dos objetivos traçados, esse trabalho seguiu a seguinte metodologia:

- Foram utilizados os dados levantados e tabelados por Winter (1979) para uma marcha humana de uma pessoa não amputada. São dados de posição, velocidade, aceleração e de reações do solo.
- A seguir foram feitos ajustes de curvas para transformação dos valores tabelados de posição e de reações do solo em equações harmônicas, tendo como única variável o tempo. As curvas de velocidade e aceleração foram obtidas a partir das derivadas das curvas de posição.



- Com os dados em forma de equações, foram calculados os valores de forças e torques atuantes nas juntas (tonozelo, joelho e quadril) no lado não amputado. Para o cálculo foi utilizado diagrama de corpo livre.
- Após obtenção de curvas para as posições, velocidades, acelerações e de forças e torques para as juntas para o lado não amputado, seguiu-se para o cálculo do lado amputado.
- Tendo como meta um andar similar ao de uma pessoa não amputada, foram utilizados para o lado amputado (por não se ter dados experimentais) as mesmas inclinações da perna para o tubo canela (prótese de perna) e da coxa e as mesmas posições dos centros de gravidade da coxa e do tronco/cabeça/braços. Foram utilizados também as mesmas reações do solo do lado não amputado.
- Foi desenvolvido a seguir formulação matemática para determinação das posições, velocidades e acelerações da prótese de joelho e do conjunto formado pelo tubo canela e prótese de pé.
- Com os dados cinemáticos e as reações do solo, foram determinados as curvas de força e torque no quadril e na prótese de joelho, para avaliação do esforço necessário ao amputado durante a marcha e para permitir a análise dos componentes da prótese.
- Finalizando, foram feitas comparações entre os lados amputado e não amputado, e também comparações com dados obtidos por outros pesquisadores, para a conclusão desse trabalho.



2 PRÓTESE DE JOELHO

2.1 CONSIDERAÇÕES

Nesse trabalho estará sendo analisado prótese para amputados acima do joelho. Quando uma pessoa sofre uma amputação, isso não significa apenas a perda do(s) membro(s), mas a contribuição específica desse(s) membro(s) em todo o conjunto do corpo humano. Isso implica sempre num reaprendizado para a utilização da prótese com o que restou da amputação.

No caso definido nesse estudo, a amputação se dá em geral na parte mediana da coxa, dessa forma os músculos que antes movimentavam as articulações proximal e distal do joelho (num total de 12) (ABRAHAMS; HUTCHINGS; MARKS JUNIOR, 2000; HALL, 2000) logicamente que além de perderem essa função, terão o comprimento reduzido, e naturalmente sendo os músculos órgãos que trabalham contraindo /estendendo, terão uma menor amplitude de movimento, no que sobra após a amputação.

Após uma amputação, os cirurgiões fazem a miódise (fixação cirúrgica dos músculos), de tal forma que o paciente tenha a possibilidade de utilização desses músculos, aliando-se a isso o comprimento residual desses músculos -conforme onde ocorra a amputação, serão decisivos para a utilização da prótese (ROSE; GAMBLE, 1998).

Num amputado acima do joelho (transfemural), a interface da prótese com a coxa (coto), se dá através de um cartucho, onde é fixado a parte superior da prótese de joelho. Essa fixação é importante tanto para: o conforto, pois a reação do solo é transmitida para o corpo pela pressão entre coto e cartucho; alinhamento da prótese como para a performance da caminhada – mas essa interface não será alvo desse estudo.

É através desse coto, em conjunto com o movimento do corpo, é que o indivíduo impulsiona as próteses de joelho, perna e pé, vencendo a inércia, para realizar o movimento de passo.

2.2 ARTICULAÇÃO DO JOELHO

Como o objetivo é o estudo da prótese, foi analisado neste trabalho alguns aspectos biomecânicos de um joelho, para que se possa ter uma idéia das funções que deverão servir de parâmetros para o projeto e fabricação de uma prótese de joelho. O joelho (vide Figuras 5 e 6) é uma articulação basicamente composta de três ossos (fêmur, tíbia e patela), seis ligamentos (da rótula: anterior e posterior; laterais: interno e externo; cruzados: anterior e posterior) e várias cartilagens (DE AGOSTINI, 1999; HALL, 2000).

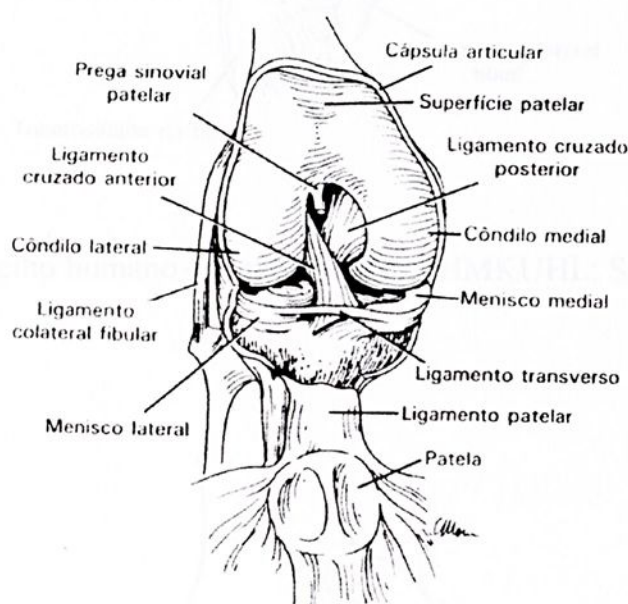


Figura 5 - Joelho humano – vista frontal (LEHMKUHL; SMITH, 1986)

O joelho não é uma rótula simples (uniaxial), ou seja, não tem um centro único de rotação como uma dobradiça de porta, é um sistema policêntrico (LEHMKUHL; SMITH, 1986). Para cada posição de flexão – que varia de zero (perna distendida) até aproximadamente 120° - tem-se um centro de rotação, conforme mostrado na Figura 7, além disso, quando a perna está fletida tem-se a possibilidade de uma rotação no plano sagital (eixo de extensão da perna), pois quando a perna está distendida, os ligamentos tensionados impedem essa rotação, ao contrário do que ocorre com a perna fletida, quando se tem um afrouxamento desses ligamentos (LEHMKUHL; SMITH, 1986).

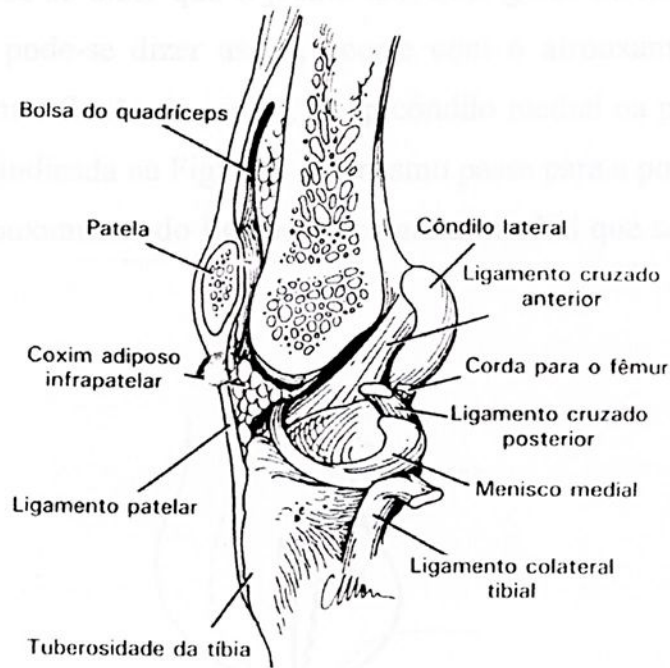


Figura 6 - Joelho humano – vista lateral (LEHMKUHL; SMITH, 1986)

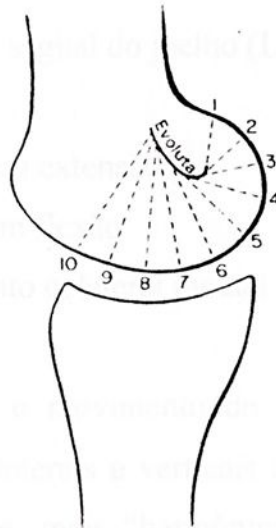


Figura 7 - Centro instantâneo de rotação do joelho (LEHMKUHL; SMITH, 1986)

Pode ser verificado que duas coordenadas – ângulo de flexão e o ângulo de giro no plano sagital (vide Figura 8) - definem as posições dessa articulação em relação ao

fêmur, com isso pode-se dizer que o joelho tem dois graus de liberdade. O segundo grau de liberdade, pode-se dizer assim, ocorre com o afrouxamento do ligamento colateral medial com a flexão do joelho. O epicôndilo medial na posição de extensão está na posição Me indicada na Figura 8 e o mesmo passa para a posição Mf na flexão, acarretando um afrouxamento do ligamento colateral medial que se liga nos pontos A e M.

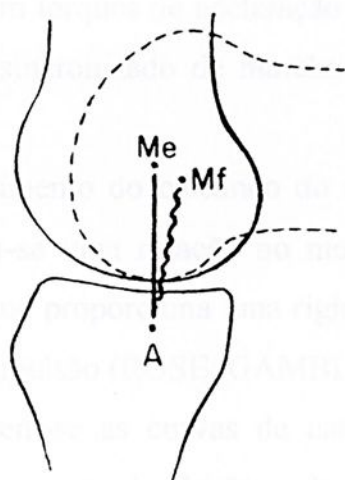


Figura 8 - Rotação no plano sagital do joelho (LEHMKUHL; SMITH, 1986)

Me – Epicôndilo medial, joelho em extensão

Mf – Epicôndilo medial, joelho em flexão

A – Ponto de inserção do ligamento colateral medial

Durante a marcha, que é o movimento de interesse nesse estudo, o joelho amortece e reduz as oscilações laterais e verticais do centro de gravidade do corpo, isso torna a marcha mais suave, mais “harmônica”, com um menor consumo de energia metabólica, além disso, o joelho é a principal articulação quanto a estabilidade do corpo durante a marcha.

Durante a marcha, logo após o contato do calcâneo, o joelho é ligeiramente flexionado pela ação do músculo quadríceps (HALL, 2000; ROSE; GAMBLE 1998), essa flexão controla a desaceleração do centro de massa do corpo, para manter a

suavidade da marcha, e essa flexão é mantida, com variação angular naturalmente, até que esse joelho passe pela perna de apoio, e comece a distender para novo apoio do calcâneo com o solo.

O joelho, como elemento de ligação entre o fêmur e a tíbia, mantém entre ambos (vista anterior), um alinhamento de aproximadamente 170° .

Os músculos que movimentam o joelho, são responsáveis pela flexão, rotação, extensão nessa articulação através de braços de alavanca das fixações dos tendões em relação ao centro de giro, com torques de aceleração e de frenagem, que possibilitam todo o movimento suave e sincronizado de marcha numa pessoa sem problema de amputação.

Quando há o desprendimento do calcâneo do chão, no instante que o pé está movimentando o corpo, tem-se uma rotação no membro inferior, que acarreta um travamento do médio-pé, o que proporciona uma rigidez nessa alavanca (tornozelo / pé / perna) no momento da impulsão (ROSE; GAMBLE, 1998).

Nas Figuras 9 e 10, tem-se as curvas de cargas levantadas por Williams e Stutzman (1959) para o movimento de flexão e de extensão do joelho – as cargas foram colocadas na posição do pé. Para um gráfico de torque, teríamos naturalmente que multiplicarmos para cada ângulo da posição de flexão / extensão do joelho, a distância do ponto de atuação da carga até o centro de rotação do joelho. Como a variação dessa distância entre a máxima e a mínima é pequena percentualmente (abaixo de 10%), ou seja, o braço de alavanca praticamente não se altera significativamente, as curvas de torques são similares às apresentadas para as de carga. Verifica-se também que o torque de extensão é maior que o de flexão.

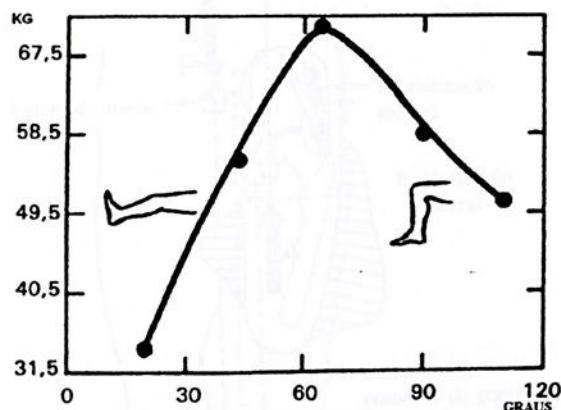


Figura 9 - Extensão isométrica do joelho – homens jovens (LEHMKUHL; SMITH, 1986)

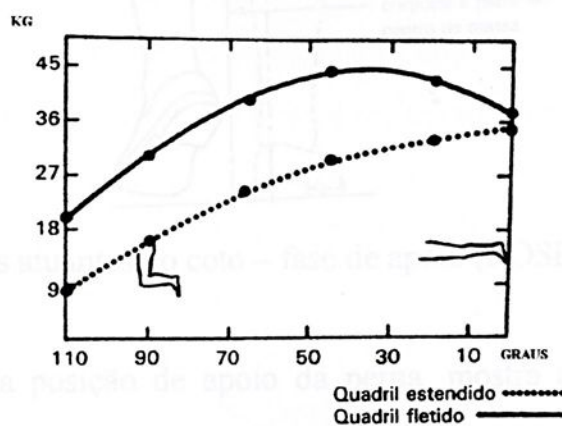


Figura 10 - Flexão isométrica do joelho – homens jovens (LEHMKUHL; SMITH, 1986)

2.3 BIOMECÂNICA DA PRÓTESE

Com a amputação acima do joelho, utiliza-se: o cartucho para adaptação no coto com base para fixação da parte superior da prótese de joelho; a prótese de joelho (alvo desse estudos) e a prótese de perna (incluindo o pé e o tornozelo).

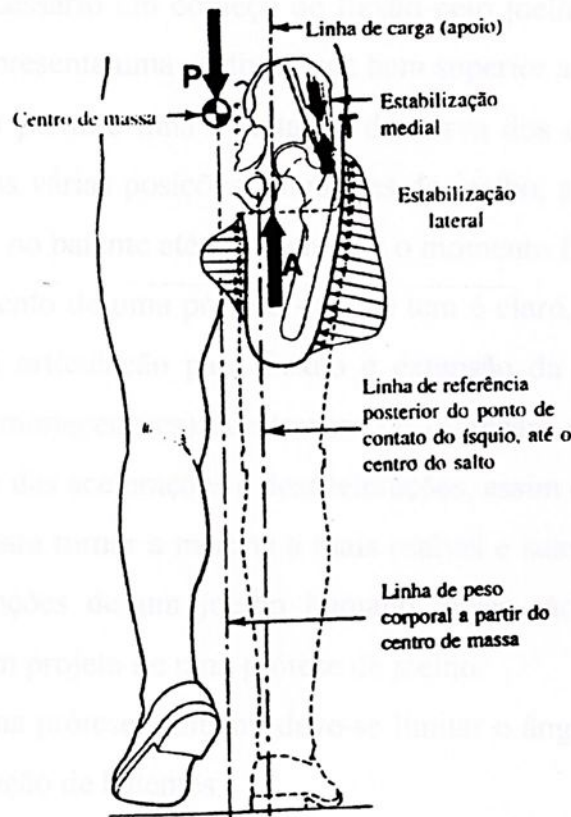


Figura 11 - Forças atuantes no coto – fase de apoio (ROSE; GAMBLE, 1998)

A Figura 11, na posição de apoio da perna, mostra as forças que atuam no cartucho, no momento em que a perna em balanço passa pela perna de apoio – na posição mais elevada da pelve durante a marcha - que acarreta a reação na prótese de joelho. Observe que a linha de apoio (linha de carga) foi considerada como de base estreita, que é uma base de marcha normal, isso é conseguido com um alinhamento adequado das próteses e da adaptação do cartucho ao coto.

A força de apoio, que é uma interface com a prótese de joelho é a força indicada pela letra “A”, essa força de reação não é alinhada com o centro de gravidade, o que provoca um momento com tendência a rotacionar a pelve, a reação contrária para manter o corpo em equilíbrio, é conseguido com o uso da musculatura abduutora (ROSE; GAMBLE, 1998).

Na extensão total da perna, quando há o contato do calcanhar no solo, o centro instantâneo de rotação do joelho nesse momento, deve ficar atrás (no sentido da marcha) da linha de atuação da reação do solo, forçando a articulação contra um batente mecânico para impedir que o joelho seja flexionado (ROSE; GAMBLE, 1998).

Após o contato, é necessário um começo de flexão pelo joelho, dessa forma é que a prótese policêntrica apresenta uma performance bem superior a uma com eixo uniaxial (tipo dobradiça), pois permite uma adaptação da curva dos centros instantâneos de rotação, em função das várias posições angulares do joelho, apesar de que, a prótese fica sempre “apoiada” no batente até praticamente o momento final de apoio.

No desenvolvimento de uma prótese -não se tem é claro, nenhum músculo para controlar o torque na articulação para flexão e extensão da perna- a utilização de dispositivos (molas, amortecedores) que travem ou ofereçam resistência à flexão e à extensão para controle das acelerações e desacelerações, assim como, que possibilitem alterações no torque para tornar a marcha a mais estável e suave possível, para tentar se aproximar das funções de um joelho humano, esses são os requisitos para o desenvolvimento de um projeto de uma prótese de joelho.

No projeto de uma prótese também, deve-se limitar o ângulo de abertura (flexão máxima), com a utilização de batentes.

Na prótese desenvolvida pela AACD/SENAI, foi utilizada uma mola.

2.4 PRÓTESE DE JOELHO COM UNIÃO DE 4 BARRAS

Será tratado nesse item assuntos mais específicos sobre joelhos de 4 barras, que é o tipo do joelho alvo desse estudo, antes porém, será analisada uma prótese de joelho de eixo simples, para análise da cinemática de próteses de joelho.

2.4.1 Joelho de eixo simples

No momento do impulso (Figura 12 – posição c), aplicado no caso de um amputado, através do quadril e com auxílio da parte da coxa amputada, a linha de reação do solo passa por detrás do quadril no sentido da marcha, por ser rotulado e considerando no momento a não flexão da perna, a reação no eixo do joelho é de igual magnitude porém de sentido contrário a da reação do solo. Na figura essa força no eixo

da prótese, foi substituída por uma força e um momento no centro de articulação do quadril, o que equivale dizer que esse é o torque que o quadril deve executar para possibilitar o movimento. Da mesma forma, estão representados (Figura 12 – posição a) no momento do calcanhar se apoiar no solo, a força de reação do solo, e o seu equivalente de força e momento atuando no centro de articulação do quadril.

Juntando as duas figuras posições a e c, tem-se a posição b, onde a região triangular escura define a região de localização do centro do joelho de eixo simples.

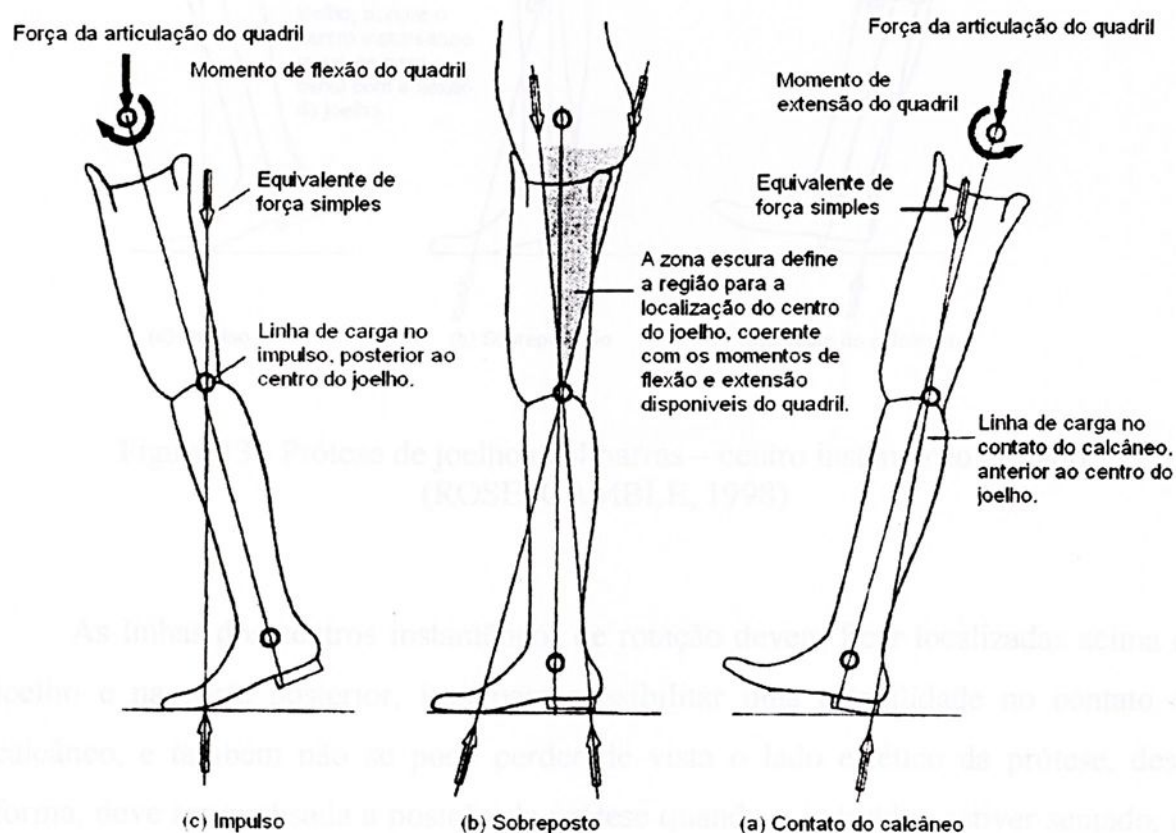


Figura 12 - Prótese de joelho de eixo simples (ROSE; GAMBLE, 1998)

2.4.2 Joelhos de 4 barras

Esse joelho (Figura 13), como já citado, é um mecanismo policêntrico. O centro instantâneo para cada posição de flexão da perna, é determinado pelo prolongamento das linhas de centro das barras (vide Figuras 13 e 14).

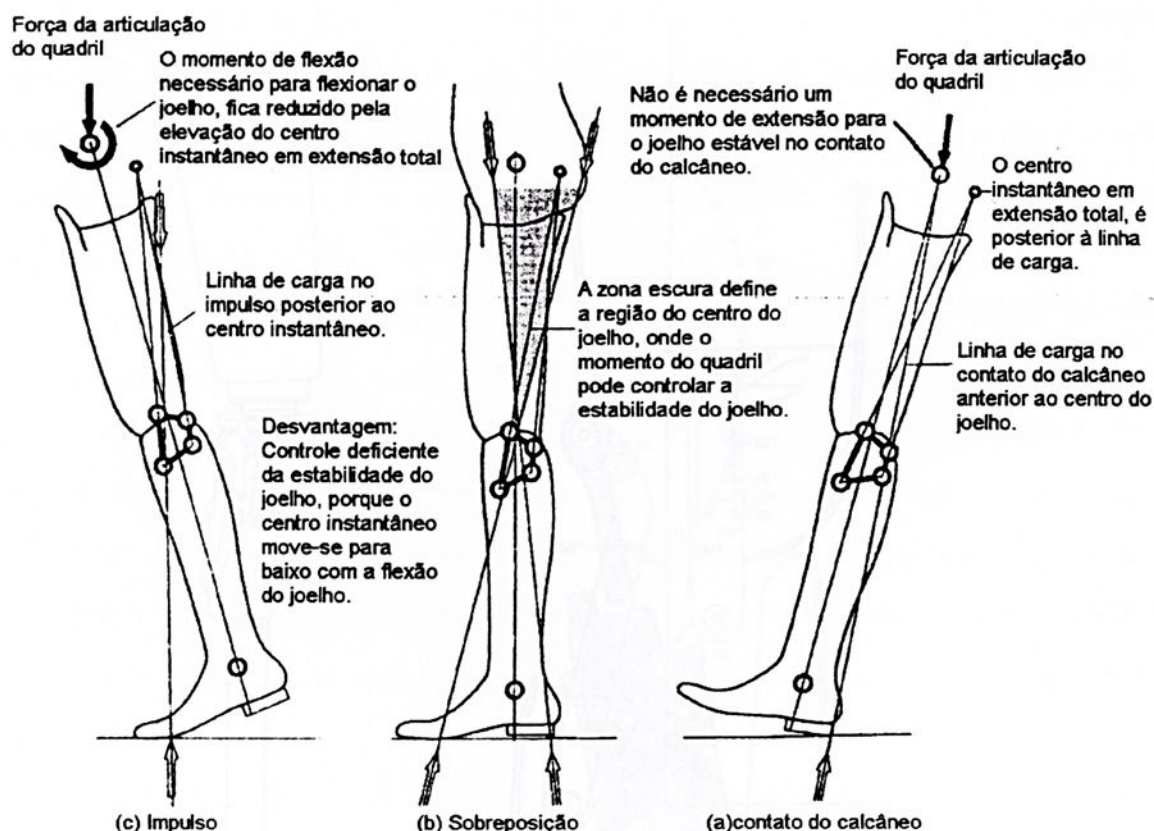


Figura 13 - Prótese de joelho de 4 barras – centro instantâneo elevado (ROSE; GAMBLE, 1998)

As linhas dos centros instantâneos de rotação devem ficar localizadas acima do joelho e na parte posterior, isso para possibilitar uma estabilidade no contato do calcâneo, e também não se pode perder de vista o lado estético da prótese, dessa forma, deve ser analisada a posição da prótese quando o indivíduo estiver sentado, ou seja na flexão de 90°.

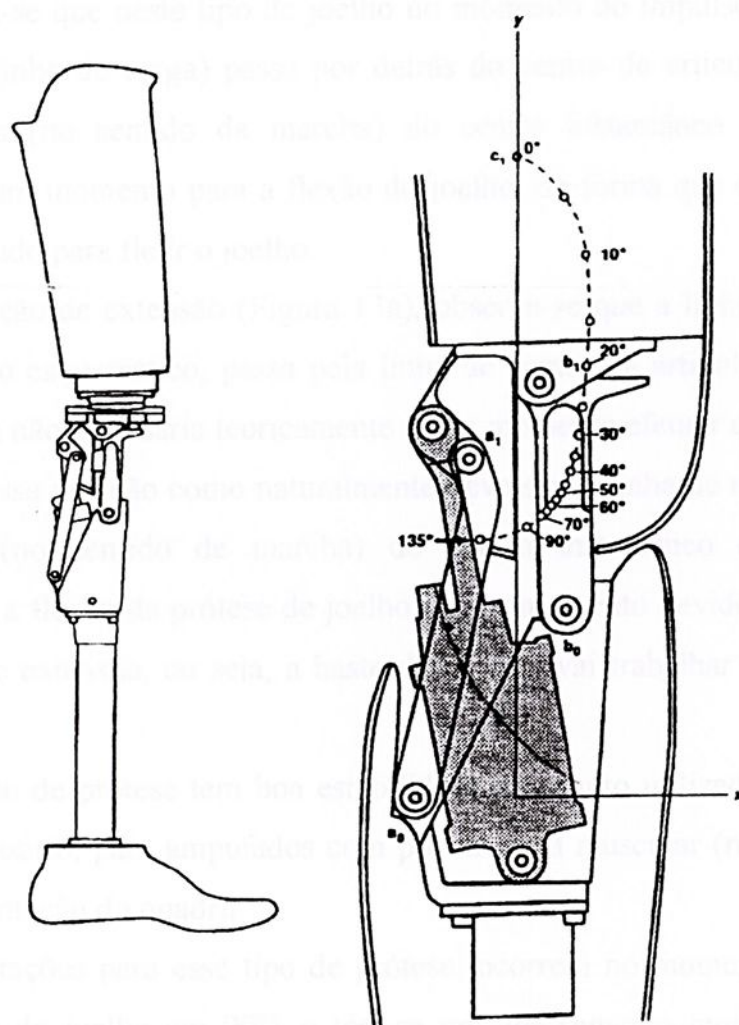


Figura 14 - Centros instantâneos de rotação (ROSE; GAMBLE, 1998)

Abaixo tem-se três tipos de prótese de joelho de 4 barras, analisadas por Rose e Gamble (1998):

2.4.2.1 Joelho de 4 barras com centro instantâneo elevado

Nesse joelho, tem-se as duas barras anteriores longas e as posteriores curtas (Figura 13).

Observa-se que neste tipo de joelho no momento do impulso, a linha de reação do solo (ou linha de carga) passa por detrás do centro de articulação do quadril, e também atrás (no sentido da marcha) do centro instantâneo de rotação, o que proporciona um momento para a flexão do joelho, de forma que o indivíduo terá um esforço reduzido para fletir o joelho.

Na posição de extensão (Figura 13a), observa-se que a linha de reação do solo nesse desenho esquemático, passa pela linha de centro da articulação do quadril, ou seja, a pessoa não precisaria teoricamente nesse momento efetuar qualquer torque com o quadril. Nessa posição como naturalmente deve ser, a linha de reação do solo passa pela frente (no sentido de marcha) do centro instantâneo de rotação, o que impossibilita a flexão da prótese de joelho pois o momento devido a reação do solo é no sentido de extensão, ou seja, a haste da prótese vai trabalhar contra o batente da mesma.

Esse tipo de prótese tem boa estabilidade e é muito utilizado, devido ao pouco esforço necessário, para amputados com pouca força muscular (reduzida capacidade) para movimentação do quadril.

As limitações para esse tipo de prótese, ocorrem no momento que o indivíduo senta (flexão do joelho em 90°), e tem-se um abaixamento muito rápido do centro instantâneo de rotação, acarretando uma instabilidade ao movimento.

2.4.2.2 Joelho de 4 barras hiper-estabilizado

Nesse modelo de joelho, o centro instantâneo de rotação fica mais próximo ao joelho que no caso anterior (vide Figura 15).



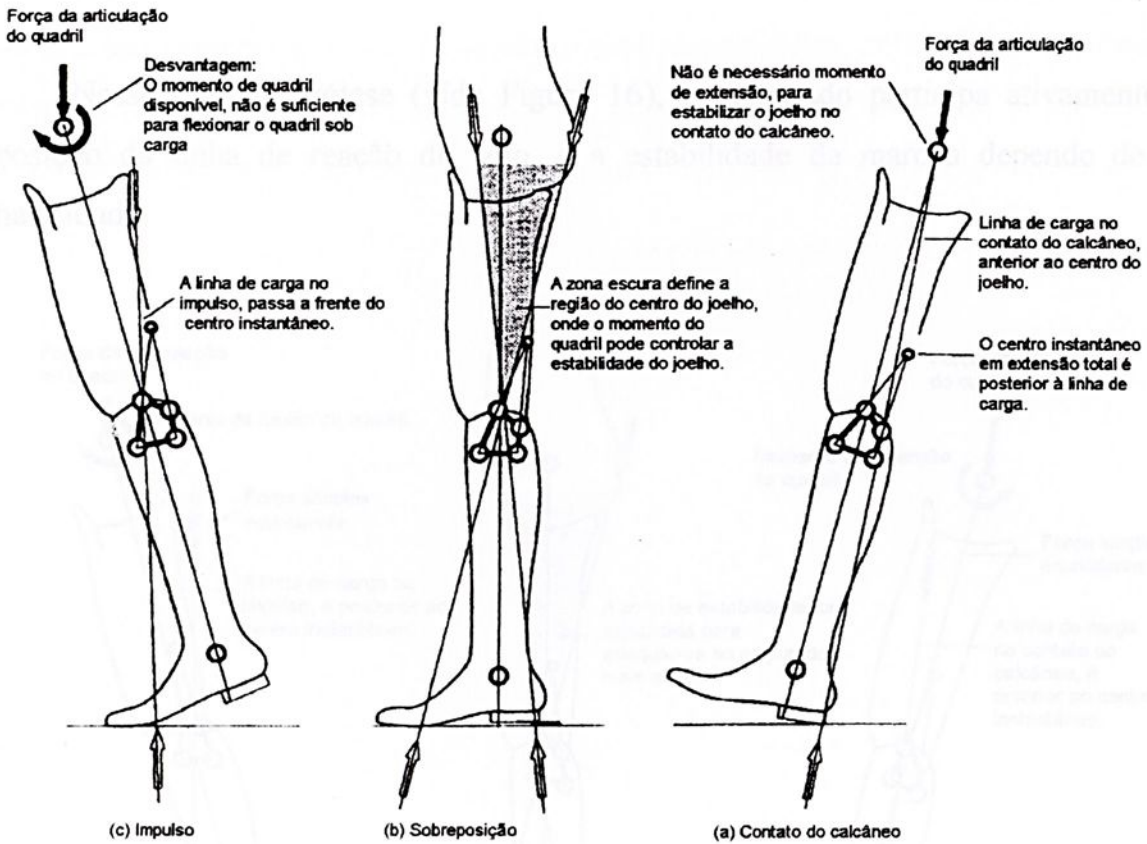


Figura 15 - Prótese de joelho de 4 barras – hiper-estabilizado
(ROSE; GAMBLE, 1998)

Na posição de extensão (contato do calcâneo), a linha de reação do solo é anterior ao centro instantâneo de rotação, o que acarreta um torque no joelho contrário ao movimento de flexão – limitado por um batente mecânico. Essa linha de reação passa pelo centro de articulação do quadril, e de forma semelhante ao centro instantâneo elevado (item 2.4.2.1), não há necessidade nessa posição de torque no quadril para a continuação da marcha.

Na posição de impulso, o centro instantâneo de rotação também fica posterior a linha de atuação da reação do solo, dessa forma a tendência é de se manter a perna em extensão, daí o nome de hiper-estabilizado. O torque necessário na articulação do quadril para a execução do passo, está indicado na figura.

Esse tipo de joelho é utilizado para amputados geriátricos e de pouca força física.

2.4.2.3 Joelho de 4 barras de controle voluntário

Nesse tipo de prótese (vide Figura 16), o amputado participa ativamente na posição da linha de reação do solo, e a estabilidade da marcha depende de sua habilidade.

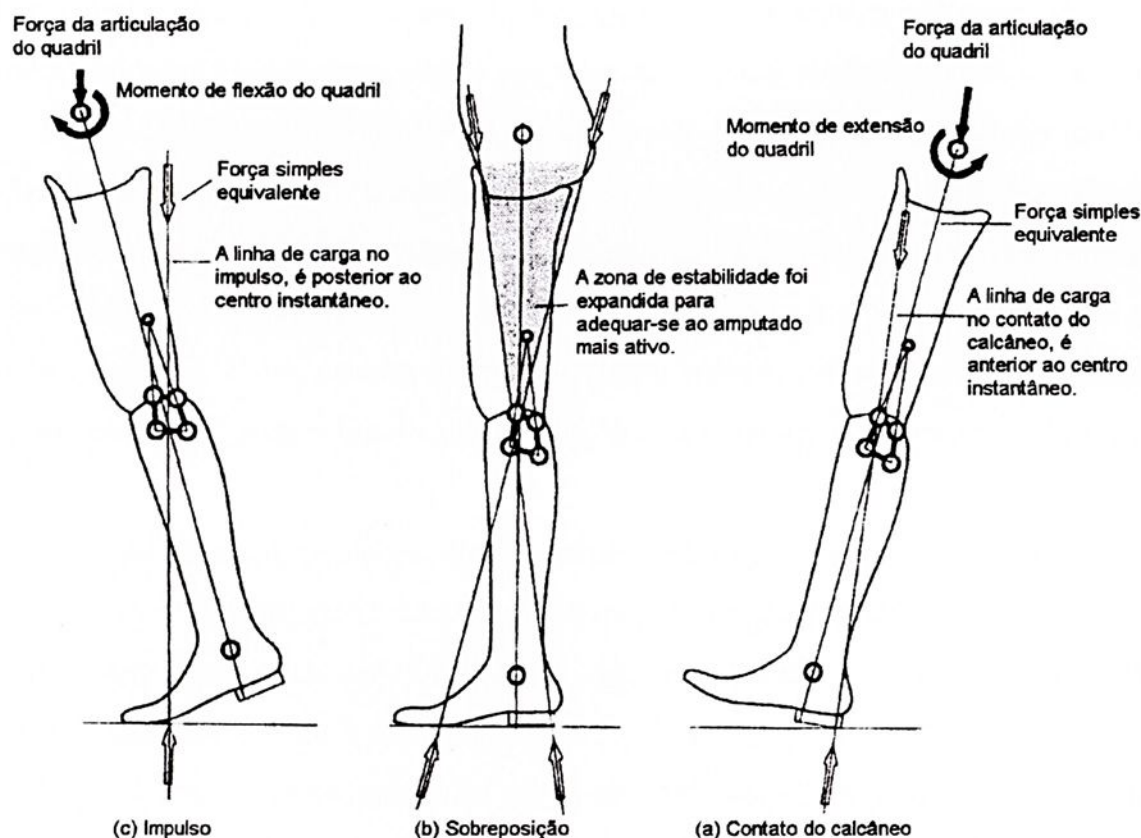


Figura 16 - Prótese de joelho de 4 barras – controle voluntário
(ROSE; GAMBLE, 1998)

Observe que nesse modelo nas três posições indicadas (a; b; c), os centros instantâneos de rotação ficam localizados na região escura do triângulo indicado na Figura 16b, onde é possível com o movimento do quadril, posicionar a linha de reação do solo para anterior ou posterior ao centro instantâneo de rotação. Esse tipo de prótese é para um amputado que tenha força física para “trabalhar” mais ativamente o quadril.

Verifica-se então nos itens 2.4.2.1; 2.4.2.2 e 2.4.2.3, que os comprimentos das barras, assim como a posições onde as mesmas são rotuladas, definem para as diversas posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

Na análise de um dado sistema é necessário partir para a análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

Winter (1979) definiu as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho. A análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

Com as diversas posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho. A análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

Winter (1979) definiu as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho. A análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

2.2. DADOS DE MARCHA

Para a análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho. A análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

Para a análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho. A análise da marcha de um amputado acima do joelho, para a qual foram definidas as posições angulares da perna em relação a coxa, os centros instantâneos de rotação, como foram apresentados, fatores fundamentais da marcha de um amputado acima do joelho.

3 DADOS DE MARCHA PARA NÃO AMPUTADO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na análise de um dado sistema, é necessário padrões para análise comparativa. Nesse caso da análise da marcha de um amputado, será utilizado como padrão a marcha humana de um homem adulto não amputado e com nenhum tipo de patologia.

Winter (1979) utilizou diversos marcadores em várias posições do corpo humano de uma pessoa, e através de filmagem em laboratório, obteve as posições de cada marcador em relação ao tempo durante a marcha. A frequência de filmagem utilizada foi de 60 Hz, dessa forma, foram registradas as posições x e y dos marcadores em relação ao tempo. É importante frisar, que foram sempre utilizados dois marcadores por membro, para possibilitar a determinação dos ângulos dos membros durante a marcha.

Com as diversas posições devidamente registradas de todos os marcadores, Winter (1979) elaborou então tabelas com posições lineares e angulares; velocidades lineares e angulares; acelerações lineares e angulares, tanto dos marcadores como dos centros de gravidade de cada membro.

Neste trabalho foram utilizadas as tabelas referentes aos centros de gravidade do: pé; perna; coxa e tronco/cabeça/ braços registradas por Winter (1979).

3.2 DADOS DE MARCHA

Foram utilizadas as tabelas dos centros de gravidade do pé; perna; coxa e tronco/cabeça/braços. Os dados das tabelas levantadas por Winter (1979) foram compilados em planilhas do Excel, e dessa forma elaborados então os gráficos relativos aos dados das tabelas, para permitir uma melhor visualização da marcha.

Para a marcha filmada em laboratório por Winter (1979), foi utilizado um homem jovem de 1,80 metros de altura. Os comprimentos de cada membro foram



medidos diretamente e para as massas e os centros de gravidade de cada membro, Winter (1979) utilizou tabelas antropométricas que relaciona a massa e o centro de gravidade de cada membro, com o peso total do homem e o comprimento de cada membro respectivamente.

As tabelas dos dados da marcha apresentados no Anexo A são as seguintes:

- Tabelas 1: Dados relativos ao tronco/cabeça/braços
- Tabela 3: Dados relativos a coxa
- Tabela 5: Dados relativos a perna
- Tabela 7: Dados relativos ao pé

Nestas tabelas tem-se os seguintes valores (vide Figura 17-exemplificando as posições para a coxa):

- Tempo t : discretizado a intervalos de $1/60$ segundos, logicamente no início da marcha $t = 0$. O tempo de filmagem da marcha foi de 1,8 segundos.
- Ângulo $teta$: Em cada membro foram colocados 2 marcadores. O ângulo teta é formado pela reta ligando esses 2 marcadores com a linha horizontal (piso).
- C.g. em x : representa a posição do centro de gravidade do membro no eixo x (coincidente com a linha horizontal no piso). A origem do eixo x foi colocada atrás do homem (no sentido da marcha).
- C.g. em y : representa a posição do centro de gravidade do membro no eixo y (coincidente com a normal ao piso). A origem do eixo y , foi colocada coincidente com o piso.

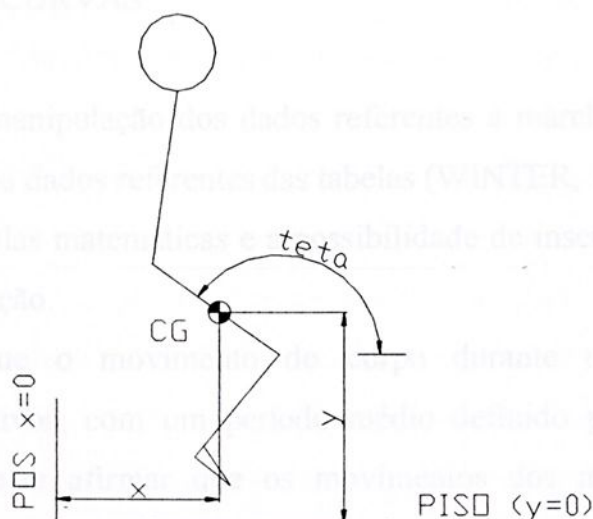


Figura 17 – Diagrama de posições x , y e $teta$ da coxa

Com os dados das tabelas mencionadas foram obtidos os seguintes gráficos – vide Anexo B:

Obs: Em todos os gráficos listados abaixo, tem-se as curvas para os quatro membros analisados: pé; perna; coxa e tronco / cabeça / braços.

- Gráfico 1: posição y x pos x do c.g.
- Gráfico 2: velocidade x do c.g. x tempo
- Gráfico 3: velocidade y do c.g. x tempo
- Gráfico 4: aceleração x do c.g. x tempo
- Gráfico 5: aceleração y do c.g. x tempo
- Gráfico 6: posição angular dos membros x posição x do c.g.
- Gráfico 7: posição angular dos membros x tempo
- Gráfico 8: velocidade angular dos membros x tempo
- Gráfico 9: aceleração angular dos membros x tempo
- Gráfico 10: posição y do c.g. x tempo
- Gráfico 11: posição x do c.g. x tempo

A partir dos dados das tabelas mencionadas, técnicas de ajuste de curvas foram desenvolvidas, assunto tratado no item a seguir.

3.3 AJUSTES DE CURVAS

Para melhor manipulação dos dados referentes a marcha humana, foram feitos ajustes de curvas dos dados referentes das tabelas (WINTER, 1979); para possibilitar o trabalho com fórmulas matemáticas e a possibilidade de inserção dessas fórmulas em programa de simulação.

Verifica-se que o movimento do corpo durante uma marcha, apresenta movimentos repetitivos, com um período médio definido para cada ciclo (passo). Dessa forma, pode-se afirmar que os movimentos dos membros do corpo, são harmônicos e podem ser representados por componentes descritos através da série de Fourier.

Outro aspecto importante é a necessidade de se ter as descrições matemáticas das equações de movimento.

Para as posições verticais (y) dos centros de gravidade e inclinações dos membros (teta), que se repetem periodicamente (a cada passo), foram utilizadas equações algébricas harmônicas – séries de Fourier conforme equação (1).

$$y(t) = A_0 + \sum_{j=1}^n (A_{2j-1} \text{sen}(jwt) + A_{2j} \cos(jwt)) \quad (1)$$

Para as posições horizontais (x) também foram utilizadas equações harmônicas sobrepostas com retas inclinadas, significa que temos uma expressão harmônica em torno de uma reta inclinada. A reta inclinada deve-se ao fato que na marcha o indivíduo afasta-se continuamente da origem (x=0).

$$x(t) = A_0 + A_{2n+1}t + \sum_{j=1}^n (A_{2j-1} \text{sen}(jwt) + A_{2j} \cos(jwt)) \quad (2)$$

- O 2º membro da equação (2), representa a reta inclinada, sendo o fator diferenciado da equação (1).

O objetivo naturalmente é de se trabalhar com fórmulas, em vez de se utilizar tabelas, de dados. Nesse caso a única variável é o tempo.

Para os ajustes das curvas, foi utilizado o método dos quadrados mínimos para caso discreto (RUGGIERO; LOPES, 1996).

As tabelas tem dados de posição; velocidade e aceleração do centro de gravidade dos membros nas direções x e y e da inclinação dos membros em relação a linha horizontal (piso).

Foram utilizados ajustes para as curvas de posição, e feito a primeira derivada para a velocidade e a segunda para a aceleração, ou seja, considerou-se a curva de posição como básica, e posteriormente derivou-se para encontrar as curvas de velocidade e de aceleração, esse foi o procedimento adotado na elaboração das tabelas por Winter (1979). Foi feito o mesmo procedimento considerando a tabela de dados com os valores de velocidade como básica –nesse caso fez-se a integração para determinar a curva de posição e a derivada para determinação da curva de aceleração - e também foi utilizada a curva de aceleração como básica.

As várias formas do tipo de ajuste utilizadas citadas no parágrafo acima, teve como premissa encontrar as curvas mais próximas possíveis dos dados levantados em laboratório por Winter (1979), ou seja, que apresentassem menor erro.

Para isso foram verificados também os valores eficazes das curvas (rms), assim como os desvios eficazes, chamados aqui de drms, tem-se então:

$$rms = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j^2} \quad (3)$$

$$drms = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_j - F_j)^2} \quad (4)$$

onde:

k – número de pontos para execução do ajuste (escolhido $k = 51$)

x_j - valor da curva ajustada para as posições (x ; y e teta)

F_j - valor tabelado para as posições (x ; y e teta)

Nas tabelas utilizadas por Winter (1979), as velocidades nos pontos j (v_j) foram determinadas utilizando-se a divisão do espaço percorrido entre as posições adjacentes $j+1$ e $j-1$ pelo tempo de 2/60 segundos, conforme mostrado abaixo.

$$v_j = (p_{j-1} - p_{j+1}) / 0,033$$

O mesmo procedimento foi adotado para determinação das acelerações, o que acarreta erros.

O interesse, como já dito anteriormente, é de se ter o formato típico das curvas de posição; velocidade e aceleração, pois as mesmas divergem (em valores- amplitudes e frequências) de pessoa para pessoa e para a velocidade de marcha.

Foram desenvolvidos programas de ajustes de curvas, utilizando o software MATLAB - versão 4.0 TM.

Abaixo segue as curvas ajustadas das tabelas.

3.3.1 Tronco-cabeça-braços (TCB)

(Tabelas 1 e 2)

a) Centro de gravidade – eixo y

No plano da marcha (sagital), o centro de gravidade do c.g. atinge o ponto máximo em 3 ocasiões (quando as pernas se cruzam – uma apoiada e a outra em balanço) durante 1 passo completo.

Na Tabela 1 de dados do TCB assim como no Gráfico 10, verifica-se que durante o ciclo, o c.g. atinge um ponto máximo de altura no tempo aprox. = 0,35 s , volta a atingir esse ponto no tempo aproximadamente = 0,917 s, e novamente com o tempo $t = 1,483$ s. No caso do tronco, e analisando no plano bidimensional da marcha, temos:

- período = 1,1330 s
- frequência $f = 0,8824$ Hz
- Essa frequência é comum para os outros três membros analisados – pé; perna e coxa, pois é a frequência fundamental da marcha analisada.
- Escolhido $m = 9$, onde m é o número de elementos da equação harmônica.
- O procedimento para o ajuste de curva para as posições, velocidades e acelerações lineares e angulares dos centros de gravidade dos membros, está mostrado no procedimento 1 do anexo D.

- Matriz de coeficientes (ALFA):

$$ALFA1 = [1.2648 \quad 0.0018 \quad 0.0029 \quad -0.0166 \quad -0.0154 \quad -0.0014 \quad -0.0014 \\ -0.0001 \quad 0.0016]'$$

- A posição do c.g. do TCB em y é dada pela expressão abaixo:

$$y(t) = 1,2648 + 0,0018\text{sen}(wt) + 0,0029\cos(wt) - 0,0166\text{sen}(2wt) - 0,0154\cos(2wt) \\ - 0,0014\text{sen}(3wt) - 0,0014\cos(3wt) - 0,0001\text{sen}(4wt) + 0,0016\cos(4wt) \quad (5)$$

- A velocidade do c.g. do TCB em y é dada pela expressão abaixo:

$$\dot{y}(t) = 0,0018w\cos(wt) - 0,0029w\text{sen}(wt) - 0,0332w\cos(2wt) + 0,0308w\text{sen}(2wt) \\ - 0,0042w\cos(3wt) + 0,0042w\text{sen}(3wt) - 0,0004w\cos(4wt) - 0,0064\text{sen}(4wt) \quad (6)$$

- A aceleração do c.g. do TCB em y é dada pela expressão abaixo:

$$\ddot{y}(t) = -0,0018w^2\text{sen}(wt) - 0,0029w^2\cos(wt) + 0,0664w^2\text{sen}(2wt) \\ + 0,0616w^2\cos(2wt) + 0,0126w^2\text{sen}(3wt) + 0,01261w^2\cos(3wt) + 0,0016w^2\text{sen}(4wt) \\ - 0,0256w^2\cos(4wt) \quad (7)$$

Para melhor manipulação dessa forma algébrica, a mesma será colocada como um produto matricial. Utilizando o vetor de coeficientes ALFA (m x 1), e os vetores P, V e A (1 x m), onde:

$$y(t) = P * ALFA \quad (8)$$

$$\dot{y}(t) = V * ALFA \quad (9)$$

$$\ddot{y}(t) = A * ALFA \quad (10)$$

Dessa forma, designando-se os vetores em ordem numérica, para diferenciar caso a caso, tem-se:

$$P1 = [1 \quad \text{sen}(wt) \quad \text{cos}(wt) \quad \text{sen}(2wt) \quad \text{cos}(2wt) \quad \text{sen}(3wt) \quad \text{cos}(3wt) \quad \text{sen}(4wt) \quad \text{cos}(4wt)] \quad (11)$$

$$V1 = [0 \quad w\text{cos}(wt) \quad -w\text{sen}(wt) \quad 2w\text{cos}(2wt) \quad -2w\text{sen}(2wt) \quad 3w\text{cos}(3wt) \quad -3w\text{sen}(3wt) \quad 4w\text{cos}(4wt) \quad -4w\text{sen}(4wt)] \quad (12)$$

$$A1 = [0 \quad -w^2\text{sen}(wt) \quad -w^2\text{cos}(wt) \quad -4w^2\text{sen}(2wt) \quad -4w^2\text{cos}(2wt) \quad -9w^2\text{sen}(3wt) \quad -9w^2\text{cos}(3wt) \quad -16w^2\text{sen}(4wt) \quad -16w^2\text{cos}(4wt)] \quad (13)$$

Resumindo, tem-se:

$$ALFA1 = [1.2648 \quad 0.0018 \quad 0.0029 \quad -0.0166 \quad -0.0154 \quad -0.0014 \quad -0.0014 \quad -0.0001 \quad 0.0016]'$$

$$P1 = [1 \quad \text{sen}(wt) \quad \text{cos}(wt) \quad \text{sen}(2wt) \quad \text{cos}(2wt) \quad \text{sen}(3wt) \quad \text{cos}(3wt) \quad \text{sen}(4wt) \quad \text{cos}(4wt)]$$

$$V1 = [0 \quad w\text{cos}(wt) \quad -w\text{sen}(wt) \quad 2w\text{cos}(2wt) \quad -2w\text{sen}(2wt) \quad 3w\text{cos}(3wt) \quad -3w\text{sen}(3wt) \quad 4w\text{cos}(4wt) \quad -4w\text{sen}(4wt)]$$

$$A1 = [0 \quad -w^2\text{sen}(wt) \quad -w^2\text{cos}(wt) \quad -4w^2\text{sen}(2wt) \quad -4w^2\text{cos}(2wt) \quad -9w^2\text{sen}(3wt) \quad -9w^2\text{cos}(3wt) \quad -16w^2\text{sen}(4wt) \quad -16w^2\text{cos}(4wt)]$$

b) Centro de gravidade – ângulo teta

Nesse caso, onde se tem tabelado o ângulo em graus e velocidade e aceleração angular em radianos/s e radianos/s², foi utilizado o Programa 2, que contempla essa

diferença. A entrada de dados dos ângulos, é em graus conforme está na Tabela 2. Os demais procedimentos, são conforme alínea a.

A utilização do Programa 2, indica que o ajuste foi efetuado tomando os dados de posição como base.

ALFA2	[1.6181 -0.0033 0.1089 0.0203 -0.0298 0.0134 -0.0035 0.0003 0.0008]'
P2	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]*180/pi
V2	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A2	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

c) Centro de gravidade – eixo x

Foi utilizado o programa baseado nos dados de posição.

Nesse caso é utilizado o Programa 3, onde tem-se o último elemento que representa a parte da reta inclinada. Demais procedimentos seguem a alínea a.

ALFA3	[0.4575 0.0026 -0.0085 0.0096 -0.0054 -0.0036 0.0011 0.0007 -0.0026 1.4020]'
P3	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt) t]
V3	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt) 1]
A3	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt) 0]

É importante salientar, que todos os membros durante a marcha tem uma velocidade média constante, sendo na direção **x** um valor positivo, e na direção **y** um valor nulo. Dessa forma as acelerações médias são nulas, ou seja, muitos dos valores discretos comparados com os valores correspondentes de aceleração da curva ajustada , apresentam valores decimais e centesimais (muito próximos de zero), proporcionando elevados erros percentuais.

A opção de utilizar uma ordem comum para as expressões dos valores **x**; **y** e **teta** teve o sentido de padronização.

3.3.2 Coxa

(Tabelas 3 e 4)

a) Centro de gravidade – eixo y

Foi utilizado o Programa 1.

ALFA4	[0.7658 0.0006 0.0046 -0.0136 -0.0076 0.0019 -0.0075 0.0009 0.0013]'
P4	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]
V4	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A4	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

b) Centro de gravidade – ângulo teta

A utilização do Programa 2, indica que o ajuste foi efetuado tomando os dados de posição como base.

ALFA5	[4.8548 -0.0653 0.3329 0.0084 -0.0700 0.0253 0.0049 -0.0003 -0.0043]'
P5	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]*180/pi
V5	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A5	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

c) Centro de gravidade – eixo x

Foi utilizado o Programa 3.

ALFA6	[0.4982 -0.0097 0.0845 0.0175 -0.0274 0.0047 0.0005 0.0005 -0.0028 1.4016]'
P6	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt) t]
V6	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt) 1]
A6	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt) 0]

3.3.3 Perna

(Tabelas 5 e 6)



a) Centro de gravidade – eixo y

Foi utilizado o Programa 1.

ALFA7	[0.3749 -0.0264 -0.0064 0.0044 -0.0071 0.0021 0.0022 -0.0019 0.0011]'
P7	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]
V7	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A7	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

b) Centro de gravidade – ângulo teta

A utilização do Programa 2, indica que o ajuste foi efetuado tomando os dados de posição como base.

ALFA8	[4.4276 0.2337 0.4273 -0.1768 0.1692 -0.0315 -0.0116 - 0.0022 0.0125]'
P8	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]*180/pi
V8	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A8	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

c) Centro de gravidade – eixo x

Foi utilizado o Programa 3.

ALFA9	[0.4810 0.0137 0.2357 -0.0081 -0.0132 0.0029 0.0030 -0.0016 -0.0027 1.4009]'
P9	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt) t]
V9	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt) 1]
A9	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt) 0]

3.3.4 Pé

(Tabelas 7 e 8)

a) Centro de gravidade – eixo y

Foi utilizado o Programa 1.

ALFA10	[0.0913 -0.0377 -0.0041 0.0144 0.0001 -0.0034 0.0190 -0.0088 0.0028]'
P10	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]
V10	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A10	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

b) Centro de gravidade – ângulo teta

O ajuste foi efetuado tomando os dados de posição como base.

ALFA11	[5.5203 0.3244 0.4146 -0.2713 0.1579 0.0025 -0.0537 - 0.0035 0.0566]'
P11	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt)]*180/pi
V11	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt)]
A11	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt)]

c) Centro de gravidade – eixo x

Foi utilizado o Programa 3.

ALFA12	[0.4769 0.0874 0.3633 -0.0665 0.0354 -0.0039 -0.0036 - 0.0024 0.0030 1.4040]'
P12	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt) t]
V12	[0 wcos(wt) -wsen(wt) 2wcos(2wt) -2wsen(2wt) 3wcos(3wt) -3wsen(3wt) 4wcos(4wt) -4wsen(4wt) 1]
A12	[0 -w ² sen(wt) -w ² cos(wt) -4w ² sen(2wt) -4w ² cos(2wt) -9w ² sen(3wt) -9w ² cos(3wt) -16w ² sen(4wt) -16w ² cos(4wt) 0]

3.4 FORÇAS E TORQUES ATUANTES NOS MEMBROS:

Para determinação das forças e torques atuantes nos membros inferiores, foi utilizado diagrama de corpo livre.

Nessa situação (vide Figura 18), analisando as forças atuantes nas extremidades dos membros, tem-se 12 incógnitas (F_{1x} ; F_{1y} ; F_{2x} ; F_{2y} ; F_{3x} ; F_{3y} ; M_1 ; M_2 ; M_3 ; F_H ; F_V ; d), que se tornam 9, pois quando fora da fase de apoio as reações do solo são nulas.

O pé é composto de 26 ossos e diversos músculos e ligamentos, que possibilitam vários movimentos no contato com o solo (HALL, 2000). Essa complexidade do pé permite a adaptação do mesmo as várias irregularidades do solo. No nosso estudo de análise de uma marcha sobre um piso plano, os movimentos de maior importância são a dorsiflexão e a flexão plantar no plano sagital, onde nessa situação o pé faz um movimento tipo dobradiça (pinado) com pequena angulação em relação a normal ao plano sagital durante a marcha (HALL, 2000).

No plano sagital, tem-se um percentual do trabalho total bem maior que nos planos frontal e transversal, sendo que o trabalho devido ao momento no quadril no plano sagital –que interessa a esse estudo, representa 73% do trabalho total efetuado na junta do quadril (JANICE; WINTER, 1995).

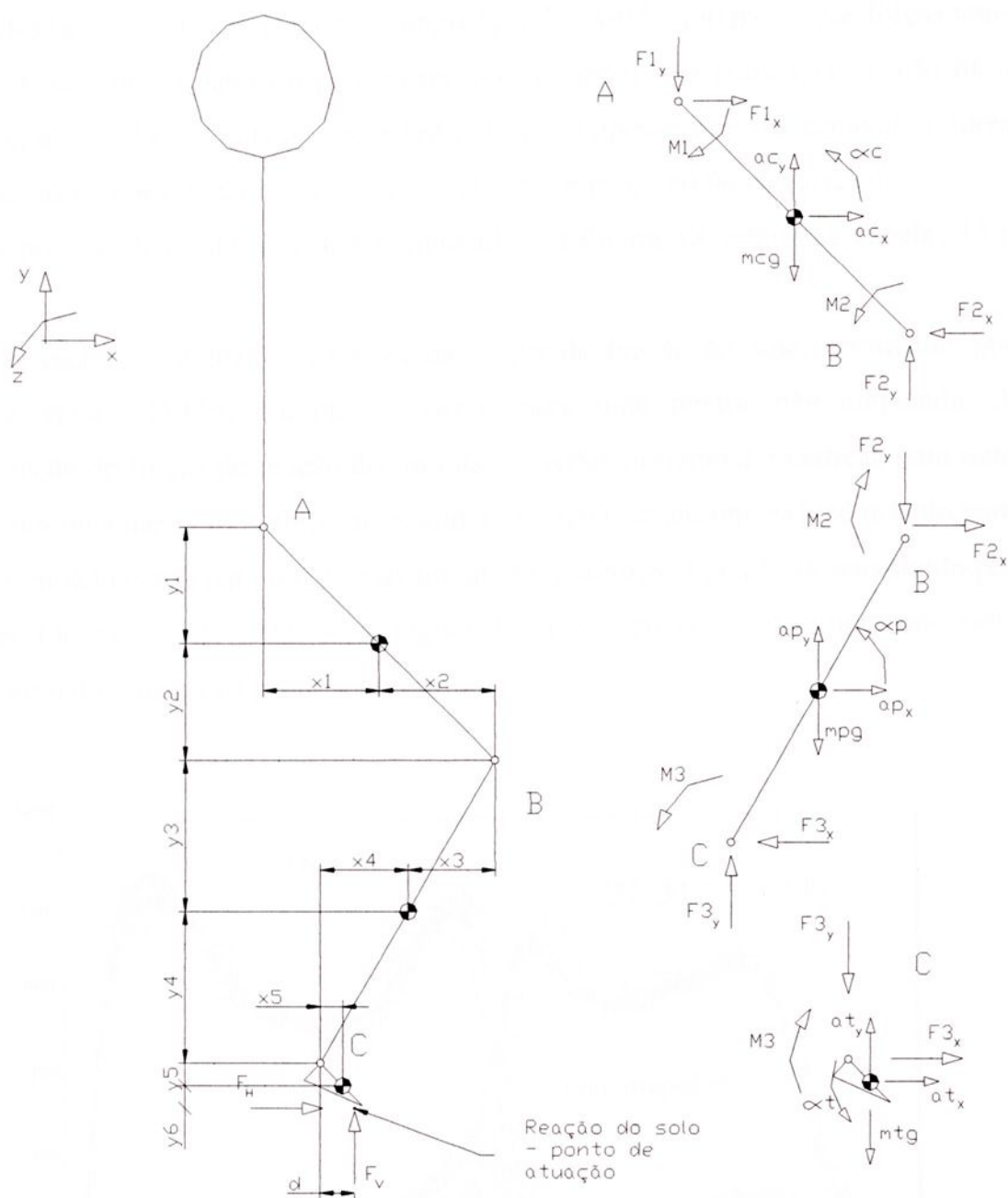
Com os valores levantados em laboratório, no plano bi-dimensional, tem-se para cada membro as acelerações lineares em x e y e também a aceleração angular α do c.g., assim como, as posições dos c.g. Dessa forma, tem-se 9 valores determinados, o que leva a ter 9 equações e 12 incógnitas quando o pé está na fase de apoio, e 9 equações e 9 incógnitas quando o pé está na fase de balanço.

As três indeterminações: a reação horizontal do solo F_x – seu ponto de atuação está localizado no piso; a reação vertical F_y e a distância de atuação da reação vertical ao centro de rotação do tornozelo d .

Essas três indeterminações na fase de apoio do pé, foram mensuradas em laboratório com a utilização de placas de força por Winter (1979).

Figura 18 – Diagrama de corpo livre para não apoiado.

Forças e torques atuantes nos membros inferiores



a_c ; a_p ; a_t : aceleração linear do c.g. da coxa; perna e pé respectivamente.
 α_c ; α_p ; α_t : aceleração angular do c.g. da coxa; perna e pé respectivamente.
 m_{cg} ; m_{pg} ; m_{tg} : peso do c.g. da coxa; perna e pé respectivamente.
 F e M : Força e torque atuantes nas extremidades dos membros.
 F_H e F_V : Força horizontal e vertical de reação do solo.

Figura 18 – Diagrama de corpo livre para não amputado

Da mesma forma que foi realizado para as posições, velocidades e acelerações, foram feitos ajustes de curvas para as forças F_H e F_V , sendo que para essas forças tem-se duas curvas, uma quando o pé está na fase de apoio, e a outra quando não há o contato com o solo, as curvas nesse segundo caso apresentam logicamente valores nulos para as reações do solo. Essas curvas tem o tempo como única variável.

A posição dos pontos A; B e C indicadas na Figura 18, estão nas Tabelas 11 e 12.

Para uma melhor visualização, tem-se as forças de reação do solo, levantadas por Janine e Winter (1995) durante a marcha para uma pessoa não amputada. A representação de forças de reação do solo nas direções horizontal e vertical, para uma pessoa com uma das pernas amputadas acima do joelho, estão representadas tanto para o lado amputado como para o lado não amputado -conforme trabalho desenvolvido por Van Der Lindem et al. (1999)- na Figura 19. Essas curvas serão utilizadas como comparativo das curvas da prótese em estudo.

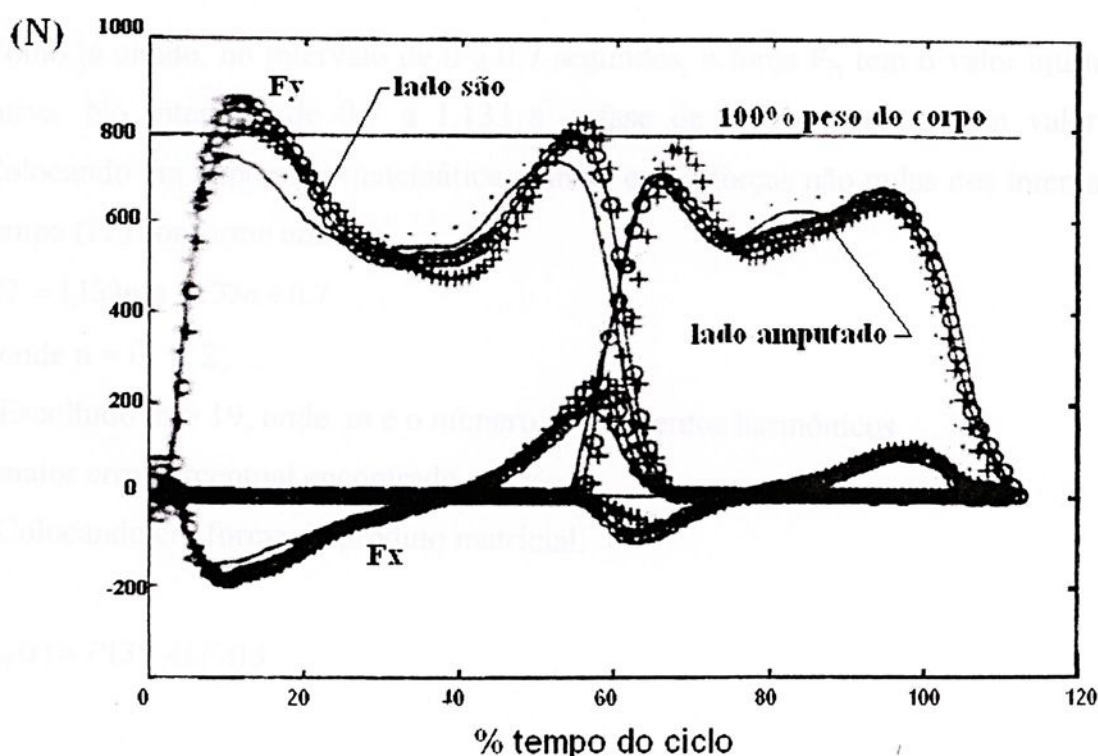


Figura 19 - Forças de reação do solo no plano sagital - Amputado transfemural (VAN DER LINDEM et al., 1999)

Winter (1979) registrou as posições e as amplitudes das reações do solo, e os valores estão indicados na Tabela 9. As posições das extremidades dos membros, também efetuado por Winter (1979), estão indicadas na Tabela 11.

Com esses dados foram calculados as forças e torques atuantes nas extremidades dos membros, principalmente no quadril, que servirá então como comparativo com uma marcha simulada utilizando a prótese de joelho, alvo desse trabalho.

3.4.1 Ajuste das forças horizontais (F_H) e verticais (F_V)

- O procedimento para o ajuste de curva dos dados utilizados para as reações do solo vertical e horizontal, está mostrado em procedimento 2 no anexo D.

a) Força Horizontal F_H

Como já citado, no intervalo de 0 a 0,7 segundos, a força F_H tem o valor ajustado da curva. No intervalo de 0,7 a 1,133 s – fase de balanço, tem-se um valor nulo. Colocando em expressão matemática, tem-se então forças não nulas nos intervalos de tempo (IT) conforme abaixo:

$$IT = 1,133n \text{ a } 1,133n + 0,7$$

- onde $n = 0; 1; 2; \dots$

- Escolhido $m = 19$, onde m é o número de elementos harmônicos

- maior erro percentual encontrado $< 2 \%$

- Colocando em forma de produto matricial:

$$F_H(t) = P13 * ALFA13$$

ALFA13	[1.9370 -3.3690 1.5236 -2.5481 -1.9380 0.5108 -2.4265 1.6615 -0.3656 0.6593 0.8209 -0.2246 0.5196 -0.2478 0.0182 -0.0409 -0.0681 0.0070 -0.0114]*10 ³
P13	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt) sen(5wt) cos(5wt) sen(6wt) cos(6wt) sen(7wt) cos(7wt) sen(8wt) cos(8wt) sen(9wt) cos(9wt)]

b) Força Horizontal F_V

Da mesma forma que para F_H, F_V tem valores não nulos nos intervalos de tempo (IT) conforme abaixo:

- $IT = 1,133n$ a $1,133n + 0,7$
- onde $n = 0; 1; 2; …$
 - Escolhido $m = 19$
 - maior erro percentual encontrado $< 0,3\%$
 - Colocando em forma de produto matricial:

$F_V(t) = P14 * ALFA14$

ALFA14	[-1.7611 4.3866 -1.3031 2.0821 3.0958 -1.6411 2.1551 -1.9656 -0.6603 -0.0948 -1.3655 0.6244 -0.3542 0.2685 0.1417 0.0249 0.0920 -0.0072 0.0169]*10 ³
P14	[1 sen(wt) cos(wt) sen(2wt) cos(2wt) sen(3wt) cos(3wt) sen(4wt) cos(4wt) sen(5wt) cos(5wt) sen(6wt) cos(6wt) sen(7wt) cos(7wt) sen(8wt) cos(8wt) sen(9wt) cos(9wt)]

3.4.2 Forças e torques atuantes no pé

(vide Figura 18)

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F_H + F3_x = mt \times at_x \quad (14)$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$F_V - F3_y - mt \times g = mt \times at_y \quad (15)$$

$$\sum M_z = It\alpha$$

$$-M3 + F_V \times (d - x5) + F_H \times (y6) - F3_x(y5) + F3_y \times x5 = It \times \alpha \quad (16)$$

onde:

- As posições do ponto C (Tabela 11) e do centro de gravidade do pé (Tabela 7), definem as cotas x5; y5; y6.
- A posição dos marcadores utilizados por Winter (1979), estão indicados na Figura 20.
- A cota **d**, está indicada na Tabela 5.
- atx; aty e α : aceleração linear na direção x; na direção y e aceleração angular respectivamente, foram definidas pelas curvas do item 3.3.4
- mt: massa do pé = 1,16 Kg

It = Momento de inércia do pé em relação ao c.g. = 0,01 Kg.m²

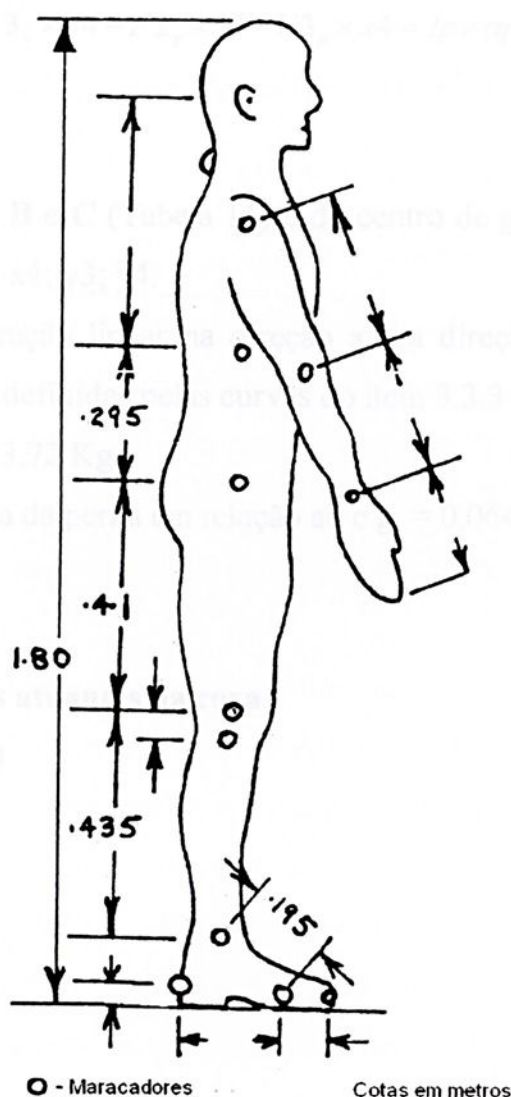


Figura 20 - Posicionamento de marcadores (WINTER, 1979)

3.4.3 Forças e torques atuantes na perna

(vide Figura 18)

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F2_x - F3_x = mp \times ap_x \quad (17)$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$F3_y - F2_y - mp \times g = mp \times ap_y \quad (18)$$

$$\sum M_z = Ip \alpha_p$$

$$M3 - M2 - F2_x \times y3 - F3_x \times y4 - F2_y \times x3 - F3_y \times x4 = I_p \times \alpha p \quad (19)$$

onde:

- As posições do ponto **B** e **C** (Tabela 11) e do centro de gravidade da perna (Tabela 5), definem as cotas $x3$; $x4$; $y3$; $y4$.

- ap_x ; ap_y e αp : aceleração linear na direção x ; na direção y e aceleração angular respectivamente, foram definidas pelas curvas do item 3.3.3

- mp : massa da perna = 3,72 Kg

I_p = Momento de inércia da perna em relação ao c.g. = 0,064 Kg.m²

3.4.4 Forças e torques atuantes na coxa

(vide Figura 18)

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F1_x - F2_x = mc \times ac_x \quad (20)$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$F2_y - F1_y - mc \times g = mc \times ac_y \quad (21)$$

$$\sum M_z = Ic \alpha c$$

$$M2 - M1 - F1_x \times y1 - F2_x \times y2 + F1_y \times x1 + F2_y \times x2 = Ic \times \alpha c \quad (22)$$

onde:

- As posições do ponto **A** e **B** (Tabela 11) e do centro de gravidade da coxa (Tabela 3), definem as cotas $x1$; $x2$; $y1$; $y2$.

- ac_x ; ac_y e αc : aceleração linear na direção x ; na direção y e aceleração angular respectivamente, foram definidas pelas curvas do item 3.3.2

- mc : massa da coxa = 8 Kg

Ic = Momento de inércia da coxa em relação ao c.g. = 0,14 Kg.m²

3.4.5 Determinação das forças e torques nas extremidades dos membros

(vide Figura 18)

As forças e torques indicados nos itens 3.4.2; 3.4.3 e 3.4.4 das equações (14) a (22), são calculadas através de programa desenvolvido no MATLAB. Na verdade foram utilizados 2 programas, um (Programa 8) para transformação adequada dos vetores do Excel para o MATLAB, e o outro (Programa 7) efetivamente para o cálculo das forças e torques.

O procedimento 3 no anexo D, mostra a maneira de se utilizar os programas 7 e 8 que estão no anexo C.

O período da marcha analisada (passo completo), foi de aproximadamente 1,13 s. Verifica-se que o período de apoio do pé direito –as marcações para levantamento dos dados (WINTER, 1979) foram colocados nos membros inferiores do lado direito- vai de 0 até 0,717 s, ou seja, o toque do calcanhar no solo ocorre no tempo de 0 s, e o desprendimento do solo (final da impulsão) ocorre no tempo de 0,717 s e esse mesmo calcanhar volta a tocar o solo no tempo de 1,133 s O tempo de apoio portanto do pé direito –idem para o esquerdo- durante o ciclo da marcha foi de aprox. 62% do período do passo.

Os resultados das forças e torques atuantes nos membros inferiores, conforme experiência feita em laboratório por Winter (1979) de uma pessoa não amputada, estão indicados em forma de gráfico nas Figuras 21 e 22. Para um resultado mais abrangente, os dados dos gráficos das Figuras 21 e 22 foram divididos pelo peso do indivíduo (80 Kg) que efetuou a marcha, e o período da marcha de 1,133 s substituído pelo percentual de marcha (100%) gerando os gráficos das Figuras 23 e 24. É importante frisar que mesmo para as pessoas que tenham o mesmo peso os resultados são diferentes, dessa forma, ao se dividir os resultados pelo peso corpóreo não se tem é claro uma relação linear, mas valores mais compatíveis para estudo comparativo entre os esforços em cada indivíduo.



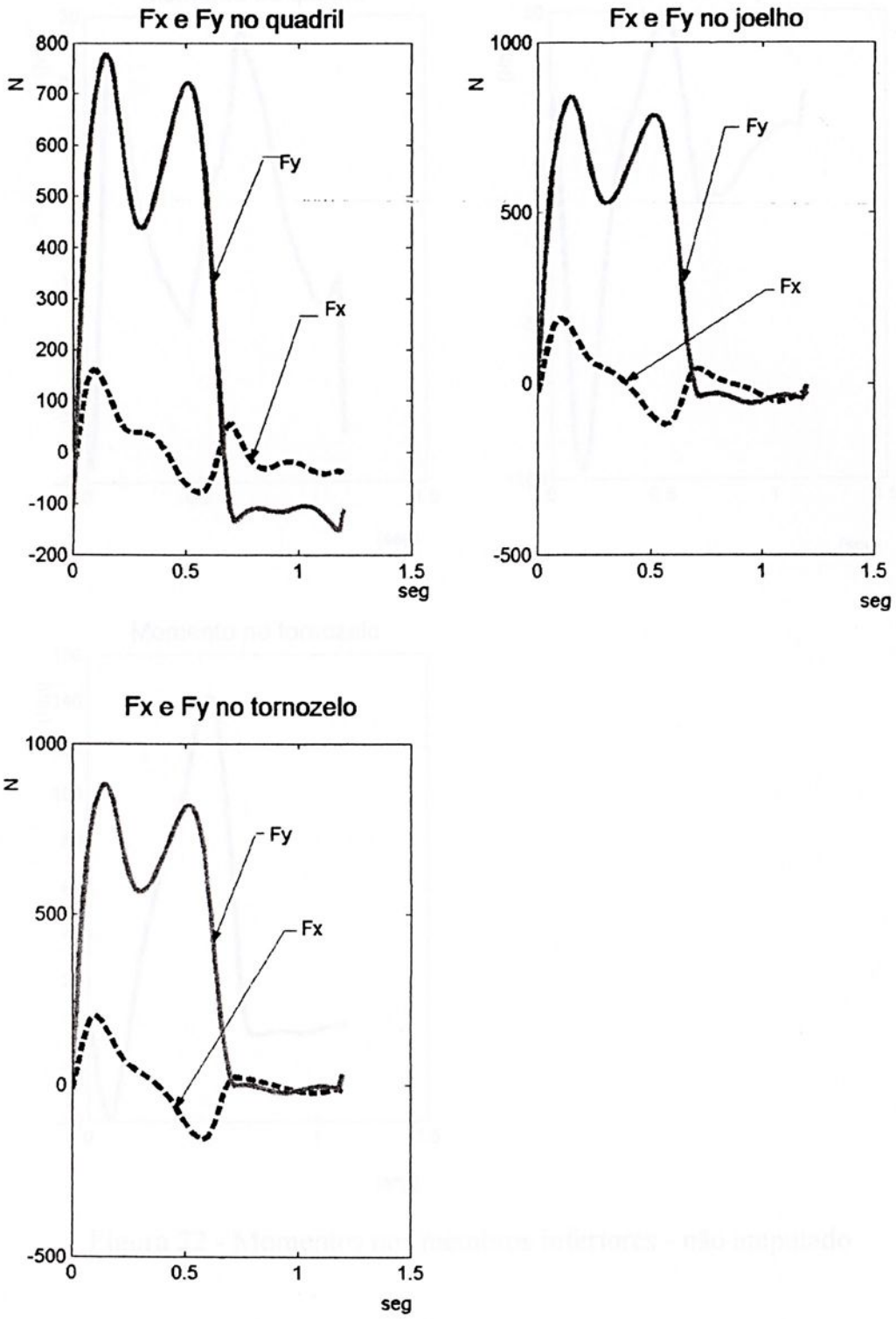


Figura 21 - Forças nos membros inferiores - não amputado

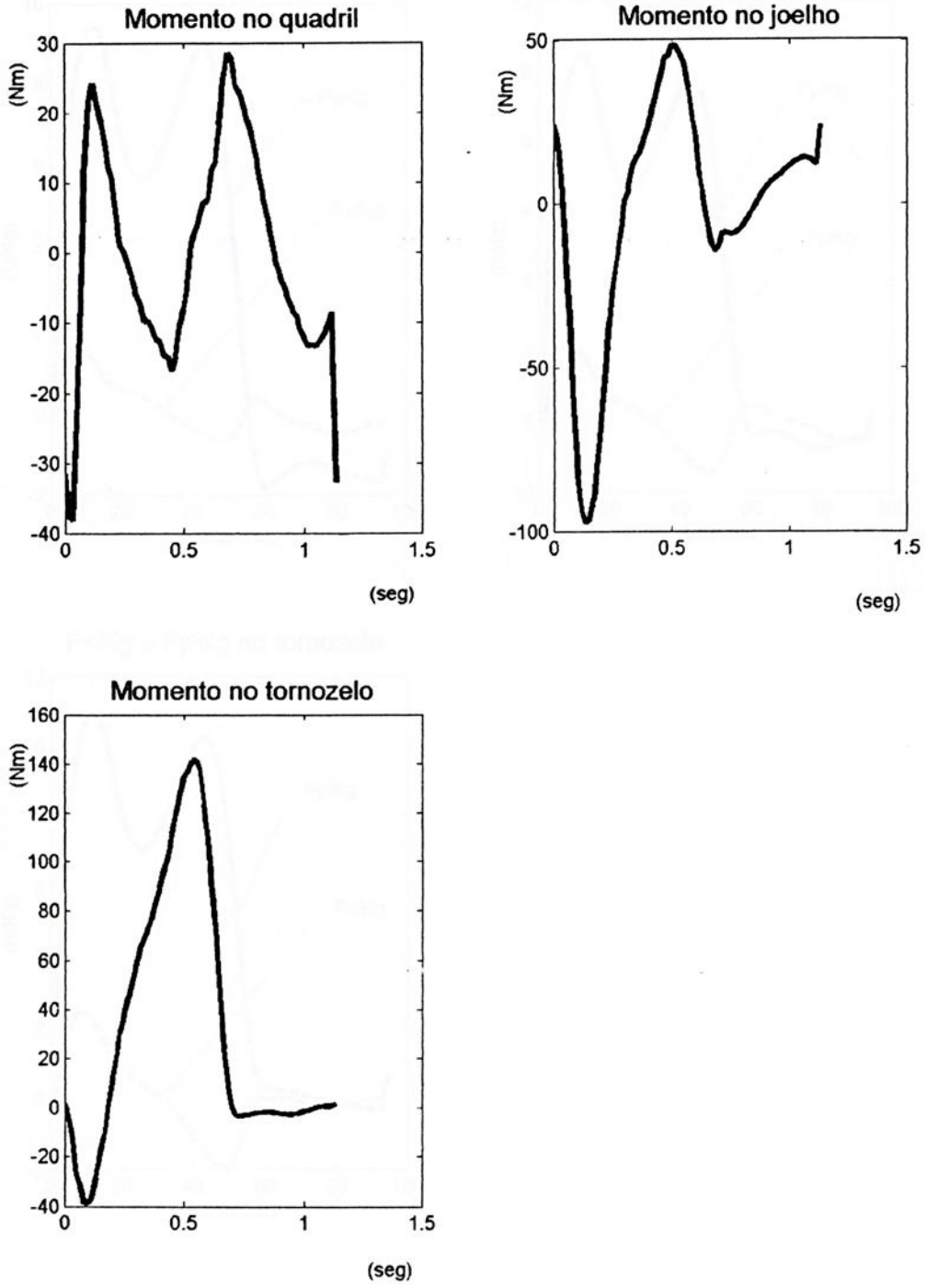


Figura 22 - Momentos nos membros inferiores - não amputado

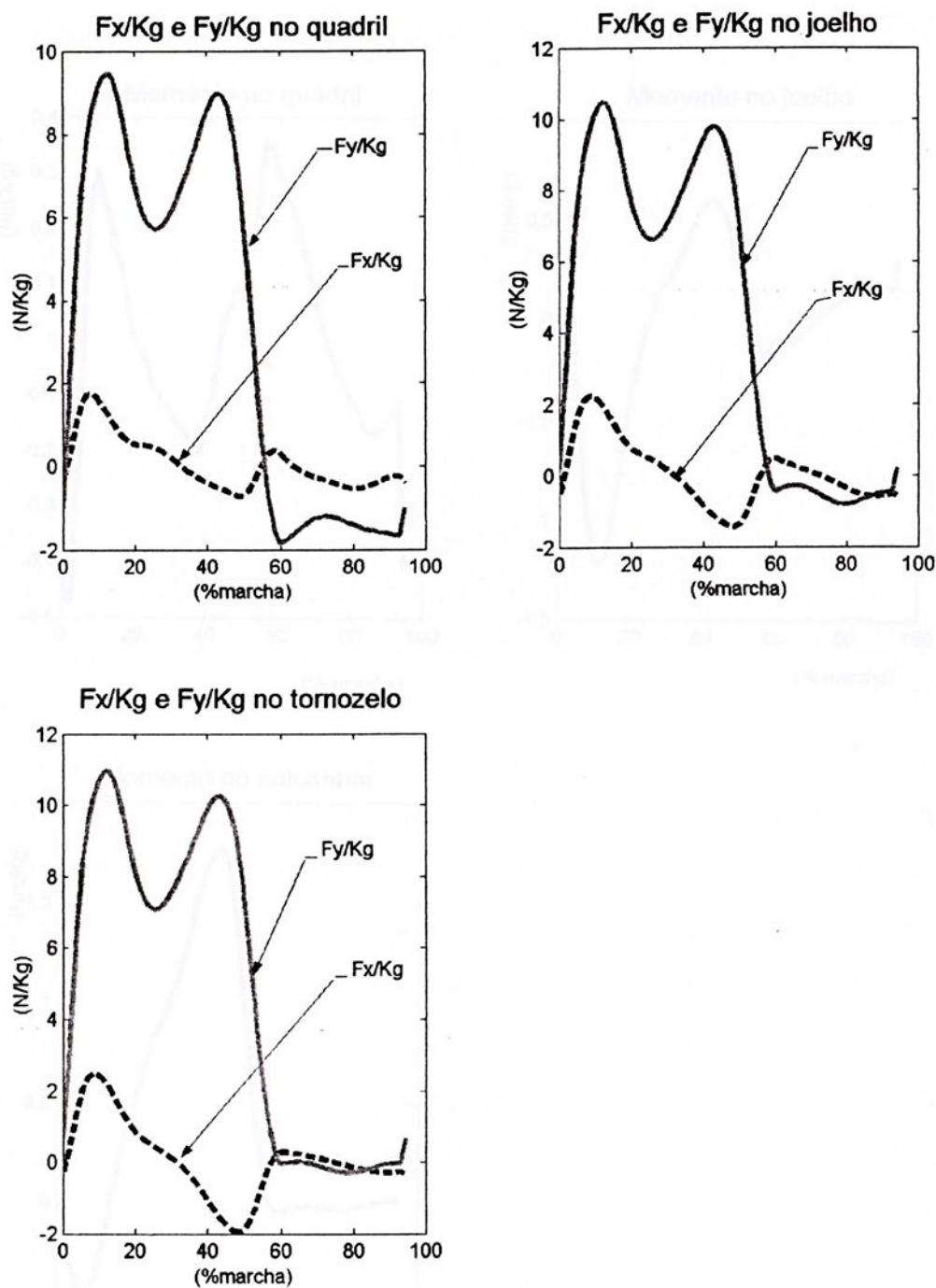


Figura 23 - Forças nos membros inferiores/Kg - não amputado

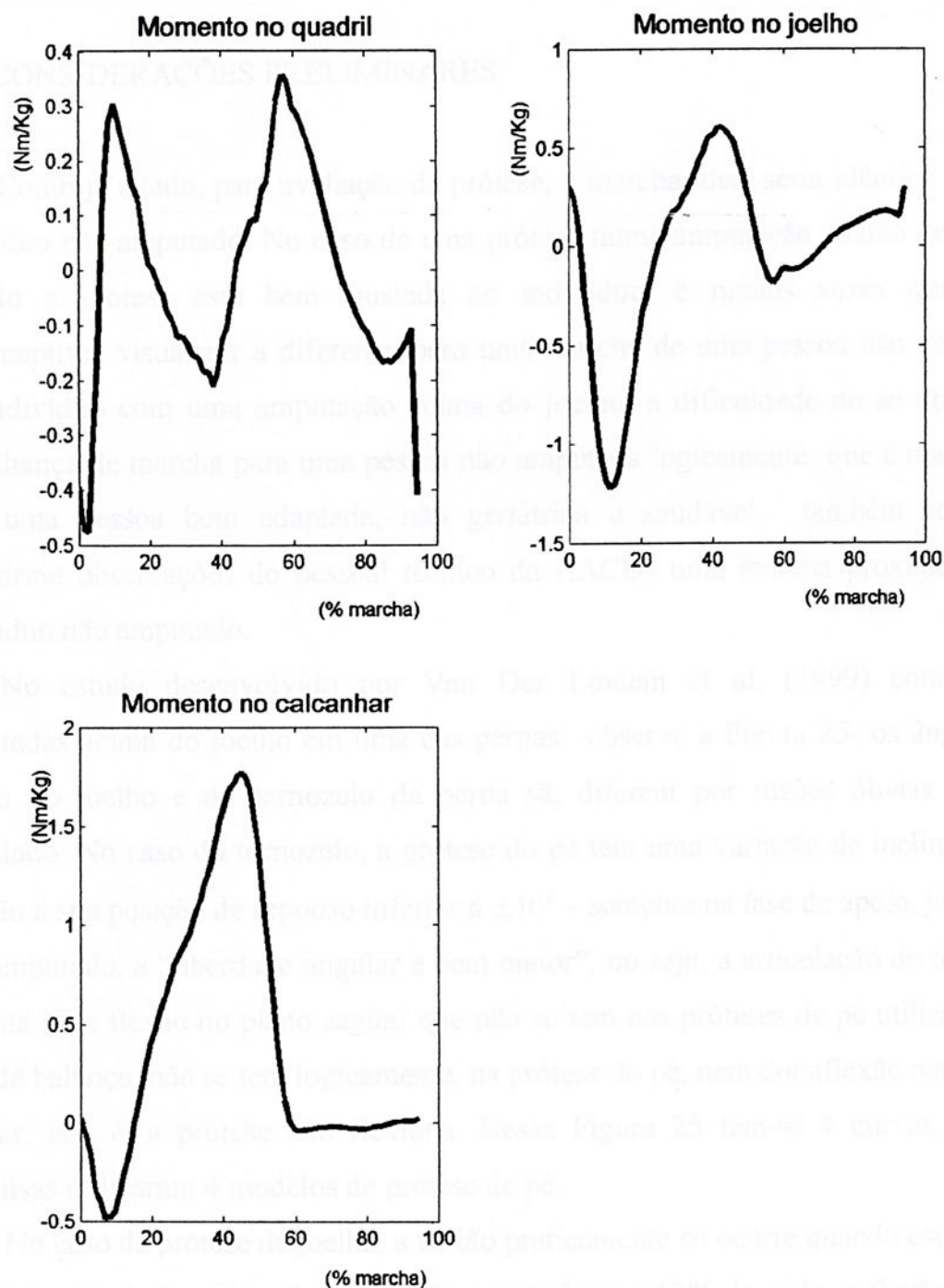


Figura 24 - Momentos nos membros inferiores/Kg - não amputado

4 MODELO MATEMÁTICO DE MARCHA PARA AMPUTADO

4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Como já citado, para avaliação da prótese, a marcha ideal seria idêntica a de um indivíduo não amputado. No caso de uma prótese numa amputação abaixo do joelho, quando a prótese está bem ajustada ao indivíduo, é muitas vezes quase que imperceptível visualizar a diferença para uma marcha de uma pessoa não amputada. No indivíduo com uma amputação acima do joelho, a dificuldade de se obter uma semelhança de marcha para uma pessoa não amputada logicamente que é maior, mas para uma pessoa bem adaptada, não geriátrica e saudável, também se obtém (conforme observações do pessoal técnico da AACD) uma marcha próxima de um indivíduo não amputado.

No estudo desenvolvido por Van Der Lindem et al. (1999) com pessoa amputadas acima do joelho em uma das pernas –observe a Figura 25- os ângulos de flexão do joelho e do tornozelo da perna sã, diferem por razões óbvias ao lado amputado. No caso do tornozelo, a prótese do pé tem uma variação de inclinação em relação a sua posição de repouso inferior a $\pm 10^\circ$ - somente na fase de apoio, já no lado não amputado, a “liberdade angular é bem maior”, ou seja, a articulação do tornozelo permite uma flexão no plano sagital que não se tem nas próteses de pé utilizadas. Na fase de balanço, não se tem logicamente, na prótese do pé, nem dorsiflexão nem flexão plantar, isto é, a prótese não flexiona. Nessa Figura 25 tem-se 4 curvas, pois as pesquisas utilizaram 4 modelos de prótese de pé.

No caso da prótese de joelho, a flexão praticamente só ocorre quando está na fase de balanço, pois durante a fase de apoio –equivalente a 62% do ciclo- a flexão desde o contato do calcâneo até cerca de 50 a 55% do ciclo (apoio) é nula, ou seja, a prótese de joelho fica “travada”, só no final da fase de apoio entre 5 e 10% é que a perna começa ser fletida. No joelho mesmo durante a fase de apoio, o mesmo sofre flexão, mas é claro, tem-se através dos músculos, um controle de torque sobre o mesmo.

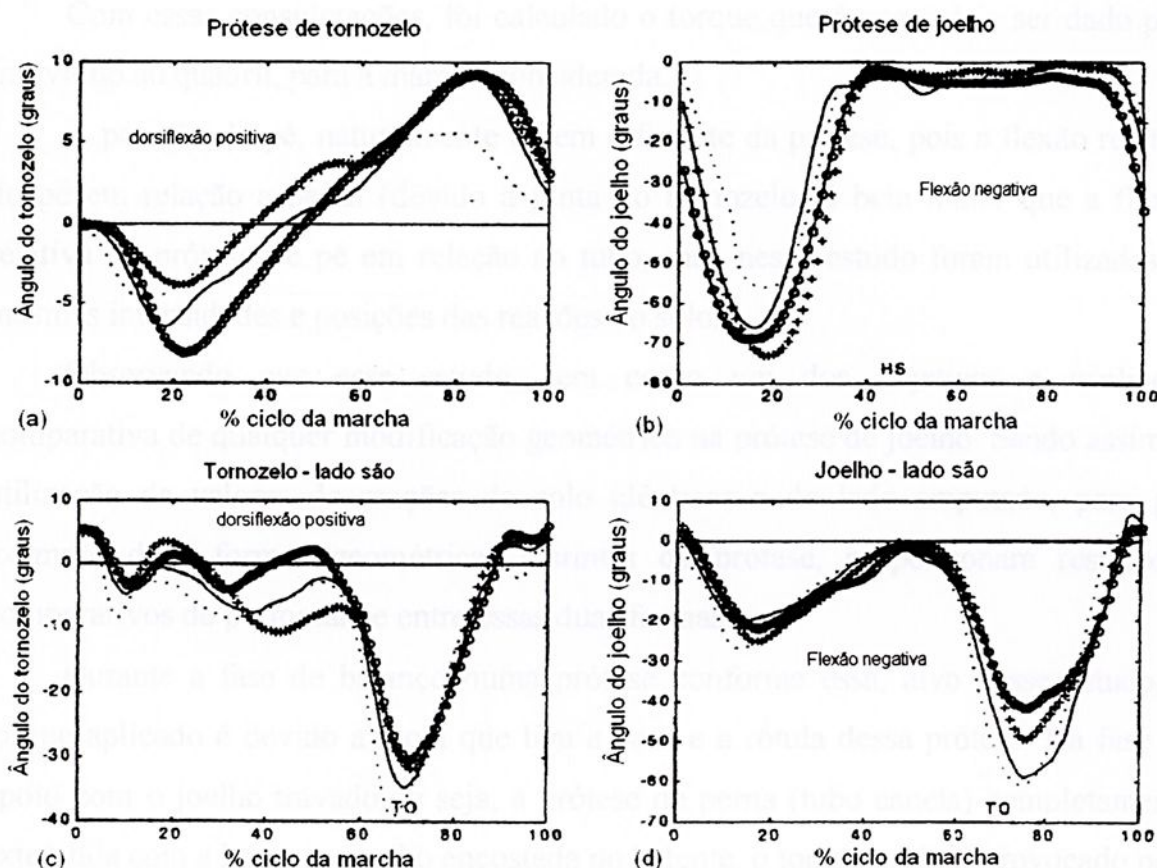


Figura 25 - Inclinação do pé e do joelho - Lado são e lado amputado
(VAN DER LINDEM et al., 1999)

As inclinações indicadas na figura 25 referem-se a inclinação relativa do pé em relação a perna, ou da prótese de pé em relação ao tubo canela e a inclinação relativa do joelho em relação a coxa, ou da prótese de joelho em relação a coxa. Para esse estudo, a posição relativa do centro de gravidade da coxa e sua inclinação, assim como a inclinação da perna, foram mantidas as mesmas para o lado amputado, ou seja, foram usadas as mesmas curvas (posição x tempo) para a junta do quadril e dos ângulos da perna e da coxa. Foi verificado se a prótese do pé, durante a fase de balanço, não toca no piso até o contato do calcâneo para a nova fase de apoio.

Na verificação se a ponta do pé –na fase de apoio – tocar o piso, será dado uma maior inclinação na flexão da prótese de joelho.

Durante a maior parte da fase de apoio - 50 a 55% de um total de 62% do ciclo, não há flexão da prótese de joelho em relação a coxa.

Com essas considerações, foi calculado o torque que é necessário ser dado pelo indivíduo ao quadril, para a marcha considerada.

A posição do pé, naturalmente é bem diferente da prótese, pois a flexão relativa do pé em relação a perna (devido a junta do tornozelo) é bem maior que a flexão relativa da prótese de pé em relação ao tubo, mas nesse estudo foram utilizadas as mesmas intensidades e posições das reações do solo.

Observando que esse estudo, tem como um dos objetivos a avaliação comparativa de qualquer modificação geométrica na prótese de joelho. Sendo assim, a utilização de valores de reações do solo idênticas a do lado amputado, para por exemplo duas formas geométricas distintas da prótese, proporcionará resultados comparativos de performance entre essas duas formas.

Durante a fase de balanço numa prótese conforme essa, alvo desse estudo, o torque aplicado é devido a mola que liga a base e a rótula dessa prótese. Na fase de apoio com o joelho travado, ou seja, a prótese de perna (tubo canela) completamente estendida com a haste do joelho encostada no batente, o torque então é provocado pelo batente.

Importante frisar, as próteses de joelho são idênticas para todos os pacientes na AACD, mas os ajustes (inclinações entre elementos da prótese, comprimentos do tubo-canela, adaptação ao coto) são individuais, em função de diversos fatores tais como: altura; tipo físico; curvatura e forma da perna sã.

Para melhor visualização e desenvolvimento do modelo matemático, foi estabelecido um modelo físico conforme a Figura 26. É importante frisar que nesse modelo, a linha da coxa foi colocada alinhada com o tubo-canela. Na realidade, na AACD os ajustes que foram feitos, posicionaram o tubo canela e a prótese atrás da linha da coxa (centro do quadril ao centro do joelho).

4.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Para desenvolvimento desse modelo matemático, foi utilizado diagrama de corpo livre dos membros com coordenadas de referência e local.



Na Figura 27 –que deve ser utilizado para acompanhamento da formulação matemática –estão indicados os referenciais locais (1 a 3) e o referencial global (0).

Observando que:

- Referencial 1: localizado na junta do quadril.
- Referencial 2: No pino superior da haste anterior da prótese de joelho.
- Referencial 3: No pino inferior da haste anterior da prótese de joelho.
- C.g. da parte inferior: Essa parte inferior é composta de: peça inferior da prótese de joelho (base); Tubo canela e pela prótese de pé.

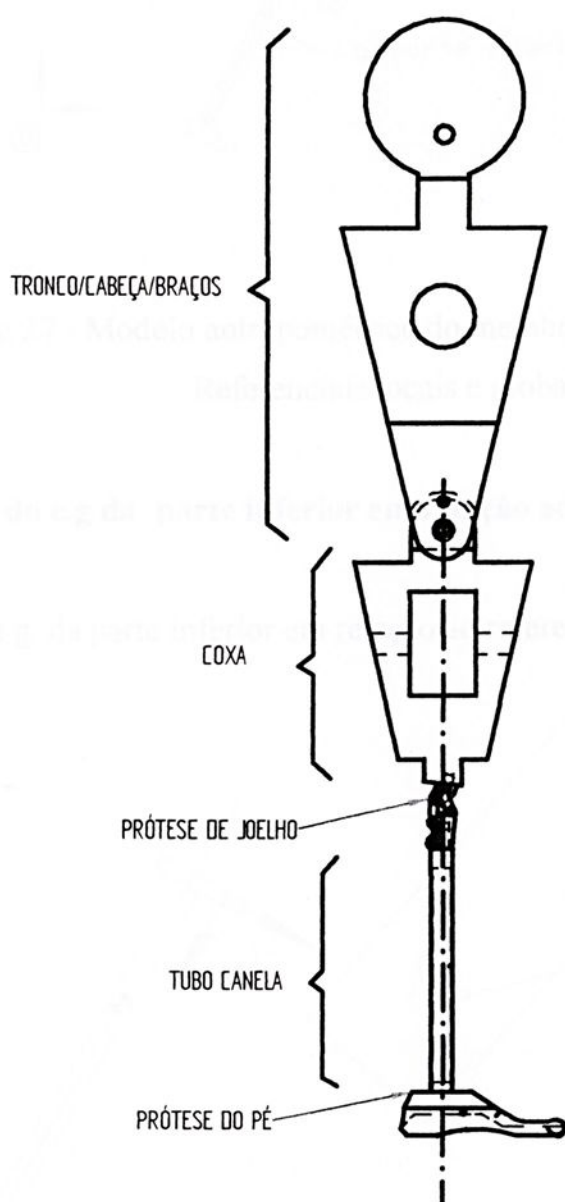


Figura 26 - Modelo físico – lado amputado

Referenciais locais e fixo

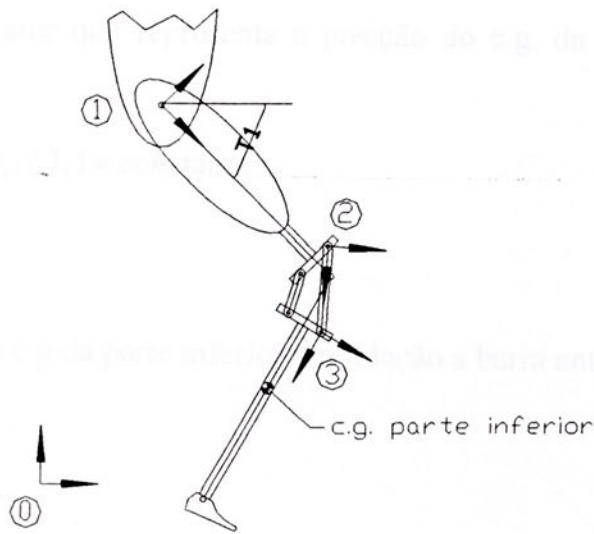


Figura 27 - Modelo antropométrico do membro inferior amputado
Referenciais locais e global

4.2.1 Posições do c.g. da parte inferior em relação ao referencial local

a) Posição do c.g. da parte inferior em relação ao referencial 3

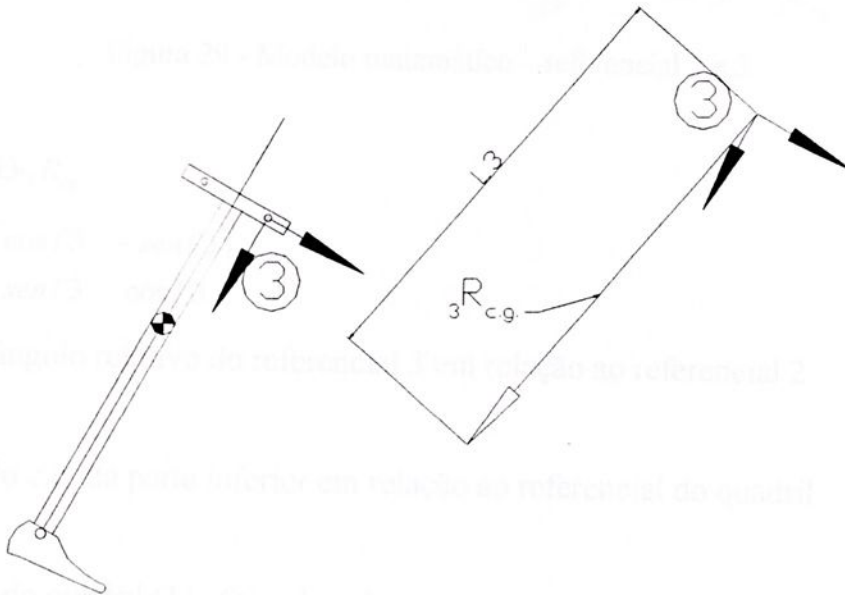


Figura 28 – Posição do cg da prótese no referencial 3

$${}_3r_{cg} = {}_3R_{cg}$$

onde:

${}_3r_{cg} = {}_3R_{cg} \rightarrow$ vetor que representa a posição do c.g. da parte inferior em relação ao referencial 3.

$${}_3r_{cg} = {}_3R_{cg} = [L3_1; L3_2] = \text{constante} \quad (24)$$

b) Posição do c.g da parte inferior em relação a barra anterior do joelho

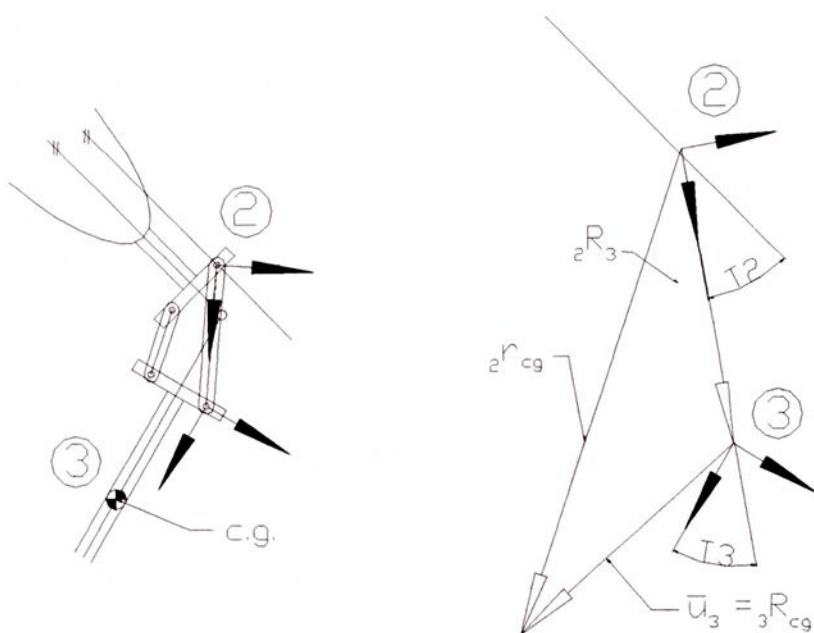


Figura 29 - Modelo matemático – referencial 2 e 3

$${}_2r_{cg} = {}_2R_3 + A3 \cdot {}_3R_{cg} \quad (25)$$

onde: $A3 = \begin{bmatrix} \cos T3 & -\sin T3 \\ \sin T3 & \cos T3 \end{bmatrix};$

onde T3 é o ângulo relativo do referencial 3 em relação ao referencial 2

c) Posição do c.g. da parte inferior em relação ao referencial do quadril

O referencial do quadril (1), foi colocado com a mesma inclinação da coxa.

$${}_1r_{cg} = {}_1R_2 + A2({}_2R_3 + A3 \cdot {}_3R_{cg})$$

(26)

onde:

$$A2 = \begin{bmatrix} \cos T2 & -\sin T2 \\ \sin T2 & \cos T2 \end{bmatrix};$$

onde T2 é o ângulo relativo do referencial 2 em relação ao referencial 1

d) Posição da parte inferior em relação ao referencial global

Da mesma forma que para os itens anteriores, tem-se:

$${}_0r_{cg} = {}_0R_1 + A1 \cdot \bar{u}$$

$${}_0r_{cg} = {}_0R_1 + A1({}_1R_2 + A2({}_2R_3 + A3 \cdot {}_3R_{cg}))$$

(27)

onde:

$$A1 = \begin{bmatrix} \cos T1 & -\sin T1 \\ \sin T1 & \cos T1 \end{bmatrix};$$

e) Expressão geral da posição do c.g. da parte inferior

$${}_0r_{cg} = {}_0R_1 + A1{}_1R_2 + A1A2{}_2R_3 + A1A2A3{}_3R_{cg}$$

(28)

4.2.2 Valor de cada componente

a) ${}_0R_1; {}_0\dot{R}_1; {}_0\ddot{R}_1$: Da Tabela 11 – ponto 2, tem-se as posições da junta do quadril. Será feito ajuste de curva da posição da junta quadril, e feitos as derivadas para as velocidades e acelerações.

- Curva de ajuste da posição da junta do quadril:

Esse ajuste foi feito conforme para os centros de gravidade dos membros inferiores. O ajuste fornece as curvas de posição, velocidade e aceleração nas direções x e y da junta do quadril.

- **Ajuste da posição y :**

- Para esse ajuste, foram utilizados os Programas 09 e 10.

ALFA15	$[0.9343 \quad 0.0037 \quad -0.0025 \quad -0.0159 \quad -0.0082 \quad -0.0013 \quad -0.0062 \quad 0.0008 \quad 0.0009]'$
P15	$[1 \quad \text{sen}(wt) \quad \text{cos}(wt) \quad \text{sen}(2wt) \quad \text{cos}(2wt) \quad \text{sen}(3wt) \quad \text{cos}(3wt) \quad \text{sen}(4wt) \quad \text{cos}(4wt)]$
V15	$[0 \quad w\text{cos}(wt) \quad -w\text{sen}(wt) \quad 2w\text{cos}(2wt) \quad -2w\text{sen}(2wt) \quad 3w\text{cos}(3wt) \quad -3w\text{sen}(3wt) \quad 4w\text{cos}(4wt) \quad -4w\text{sen}(4wt)]$
A15	$[0 \quad -w^2\text{sen}(wt) \quad -w^2\text{cos}(wt) \quad -4w^2\text{sen}(2wt) \quad -4w^2\text{cos}(2wt) \quad -9w^2\text{sen}(3wt) \quad -9w^2\text{cos}(3wt) \quad -16w^2\text{sen}(4wt) \quad -16w^2\text{cos}(4wt)]$

- **Ajuste da posição x :**

- Para esse ajuste, foram utilizados os Programas 10 e 11.

ALFA16	$[0.4505 \quad 0.0033 \quad 0.0273 \quad 0.0129 \quad -0.0177 \quad 0.0007 \quad -0.0004 \quad 0.0007 \quad -0.0030 \quad 1.4018]'$
P16	$[1 \quad \text{sen}(wt) \quad \text{cos}(wt) \quad \text{sen}(2wt) \quad \text{cos}(2wt) \quad \text{sen}(3wt) \quad \text{cos}(3wt) \quad \text{sen}(4wt) \quad \text{cos}(4wt) \quad t]$
V16	$[0 \quad w\text{cos}(wt) \quad -w\text{sen}(wt) \quad 2w\text{cos}(2wt) \quad -2w\text{sen}(2wt) \quad 3w\text{cos}(3wt) \quad -3w\text{sen}(3wt) \quad 4w\text{cos}(4wt) \quad -4w\text{sen}(4wt) \quad 1]$
A16	$[0 \quad -w^2\text{sen}(wt) \quad -w^2\text{cos}(wt) \quad -4w^2\text{sen}(2wt) \quad -4w^2\text{cos}(2wt) \quad -9w^2\text{sen}(3wt) \quad -9w^2\text{cos}(3wt) \quad -16w^2\text{sen}(4wt) \quad -16w^2\text{cos}(4wt) \quad 0]$

b) $A1$ - Matriz de rotação do referencial do quadril em relação ao global

$T1$ – ângulo absoluto

$$A1 = \begin{bmatrix} \cos T1 & -\sin T1 \\ \sin T1 & \cos T1 \end{bmatrix};$$

$${}^o A1 = {}^o T1 \begin{bmatrix} -\sin T1 & -\cos T1 \\ \cos T1 & -\sin T1 \end{bmatrix};$$

$${}^\infty A1 = {}^\infty T1 \begin{bmatrix} -\sin T1 & -\cos T1 \\ \cos T1 & -\sin T1 \end{bmatrix} + {}^o T1^2 \begin{bmatrix} -\cos T1 & \sin T1 \\ -\sin T1 & -\cos T1 \end{bmatrix};$$

- O ângulo e suas derivadas, são calculados utilizando a fórmula do item 3.3.2 – item b, onde os produtos matriciais $ALFA5 \times P5'$; $ALFA5 \times V5'$ e $ALFA5 \times A5'$ fornecem os valores de $T1$; ${}^o T1$ e ${}^\infty T1$ respectivamente.

c) ${}_1 R_2$: Posição do pino superior da alavanca anterior em relação ao quadril. Como

${}_1 R_2 = \text{constante}$, então:

$${}_1 {}^o R_2 = {}_1 {}^\infty R_2 = 0$$

– valores indicados nos vetores estão em metros

$${}_1 R_2 = [0,4098 ; -0,0007]$$

d) $A2$ - Matriz de rotação do referencial 2 em relação ao referencial 1:

$T2$ – ângulo relativo

$$A2 = \begin{bmatrix} \cos T2 & -\sin T2 \\ \sin T2 & \cos T2 \end{bmatrix};$$

$${}^o A2 = {}^o T2 \begin{bmatrix} -\sin T2 & -\cos T2 \\ \cos T2 & -\sin T2 \end{bmatrix};$$

$${}^\infty A2 = {}^\infty T2 \begin{bmatrix} -\sin T2 & -\cos T2 \\ \cos T2 & -\sin T2 \end{bmatrix} + {}^o T2^2 \begin{bmatrix} -\cos T2 & \sin T2 \\ -\sin T2 & -\cos T2 \end{bmatrix};$$

e) ${}_2R_3$: Posição do pino inferior da alavanca anterior em relação ao pino superior.

- Como ${}_2R_3 = \text{constante}$, então:

$${}_2\overset{o}{R}_3 = {}_2\overset{\infty}{R}_3 = 0$$

$${}_2R_3 = [0,035; 0]$$

f) A3 - Matriz de rotação do referencial 3 em relação ao referencial 2:

- Idem a A2 (alínea d), substituindo T1 por T3.

g) ${}_3R_{cg}$: Posição do c.g. da parte inferior em relação ao referencial 3.

- Como ${}_3R_{cg} = \text{constante}$;

$${}_3\overset{o}{R}_{cg} = {}_3\overset{\infty}{R}_{cg} = 0$$

$${}_3R_{cg} = [0,2425; -0,0023]$$

4.2.3 Velocidades do c.g da parte inferior em relação ao referencial fixo – velocidade absoluta

- Será utilizado $\rightarrow {}_3R_{cg} = {}_3R_4$

$$\begin{aligned} {}_0v_4 = & \overset{o}{R}_1 + A1_1 \overset{o}{R}_2 + A1_1 \overset{o}{R}_2 + A1A2_2 \overset{o}{R}_3 + A1 \overset{o}{A}2_2 \overset{o}{R}_3 + A1A2_2 \overset{o}{R}_3 + A1A2A3_3 \overset{o}{R}_4 + A1 \overset{o}{A}2A3_3 \overset{o}{R}_4 + \\ & A1A2 \overset{o}{A}3_3 \overset{o}{R}_4 + A1A2A3_3 \overset{o}{R}_4 \end{aligned} \quad (29)$$

4.2.4 Acelerações do c.g da parte inferior em relação ao referencial fixo – aceleração absoluta:

$$\begin{aligned} {}_0a_4 = & \overset{\infty}{R}_1 + A1_1 \overset{\infty}{R}_2 + 2 \overset{o}{A}1_1 \overset{o}{R}_2 + A1_1 \overset{\infty}{R}_2 + A1A2_2 \overset{\infty}{R}_3 + A1 \overset{\infty}{A}2_2 \overset{\infty}{R}_3 + A1A2_2 \overset{\infty}{R}_3 + 2 \overset{o}{A}1 \overset{o}{A}2_2 \overset{o}{R}_3 + 2 \overset{o}{A}1A2_2 \overset{o}{R}_3 + \\ & 2A1 \overset{o}{A}2_2 \overset{o}{R}_3 + A1A2A3_3 \overset{\infty}{R}_4 + A1 \overset{\infty}{A}2A3_3 \overset{\infty}{R}_4 + A1A2 \overset{\infty}{A}3_3 \overset{\infty}{R}_4 + A1A2A3_3 \overset{\infty}{R}_4 + 2 \overset{o}{A}1 \overset{o}{A}2A3_3 \overset{o}{R}_4 + \end{aligned}$$

$$2 \dot{A}_1 \dot{A}_2 \dot{A}_3 R_4 + 2 \dot{A}_1 \dot{A}_2 \dot{A}_3 \dot{R}_4 + 2 \dot{A}_1 \dot{A}_2 \dot{A}_3 R_4 + 2 \dot{A}_1 \dot{A}_2 \dot{A}_3 \dot{R}_4 + 2 \dot{A}_1 \dot{A}_2 \dot{A}_3 \dot{R}_4 \quad (30)$$

4.2.5 Determinação das forças e torques atuantes na parte inferior

4.2.5.1 Considerações

A prótese de joelho basicamente é composta da ligação com o tubo canela – peça denominada base; a parte superior que se liga ao coto – denominada rótula e as hastes de ligação da base com a rótula, conforme indicado na Figura 30.

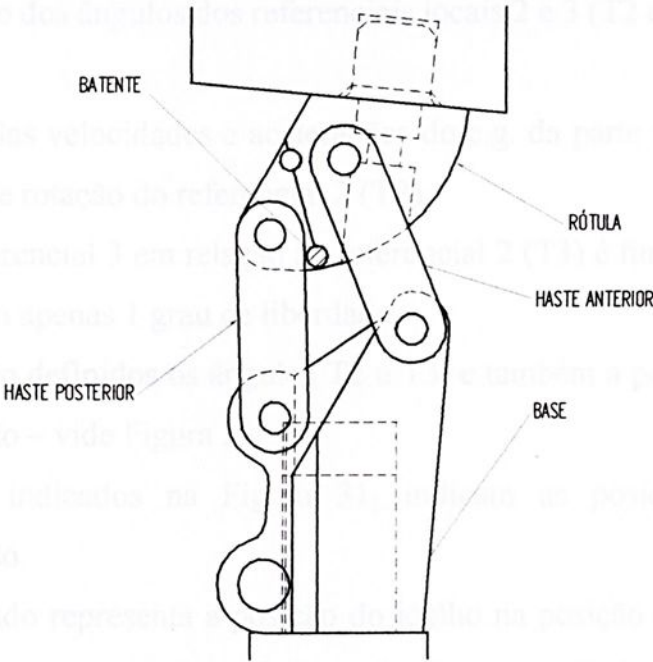


Figura 30 - Prótese de joelho AACD/SENAI

A rótula foi considerada como pertencente a coxa, e a base foi considerada como pertencente ao conjunto da parte inferior, composta de: prótese do pé; tubo canela e base da prótese de joelho.

As hastes de ligação tem massas muito pequenas em relação as massas da coxa e da parte inferior, e por essa razão, não foram consideradas no cálculo de torque e força atuante no quadril.

Durante a fase de apoio, quando não há flexão da prótese, as matrizes de rotação $A_2 = A_3 = I$, matriz identidade.

Durante a marcha, foi considerado o movimento da coxa do lado da prótese (ângulo e posição), representado pela origem do referencial 1 (junta do quadril), igual ao do lado não amputado, em todas as fases.

Desde o apoio do calcâneo até o começo da flexão da prótese, a parte inferior não rotaciona em relação a junta do quadril. Na fase de balanço, foi considerado a posição angular conforme a perna do lado não amputado, verificando como já citado, se a prótese do pé durante a fase de balanço, não toca no solo desde o desprendimento até o novo contato do calcâneo.

4.2.5.2 Determinação dos ângulos dos referenciais locais 2 e 3 (T2 e T3)

- Para determinação das velocidades e acelerações do c.g. da parte inferior, tem-se a incógnita do ângulo de rotação do referencial 2 (T2).
- A inclinação do referencial 3 em relação ao referencial 2 (T3) é função da inclinação T2, pois a prótese tem apenas 1 grau de liberdade.

Nesse item, serão definidos os ângulos T2 e T3, e também a posição dos centros instantâneos de rotação – vide Figura 31.

Os 7 círculos indicados na Figura 31, indicam as posições dos centros instantâneos de rotação.

- O centro mais elevado representa a posição do joelho na posição de apoio, ou seja, joelho “travado” encostado no batente. O braço de alavanca – distância do centro mais elevado até o batente – é de aprox. **58 mm**.
- A partir da posição de apoio, a haste anterior foi rotacionada de 10 em 10°, para determinação da trajetória do centro instantâneo de rotação.

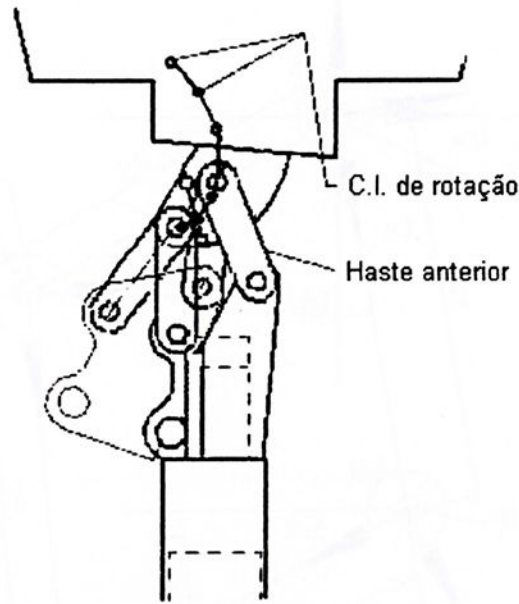


Figura 31 - Prótese de joelho AACD/SENAI - centros instantâneos

a) Inclinações relativas das hastes do joelho

Vide Figura 32

- A ligação AB (Figura 32), representa a haste anterior e a ligação CD a haste posterior.
- Nesse item, através da inclinação da haste anterior, é calculada a inclinação da parte inferior da prótese BD.
- O ângulo de $21,61^\circ$, representa a prótese na posição de apoio. O giro da haste AB dá-se no sentido horário.

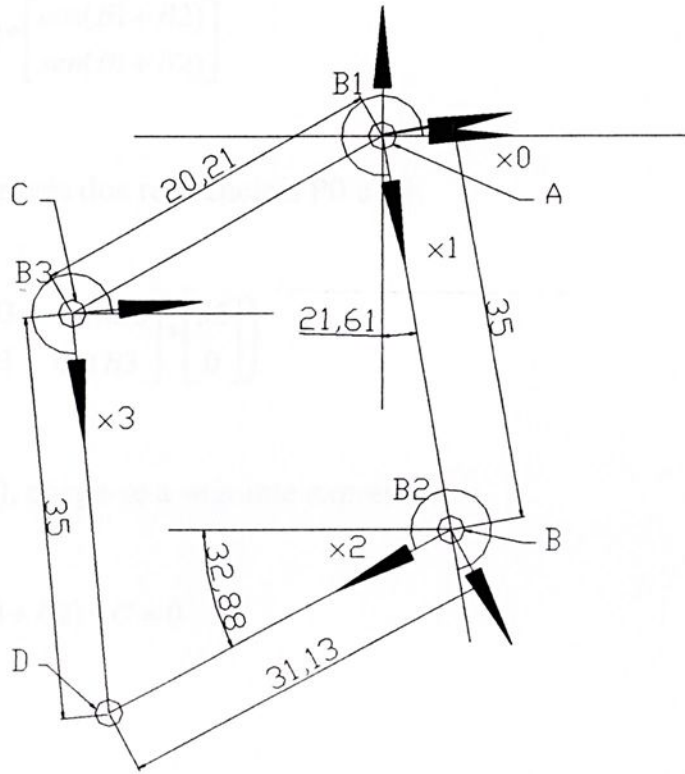


Figura 32 - Referenciais da prótese AACD/SENAI

- Posição do ponto D através dos referenciais P0; P1 e P2:
- Esses referenciais são relativos a prótese de joelho, sendo o referencial P0 fixo (posição do ponto A).
- Os referenciais P1 e P2, tem origem nos pontos A (comum ao referencial P0) e B respectivamente.
- O referencial P0 da prótese é coincidente com o referencial 2 do corpo.
- Nesse item as cotas indicadas dos vetores estão em mm.

$${}^0r_D = \begin{bmatrix} \cos B1 & -\sin B1 \\ \sin B1 & \cos B1 \end{bmatrix} * \left(\begin{bmatrix} 35 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos B2 & -\sin B2 \\ \sin B2 & \cos B2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 31,13 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \quad (31)$$

desenvolvendo, chega-se a seguinte forma:

$${}^0r_D = 35 * \begin{bmatrix} \cos B1 \\ \sin B1 \end{bmatrix} + 31,13 * \begin{bmatrix} \cos(B1 + B2) \\ \sin(B1 + B2) \end{bmatrix} \quad (32)$$

- Posição do ponto D através dos referenciais P0 e P3:

$${}^0r_D = \left(\begin{bmatrix} -14,13 \\ -14,45 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos B3 & -\sin B3 \\ \sin B3 & \cos B3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 35 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \quad (33)$$

das equações (32) e (33), chega-se a seguinte expressão:

$$A \cos(B1 + B2) + B \sin(B1 + B2) - C = 0 \quad (34)$$

onde:

$$A = \cos B1 + 0,4037;$$

$$B = \sin B1 + 0,4129;$$

$$a = 0,8894;$$

$$C = \frac{1 - A^2 - B^2 - a^2}{2a}$$

- Na equação (34), a entrada é o ângulo B1 da haste anterior, e a solução dada é o ângulo B2, e conseqüentemente, tem-se o ângulo B3.

- Na Posição esticada da perna

$$B1_{inicial} + B2_{inicial} = 572,88^\circ = 9,987 \text{ rad}$$

- dessa forma quando a perna é flexionada,

$$B1 + B2 = 572,88^\circ - \Delta_{pc}$$

onde: Δ_{pc} representa o ângulo relativo entre a perna e a coxa.

- Δ_{pc} é calculado através das matrizes ALFA5 – ALFA8.

$$B1 = 572,88^\circ - \Delta_{pc} - B2$$

- Na equação (34), substituindo B1, teremos:

$$A \cos(572,88^\circ - \Delta_{pc}) + B \sin(572,88^\circ - \Delta_{pc}) - C = \quad (35)$$

- A equação (35), tem como única variável o ângulo B1. Com B1 determina-se B2 e B3.

b) Determinação dos centros instantâneos da prótese

Os centros instantâneos são determinados pelos cruzamentos das linhas da haste anterior e da haste posterior da prótese conforme Figura 30, dessa forma:

$$R = \frac{-14,45 + 14,13 \tan(B3)}{\sin(B1) - \tan(B3) \cos(B1)} \quad (36)$$

O vetor do c.i. em relação ao referencial 2 é dado por:

$${}_2CI = \begin{bmatrix} R \\ 0 \end{bmatrix}$$

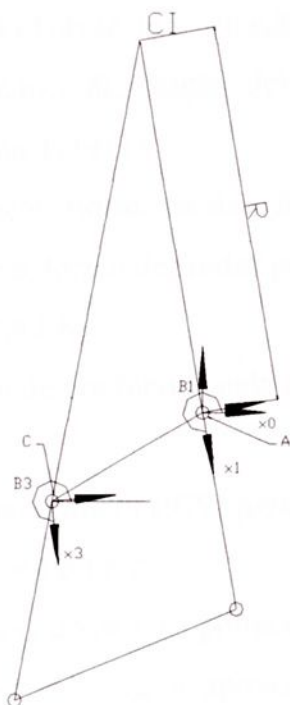


Figura 33 - Diagrama dos centros instantâneos da prótese

4.2.6 Forças e torques atuantes na prótese durante a fase de apoio

(vide Figura 34)

- A prótese em questão nesse item, é o conjunto formado pela prótese de pé, pelo tubo canela e pela parte inferior (base) da prótese de joelho.

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F_H + F2_x = mp \times ap_x \quad (37)$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$F_V - F2_y - mp \times g = mp \times ap_y \quad (38)$$

$$\sum M_z = Ip\alpha$$

$$-M2 - F_V \times (x4 - d) + F_H \times (y4) - F2_x \times (y3) - F2_y \times x3 = Ip \times \alpha \quad (39)$$

onde:

- As posições do ponto **B** (Tabela 11 - atuação das forças); do centro de gravidade da prótese e do centro instantâneo de rotação, definem as posições $x3$; $y3$; $x4$ e $y4$.

- A cota **d**, está indicada na Tabela 9.

- ap_x ; ap_y e α : aceleração linear na direção x ; na direção y e aceleração angular respectivamente da prótese, foram definidas pelo programa 12.

mp : massa da prótese = 1,82 Kg

- Essa prótese é composta de um tubo canela e de uma prótese de pé da OTTO BOCK-26-Pedilan-9237.

- Os valores utilizados por Winter (1979) para a perna e para o pé são:

- massa da perna e do pé = 4,88 Kg

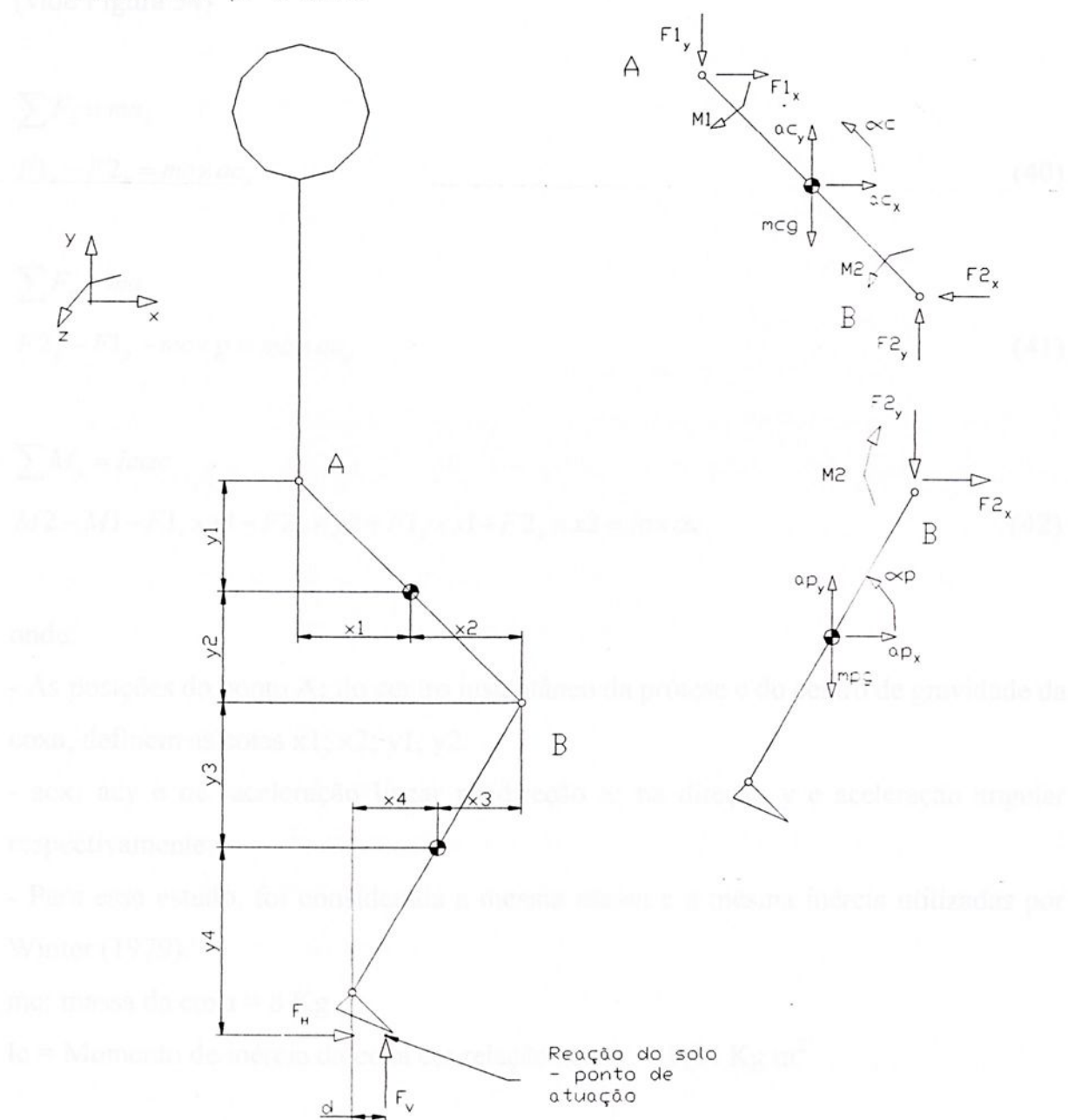
- I_{pp} = Momento de inércia do pé e da perna em relação ao c.g. comum para esses dois membros do corpo - $I_{pp} = 0,15 \text{ Kg.m}^2$ aproximadamente.

- Com as dimensões e os pesos do tubo canela e da prótese do pé, e utilizando o software Solid edges – versão 3 - cedido pela AACD – foi determinado as inércias e os centros de gravidade.
- Na fase de balanço naturalmente, $F_H = F_V = 0$



Figura 34 – Diagrama de corpo livre com prótese

Forças e torques atuantes nos membros inferiores Lado da prótese



a_c ; a_p : aceleração linear do c.g. da coxa e prótese respectivamente.
 α_c ; α_p : aceleração angular do c.g. da coxa; perna e pé respectivamente.
 m_{cg} ; m_{pg} : peso do c.g. da coxa e prótese respectivamente.
 F e M : Força e torque atuantes nas extremidades dos membros.
 F_H e F_V : Força horizontal e vertical de reação do solo.

Figura 34 – Diagrama de corpo livre com prótese

4.2.7 Forças e torques atuantes na coxa

(vide Figura 34)

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma_x \\ F1_x - F2_x &= mc \times ac_x\end{aligned}\quad (40)$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= ma_y \\ F2_y - F1_y - mc \times g &= mc \times ac_y\end{aligned}\quad (41)$$

$$\begin{aligned}\sum M_z &= Ic \alpha \\ M2 - M1 - F1_x \times y1 - F2_x \times y2 + F1_y \times x1 + F2_y \times x2 &= Ic \times \alpha\end{aligned}\quad (42)$$

onde:

- As posições do ponto A; do centro instantâneo da prótese e do centro de gravidade da coxa, definem as cotas $x1$; $x2$; $y1$; $y2$.
- ac_x ; ac_y e α : aceleração linear na direção x ; na direção y e aceleração angular respectivamente.
- Para esse estudo, foi considerada a mesma massa e a mesma inércia utilizadas por Winter (1979).

mc : massa da coxa = 8 Kg

Ic = Momento de inércia da coxa em relação ao c.g. = 0,14 Kg.m²

As forças e torques indicados nos itens 4.2.6 e 4.2.7 – equações (37) a (42), são calculadas através do Programa 12 desenvolvido no MATLAB. Esse programa também determina a posição da linha de atuação da reação do solo, em relação aos centros instantâneos.

4.2.8 Resultados

Importante ratificar que a utilização das reações do solo levantadas por Winter (1979) para uma pessoa não amputada, foram utilizadas também nesse estudo para o lado amputado. Essa mesma consideração (reações do solo igual ao lado não amputado) caso seja utilizada para analisar qualquer modificação de projeto na prótese, fornecerá naturalmente novos resultados (gráficos e tabelas) que permitirão uma avaliação comparativa de performance com a forma fabricada ou qualquer outra modificação proposta – que é um dos objetivos fundamentais desse trabalho.

Os pontos considerados para interface entre a parte inferior e a coxa -onde são lançadas as forças e momentos (F_{2x} , F_{2y} e M_2 – vide Figura 34) - foram os centros instantâneos da prótese de joelho. Considerando a prótese “travada”, ou seja, trabalhando contra o batente, e sendo conservador - desconsiderando o efeito da mola, todo o torque será resistido pelo batente. O braço de alavanca (distância da linha de atuação da força ao centro instantâneo de rotação) na posição travada na prótese estudada é de aprox. 58 mm.

Nas Figuras 35e 36, estão mostradas as forças/Kg (F_x e F_y) e Momentos/Kg no quadril e na prótese de joelho para o modelo físico de amputado utilizado, no qual considerou-se as reações do solo levantadas por Winter (1979) para uma pessoa não amputada. Observando que a fase de apoio equivale ao período de 0 a 62% da fase da marcha.

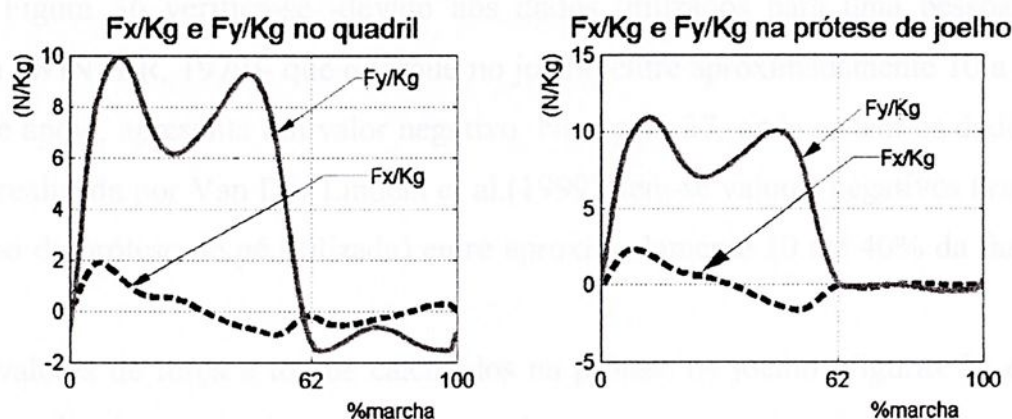


Figura 35 – Forças no quadril e prótese de joelho – lado amputado

Para comparação com dados obtidos por Van Der Lindem et al.(1999), o gráfico com os dados de momentos no quadril foram colocados para a fase de apoio.

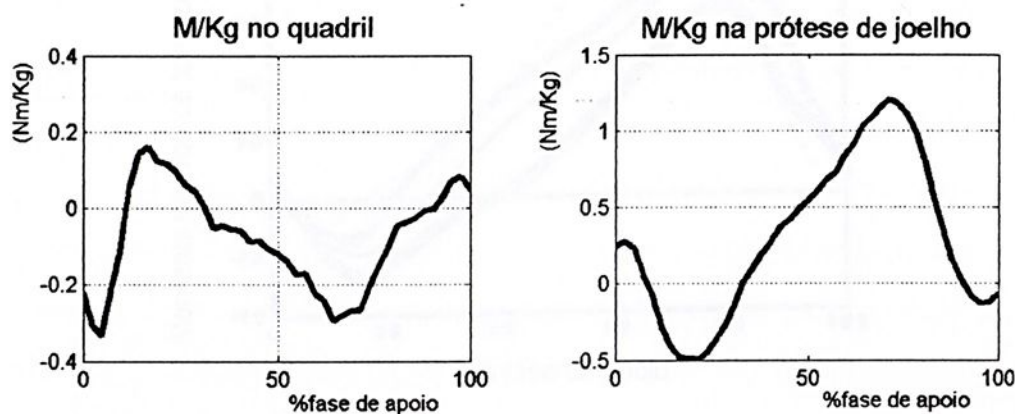


Figura 36 – Momentos no quadril e prótese de joelho – lado amputado

A Figura 37 mostra os resultados alcançados por Van Der Lindem et al.(1999) de momentos calculados para o quadril, prótese de joelho e prótese de pé, salientando que as curvas indicadas mostram dados para 4 modelos de próteses diferentes. É interessante verificar que a utilização de próteses diferentes de pé, proporcionam valores bem distintos uns dos outros, assim como em relação aos resultados obtidos nesse estudo, mas há semelhança de curvas. Da mesma forma, tem-se uma semelhança entre as curvas determinadas por esse estudo para os momentos na prótese e no quadril com as curvas determinadas no estudo de Van Der Lindem et al.(1999).

Na Figura 36 verifica-se -devido aos dados utilizados para uma pessoa não amputada (WINTER, 1979)- que o torque no joelho entre aproximadamente 10 a 30% da fase de apoio, apresenta um valor negativo. Na figura 37, onde se tem os dados da pesquisa realizada por Van Der Lindem et al.(1999), tem-se valores negativos (variam com o tipo de prótese de pé utilizada) entre aproximadamente 10 até 40% da fase de apoio.

Os valores de força e torque calculados na prótese de joelho (Figuras 35 e 36) devem ser utilizados para o dimensionamento dos componentes da prótese.

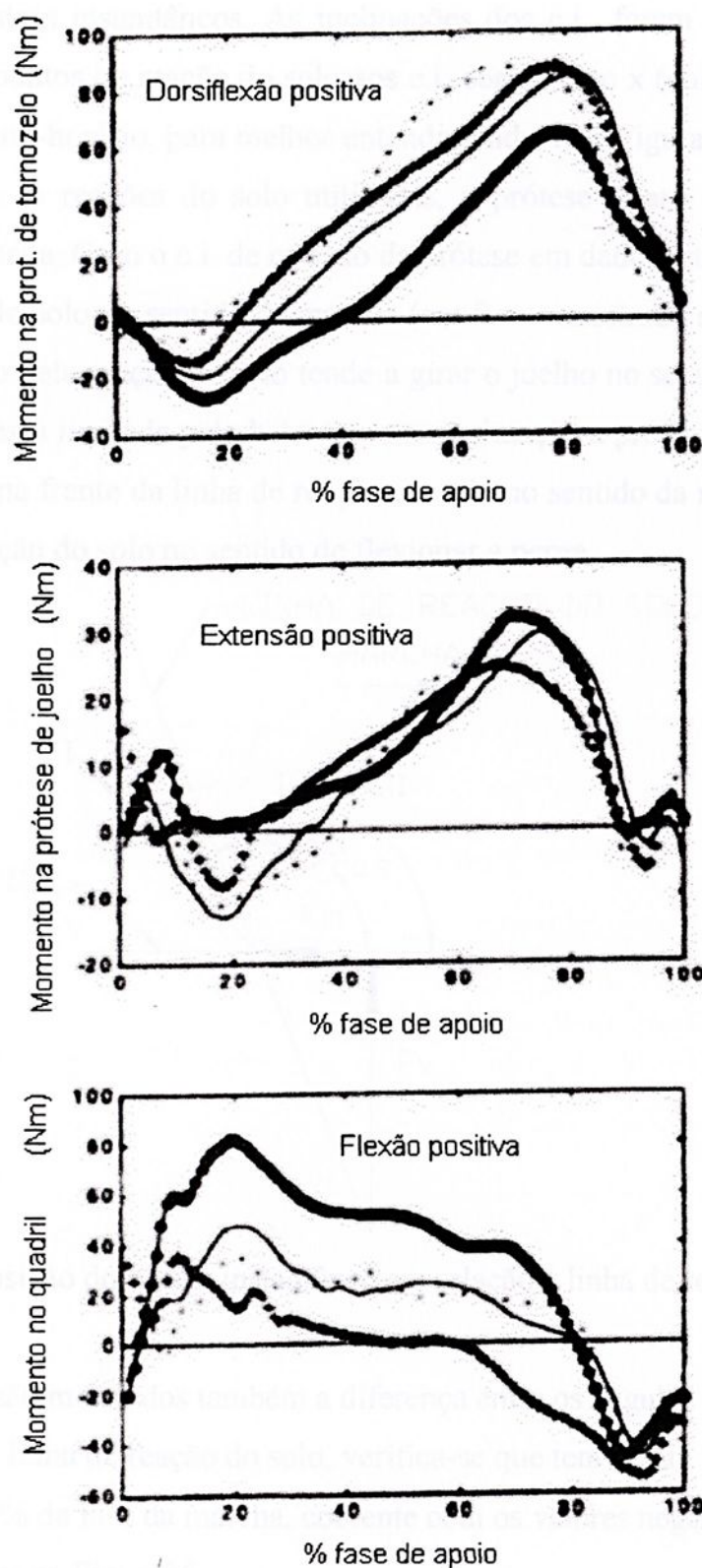


Figura 37 – Momentos no quadril, prótese de joelho e prótese de pé lado amputado (VAN DER LINDEM et al., 1999)

Na Figura 39, são apresentadas as inclinações das reações do solo e as inclinações dos centros instantâneos. As inclinações dos c.i., foram obtidas com as retas que ligam os pontos de reação do solo aos c.i. com o eixo x (coincidente com o solo) – no sentido anti-horário, para melhor entendimento vide Figura 38. Essa figura nos indica, se com as reações do solo utilizadas, a prótese estará na condição de “travada” ou flexionada. Caso o c.i. de rotação da prótese em dado instante esteja atrás da linha de reação do solo no sentido da marcha (conforme mostrado na Figura 38), o momento provocado pela reação do solo tende a girar o joelho no sentido de extensão da perna, extensão essa limitada pelo batente – nessa situação a prótese estará travada. Caso contrário, c.i. na frente da linha de reação do solo no sentido da marcha, ter-se-á um momento da reação do solo no sentido de flexionar a perna.

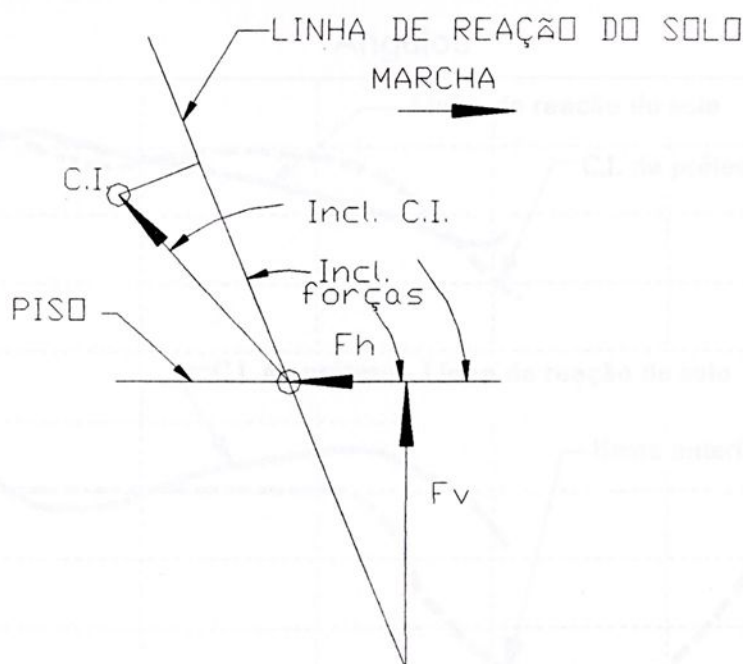


Figura 38 – Posição do centro instantâneo em relação a linha de reação do solo

Na Figura 39, são mostrados também a diferença entre os ângulos da posição do c.i. e a inclinação da linha de reação do solo, verifica-se que tem-se um valor negativo no período de 6 a 21% da fase da marcha, coerente com os valores negativos de momentos verificados na Figura 36.

Nessa mesma figura foi colocado para melhor ilustração, a inclinação da haste anterior da prótese, e como já citado, apresenta praticamente em toda a fase de apoio

uma inclinação relativa em relação a coxa igual a zero, pois a prótese de perna fica praticamente estendida.

Na fase de balanço naturalmente tem-se valores diferentes de zero, pois ocorre a flexão da prótese.

Na Figura 39 além das inclinações do c.i. e da linha de reação do solo, também estão mostrados a diferença entre esses 2 ângulos e o ângulo relativo de flexão da prótese de joelho em relação a coxa. No período praticamente de apoio a perna fica completamente estendida, e naturalmente só começa a flexionar no momento do impulso da prótese de pé para entrar (o lado amputado) em fase de balanço.

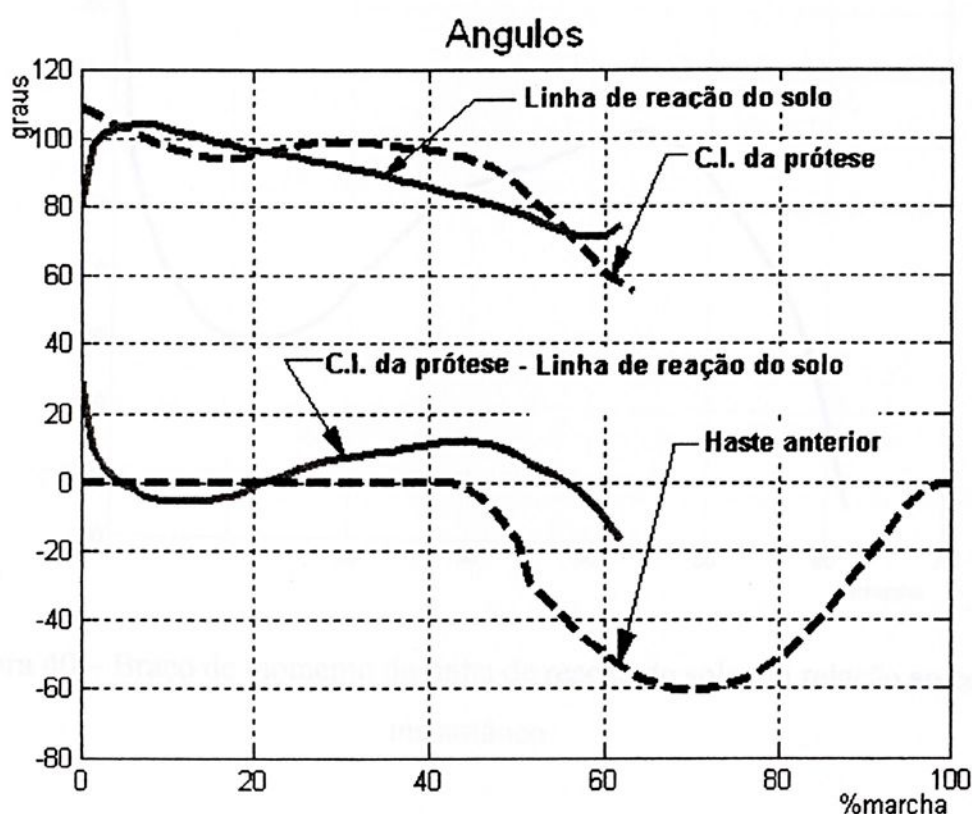


Figura 39 – Inclinação do centro instantâneo e da linha de reação do solo – lado amputado

Complementando o comentário sobre a Figura 39, verifica-se que no trecho onde se tem momento de flexão na prótese (6 a 21% da fase da marcha) tem-se uma situação de não estabilização, ou seja, tem-se uma tendência a flexão da prótese de

perna, no caso de um amputado com pouca força muscular, vemos não tratar-se de uma prótese de 4 barras hiper-estabilizada.

Na Figura 40 estão indicados os braços de alavanca da reação do solo em relação aos centros instantâneos. O valor negativo para o braço, representa que a linha de reação do solo passa, no sentido da marcha, por trás do centro instantâneo de rotação, o que provoca a flexão da prótese. A curva do braço de alavanca mostrada na Figura 40 é proporcional a curva da diferença angular do c.i. da prótese em relação a linha de reação do solo mostrada na Figura 39.

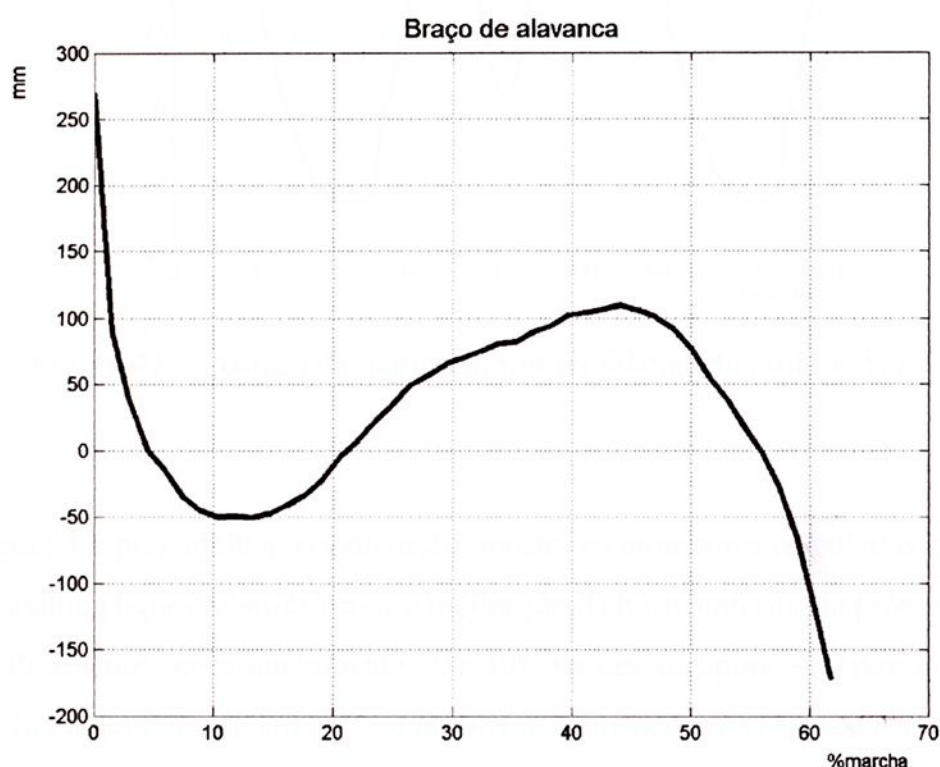


Figura 40 – Braço de momento da linha de reação do solo em relação ao centro instantâneo

A Figura 41 nos indica a posição da parte inferior da falange da prótese em relação ao solo. Foi analisado o ponto mais próximo do solo na prótese do pé, e os valores negativos logicamente implicam uma interferência da prótese do pé com o solo. O maior valor calculado (gráfico) para interferência foi de aproximadamente 25 mm, entretanto, não foi considerado a flexibilidade da extremidade (falange) da

prótese no momento do impulso, por essa razão não foi modificado a inclinação da perna.

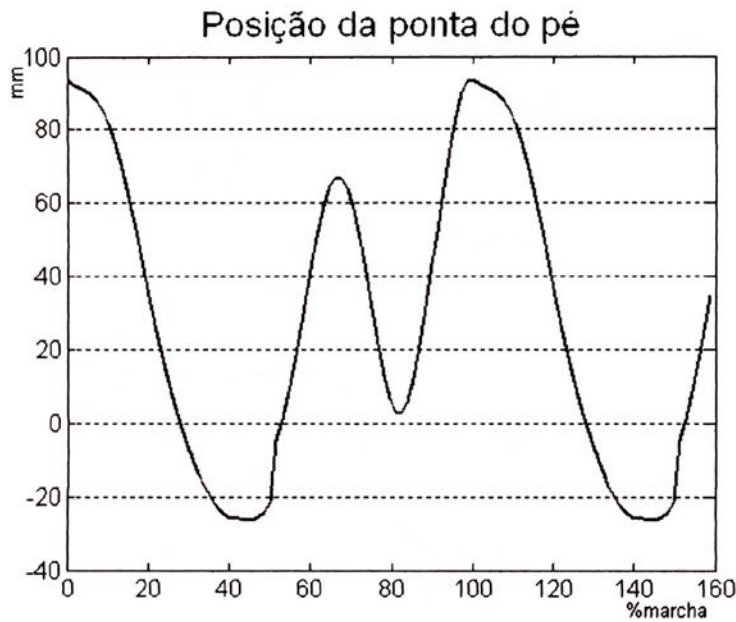


Figura 41 – Posição da parte inferior da falange da prótese de pé

A Figura 42, para melhor visualização, mostra os momentos calculados para prótese de joelho (figura repetida) com a inclinação da haste anterior da prótese. Esse torque negativo entre aproximadamente 10 a 30% da fase de apoio – no ponto 0% tem-se o início do contato do calcâneo. Esse problema analisado nesse estudo foi detectado empiricamente pelo pessoal da AACD e resolvido com o ajuste da prótese e do tubo-canela posicionados atrás da linha da coxa (nesse estudo a prótese foi alinhada com a linha da coxa), o que naturalmente diminuiu o braço de alavanca negativo pois essa ação posicionou os centros instantâneos da prótese para trás no sentido da marcha, acarretando maior estabilidade durante a marcha ao usuário.

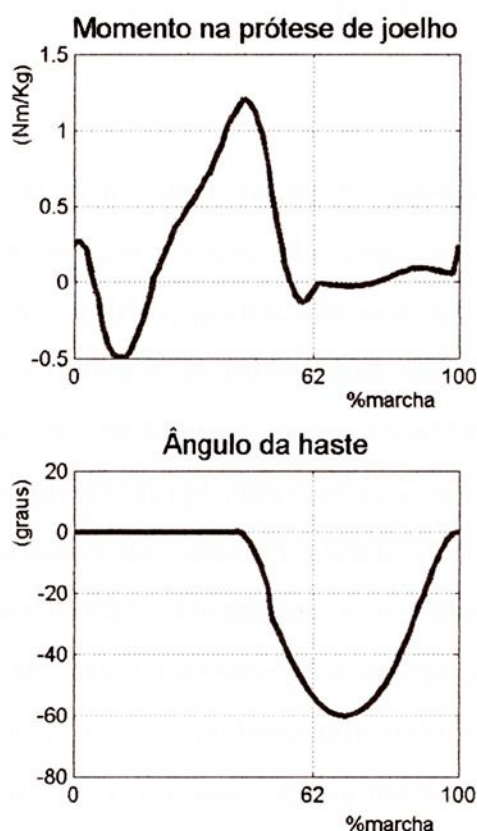


Figura 42 – Ângulo da haste anterior da prótese x Momento na prótese

A respeito dos resultados obtidos, verifica-se (vide Figuras 23 e 24 para pessoa não amputada e Figuras 35 e 36 para o lado amputado) que as forças atuantes no quadril e no joelho são similares. No caso dos momentos máximos no quadril e no joelho os valores absolutos da pessoa não amputada são de 0,45 Nm e 1,2 Nm respectivamente, e para o lado amputado são de 0,3 e 1,2 Nm respectivamente, dessa forma o torque necessário para o amputado apresenta um valor inferior ao da pessoa não amputada, que demonstra que o projeto dessa prótese de joelho quanto ao torque a ser aplicado pelo amputado está adequado.

Finalizando, é importante frisar que a curva de torque na prótese de joelho junto com a geometria da prótese, possibilitaria determinar-se a inadequação do batente de nylon utilizado, problema verificado pela AACD com algumas próteses utilizadas

5 CONCLUSÕES

Esse trabalho utilizou dados de pesquisa de laboratório efetuados por Winter (1979) para uma marcha de uma pessoa não amputada, por esse razão, os dados mostram “tendências” para a verificação efetuada do projeto dessa prótese.

Pelos resultados encontrados, a formulação matemática desenvolvida nesse estudo permite obter resultados de torques, forças, posições dos centro instantâneos de rotação e interferências da prótese do pé com o solo, o que permite avaliar os esforços desenvolvidos por uma pessoa amputada com outra não amputada.

A utilização da formulação matemática nesse estudo, permite a análise de qualquer modificação geométrica na prótese para análise comparativa, ou seja, tendo-se duas formas geométricas propostas, pode-se aplicando as ferramentas desenvolvidas determinar qual forma proporcionará maior estabilidade na marcha, a que necessitará menor torque no quadril, avaliação da curva de torque no quadril para cada situação, as curvas de torque e força na prótese de joelho para determinar qual forma solicitará mais dos componentes da prótese. Dentre essas modificações geométricas, estão principalmente a mudança de posição dos centros instantâneos, a posição dos batentes, os comprimentos das hastes, a posição do alinhamento prótese-coxa-tubo canela e o tipo e as posições dos dispositivos de travamento (mola).

A utilização de curvas harmônicas (séries de Fourier) nesse trabalho para as posições, velocidades, acelerações e forças - tendo como única variável o tempo - possibilita simulações em mídias, além de fornecerem um banco de dados cinemáticos dos membros inferiores durante a marcha humana.

Os valores dos esforços atuantes apresentados nesse trabalho, apresentados em forma de gráficos e tabelas, fornece aos técnicos e especialistas informações a respeito de uma prótese de joelho de 4 barras e possibilita ao projetista uma melhor análise da prótese. Como exemplo, com as curvas de momentos e forças na prótese, é possível especificar a mola mais adequada (coeficiente de elasticidade, comprimento e tipo) e a posição que a mesma deve ter em relação aos pólos (centros instantâneos), além disso

essas curvas possibilitam também o dimensionamento dos pinos das hastes de ligação e da forças atuantes nos batentes.

Nesse trabalho também, são apresentados dados –posições, velocidades, acelerações lineares e angulares e reações do solo- em forma de gráficos e tabelas dos membros do corpo humano de uma pessoa não amputada, conforme dados levantados por Winter (1979), durante uma marcha.

A respeito especificamente da análise da prótese desenvolvida pela AACD/SENAI, conclui-se que a mesma apresenta um projeto satisfatório, pois o torque no quadril a ser aplicado pelo amputado apresenta um valor inferior ao da pessoa não amputada; a curva de torque é suave e similar a curva levantada por outros pesquisadores; as forças e torques atuantes na prótese são similares as do joelho (pessoa não amputada). Os problemas encontrados de instabilidade detectado nesse estudo, foi resolvido com a colocação do joelho mais para trás –no sentido da marcha e a carga elevada para o batente (inicialmente fabricada em nylon) seria determinada pelo torque e força calculado nesse estudo em conjunto com a geometria da prótese.

Os valores encontrados para o lado amputado (quadril e prótese de joelho) apresentam valores praticamente iguais em relação ao lado não amputado, natural pois as reações do solo usadas foram as mesmas. Já no caso dos momentos, devido a centros de rotações diferentes, tem-se naturalmente valores diferentes (lado amputado apresentando valores menores que lado não amputado) mas com curvas semelhantes. Frisando também que as curvas calculadas para forças e torques do lado amputado também são semelhantes a de outros pesquisadores para amputado transfemural, o que corrobora a formulação matemática desenvolvida nesse estudo.

Verifica-se pela posição dos centros instantâneos de rotação (“baixos”) e pelos valores dos braços de alavanca encontrados, tratar-se de um joelho do tipo de controle voluntário, que necessita de uma participação efetiva da pessoa que utilize a prótese. Importante frisar que essa prótese está sendo utilizada por crianças na AACD.

Portanto, pelos resultados obtidos, esse estudo mostra ser uma ferramenta satisfatória para análise de um joelho de 4 barras.



REFERÊNCIAS

ABRAHAMAS, P.H.; HUTCHINGS, R. T. MARKS JUNIOR, S.C. **Anatomia humana**. 2nd ed. São Paulo: Editora Manole, 2000. 351p.

De Agostini. **Manual do corpo humano**. São Paulo: Editorial Planeta, 1999. 6 CD-ROM

HALL, S. J. **Biomecânica básica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2000. 417p.

INTERGRAPH. **Solid edges**. Version 10.00. São Paulo: 1 CD_ROM

JANICE, J. E.; WINTER, D. A.. Kinetic analysis of the lower limbs during walking: What information can be gained from a three-dimensional model?. **Journal of Biomechanics**, Ontario, v. 28, n. 6, p. 753-758, june. 1995.

LEHMKUHL, L.D.; SMITH, L. K. **Cinesiologia clinica**. 4. ed. São Paulo: Editora Manole, 1986. 234p

ROSE, J.; GAMBLE J. G. **Marcha humana**. 2nd ed. São Paulo: Editorial Premier, 1998. 280p.

RUGGIERO, M.A.G.; LOPES, V.L.R. **Cálculo numérico**. 2nd ed. São Paulo: Makron, 1996. 406p.

SHABANA, A. A. **Dynamics of multibody systems**. New York: A. Wiley interscience publication, 1988. 470p.



VAN DER LINDEN, M. L. et al. A methodology for studying the effects of various types of prosthetic feet on the biomechanics of trans-femoral amputee gait. **Journal of Biomechanics**, Glasgow, v. 32, n. 9 p. 877-889, sept. 1999.

WINTER, D. A. **Biomechanics of human movement**. New York: A. Wiley Interscience publication, 1979. 202p.

The MathWorks, Inc. **MATLAB**. Version 4. Detroit: 1 CD_ROM

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DE ENGENHARIA
DE CIVIL
BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALLARD, P. et al. Simultaneous bilateral 3-D able-bodied gait. **Journal of Human movement science**, Ontario, v. 15, p. 327-346, 1996.

CHITTAJALLU, S. K.; KOHRT, K. G. Form 2D – a mathematical model of the knee. **Journal of Mathematical and computer modelling**, Indianapolis, v. 24, n. 9, p. 91-101, 1996.

DAVIS, R. B. Reflections on clinical gait analysis. **Journal of Electromyography Kinesiology**, Hartford, v. 7, n. 4, p. 251-257, nov. 1997.

FOSS, M. L.; KETEVAN, S.J. **Bases fisiológicas do exercício e do esporte**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 560p.

MICHAEL, W. W. Three-dimensional motion of the center of gravity of the body during walking. **Journal of Biomechanics**, Chattanooga, v. 16, p. 347-355, 1997.

RAIKOVA, R. A model of the flexion – extension motion in the elbow joint – some problems concerning muscle forces modeling and computation. **Journal of Biomechanics**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 763-772, june. 1996.

TAGAWA, Y. et al. Analysis of human abnormal walking using a multi-body model: joint models for abnormal walking and walking aids to reduce compensatory action. **Journal of Biomechanics**, Oxford, v. 33, n.11, p. 1405-1414, nov. 2000.

TAYLOR, S. J. G.; WALKER, P. S.. Forces and moments telemetered from two distal femoral replacements during various activities. **Journal of Biomechanics**, Oxford, v. 34, n. 7, p. 839-848, july 2001.

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

00502

WIMMER, A. W.; ANDRIACCHI, T. P. Tractive forces during rolling motion of the knee: implications for wear in total knee replacement. **Journal of Biomechanics**, Oxford, v. 30, n. 2, p. 131-137, feb. 1997.



TABELA 1 **MARCHA HUMANA - DADOS DO TRONCO/CABEÇA/BRAÇOS**

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau)	(rad/s)	(rad/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
0,000	97,747	0,280	0,388	0,426	1,442	11,419	1,242	-0,088	0,504
0,017	98,018	0,282	-0,224	0,452	1,610	8,203	1,241	-0,077	0,875
0,033	98,286	0,272	-1,076	0,480	1,715	4,380	1,239	-0,058	1,419
0,050	98,538	0,246	-2,099	0,509	1,756	0,734	1,239	-0,029	2,182
0,067	98,757	0,202	-3,181	0,539	1,740	-2,131	1,238	0,014	2,941
0,083	98,924	0,140	-4,133	0,567	1,685	-3,816	1,239	0,069	3,355
0,100	99,025	0,064	-4,858	0,595	1,613	-4,249	1,241	0,126	3,294
0,117	99,047	-0,022	-5,453	0,621	1,543	-3,693	1,243	0,179	2,909
0,133	98,983	-0,117	-6,101	0,646	1,489	-2,596	1,247	0,223	2,378
0,150	98,823	-0,225	-6,877	0,671	1,457	-1,415	1,251	0,258	1,797
0,167	98,553	-0,347	-7,641	0,695	1,442	-0,473	1,255	0,283	1,249
0,183	98,161	-0,480	-8,128	0,719	1,441	0,082	1,260	0,300	0,746
0,200	97,637	-0,618	-8,076	0,743	1,445	0,242	1,265	0,308	0,180
0,217	96,981	-0,749	-7,299	0,767	1,449	0,086	1,270	0,306	-0,587
0,233	96,206	-0,861	-5,800	0,791	1,446	-0,233	1,275	0,288	-1,594
0,250	95,336	-0,942	-3,808	0,815	1,441	-0,562	1,280	0,252	-2,701
0,267	94,405	-0,988	-1,604	0,839	1,429	-0,836	1,284	0,198	-3,590
0,283	93,449	-0,996	0,552	0,863	1,413	-1,047	1,287	0,133	-3,948
0,300	92,503	-0,970	2,330	0,886	1,394	-1,169	1,288	0,067	-3,737
0,317	91,597	-0,918	3,512	0,909	1,374	-1,200	1,289	0,008	-3,219
0,333	90,749	-0,852	4,202	0,932	1,354	-1,167	1,289	-0,041	-2,679
0,350	89,968	-0,778	4,558	0,954	1,335	-1,023	1,288	-0,081	-2,205
0,367	89,262	-0,700	4,485	0,977	1,320	-0,648	1,286	-0,114	-1,757
0,383	88,630	-0,629	3,922	0,998	1,314	-0,057	1,284	-0,140	-1,326
0,400	88,062	-0,570	3,150	1,020	1,318	0,550	1,281	-0,158	-0,974
0,417	87,542	-0,524	2,519	1,042	1,332	0,999	1,278	-0,172	-0,752
0,433	87,062	-0,486	2,093	1,065	1,352	1,259	1,275	-0,183	-0,654
0,450	86,614	-0,454	1,902	1,087	1,374	1,340	1,272	-0,194	-0,595
0,467	86,195	-0,422	2,219	1,111	1,396	1,225	1,269	-0,203	-0,465
0,483	85,807	-0,380	3,150	1,134	1,415	1,016	1,266	-0,209	-0,240
0,500	85,469	-0,317	4,225	1,158	1,430	0,954	1,262	-0,211	0,028
0,517	85,201	-0,239	4,834	1,182	1,447	1,212	1,258	-0,209	0,317
0,533	85,012	-0,156	4,885	1,206	1,470	1,697	1,255	-0,201	0,610
0,550	84,903	-0,076	4,732	1,231	1,503	2,104	1,252	-0,188	0,861
0,567	84,867	0,002	4,892	1,256	1,541	2,100	1,249	-0,172	1,096
0,583	84,906	0,087	5,846	1,282	1,573	1,491	1,246	-0,152	1,417
0,600	85,033	0,196	7,535	1,309	1,590	0,361	1,244	-0,125	1,829
0,617	85,281	0,338	9,081	1,335	1,585	-0,941	1,242	-0,091	2,188
0,633	85,679	0,499	9,443	1,361	1,559	-2,051	1,241	-0,052	2,386
0,650	86,235	0,653	8,314	1,387	1,517	-2,821	1,240	-0,011	2,449
0,667	86,927	0,776	6,289	1,412	1,465	-3,307	1,240	0,030	2,434
0,683	87,718	0,863	4,137	1,436	1,407	-3,520	1,241	0,070	2,409
0,700	88,575	0,914	2,092	1,459	1,348	-3,314	1,243	0,110	2,444
0,717	89,465	0,932	0,127	1,481	1,296	-2,633	1,245	0,152	2,502
0,733	91,356	0,919	-1,536	1,502	1,260	-1,713	1,248	0,194	2,460
0,750	91,220	0,881	-2,651	1,523	1,239	-0,867	1,251	0,234	2,232
0,767	95,039	0,830	-3,256	1,543	1,231	-0,260	1,256	0,268	1,770
0,783	92,805	0,773	-3,528	1,564	1,230	0,088	1,260	0,293	1,036
0,800	93,515	0,713	-3,694	1,584	1,234	0,281	1,265	0,302	0,047
0,817	94,167	0,650	-4,054	1,605	1,240	0,447	1,270	0,294	-1,057
0,833	94,756	0,577	-4,787	1,626	1,249	0,617	1,275	0,267	-2,063
0,850	95,270	0,490	-5,722	1,647	1,260	0,764	1,279	0,225	-2,811
0,867	95,692	0,387	-6,517	1,668	1,274	0,886	1,283	0,174	-3,197
0,883	96,008	0,273	-7,034	1,689	1,290	0,992	1,285	0,119	-3,168
0,900	96,212	0,152	-7,227	1,711	1,307	1,034	1,287	0,068	-2,818
0,917	96,299	0,032	-6,838	1,733	1,324	0,949	1,287	0,025	-2,410

TABELA 1 **MARCHA HUMANA - DADOS DO TRONCO/CABEÇA/BRAÇOS**

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau)	(rad/s)	(rad/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
0,933	96,273	-0,076	-5,682	1,755	1,339	0,754	1,287	-0,012	-2,198
0,950	96,154	-0,158	-3,997	1,777	1,350	0,526	1,287	-0,049	-2,245
0,967	95,972	-0,209	-2,008	1,800	1,356	0,308	1,286	-0,087	-2,410
0,983	95,755	-0,225	0,490	1,823	1,360	0,116	1,284	-0,129	-2,499
1,000	95,542	-0,193	3,482	1,845	1,360	0,032	1,281	-0,171	-2,346
1,017	95,387	-0,109	6,230	1,868	1,361	0,154	1,278	-0,207	-1,819
1,033	95,335	0,015	7,887	1,891	1,365	0,448	1,275	-0,231	-0,950
1,050	95,415	0,154	8,088	1,913	1,376	0,792	1,271	-0,239	0,016
1,067	95,630	0,285	8,863	1,936	1,392	1,129	1,267	-0,231	0,794
1,083	95,959	0,383	4,545	1,960	1,413	1,483	1,263	-0,212	1,233
1,100	96,362	0,436	1,839	1,984	1,441	1,821	1,260	-0,190	1,342
1,117	96,792	0,444	-0,494	2,008	1,474	2,045	1,257	-0,168	1,245
1,133	97,211	0,420	-2,069	2,033	1,509	2,080	1,254	-0,148	1,148
1,150	97,593	0,375	-2,924	2,058	1,543	1,853	1,252	-0,129	1,254
1,167	97,928	0,322	-3,302	2,084	1,571	1,288	1,250	-0,106	1,622
1,183	98,209	0,265	-3,505	2,111	1,586	0,442	1,248	-0,075	2,112
1,200	98,435	0,205	-3,772	2,137	1,586	-0,439	1,247	-0,036	2,535
1,217	98,601	0,140	-4,174	2,163	1,572	-1,109	1,247	0,009	2,788
1,233	98,701	0,066	-4,751	2,190	1,549	-1,467	1,247	0,057	2,859
1,250	98,727	-0,019	-5,733	2,215	1,523	-1,496	1,249	0,105	2,767
1,267	98,665	-0,125	-7,230	2,240	1,499	-1,201	1,251	0,149	2,522
1,283	98,489	-0,260	-8,670	2,265	1,483	-0,724	1,254	0,189	2,100
1,300	98,169	-0,414	-8,968	2,290	1,475	-0,414	1,257	0,219	1,496
1,317	97,698	-0,559	-7,538	2,314	1,469	-0,547	1,261	0,239	0,800
1,333	97,101	-0,665	-4,974	2,339	1,457	-1,030	1,265	0,246	0,173
1,350	96,427	-0,725	-2,505	2,363	1,435	-1,519	1,269	0,244	-0,316
1,367	95,717	-0,749	-0,992	2,387	1,406	-1,750	1,273	0,236	-0,782
1,383	94,996	-0,758	-0,508	2,410	1,376	-1,686	1,277	0,218	-1,359
1,400	94,269	-0,766	-0,556	2,432	1,350	-1,417	1,281	0,190	-2,120
1,417	93,534	-0,776	-0,639	2,455	1,329	-1,022	1,283	0,151	-2,588
1,433	92,787	-0,787	-0,539	2,477	1,316	-0,567	1,286	0,104	-2,968
1,450	92,030	-0,794	-0,197	2,499	1,310	-0,160	1,287	0,052	-3,096
1,467	91,269	-0,794	0,371	2,520	1,310	0,106	1,287	0,001	-2,995
1,483	90,514	-0,782	1,036	2,542	1,314	0,183	1,287	-0,048	-2,747
1,500	89,776	-0,757	1,791	2,564	1,317	0,065	1,286	-0,091	-2,412
1,517	89,067	-0,722	2,307	2,586	1,316	-0,191	1,284	-0,128	-2,005
1,533	88,396	-0,681	2,628	2,608	1,310	-0,451	1,282	-0,158	-1,540
1,550	87,767	-0,635	2,962	2,630	1,301	-0,550	1,279	-0,179	-1,054
1,567	87,184	-0,582	3,506	2,651	1,292	-0,403	1,276	-0,193	-0,611
1,583	86,655	-0,518	4,258	2,673	1,287	-0,006	1,272	-0,200	-0,240
1,600	86,195	-0,440	5,109	2,694	1,292	0,585	1,269	-0,201	0,088
1,617	85,815	-0,347	5,895	2,716	1,307	1,249	1,266	-0,197	0,352
1,633	85,531	-0,243	6,282	2,738	1,333	1,855	1,262	-0,189	0,471
1,650	85,350	-0,138	5,993	2,760	1,369	2,262	1,259	-0,181	0,447
1,667	85,268	-0,044	5,096	2,784	1,409	2,293	1,256	-0,174	0,382
1,683	85,267	0,032	4,054	2,807	1,445	1,769	1,253	-0,168	0,393
1,700	85,329	0,092	3,345	2,832	1,468	0,547	1,251	-0,161	0,532
1,717	85,442	0,144	2,990	2,856	1,463	-1,512	1,248	-0,151	0,744
1,733	85,603	0,191	2,623	2,881	1,417	-4,500	1,246	-0,136	0,965
1,750	85,808	0,231	1,781	2,904	1,313	-8,170	1,244	-0,118	1,223
1,767	86,044	0,251	0,312	2,924	1,145	-11,687	1,242	-0,096	1,511
1,783	86,287	0,241	-1,179	2,942	0,924	-13,554	1,240	-0,068	1,653
1,800	86,506	0,211	-1,355	2,955	0,693	-11,570	1,239	-0,040	1,455

(WINTER, 1979)

TABELA 2 MARCHA HUMANA - DADOS MOD. DO TRONCO/CABEÇA/BRAÇOS

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	($\text{grau}^{\circ}10^5$)	($\text{rad/s}^{\circ}10^5$)	($\text{rad/s}^2 \cdot 10^5$)	($\text{m}^{\circ}10^5$)	($\text{m/s}^2 \cdot 10^5$)	($\text{m/s}^2 \cdot 10^5$)	($\text{m}^{\circ}10^5$)	($\text{m/s}^2 \cdot 10^5$)	($\text{m/s}^2 \cdot 10^5$)
0,000	9774700	28000	38800	42600	144200	1141900	124200	-8800	50400
0,017	9801800	28200	-22400	45200	161000	820300	124100	-7700	87500
0,033	9828600	27200	-107600	48000	171500	438000	123900	-5800	141900
0,050	9853800	24600	-209900	50900	175600	73400	123900	-2900	218200
0,067	9875700	20200	-318100	53900	174000	-213100	123800	1400	294100
0,083	9892400	14000	-413300	56700	168500	-381600	123900	6900	335500
0,100	9902500	6400	-485800	59500	161300	-424900	124100	12600	329400
0,117	9904700	-2200	-545300	62100	154300	-369300	124300	17900	290900
0,133	9898300	-11700	-610100	64600	148900	-259600	124700	22300	237800
0,150	9882300	-22500	-687700	67100	145700	-141500	125100	25800	179700
0,167	9855300	-34700	-764100	69500	144200	-47300	125500	28300	124900
0,183	9816100	-48000	-812800	71900	144100	8200	126000	30000	74600
0,200	9763700	-61800	-807600	74300	144500	24200	126500	30800	18000
0,217	9698100	-74900	-729900	76700	144900	8600	127000	30600	-58700
0,233	9620600	-86100	-580000	79100	144600	-23300	127500	28800	-159400
0,250	9533600	-94200	-380800	81500	144100	-56200	128000	25200	-270100
0,267	9440500	-98800	-160400	83900	142900	-83600	128400	19800	-359000
0,283	9344900	-99600	55200	86300	141300	-104700	128700	13300	-394800
0,300	9250300	-97000	233000	88600	139400	-116900	128800	6700	-373700
0,317	9159700	-91800	351200	90900	137400	-120000	128900	800	-321900
0,333	9074900	-85200	420200	93200	135400	-116700	128900	-4100	-267900
0,350	8996800	-77800	455800	95400	133500	-102300	128800	-8100	-220500
0,367	8926200	-70000	448500	97700	132000	-64800	128600	-11400	-175700
0,383	8863000	-62900	392200	99800	131400	-5700	128400	-14000	-132600
0,400	8806200	-57000	315000	102000	131800	55000	128100	-15800	-97400
0,417	8754200	-52400	251900	104200	133200	99900	127800	-17200	-75200
0,433	8706200	-48600	209300	106500	135200	125900	127500	-18300	-65400
0,450	8661400	-45400	190200	108700	137400	134000	127200	-19400	-59500
0,467	8619500	-42200	221900	111100	139600	122500	126900	-20300	-46500
0,483	8580700	-38000	315000	113400	141500	101600	126600	-20900	-24000
0,500	8546900	-31700	422500	115800	143000	95400	126200	-21100	2800
0,517	8520100	-23900	483400	118200	144700	121200	125800	-20900	31700
0,533	8501200	-15600	488500	120600	147000	169700	125500	-20100	61000
0,550	8490300	-7600	473200	123100	150300	210400	125200	-18800	86100
0,567	8486700	200	489200	125600	154100	210000	124900	-17200	109600
0,583	8490600	8700	584600	128200	157300	149100	124600	-15200	141700
0,600	8503300	19600	753500	130900	159000	36100	124400	-12500	182900
0,617	8528100	33800	908100	133500	158500	-94100	124200	-9100	218800
0,633	8567900	49900	944300	136100	155900	-205100	124100	-5200	238600
0,650	8623500	65300	831400	138700	151700	-282100	124000	-1100	244900
0,667	8692700	77600	628900	141200	148500	-330700	124000	3000	243400
0,683	8771800	86300	413700	143600	140700	-352000	124100	7000	240900
0,700	8857500	91400	209200	145900	134800	-331400	124300	11000	244400
0,717	8946500	93200	12700	148100	129600	-263300	124500	15200	250200
0,733	9135600	91900	-153600	150200	126000	-171300	124800	19400	246000
0,750	9122000	88100	-265100	152300	123900	-86700	125100	23400	223200
0,767	9503900	83000	-325600	154300	123100	-26000	125600	26800	177000
0,783	9280500	77300	-352800	156400	123000	8800	126000	29300	103600
0,800	9351500	71300	-369400	158400	123400	28100	126500	30200	4700
0,817	9416700	65000	-405400	160500	124000	44700	127000	29400	-105700
0,833	9475600	57700	-478700	162600	124900	61700	127500	26700	-206300
0,850	9527000	49000	-572200	164700	126000	76400	127900	22500	-281100
0,867	9569200	38700	-651700	166800	127400	88600	128300	17400	-319700
0,883	9600800	27300	-703400	168900	129000	99200	128500	11900	-316800
0,900	9621200	15200	-722700	171100	130700	103400	128700	6800	-281800
0,917	9629900	3200	-683800	173300	132400	94900	128700	2500	-241000

TABELA 2 MARCHA HUMANA - DADOS MOD. DO TRONCO/CABEÇA/BRAÇOS

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,933	9627300	-7600	-568200	175500	133900	75400	128700	-1200	-219800
0,950	9615400	-15800	-399700	177700	135000	52600	128700	-4900	-224500
0,967	9597200	-20900	-200800	180000	135600	30800	128600	-8700	-241000
0,983	9575500	-22500	49000	182300	136000	11600	128400	-12900	-249900
1,000	9554200	-19300	348200	184500	136000	3200	128100	-17100	-234600
1,017	9538700	-10900	623000	186800	136100	15400	127800	-20700	-181900
1,033	9533500	1500	788700	189100	136500	44800	127500	-23100	-95000
1,050	9541500	15400	808800	191300	137600	79200	127100	-23900	1600
1,067	9563000	28500	886300	193600	139200	112900	126700	-23100	79400
1,083	9595900	38300	454500	196000	141300	148300	126300	-21200	123300
1,100	9636200	43600	183900	198400	144100	182100	126000	-19000	134200
1,117	9679200	44400	-49400	200800	147400	204500	125700	-16800	124500
1,133	9721100	42000	-206900	203300	150900	208000	125400	-14800	114800
1,150	9759300	37500	-292400	205800	154300	185300	125200	-12900	125400
1,167	9792800	32200	-330200	208400	157100	128800	125000	-10600	162200
1,183	9820900	26500	-350500	211100	158600	44200	124800	-7500	211200
1,200	9843500	20500	-377200	213700	158600	-43900	124700	-3600	253500
1,217	9860100	14000	-417400	216300	157200	-110900	124700	900	278800
1,233	9870100	6600	-475100	219000	154900	-146700	124700	5700	285900
1,250	9872700	-1900	-573300	221500	152300	-149600	124900	10500	276700
1,267	9866500	-12500	-723000	224000	149900	-120100	125100	14900	252200
1,283	9848900	-26000	-867000	226500	148300	-72400	125400	18900	210000
1,300	9816900	-41400	-896800	229000	147500	-41400	125700	21900	149600
1,317	9769800	-55900	-753800	231400	146900	-54700	126100	23900	80000
1,333	9710100	-66500	-497400	233900	145700	-103000	126500	24600	17300
1,350	9642700	-72500	-250500	236300	143500	-151900	126900	24400	-31600
1,367	9571700	-74900	-99200	238700	140600	-175000	127300	23600	-78200
1,383	9499600	-75800	-50800	241000	137600	-168600	127700	21800	-135900
1,400	9426900	-76600	-55600	243200	135000	-141700	128100	19000	-212000
1,417	9353400	-77600	-53900	245500	132900	-102200	128300	15100	-258800
1,433	9278700	-78700	-53900	247700	131600	-56700	128600	10400	-296800
1,450	9203000	-79400	-19700	249900	131000	-16000	128700	5200	-309600
1,467	9126900	-79400	37100	252000	131000	10600	128700	100	-299500
1,483	9051400	-78200	103600	254200	131400	18300	128700	-4800	-274700
1,500	8977600	-75700	179100	256400	131700	6500	128600	-9100	-241200
1,517	8906700	-72200	230700	258600	131600	-19100	128400	-12800	-200500
1,533	8839600	-68100	262800	260800	131000	-45100	128200	-15800	-154000
1,550	8776700	-63500	296200	263000	130100	-55000	127900	-17900	-105400
1,567	8718400	-58200	350600	265100	129200	-40300	127600	-19300	-61100
1,583	8665500	-51800	425800	267300	128700	-600	127200	-20000	-24000
1,600	8619500	-44000	510900	269400	129200	58500	126900	-20100	8800
1,617	8581500	-34700	589500	271600	130700	124900	126600	-19700	35200
1,633	8553100	-24300	628200	273800	133300	185500	126200	-18900	47100
1,650	8535000	-13800	599300	276000	136900	226200	125900	-18100	44700
1,667	8526800	-4400	509600	278400	140900	229300	125600	-17400	38200
1,683	8526700	3200	405400	280700	144500	176900	125300	-16800	39300
1,700	8532900	9200	334500	283200	146800	54700	125100	-16100	53200
1,717	8544200	14400	299000	285600	146300	-151200	124800	-15100	74400
1,733	8560300	19100	262300	288100	141700	-450000	124600	-13600	96500
1,750	8580800	23100	178100	290400	131300	-817000	124400	-11800	122300
1,767	8604400	25100	31200	292400	114500	-1168700	124200	-9600	151100
1,783	8628700	24100	-117900	294200	92400	-1355400	124000	-6800	165300
1,800	8650600	21100	-135500	295500	69300	-1157000	123900	-4000	145500

TABELA 3

MARCHA HUMANA - DADOS DA COXA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos (grau)	Vel (rad/s)	Acel (rad/s ²)	Pos (m)	Vel (m/s)	Acel (m/s ²)	Pos (m)	Vel (m/s)	Acel (m/s ²)
0,000	294,524	0,018	-1,694	0,544	1,534	11,123	0,752	-0,063	2,19
0,017	294,528	-0,016	-2,28	0,571	1,694	7,543	0,751	-0,02	2,804
0,033	294,494	-0,058	-2,99	0,6	1,785	3,344	0,751	0,031	2,94
0,050	294,417	-0,115	-4,531	0,63	1,805	-0,75	0,752	0,078	2,512
0,067	294,274	-0,209	-7,39	0,66	1,76	-4,227	0,753	0,114	1,642
0,083	294,019	-0,362	-11,262	0,689	1,664	-6,69	0,756	0,133	0,655
0,100	293,584	-0,584	-15,072	0,716	1,537	-7,939	0,758	0,136	-0,074
0,117	292,903	-0,864	-17,537	0,74	1,399	-8,056	0,76	0,131	-0,036
0,133	291,933	-1,169	-17,79	0,762	1,268	-7,358	0,762	0,124	-0,315
0,150	290,67	-1,457	-15,714	0,783	1,154	-6,238	0,764	0,12	-0,184
0,167	289,149	-1,693	-11,952	0,801	1,06	-5,044	0,766	0,118	-0,147
0,183	287,436	-1,856	-7,56	0,818	0,986	-4,004	0,768	0,115	-0,244
0,200	285,605	-1,945	-3,49	0,834	0,927	-3,218	0,77	0,11	-0,443
0,217	283,721	-1,972	-0,315	0,849	0,879	-2,656	0,772	0,101	-0,694
0,233	281,838	-1,955	1,771	0,863	0,838	-2,196	0,773	0,087	-0,97
0,250	279,986	-1,913	2,915	0,877	0,805	-1,712	0,775	0,068	-1,243
0,267	278,183	-1,858	3,451	0,89	0,781	-1,146	0,776	0,045	-1,429
0,283	276,437	-1,798	3,609	0,903	0,767	-0,538	0,776	0,021	-1,413
0,300	274,749	-1,738	3,438	0,916	0,763	0,015	0,776	-0,002	-1,158
0,317	273,117	-1,683	2,896	0,928	0,768	0,402	0,776	-0,018	-0,782
0,333	271,533	-1,641	1,979	0,941	0,777	0,606	0,776	0,028	-0,457
0,350	269,982	-1,617	0,9	0,954	0,788	0,758	0,775	-0,033	-0,272
0,367	268,444	-1,611	0,057	0,967	0,802	1,006	0,775	-0,037	-0,205
0,383	266,904	-1,615	0,22	0,981	0,822	1,376	0,774	-0,04	-0,174
0,400	265,358	-1,619	0,212	0,995	0,848	1,801	0,773	-0,043	-0,118
0,417	263,812	-1,608	1,362	1,009	0,882	2,236	0,773	-0,044	-0,043
0,433	262,285	-1,573	3,168	1,024	0,922	2,669	0,772	-0,044	-0,008
0,450	260,807	-1,503	5,425	1,04	0,971	3,083	0,771	-0,044	-0,053
0,467	259,415	-1,392	7,789	1,057	1,025	3,479	0,77	-0,046	-0,164
0,483	258,147	-1,243	10,01	1,074	1,087	3,929	0,77	-0,05	-0,328
0,500	257,04	-1,059	12,056	1,093	1,156	4,503	0,769	-0,057	-0,589
0,517	256,125	-0,841	13,956	1,113	1,237	5,189	0,768	-0,069	-0,957
0,533	255,433	-0,593	15,684	1,134	1,329	5,88	0,766	-0,089	-1,341
0,550	254,992	-0,318	17,298	1,157	1,433	6,424	0,765	-0,114	-1,648
0,567	254,825	-0,017	18,95	1,182	1,543	6,702	0,763	-0,144	-1,791
0,583	254,96	0,314	20,673	1,208	1,656	6,682	0,76	-0,174	-1,64
0,600	255,424	0,673	22,302	1,237	1,766	6,41	0,757	-0,198	-1,128
0,617	256,245	1,057	23,602	1,267	1,87	5,915	0,753	-0,211	-0,338
0,633	257,444	1,46	24,194	1,299	1,963	5,147	0,75	-0,21	0,612
0,650	259,033	1,864	23,38	1,333	2,041	4,002	0,746	-0,191	1,638
0,667	261,004	2,239	20,498	1,367	2,097	2,468	0,743	-0,155	2,665
0,683	263,31	2,547	15,594	1,403	2,124	0,765	0,741	-0,102	3,623
0,700	265,869	2,759	9,596	1,438	2,122	-0,736	0,74	-0,034	4,447
0,717	268,58	2,867	3,623	1,473	2,099	-1,789	0,74	0,046	4,989
0,733	271,346	2,88	-1,788	1,508	2,063	-2,431	0,742	0,132	5,049
0,750	274,081	2,807	-6,512	1,542	2,018	-2,839	0,744	0,214	4,523
0,767	276,709	2,663	-10,216	1,575	1,968	-3,118	0,749	0,283	3,486
0,783	279,168	2,467	-12,468	1,608	1,914	-3,271	0,754	0,331	2,127
0,800	281,421	2,247	-13,278	1,639	1,859	-3,283	0,76	0,354	0,686
0,817	283,46	2,024	-13,103	1,67	1,805	-3,223	0,766	0,353	-0,616
0,833	285,288	1,81	-12,563	1,699	1,752	-3,224	0,772	0,333	-1,683
0,850	286,918	1,605	-12,269	1,728	1,697	-3,343	0,777	0,297	-2,546
0,867	288,355	1,401	-12,488	1,756	1,64	-3,49	0,781	0,248	-3,223
0,883	289,594	1,189	-12,888	1,783	1,581	-3,549	0,785	0,19	-3,645
0,900	290,626	0,971	-12,887	1,809	1,522	-3,478	0,788	0,127	-3,759
0,917	291,45	0,759	-12,275	1,834	1,465	-3,265	0,789	0,065	-3,637

TABELA 3

MARCHA HUMANA - DADOS DA COXA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau)	(rad/s)	rad/s ²	(m)	(m/s)	(m/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
0,933	292,077	0,562	-11,261	1,858	1,413	-2,895	0,79	0,006	-3,443
0,950	292,523	0,384	-9,936	1,881	1,368	-2,393	0,79	-0,05	-3,279
0,967	292,81	0,231	-8,203	1,903	1,333	-1,75	0,788	-0,104	-3,092
0,983	292,965	0,11	-6,208	1,925	1,31	-0,87	0,786	-0,153	-2,715
1,000	293,021	0,024	-4,322	1,947	1,304	0,299	0,783	-0,194	-2,026
1,017	293,01	-0,034	-2,673	1,969	1,32	1,61	0,78	-0,221	-1,08
1,033	292,957	-0,065	-1,049	1,991	1,358	2,771	0,776	-0,23	-0,112
1,050	292,885	-0,069	0,673	2,014	1,412	3,521	0,772	-0,225	0,637
1,067	292,825	-0,043	2,177	2,038	1,475	3,747	0,768	-0,209	1,06
1,083	292,804	0,004	2,791	2,063	1,537	3,47	0,765	-0,189	1,229
1,100	292,833	0,05	2,001	2,089	1,591	2,794	0,762	-0,168	1,338
1,117	292,9	0,071	-0,014	2,116	1,63	1,883	0,759	-0,145	1,558
1,133	292,968	0,05	-2,42	2,144	1,654	0,937	0,757	-0,116	1,946
1,150	292,995	-0,01	-4,312	2,171	1,662	0,054	0,755	-0,08	2,406
1,167	292,949	-0,094	-5,293	2,199	1,656	-0,821	0,754	-0,036	2,71
1,183	292,815	-0,187	-5,731	2,226	1,634	-1,767	0,754	0,011	2,599
1,200	292,592	-0,285	-6,489	2,253	1,597	-2,765	0,755	0,051	1,997
1,217	292,271	-0,403	-8,179	2,28	1,542	-3,721	0,756	0,077	1,15
1,233	291,823	-0,558	-10,478	2,305	1,473	-4,546	0,757	0,089	0,39
1,250	291,206	-0,752	-12,19	2,329	1,391	-5,142	0,759	0,09	-0,128
1,267	290,386	-0,964	-12,265	2,351	1,301	-5,375	0,76	0,085	-0,409
1,283	289,364	-1,161	-10,775	2,372	1,211	-5,211	0,762	0,077	-0,474
1,300	288,168	-1,323	-8,672	2,392	1,127	-4,786	0,763	0,069	-0,364
1,317	286,836	-1,45	-6,837	2,41	1,052	-4,286	0,764	0,064	-0,172
1,333	285,397	-1,551	-5,558	2,427	0,984	-3,822	0,765	0,063	-0,001
1,350	283,872	-1,636	-4,622	2,443	0,924	-3,404	0,766	0,064	0,078
1,367	282,273	-1,705	-3,643	2,458	0,871	-3,004	0,767	0,066	0,012
1,383	280,615	-1,757	-2,484	2,472	0,824	-2,595	0,768	0,065	-0,199
1,400	278,917	-1,788	-1,418	2,485	0,784	-2,149	0,769	0,059	-0,473
1,417	277,198	-1,804	-0,766	2,498	0,753	1,624	0,77	0,049	-0,702
1,433	275,47	-1,814	-0,572	2,51	0,73	-1,027	0,771	0,036	-0,824
1,450	273,734	-1,823	-0,646	2,522	0,718	-0,426	0,772	0,022	-0,825
1,467	271,987	-1,835	-0,619	2,534	0,716	0,125	0,772	0,008	-0,73
1,483	270,228	-1,844	-0,047	2,546	0,722	0,624	0,772	-0,003	-0,576
1,500	268,464	-1,837	1,311	2,558	0,737	1,051	0,772	-0,011	-0,387
1,517	266,719	-1,8	3,198	2,571	0,758	1,35	0,771	-0,016	-0,18
1,533	265,025	-1,73	4,92	2,583	0,782	1,531	0,771	-0,017	0
1,550	263,414	-1,636	5,937	2,597	0,809	1,725	0,771	-0,016	0,077
1,567	261,9	-1,532	6,352	2,61	0,839	2,096	0,771	-0,014	-0,002
1,583	260,487	-1,425	6,698	2,625	0,878	2,744	0,77	-0,016	-0,201
1,600	259,178	-1,309	7,328	2,64	0,931	3,649	0,77	-0,021	-0,432
1,617	257,986	-1,18	8,241	2,656	1	4,647	0,77	-0,03	-0,666
1,633	256,924	-1,034	9,494	2,673	1,086	5,512	0,769	-0,043	-0,927
1,650	256,01	-0,864	11,226	2,692	1,184	6,051	0,768	-0,061	-1,199
1,667	255,274	-0,66	13,211	2,712	1,288	6,097	0,767	-0,083	-1,394
1,683	254,75	-0,423	14,768	2,735	1,387	5,506	0,765	-0,108	-1,406
1,700	254,466	-0,168	15,148	2,759	1,471	4,145	0,763	-0,13	1,181
1,717	254,429	0,082	13,989	2,784	1,525	1,797	0,761	-0,147	-0,771
1,733	254,622	0,299	11,354	2,81	1,531	-1,74	0,759	-0,156	-0,269
1,750	255	0,46	7,586	2,835	1,467	-6,311	0,756	-0,156	0,294
1,767	255,501	0,552	3,335	2,858	1,321	-11,016	0,753	-0,146	0,91
1,783	256,054	0,572	-0,108	2,879	1,1	-13,948	0,751	-0,126	1,435
1,800	256,593	0,548	-0,194	2,895	0,856	-12,037	0,749	-0,098	1,48

(WINTER, 1979)

TABELA 4 MARCHA HUMANA - DADOS MODIFICADOS DA COXA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,000	29452400	1800	-169400	54400	153400	1112300	75200	-6300	219000
0,017	29452800	-1600	-228000	57100	169400	754300	75100	-2000	280400
0,033	29449400	-5800	-299000	60000	178500	334400	75100	3100	294000
0,050	29441700	-11500	-453100	63000	180500	-75000	75200	7800	251200
0,067	29427400	-20900	-739000	66000	176000	-422700	75300	11400	164200
0,083	29401900	-36200	-1126200	68900	166400	-669000	75600	13300	65500
0,100	29358400	-58400	-1507200	71600	153700	-793900	75800	13600	-7400
0,117	29290300	-86400	-1753700	74000	139900	-805600	76000	13100	-3600
0,133	29193300	-116900	-1779000	76200	126800	-735800	76200	12400	-31500
0,150	29067000	-145700	-1571400	78300	115400	-623800	76400	12000	-18400
0,167	28914900	-169300	-1195200	80100	106000	-504400	76600	11800	-14700
0,183	28743600	-185600	-756000	81800	98600	-400400	76800	11500	-24400
0,200	28560500	-194500	-349000	83400	92700	-321800	77000	11000	-44300
0,217	28372100	-197200	-31500	84900	87900	-265600	77200	10100	-69400
0,233	28183800	-195500	177100	86300	83800	-219600	77300	8700	-97000
0,250	27998600	-191300	291500	87700	80500	-171200	77500	6800	-124300
0,267	27818300	-185800	345100	89000	78100	-114600	77600	4500	-142900
0,283	27643700	-179800	360900	90300	76700	-53800	77600	2100	-141300
0,300	27474900	-173800	343800	91600	76300	1500	77600	-200	-115800
0,317	27311700	-168300	289600	92800	76800	40200	77600	-1800	-78200
0,333	27153300	-164100	197900	94100	77700	60600	77600	2800	-45700
0,350	26998200	-161700	90000	95400	78800	75800	77500	-3300	-27200
0,367	26844400	-161100	5700	96700	80200	100600	77500	-3700	-20500
0,383	26690400	-161500	22000	98100	82200	137600	77400	-4000	-17400
0,400	26535800	-161900	21200	99500	84800	180100	77300	-4300	-11800
0,417	26381200	-160800	136200	100900	88200	223600	77300	-4400	-4300
0,433	26228500	-157300	316800	102400	92200	266900	77200	-4400	-800
0,450	26080700	-150300	542500	104000	97100	308300	77100	-4400	-5300
0,467	25941500	-139200	778900	105700	102500	347900	77000	-4600	-16400
0,483	25814700	-124300	1001000	107400	108700	392900	77000	-5000	-32800
0,500	25704000	-105900	1205600	109300	115600	450300	76900	-5700	-58900
0,517	25612500	-84100	1395600	111300	123700	518900	76800	-6900	-95700
0,533	25543300	-59300	1568400	113400	132900	588000	76600	-8900	-134100
0,550	25499200	-31800	1729800	115700	143300	642400	76500	-11400	-164800
0,567	25482500	-1700	1895000	118200	154300	670200	76300	-14400	-179100
0,583	25496000	31400	2067300	120800	165600	668200	76000	-17400	-164000
0,600	25542400	67300	2230200	123700	176600	641000	75700	-19800	-112800
0,617	25624500	105700	2360200	126700	187000	591500	75300	-21100	-33800
0,633	25744400	146000	2419400	129900	196300	514700	75000	-21000	61200
0,650	25903300	186400	2338000	133300	204100	400200	74800	-19100	163800
0,667	26100400	223900	2049800	136700	209700	246800	74300	-15500	266500
0,683	26331000	254700	1559400	140300	212400	76500	74100	-10200	362300
0,700	26586900	275900	959600	143800	212200	-73600	74000	-3400	444700
0,717	26858000	286700	362300	147300	209900	-178900	74000	4600	498900
0,733	27134600	288000	-178800	150800	206300	-243100	74200	13200	504900
0,750	27408100	280700	-651200	154200	201800	-283900	74400	21400	452300
0,767	27670900	266300	-1021600	157500	196800	-311800	74900	28300	348600
0,783	27916800	246700	-1246800	160800	191400	-327100	75400	33100	212700
0,800	28142100	224700	-1327800	163900	185900	-328300	76000	35400	68600
0,817	28346000	202400	-1310300	167000	180500	-322300	76600	35300	-61600
0,833	28528800	181000	-1256300	169900	175200	-322400	77200	33300	-168300
0,850	28691800	160500	-1226900	172800	169700	-334300	77700	29700	-254600
0,867	28835500	140100	-1248800	175600	164000	-349000	78100	24800	-322300
0,883	28959400	118900	-1288800	178300	158100	-354900	78500	19000	-364500
0,900	29062600	97100	-1288700	180900	152200	-347800	78800	12700	-375900
0,917	29145000	75900	-1227500	183400	146500	-326500	78900	6500	-363700

TABELA 4 MARCHA HUMANA - DADOS MODIFICADOS DA COXA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,933	29207700	56200	-1126100	185800	141300	-289500	79000	600	-344300
0,950	29252300	38400	-993600	188100	136800	-239300	79000	-5000	-327900
0,967	29281000	23100	-820300	190300	133300	-175000	78800	-10400	-309200
0,983	29296500	11000	-620800	192500	131000	-87000	78600	-15300	-271500
1,000	29302100	2400	-432200	194700	130400	29900	78300	-19400	-202600
1,017	29301000	-3400	-267300	196900	132000	161000	78000	-22100	-108000
1,033	29295700	-6500	-104900	199100	135800	277100	77600	-23000	-11200
1,050	29288500	-6900	67300	201400	141200	352100	77200	-22500	63700
1,067	29282500	-4300	217700	203800	147500	374700	76800	-20900	106000
1,083	29280400	400	279100	206300	153700	347000	76500	-18900	122900
1,100	29283300	5000	200100	208900	159100	279400	76200	-16800	133800
1,117	29290000	7100	-1400	211600	163000	188300	75900	-14500	155800
1,133	29296800	5000	-242000	214400	165400	93700	75700	-11600	194600
1,150	29299500	-1000	-431200	217100	166200	5400	75500	-8000	240600
1,167	29294900	-9400	-529300	219900	165600	-82100	75400	-3600	271000
1,183	29281500	-18700	-573100	222600	163400	-176700	75400	1100	259900
1,200	29259200	-28500	-648900	225300	159700	-276500	75500	5100	199700
1,217	29227100	-40300	-817900	228000	154200	-372100	75600	7700	115000
1,233	29182300	-55800	-1047800	230500	147300	-454600	75700	8900	39000
1,250	29120600	-75200	-1219000	232900	139100	-514200	75900	9000	-12800
1,267	29038600	-96400	-1226500	235100	130100	-537500	76000	8500	-40900
1,283	28936400	-116100	-1077500	237200	121100	-521100	76200	7700	-47400
1,300	28816800	-132300	-867200	239200	112700	-478600	76300	6900	-36400
1,317	28683600	-145000	-683700	241000	105200	-428600	76400	6400	-17200
1,333	28539700	-155100	-555800	242700	98400	-382200	76500	6300	-100
1,350	28387200	-163600	-462200	244300	92400	-340400	76600	6400	7800
1,367	28227300	-170500	-364300	245800	87100	-300400	76700	6600	1200
1,383	28061500	-175700	-248400	247200	82400	-259500	76800	6500	-19900
1,400	27891700	-178800	-141800	248500	78400	-214900	76900	5900	-47300
1,417	27719800	-180400	-76600	249800	75300	162400	77000	4900	-70200
1,433	27547000	-181400	-57200	251000	73000	-102700	77100	3600	-82400
1,450	27373400	-182300	-64600	252200	71800	-42600	77200	2200	-82500
1,467	27198700	-183500	-61900	253400	71600	12500	77200	800	-73000
1,483	27022800	-184400	-4700	254600	72200	62400	77200	-300	-57600
1,500	26846400	-183700	131100	255800	73700	105100	77200	-1100	-38700
1,517	26671900	-180000	319800	257100	75800	135000	77100	-1600	-18000
1,533	26502500	-173000	492000	258300	78200	153100	77100	-1700	0
1,550	26341400	-163600	593700	259700	80900	172500	77100	-1600	7700
1,567	26190000	-153200	635200	261000	83900	209600	77100	-1400	-200
1,583	26048700	-142500	669800	262500	87800	274400	77000	-1600	-20100
1,600	25917800	-130900	732800	264000	93100	364900	77000	-2100	-43200
1,617	25798600	-118000	824100	265600	100000	464700	77000	-3000	-66600
1,633	25692400	-103400	949400	267300	108600	551200	76900	-4300	-92700
1,650	25601000	-86400	1122600	269200	118400	605100	76800	-6100	-119900
1,667	25527400	-66000	1321100	271200	128800	609700	76700	-8300	-139400
1,683	25475000	-42300	1476800	273500	138700	550600	76500	-10800	-140600
1,700	25446600	-16800	1514800	275900	147100	414500	76300	-13000	-118100
1,717	25442900	8200	1398900	278400	152500	179700	76100	-14700	-77100
1,733	25462200	29900	1135400	281000	153100	-174000	75900	-15600	-26900
1,750	25500000	46000	758600	283500	146700	-631100	75600	-15600	29400
1,767	25550100	55200	333500	285800	132100	-1101600	75300	-14600	91000
1,783	25605400	57200	-10800	287900	110000	-1394800	75100	-12600	143500
1,800	25659300	54800	-19400	289500	85600	-1203700	74900	-9800	148000

TABELA 5

MARCHA HUMANA - DADOS DA PERNA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau)	(rad/s)	(rad/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
0,000	289,084	-1,983	-21,38	0,7	1,18	6,889	0,366	-0,174	1,022
0,017	287,019	-2,299	-16,53	0,721	1,275	4,015	0,363	-0,146	2,067
0,033	284,693	-2,534	-11,682	0,742	1,313	0,51	0,361	-0,105	2,565
0,050	282,179	-2,688	-6,466	0,764	1,292	-2,988	0,36	-0,061	2,421
0,067	279,558	-2,749	-0,479	0,785	1,214	-6,002	0,359	-0,024	1,758
0,083	276,927	-2,704	5,702	0,805	1,092	-8,166	0,359	-0,002	0,867
0,100	274,392	-2,559	10,901	0,822	0,942	-9,263	0,359	0,005	0,102
0,117	272,038	-2,341	14,291	0,836	0,783	-9,267	0,359	0,001	-0,313
0,133	269,921	-2,083	15,719	0,848	0,633	-8,357	0,359	-0,006	-0,391
0,150	268,06	-1,817	15,528	0,857	0,504	-6,862	0,359	-0,012	-0,281
0,167	266,45	-1,565	14,318	0,865	0,404	-5,152	0,359	-0,015	-0,111
0,183	265,07	-1,339	12,646	0,871	0,332	-3,556	0,359	-0,016	0,048
0,200	263,892	-1,143	10,802	0,876	0,285	-2,286	0,358	-0,014	0,153
0,217	262,886	-0,979	8,85	0,88	0,256	-1,395	0,358	-0,01	0,178
0,233	262,021	-0,848	6,787	0,884	0,239	-0,806	0,358	-0,008	0,109
0,250	261,265	-0,753	4,637	0,888	0,229	-0,397	0,358	-0,007	-0,02
0,267	260,583	-0,694	2,545	0,892	0,225	-0,042	0,358	-0,008	-0,11
0,283	259,94	-0,668	0,745	0,896	0,228	0,311	0,358	-0,011	-0,061
0,300	259,307	-0,669	-0,659	0,9	0,236	0,593	0,357	-0,01	0,146
0,317	258,662	-0,69	-1,704	0,904	0,248	0,687	0,357	-0,006	0,41
0,333	257,989	-0,726	-2,405	0,908	0,259	0,594	0,357	0,003	0,587
0,350	257,275	-0,77	-2,828	0,912	0,267	0,474	0,357	0,014	0,62
0,367	256,517	-0,82	-3,223	0,917	0,275	0,502	0,358	0,024	0,574
0,383	255,709	-0,878	-3,887	0,921	0,284	0,716	0,358	0,033	0,562
0,400	254,841	-0,95	-4,906	0,926	0,298	1,067	0,359	0,043	0,647
0,417	253,895	-1,041	-6,04	0,931	0,32	1,57	0,36	0,055	0,803
0,433	252,852	-1,151	-6,968	0,937	0,351	2,278	0,361	0,069	0,952
0,450	251,696	-1,274	-7,643	0,943	0,396	3,132	0,362	0,086	1,027
0,467	250,419	-1,406	-9,281	0,95	0,455	4,003	0,363	0,104	0,988
0,483	249,011	-1,55	-9,083	0,958	0,529	4,854	0,365	0,119	0,808
0,500	247,459	-1,709	-10,044	0,968	0,617	5,754	0,367	0,131	0,487
0,517	245,747	-1,885	-11,051	0,979	0,721	6,751	0,37	0,136	0,11
0,533	243,859	-2,077	-12,043	0,992	0,842	7,769	0,372	0,134	-0,19
0,550	241,779	-2,286	-12,968	1,007	0,98	8,683	0,374	0,129	-0,325
0,567	239,492	-2,509	-13,479	1,024	1,132	9,449	0,376	0,123	-0,266
0,583	236,985	-2,735	-12,833	1,045	1,295	10,13	0,378	0,12	-0,016
0,600	234,267	-2,937	-10,404	1,068	1,469	10,785	0,38	0,123	0,385
0,617	231,375	-3,082	-6,228	1,094	1,655	11,359	0,382	0,133	0,863
0,633	228,379	-3,145	-0,622	1,123	1,848	11,633	0,385	0,152	1,319
0,650	225,367	-3,103	6,521	1,155	2,042	11,281	0,387	0,177	1,613
0,667	222,451	-2,927	15,477	1,191	2,224	10,113	0,391	0,205	1,603
0,683	219,775	-2,587	25,8	1,229	2,38	8,278	0,394	0,231	1,242
0,700	217,509	-2,067	36,068	1,27	2,5	6,223	0,398	0,247	0,585
0,717	215,826	-1,385	44,597	1,313	2,587	4,372	0,402	0,25	-0,295
0,733	214,864	-0,58	50,301	1,356	2,646	2,868	0,407	0,237	-1,342
0,750	214,717	0,292	52,834	1,401	2,683	1,658	0,41	0,205	-2,446
0,767	215,423	1,181	52,279	1,446	2,701	0,729	0,413	0,155	-3,432
0,783	216,973	2,035	48,986	1,491	2,707	0,163	0,416	0,091	-4,127
0,800	219,311	2,814	43,585	1,536	2,707	-0,033	0,416	0,018	-4,405
0,817	222,349	3,489	36,895	1,581	2,706	-0,033	0,416	-0,056	-4,214
0,833	225,975	4,044	29,782	1,626	2,706	-0,106	0,415	-0,123	-3,636
0,850	230,074	4,482	23,112	1,671	2,702	-0,42	0,412	-0,177	-2,872
0,867	234,536	4,815	17,538	1,716	2,692	-0,921	0,409	-0,218	-2,099
0,883	239,272	5,066	13,121	1,761	2,672	-1,477	0,405	-0,247	-1,332
0,900	244,214	5,252	9,341	1,805	2,642	-2,045	0,4	-0,263	-0,49
0,917	249,305	5,378	5,518	1,849	2,603	-2,68	0,396	-0,263	0,402

TABELA 5

MARÇA HUMANA - DADOS DA PERNA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos (grau)	Vel (rad/s)	Acel (rad/s ²)	Pos (m)	Vel (m/s)	Acel (m/s ²)	Pos (m)	Vel (m/s)	Acel (m/s ²)
0,933	254,486	5,436	1,2	1,892	2,553	-3,431	0,392	-0,249	1,182
0,950	259,689	5,418	-3,836	1,934	2,489	-4,271	0,388	-0,224	1,71
0,967	264,835	5,308	-9,881	1,975	2,411	-5,094	0,384	-0,192	1,961
0,983	269,83	5,088	-17,321	2,015	2,319	-5,767	0,381	-0,159	1,952
1,000	274,555	4,731	-26,186	2,053	2,218	-6,202	0,379	-0,127	1,695
1,017	278,867	4,215	-35,761	2,089	2,112	-6,407	0,377	-0,102	1,222
1,033	282,607	3,539	-44,757	2,123	2,005	-6,465	0,376	-0,087	0,608
1,050	285,627	2,723	-51,806	2,156	1,897	-6,454	0,374	-0,082	-0,057
1,067	287,809	1,811	-55,756	2,186	1,79	-6,416	0,373	-0,088	-0,681
1,083	289,087	0,864	-55,75	2,215	1,683	-6,351	0,371	-0,105	-1,147
1,100	289,459	-0,047	-51,495	2,242	1,578	-6,23	0,369	-0,127	-1,5
1,117	288,997	-0,853	-43,644	2,268	1,475	-5,988	0,367	-0,148	-1,028
1,133	287,83	-1,502	-33,729	2,292	1,378	-5,551	0,364	-0,161	-0,355
1,150	286,127	-1,977	-23,635	2,314	1,29	-4,977	0,362	-0,16	0,556
1,167	284,053	-2,29	-14,896	2,335	1,212	-4,522	0,359	-0,142	1,427
1,183	281,752	-2,474	-7,955	2,354	1,139	-4,414	0,357	-0,112	1,93
1,200	279,328	-2,556	-2,163	2,373	1,065	-4,647	0,355	-0,078	1,891
1,217	276,87	-2,546	3,075	2,39	0,985	-5,089	0,354	-0,049	1,423
1,233	274,464	-2,453	7,514	2,405	0,895	-5,605	0,354	-0,031	0,807
1,250	272,184	-2,296	10,58	2,42	0,798	-5,972	0,353	-0,022	0,28
1,267	270,079	-2,1	12,132	2,432	0,696	-5,911	0,353	-0,021	-0,033
1,283	268,172	-1,891	12,549	2,443	0,601	-5,342	0,353	-0,023	-0,114
1,300	266,467	-1,682	12,32	2,452	0,518	-4,497	0,352	-0,025	-0,04
1,317	264,959	-1,48	11,756	2,46	0,451	-3,693	0,352	-0,025	0,105
1,333	263,639	-1,29	10,979	2,467	0,395	-3,086	0,351	-0,022	0,279
1,350	262,495	-1,114	9,931	2,473	0,348	-2,672	0,351	-0,015	0,42
1,367	261,511	-0,959	8,511	2,479	0,306	-2,368	0,351	-0,008	0,453
1,383	260,663	-0,83	6,917	2,483	0,269	-2,062	0,351	0	0,392
1,400	259,924	-0,728	5,539	2,488	0,237	-1,661	0,351	0,006	0,328
1,417	259,272	-0,646	4,41	2,491	0,213	-1,163	0,351	0,011	0,314
1,433	258,691	-0,581	3,177	2,495	0,198	-0,668	0,351	0,016	0,32
1,450	258,162	-0,54	1,64	2,498	0,191	-0,277	0,351	0,021	0,311
1,467	257,659	-0,527	-0,099	2,501	0,189	0,021	0,352	0,026	0,317
1,483	257,156	-0,543	-1,921	2,504	0,192	0,335	0,352	0,032	0,382
1,500	256,622	-0,591	-3,72	2,507	0,2	0,738	0,353	0,039	0,499
1,517	256,028	-0,667	-5,274	2,511	0,216	1,169	0,354	0,048	0,619
1,533	255,347	-0,766	-6,303	2,515	0,239	1,541	0,355	0,06	0,702
1,550	254,564	-0,877	-6,769	2,519	0,268	1,883	0,356	0,072	0,718
1,567	253,671	-0,992	-7,058	2,524	0,302	2,318	0,357	0,084	0,651
1,583	252,668	-1,113	-7,667	2,529	0,345	2,972	0,358	0,094	0,553
1,600	251,546	-1,248	-8,747	2,535	0,401	3,873	0,36	0,102	0,49
1,617	250,285	-1,404	-9,968	2,542	0,474	4,911	0,362	0,11	0,402
1,633	248,864	-1,58	-10,932	2,551	0,565	5,937	0,364	0,115	0,179
1,650	247,267	-1,769	-11,462	2,561	0,672	6,835	0,366	0,116	-0,12
1,667	245,485	-1,962	-11,371	2,573	0,793	7,444	0,368	0,112	-0,308
1,683	243,518	-2,148	-10,372	2,588	0,92	7,505	0,369	0,106	-0,288
1,700	241,382	-2,308	-8,114	2,604	1,043	6,714	0,371	0,102	-0,139
1,717	239,109	-2,418	-4,097	2,622	1,144	4,805	0,373	0,101	-0,044
1,733	236,762	-2,445	2,093	2,642	1,203	1,627	0,374	0,1	-0,141
1,750	234,44	-2,349	10,097	2,662	1,198	-2,634	0,376	0,096	-0,417
1,767	232,276	-2,108	18,25	2,682	1,115	-7,138	0,378	0,087	-0,705
1,783	230,413	-1,74	23,362	2,7	0,96	-10,107	0,379	0,073	-0,8
1,800	228,952	-1,329	20,731	2,714	0,778	-8,57	0,38	0,06	-0,507

(WINTER, 1979)

TABELA 6 MARCHA HUMANA - DADOS MODIFICADOS DA PERNA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,000	28908400	-198300	-2138000	70000	118000	688900	36600	-17400	102200
0,017	28701900	-229900	-1653000	72100	127500	401500	36300	-14600	206700
0,033	28469300	-253400	-1168200	74200	131300	51000	36100	-10500	256500
0,050	28217900	-268800	-646600	76400	129200	-298800	36000	-6100	242100
0,067	27955800	-274900	-47900	78500	121400	-600200	35900	-2400	175800
0,083	27692700	-270400	570200	80500	109200	-816600	35900	-200	86700
0,100	27439200	-255900	1090100	82200	94200	-926300	35900	500	10200
0,117	27203800	-234100	1429100	83600	78300	-926700	35900	100	-31300
0,133	26992100	-208300	1571900	84800	63300	-835700	35900	-600	-39100
0,150	26806000	-181700	1552800	85700	50400	-686200	35900	-1200	-28100
0,167	26645000	-156500	1431800	86500	40400	-515200	35900	-1500	-11100
0,183	26507000	-133900	1264600	87100	33200	-355600	35900	-1600	4800
0,200	26389200	-114300	1080200	87600	28500	-228600	35800	-1400	15300
0,217	26288600	-97900	885000	88000	25600	-139500	35800	-1000	17800
0,233	26202100	-84800	678700	88400	23900	-80600	35800	-800	10900
0,250	26126500	-75300	463700	88800	22900	-39700	35800	-700	-2000
0,267	26058300	-69400	254500	89200	22500	-4200	35800	-800	-11000
0,283	25994000	-66800	74500	89600	22800	31100	35800	-1100	-6100
0,300	25930700	-66900	-65900	90000	23600	59300	35700	-1000	14600
0,317	25866200	-69000	-170400	90400	24800	68700	35700	-600	41000
0,333	25798900	-72600	-240500	90800	25900	59400	35700	300	58700
0,350	25727500	-77000	-282800	91200	26700	47400	35700	1400	62000
0,367	25651700	-82000	-322300	91700	27500	50200	35800	2400	57400
0,383	25570900	-87800	-388700	92100	28400	71600	35800	3300	56200
0,400	25484100	-95000	-490600	92600	29800	106700	35900	4300	64700
0,417	25389500	-104100	-604000	93100	32000	157000	36000	5500	80300
0,433	25285200	-115100	-696800	93700	35100	227800	36100	6900	95200
0,450	25169600	-127400	-764300	94300	39600	313200	36200	8600	102700
0,467	25041900	-140600	-928100	95000	45500	400300	36300	10400	98800
0,483	24901100	-155000	-908300	95800	52900	485400	36500	11900	80800
0,500	24745900	-170900	-1004400	96800	61700	575400	36700	13100	48700
0,517	24574700	-188500	-1105100	97900	72100	675100	37000	13600	11000
0,533	24385900	-207700	-1204300	99200	84200	776900	37200	13400	-19000
0,550	24177900	-228600	-1296800	100700	98000	868300	37400	12900	-32500
0,567	23949200	-250900	-1347900	102400	113200	944900	37600	12300	-26600
0,583	23698500	-273500	-1283300	104500	129500	1013000	37800	12000	-1600
0,600	23426700	-293700	-1040400	106800	146900	1078500	38000	12300	38500
0,617	23137500	-308200	-622800	109400	165500	1135900	38200	13300	86300
0,633	22837900	-314500	-62200	112300	184800	1163300	38500	15200	131900
0,650	22536700	-310300	652100	115500	204200	1128100	38700	17700	161300
0,667	22245100	-292700	1547700	119100	222400	1011300	39100	20500	160300
0,683	21977500	-258700	2580000	122900	238000	827800	39400	23100	124200
0,700	21750900	-206700	3606800	127000	250000	622300	39800	24700	58500
0,717	21582600	-138500	4459700	131300	258700	437200	40200	25000	-29500
0,733	21486400	-58000	5030100	135600	264600	286800	40700	23700	-134200
0,750	21471700	29200	5283400	140100	268300	165800	41000	20500	-244600
0,767	21542300	118100	5227900	144600	270100	72900	41300	15500	-343200
0,783	21697300	203500	4898600	149100	270700	16300	41600	9100	-412700
0,800	21931100	281400	4358500	153600	270700	-3300	41600	1800	-440500
0,817	22234900	348900	3689500	158100	270600	-3300	41600	-5600	-421400
0,833	22597500	404400	2978200	162600	270600	-10600	41500	-12300	-363600
0,850	23007400	448200	2311200	167100	270200	-42000	41200	-17700	-287200
0,867	23453600	481500	1753800	171600	269200	-92100	40900	-21800	-209900
0,883	23927200	506600	1312100	176100	267200	-147700	40500	-24700	-133200
0,900	24421400	525200	934100	180500	264200	-204500	40000	-26300	-49000
0,917	24930500	537800	551800	184900	260300	-268000	39600	-26300	40200

TABELA 6 MARCHA HUMANA - DADOS MODIFICADOS DA PERNA

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,933	25448600	543600	120000	189200	255300	-343100	39200	-24900	118200
0,950	25968900	541800	-383600	193400	248900	-427100	38800	-22400	171000
0,967	26483500	530800	-988100	197500	241100	-509400	38400	-19200	196100
0,983	26983000	508800	-1732100	201500	231900	-576700	38100	-15900	195200
1,000	27455500	473100	-2618600	205300	221800	-620200	37900	-12700	169500
1,017	27886700	421500	-3576100	208900	211200	-640700	37700	-10200	122200
1,033	28260700	353900	-4475700	212300	200500	-646500	37600	-8700	60800
1,050	28562700	272300	-5180600	215600	189700	-645400	37400	-8200	-5700
1,067	28780900	181100	-5575600	218600	179000	-641600	37300	-8800	-68100
1,083	28908700	86400	-5575000	221500	168300	-635100	37100	-10500	-114700
1,100	28945900	-4700	-5149500	224200	157800	-623000	36900	-12700	-150000
1,117	28899700	-85300	-4364400	226800	147500	-598800	36700	-14800	-102800
1,133	28783000	-150200	-3372900	229200	137800	-555100	36400	-16100	-35500
1,150	28612700	-197700	-2363500	231400	129000	-497700	36200	-16000	55600
1,167	28405300	-229000	-1489600	233500	121200	-452200	35900	-14200	142700
1,183	28175200	-247400	-795500	235400	113900	-441400	35700	-11200	193000
1,200	27932800	-255600	-216300	237300	106500	-464700	35500	-7800	189100
1,217	27687000	-254600	307500	239000	98500	-508900	35400	-4900	142300
1,233	27446400	-245300	751400	240500	89500	-560500	35400	-3100	80700
1,250	27218400	-229600	1058000	242000	79800	-597200	35300	-2200	28000
1,267	27007900	-210000	1213200	243200	69600	-591100	35300	-2100	-3300
1,283	26817200	-189100	1254900	244300	60100	-534200	35300	-2300	-11400
1,300	26646700	-168200	1232000	245200	51800	-449700	35200	-2500	-4000
1,317	26495900	-148000	1175600	246000	45100	-369300	35200	-2500	10500
1,333	26363900	-129000	1097900	246700	39500	-308600	35100	-2200	27900
1,350	26249500	-111400	993100	247300	34800	-267200	35100	-1500	42000
1,367	26151100	-95900	851100	247900	30600	-236800	35100	-800	45300
1,383	26066300	-83000	691700	248300	26900	-206200	35100	0	39200
1,400	25992400	-72800	553900	248800	23700	-166100	35100	600	32800
1,417	25927200	-64600	441000	249100	21300	-116300	35100	1100	31400
1,433	25869100	-58100	317700	249500	19800	-66800	35100	1600	32000
1,450	25816200	-54000	164000	249800	19100	-27700	35100	2100	31100
1,467	25765900	-52700	-9900	250100	18900	2100	35200	2600	31700
1,483	25715600	-54300	-192100	250400	19200	33500	35200	3200	38200
1,500	25662200	-59100	-372000	250700	20000	73800	35300	3900	49900
1,517	25602800	-66700	-527400	251100	21600	116900	35400	4800	61900
1,533	25534700	-76600	-630300	251500	23900	154100	35500	6000	70200
1,550	25456400	-87700	-676900	251900	26800	188300	35600	7200	71800
1,567	25367100	-99200	-705800	252400	30200	231800	35700	8400	65100
1,583	25266800	-111300	-766700	252900	34500	297200	35800	9400	55300
1,600	25154600	-124800	-874700	253500	40100	387300	36000	10200	49000
1,617	25028500	-140400	-996800	254200	47400	491100	36200	11000	40200
1,633	24886400	-158000	-1093200	255100	56500	593700	36400	11500	17900
1,650	24726700	-176900	-1146200	256100	67200	683500	36600	11600	-12000
1,667	24548500	-196200	-1137100	257300	79300	744400	36800	11200	-30800
1,683	24351800	-214800	-1037200	258800	92000	750500	36900	10600	-28800
1,700	24138200	-230800	-811400	260400	104300	671400	37100	10200	-13900
1,717	23910900	-241800	-409700	262200	114400	480500	37300	10100	-4400
1,733	23676200	-244500	209300	264200	120300	162700	37400	10000	-14100
1,750	23444000	-234900	1009700	266200	119800	-263400	37600	9600	-41700
1,767	23227600	-210800	1825000	268200	111500	-713800	37800	8700	-70500
1,783	23041300	-174000	2336200	270000	96000	-1010700	37900	7300	-80000
1,800	22895200	-132900	2073100	271400	77800	-857000	38000	6000	-50700

TABELA 7

MARCHA HUMANA - DADOS DO PÉ

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau)	(rad/s)	(rad/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
0,000	351,403	-2,556	-41,459	0,877	0,636	0,167	0,118	-0,574	-3,457
0,017	348,615	-3,19	-30,43	0,888	0,628	-1,435	0,108	-0,609	-0,599
0,033	345,309	-3,571	-12,501	0,898	0,588	-3,355	0,098	-0,594	2,15
0,050	341,794	-3,607	7,693	0,907	0,516	-5,033	0,088	-0,537	4,335
0,067	338,419	-3,314	24,364	0,915	0,42	-6,05	0,08	-0,45	5,63
0,083	335,463	-2,795	34,193	0,921	0,314	-6,255	0,073	-0,349	5,966
0,100	333,08	-2,174	36,862	0,926	0,212	-5,749	0,068	-0,251	5,544
0,117	331,309	-1,566	33,664	0,928	0,123	-4,745	0,065	-0,165	4,652
0,133	330,089	-1,052	26,853	0,93	0,053	-3,482	0,063	-0,096	3,54
0,150	329,3	-0,67	19,031	0,93	0,007	-2,169	0,062	-0,047	2,422
0,167	328,809	-0,417	12,049	0,93	-0,019	-0,96	0,061	-0,015	1,461
0,183	328,502	-0,269	6,61	0,929	-0,025	0,018	0,061	0,002	0,719
0,200	328,295	-0,197	2,701	0,929	-0,018	0,667	0,061	0,009	0,21
0,217	328,126	-0,179	0,135	0,929	-0,003	0,963	0,061	0,009	-0,06
0,233	327,954	-0,193	-1,246	0,929	0,014	0,97	0,062	0,007	-0,139
0,250	327,758	-0,22	-1,769	0,929	0,029	0,792	0,062	0,005	-0,127
0,267	327,533	-0,252	-1,982	0,93	0,04	0,559	0,062	0,003	-0,086
0,283	327,278	-0,286	-2,18	0,931	0,048	0,373	0,062	0,002	-0,011
0,300	326,987	-0,324	-2,229	0,931	0,053	0,218	0,062	0,002	0,11
0,317	326,659	-0,361	-2,165	0,932	0,055	0,012	0,062	0,005	0,245
0,333	326,298	-0,396	-2,36	0,933	0,053	-0,234	0,062	0,01	0,345
0,350	325,901	-0,439	-2,982	0,934	0,047	-0,398	0,062	0,017	0,4
0,367	325,459	-0,496	-3,917	0,935	0,04	-0,412	0,063	0,024	0,44
0,383	324,954	-0,57	-5,137	0,936	0,033	-0,345	0,063	0,031	0,504
0,400	324,37	-0,667	-6,679	0,936	0,028	-0,263	0,064	0,041	0,621
0,417	323,68	-0,793	-8,479	0,936	0,025	-0,09	0,064	0,052	0,788
0,433	322,856	-0,95	-10,589	0,937	0,025	0,288	0,065	0,067	0,963
0,450	321,866	-1,146	-13,019	0,937	0,034	0,804	0,067	0,084	1,093
0,467	320,668	-1,384	-15,314	0,938	0,052	1,271	0,068	0,103	1,159
0,483	319,222	-1,656	-17,162	0,939	0,077	1,633	0,07	0,123	1,179
0,500	317,504	-1,956	-19,351	0,941	0,107	1,98	0,072	0,143	1,174
0,517	315,486	-2,301	-23,41	0,943	0,143	2,367	0,075	0,162	1,159
0,533	313,108	-2,736	-30,133	0,945	0,186	2,714	0,078	0,181	1,187
0,550	310,259	-3,306	-38,403	0,949	0,233	2,958	0,081	0,202	1,359
0,567	306,793	-4,017	-45,349	0,953	0,284	3,253	0,084	0,227	1,778
0,583	302,585	-4,818	-47,505	0,958	0,342	3,976	0,088	0,261	2,46
0,600	297,589	-5,601	-42,039	0,964	0,417	5,524	0,093	0,309	3,308
0,617	291,887	-6,219	-27,424	0,972	0,526	8,045	0,099	0,371	4,11
0,633	285,709	-6,515	-3,717	0,982	0,685	11,341	0,105	0,446	4,503
0,650	279,441	-6,343	26,637	0,995	0,904	14,971	0,114	0,521	4,021
0,667	273,592	-5,627	58,193	1,012	1,184	18,367	0,123	0,58	2,341
0,683	268,693	-4,403	84,207	1,034	1,516	20,962	0,133	0,599	-0,439
0,700	265,18	-2,819	99,874	1,063	1,883	22,326	0,143	0,565	-3,778
0,717	263,307	-1,073	103,916	1,097	2,261	22,267	0,152	0,473	-6,985
0,733	263,13	0,645	97,937	1,138	2,625	20,868	0,159	0,332	-9,507
0,750	264,539	2,192	85,337	1,185	2,956	18,52	0,163	0,156	-11,021
0,767	267,317	3,49	69,761	1,237	3,243	15,8	0,164	-0,035	-11,406
0,783	271,207	4,518	53,395	1,293	3,483	13,214	0,162	-0,224	-10,702
0,800	275,947	5,27	37,07	1,353	3,683	10,991	0,156	-0,392	-9,04
0,817	281,274	5,754	21,634	1,416	3,85	9,066	0,149	-0,525	-6,619
0,833	286,937	5,992	8,327	1,481	3,986	7,258	0,139	-0,613	-3,758
0,850	292,72	6,031	-2,147	1,549	4,092	5,462	0,128	-0,651	-0,867
0,867	298,458	5,92	-10,02	1,618	4,168	3,712	0,117	-0,642	1,728
0,883	304,029	5,697	-15,725	1,688	4,215	2,043	0,107	-0,593	3,928
0,900	309,341	5,396	-19,318	1,758	4,236	0,363	0,097	-0,511	5,783
0,917	314,336	5,053	-20,583	1,829	4,227	-1,5	0,09	-0,4	7,325

TABELA 7

MARCHA HUMANA - DADOS DO PÉ

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau)	(rad/s)	(rad/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
0,933	318,994	4,71	-19,325	1,899	4,186	-3,693	0,084	-0,266	8,509
0,950	323,333	4,409	-15,629	1,968	4,104	-6,231	0,081	-0,116	9,236
0,967	327,415	4,189	-10,362	2,036	3,978	-8,996	0,08	0,041	9,335
0,983	331,334	4,063	-5,75	2,101	3,804	-11,852	0,082	0,195	9,542
1,000	335,177	3,997	-4,977	2,163	3,583	-14,709	0,087	0,326	6,604
1,017	338,969	3,897	-10,404	2,22	3,314	-17,461	0,093	0,415	3,513
1,033	342,622	3,65	-21,815	2,273	3,001	-19,907	0,1	0,443	-0,393
1,050	345,942	3,17	-36,416	2,32	2,65	-21,729	0,108	0,402	-4,515
1,067	348,678	2,436	-50,302	2,362	2,276	-22,577	0,114	0,293	-8,12
1,083	350,595	1,493	-59,965	2,396	1,898	-22,221	0,118	0,131	-10,468
1,100	351,53	0,437	-63,353	2,425	1,535	-20,674	0,118	-0,056	-11,062
1,117	351,429	-0,619	-60,347	2,447	1,208	-18,165	0,116	-0,238	-9,897
1,133	350,347	-1,575	-52,199	2,465	0,93	-15,031	0,11	-0,386	-7,418
1,150	348,42	-2,36	-40,118	2,478	0,707	-11,74	0,103	-0,485	-4,252
1,167	345,84	-2,913	-24,515	2,489	0,538	-8,837	0,094	-0,528	-0,944
1,183	342,855	-3,177	-6,333	2,496	0,413	-6,643	0,085	-0,518	1,845
1,200	339,771	-3,124	11,501	2,502	0,317	-5,061	0,077	-0,466	3,911
1,217	336,888	-2,793	25,375	2,507	0,244	-3,854	0,07	-0,388	5,082
1,233	334,435	-2,278	33,274	2,511	0,188	-2,938	0,064	-0,297	5,412
1,250	332,537	-1,684	35,018	2,513	0,146	-2,273	0,06	-0,207	5,024
1,267	331,218	-1,11	31,355	2,515	0,113	-1,727	0,057	-0,129	4,117
1,283	330,415	-0,639	23,787	2,517	0,088	-1,197	0,055	-0,07	2,972
1,300	329,998	-0,317	14,5	2,518	0,073	-0,727	0,055	-0,03	1,852
1,317	329,809	-0,155	5,567	2,519	0,064	-0,403	0,054	-0,008	0,949
1,333	329,701	-0,132	-1,477	2,52	0,059	-0,235	0,054	0,001	0,37
1,350	329,557	-0,204	-5,291	2,521	0,056	-0,206	0,054	0,004	0,079
1,367	329,311	-0,308	-5,301	2,522	0,052	-0,295	0,055	0,004	-0,058
1,383	328,969	-0,381	-2,878	2,523	0,046	-0,391	0,055	0,002	-0,117
1,400	328,583	-0,404	-0,503	2,524	0,039	-0,348	0,055	0	-0,08
1,417	328,197	-0,398	0,405	2,525	0,035	-0,158	0,055	-0,001	0,062
1,433	327,822	-0,391	0,144	2,525	0,034	0,027	0,055	0,002	0,25
1,450	327,45	-0,393	-0,445	2,526	0,036	0,067	0,055	0,008	0,392
1,467	327,071	-0,405	-1,076	2,526	0,036	-0,018	0,055	0,015	0,452
1,483	326,676	-0,429	-1,844	2,527	0,035	-0,118	0,055	0,023	0,461
1,500	326,251	-0,467	-2,634	2,527	0,032	-0,173	0,056	0,031	0,466
1,517	325,784	-0,517	-3,24	2,528	0,029	-0,188	0,056	0,038	0,482
1,533	325,264	-0,575	-3,95	2,528	0,026	-0,148	0,057	0,047	0,511
1,550	324,685	-0,649	-5,358	2,529	0,024	-0,018	0,058	0,055	0,555
1,567	324,025	-0,754	-7,668	2,529	0,026	0,208	0,059	0,065	0,603
1,583	323,246	-0,904	-10,698	2,53	0,031	0,532	0,06	0,076	0,654
1,600	322,298	-1,11	-14,077	2,53	0,043	0,945	0,061	0,087	0,743
1,617	321,125	-1,374	-17,225	2,531	0,063	1,413	0,063	0,1	0,876
1,633	319,674	-1,685	-19,883	2,532	0,09	1,907	0,065	0,116	1,001
1,650	317,907	-2,036	-22,571	2,534	0,126	2,389	0,067	0,134	1,087
1,667	315,784	-2,437	-25,596	2,537	0,17	2,782	0,069	0,152	1,18
1,683	313,251	-2,89	-28,079	2,54	0,219	2,965	0,072	0,173	1,299
1,700	310,263	-3,373	-28,454	2,544	0,269	2,794	0,075	0,196	1,324
1,717	306,808	-3,838	-24,86	2,549	0,312	2,163	0,078	0,217	1,033
1,733	302,931	-4,202	-15,037	2,554	0,341	1,072	0,082	0,23	0,323
1,750	298,781	-4,34	1,901	2,56	0,348	-0,316	0,086	0,228	-0,624
1,767	294,641	-4,139	22,258	2,566	0,331	-1,639	0,09	0,209	-1,432
1,783	290,875	-3,598	37,182	2,571	0,293	-2,311	0,093	0,18	-1,707
1,800	287,768	-2,899	34,361	2,576	0,253	-1,373	0,096	0,152	-0,972

(WINTER, 1979)

TABELA 8

MARCHA HUMANA - DADOS MODIFICADOS DO PÉ

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,000	35140300	-255600	-4145900	87700	63600	16700	11800	-57400	-345700
0,017	34861500	-319000	-3043000	88800	62800	-143500	10800	-60900	-59900
0,033	34530900	-357100	-1250100	89800	58800	-335500	9800	-59400	215000
0,050	34179400	-360700	769300	90700	51600	-503300	8800	-53700	433500
0,067	33841900	-331400	2436400	91500	42000	-605000	8000	-45000	563000
0,083	33546300	-279500	3419300	92100	31400	-625500	7300	-34900	596600
0,100	33308000	-217400	3686200	92600	21200	-574900	6800	-25100	554400
0,117	33130900	-156600	3366400	92800	12300	-474500	6500	-16500	465200
0,133	33008900	-105200	2685300	93000	5300	-348200	6300	-9600	354000
0,150	32930000	-67000	1903100	93000	700	-216900	6200	-4700	242200
0,167	32880900	-41700	1204900	93000	-1900	-96000	6100	-1500	146100
0,183	32850200	-26900	661000	92900	-2500	1800	6100	200	71900
0,200	32829500	-19700	270100	92900	-1800	66700	6100	900	21000
0,217	32812600	-17900	13500	92900	-300	96300	6100	900	-6000
0,233	32795400	-19300	-124600	92900	1400	97000	6200	700	-13900
0,250	32775800	-22000	-176900	92900	2900	79200	6200	500	-12700
0,267	32753300	-25200	-198200	93000	4000	55900	6200	300	-8600
0,283	32727800	-28600	-218000	93100	4800	37300	6200	200	-1100
0,300	32698700	-32400	-222900	93100	5300	21800	6200	200	11000
0,317	32665900	-36100	-216500	93200	5500	1200	6200	500	24500
0,333	32629800	-39600	-236000	93300	5300	-23400	6200	1000	34500
0,350	32590100	-43900	-298200	93400	4700	-39800	6200	1700	40000
0,367	32545900	-49600	-391700	93500	4000	-41200	6300	2400	44000
0,383	32495400	-57000	-513700	93600	3300	-34500	6300	3100	50400
0,400	32437000	-66700	-667900	93600	2800	-26300	6400	4100	62100
0,417	32368000	-79300	-847900	93600	2500	-9000	6400	5200	78800
0,433	32285600	-95000	-1058900	93700	2500	28800	6500	6700	96300
0,450	32186600	-114600	-1301900	93700	3400	80400	6700	8400	109300
0,467	32066800	-138400	-1531400	93800	5200	127100	6800	10300	115900
0,483	31922200	-165600	-1716200	93900	7700	163300	7000	12300	117900
0,500	31750400	-195600	-1935100	94100	10700	198000	7200	14300	117400
0,517	31548600	-230100	-2341000	94300	14300	236700	7500	16200	115900
0,533	31310800	-273600	-3013300	94500	18600	271400	7800	18100	118700
0,550	31025900	-330600	-3840300	94900	23300	295800	8100	20200	135900
0,567	30679300	-401700	-4534900	95300	28400	325300	8400	22700	177800
0,583	30258500	-481800	-4750500	95800	34200	397600	8800	26100	246000
0,600	29758900	-560100	-4203900	96400	41700	552400	9300	30900	330800
0,617	29188700	-621900	-2742400	97200	52600	804500	9900	37100	411000
0,633	28570900	-651500	-371700	98200	68500	1134100	10500	44600	450300
0,650	27944100	-634300	2663700	99500	90400	1497100	11400	52100	402100
0,667	27359200	-562700	5819300	101200	118400	1836700	12300	58000	234100
0,683	26869300	-440300	8420700	103400	151600	2096200	13300	59900	-43900
0,700	26518000	-281900	9987400	106300	188300	2232600	14300	56500	-377800
0,717	26330700	-107300	10391600	109700	226100	2226700	15200	47300	-698500
0,733	26313000	64500	9793700	113800	262500	2086800	15900	33200	-950700
0,750	26453900	219200	8533700	118500	295600	1852000	16300	15600	-1102100
0,767	26731700	349000	6976100	123700	324300	1580000	16400	-3500	-1140600
0,783	27120700	451800	5339500	129300	348300	1321400	16200	-22400	-1070200
0,800	27594700	527000	3707000	135300	368300	1099100	15600	-39200	-904000
0,817	28127400	575400	2163400	141600	385000	906600	14900	-52500	-661900
0,833	28693700	599200	832700	148100	398600	725800	13900	-61300	-375800
0,850	29272000	603100	-214700	154900	409200	546200	12800	-65100	-86700
0,867	29845800	592000	-1002000	161800	416800	371200	11700	-64200	172800
0,883	30402900	569700	-1572500	168800	421500	204300	10700	-59300	392800
0,900	30934100	539600	-1931800	175800	423600	36300	9700	-51100	578300
0,917	31433600	505300	-2058300	182900	422700	-150000	9000	-40000	732500

TABELA 8 MARCHA HUMANA - DADOS MODIFICADOS DO PÉ

TEMPO	ÂNGULO TETA			C.G. em X			C.G. em Y		
	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel	Pos	Vel	Acel
	(grau*10 ⁵)	(rad/s*10 ⁵)	(rad/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m*10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)	(m/s ² *10 ⁵)
0,933	31899400	471000	-1932500	189900	418600	-369300	8400	-26600	850900
0,950	32333300	440900	-1562900	196800	410400	-623100	8100	-11600	923600
0,967	32741500	418900	-1036200	203600	397800	-899600	8000	4100	933500
0,983	33133400	406300	-575000	210100	380400	-1185200	8200	19500	954200
1,000	33517700	399700	-497700	216300	358300	-1470900	8700	32600	660400
1,017	33896900	389700	-1040400	222000	331400	-1746100	9300	41500	351300
1,033	34262200	365000	-2181500	227300	300100	-1990700	10000	44300	-39300
1,050	34594200	317000	-3641600	232000	265000	-2172900	10800	40200	-451500
1,067	34867800	243600	-5030200	236200	227600	-2257700	11400	29300	-812000
1,083	35059500	149300	-5996500	239600	189800	-2222100	11800	13100	-1046800
1,100	35153000	43700	-6335300	242500	153500	-2067400	11800	-5600	-1106200
1,117	35142900	-61900	-6034700	244700	120800	-1816500	11600	-23800	-989700
1,133	35034700	-157500	-5219900	246500	93000	-1503100	11000	-38600	-741800
1,150	34842000	-236000	-4011800	247800	70700	-1174000	10300	-48500	-425200
1,167	34584000	-291300	-2451500	248900	53800	-883700	9400	-52800	-94400
1,183	34285500	-317700	-633300	249600	41300	-664300	8500	-51800	184500
1,200	33977100	-312400	1150100	250200	31700	-506100	7700	-46600	391100
1,217	33688800	-279300	2537500	250700	24400	-385400	7000	-38800	508200
1,233	33443500	-227800	3327400	251100	18800	-293800	6400	-29700	541200
1,250	33253700	-168400	3501800	251300	14600	-227300	6000	-20700	502400
1,267	33121800	-111000	3135500	251500	11300	-172700	5700	-12900	411700
1,283	33041500	-63900	2378700	251700	8800	-119700	5500	-7000	297200
1,300	32999800	-31700	1450000	251800	7300	-72700	5500	-3000	185200
1,317	32980900	-15500	556700	251900	6400	-40300	5400	-800	94900
1,333	32970100	-13200	-147700	252000	5900	-23500	5400	100	37000
1,350	32955700	-20400	-529100	252100	5600	-20600	5400	400	7900
1,367	32931100	-30800	-530100	252200	5200	-29500	5500	400	-5800
1,383	32896900	-38100	-287800	252300	4600	-39100	5500	200	-11700
1,400	32858300	-40400	-50300	252400	3900	-34800	5500	0	-8000
1,417	32819700	-39800	40500	252500	3500	-15800	5500	-100	6200
1,433	32782200	-39100	14400	252500	3400	2700	5500	200	25000
1,450	32745000	-39300	-44500	252600	3600	6700	5500	800	39200
1,467	32707100	-40500	-107600	252600	3600	-1800	5500	1500	45200
1,483	32667600	-42900	-184400	252700	3500	-11800	5500	2300	46100
1,500	32625100	-46700	-263400	252700	3200	-17300	5600	3100	46600
1,517	32578400	-51700	-324000	252800	2900	-18800	5600	3800	48200
1,533	32526400	-57500	-395000	252800	2600	-14800	5700	4700	51100
1,550	32468500	-64900	-535800	252900	2400	-1800	5800	5500	55500
1,567	32402500	-75400	-766800	252900	2600	20800	5900	6500	60300
1,583	32324600	-90400	-1069800	253000	3100	53200	6000	7600	65400
1,600	32229800	-111000	-1407700	253000	4300	94500	6100	8700	74300
1,617	32112500	-137400	-1722500	253100	6300	141300	6300	10000	87600
1,633	31967400	-168500	-1988300	253200	9000	190700	6500	11600	100100
1,650	31790700	-203600	-2257100	253400	12600	238900	6700	13400	108700
1,667	31578400	-243700	-2559600	253700	17000	278200	6900	15200	118000
1,683	31325100	-289000	-2807900	254000	21900	296500	7200	17300	129900
1,700	31026300	-337300	-2845400	254400	26900	279400	7500	19600	132400
1,717	30680800	-383800	-2486000	254900	31200	216300	7800	21700	103300
1,733	30293100	-420200	-1503700	255400	34100	107200	8200	23000	32300
1,750	29878100	-434000	190100	256000	34800	-31600	8600	22800	-62400
1,767	29464100	-413900	2225800	256600	33100	-163900	9000	20900	-143200
1,783	29087500	-359800	3718200	257100	29300	-231100	9300	18000	-170700
1,800	28776800	-289900	3436100	257600	25300	-137300	9600	15200	-97200

TABELA 9 FORÇAS DE REAÇÃO DO SOLO

TEMPO (s)	FORÇA Fh (N)	FORÇA Fv (N)	POSICÃO X - d (m)
0,000	15,42	18,51	0,7639
0,017	-28,61	201,62	0,7713
0,033	-79,14	387,32	0,7786
0,050	-131,09	557,42	0,786
0,067	-172,15	689,04	0,8051
0,083	-195,26	775,69	0,8118
0,100	-202,19	829,94	0,8209
0,117	-197,72	866,88	0,83
0,133	-185,82	890,29	0,8409
0,150	-169,3	895,56	0,8477
0,167	-149,96	878,73	0,8563
0,183	-129,13	840,91	0,8665
0,200	-108,33	788,51	0,8762
0,217	-89,35	731,16	0,8897
0,233	-73,73	677,98	0,9078
0,250	-61,76	634,74	0,9203
0,267	-52,25	603,9	0,9351
0,283	-43,87	585,63	0,9478
0,300	-36,06	578,6	0,9616
0,317	-28,59	580,96	0,9681
0,333	-21,15	591,01	0,9758
0,350	-13,37	607,13	0,9803
0,367	-4,89	627,66	0,9846
0,383	4,5	651,1	0,9898
0,400	14,98	676,18	0,9897
0,417	26,91	702,24	0,996
0,433	40,58	729,17	0,9988
0,450	55,86	756,84	1,0057
0,467	72,39	784,09	1,0065
0,483	89,6	808,28	1,0097
0,500	106,64	825,89	1,016
0,517	122,73	833,53	1,0185
0,533	137,45	828,18	1,0235
0,550	150,32	806,79	1,0293
0,567	160,25	765,96	1,0325
0,583	165,14	702,53	1,0388
0,600	161,94	615,12	1,0439
0,617	147,83	506,43	1,0485
0,633	122,43	385,29	1,0589
0,650	89,41	265,59	1,0674
0,667	55,5	161,54	1,07
0,683	27,22	82,11	1,0729
0,700	7,34	27,24	1,091
0,717	-6,38	-12,01	1,109
0,733	0	0	0
0,750	0	0	0
0,767	0	0	0
0,783	0	0	0
0,800	0	0	0
0,817	0	0	0
0,833	0	0	0
0,850	0	0	0
0,867	0	0	0
0,883	0	0	0
0,900	0	0	0
0,917	0	0	0
0,933	0	0	0

TABELA 9 FORÇAS DE REAÇÃO DO SOLO

TEMPO	FORÇA Fh	FORÇA Fv	POSIÇÃO X - d
(s)	(N)	(N)	(m)
0,950	0	0	0
0,967	0	0	0
0,983	0	0	0
1,000	0	0	0
1,017	0	0	0
1,033	0	0	0
1,050	0	0	0
1,067	0	0	0
1,083	0	0	0
1,100	0	0	0
1,117	0	0	0
1,133	15,42	18,51	0,7639
1,150	-28,61	201,62	0,7713
1,167	-79,14	387,32	0,7786
1,183	-131,09	557,42	0,786
1,200	-172,15	689,04	0,8051
1,217	-195,26	775,69	0,8118
1,233	-202,19	829,94	0,8209
1,250	-197,72	866,88	0,83
1,267	-185,82	890,29	0,8409
1,283	-169,3	895,56	0,8477
1,300	-149,96	878,73	0,8563
1,317	-129,13	840,91	0,8665
1,333	-108,33	788,51	0,8762
1,350	-89,35	731,16	0,8897
1,367	-73,73	677,98	0,9078
1,383	-61,76	634,74	0,9203
1,400	-52,25	603,9	0,9351
1,417	-43,87	585,63	0,9478
1,433	-36,06	578,6	0,9616
1,450	-28,59	580,96	0,9681
1,467	-21,15	591,01	0,9758
1,483	-13,37	607,13	0,9803
1,500	-4,89	627,66	0,9846
1,517	4,5	651,1	0,9898
1,533	14,98	676,18	0,9897
1,550	26,91	702,24	0,996
1,567	40,58	729,17	0,9988
1,583	55,86	756,84	1,0057
1,600	72,39	784,09	1,0065
1,617	89,6	808,28	1,0097
1,633	106,64	825,89	1,016
1,650	122,73	833,53	1,0185
1,667	137,45	828,18	1,0235
1,683	150,32	806,79	1,0293
1,700	160,25	765,96	1,0325
1,717	165,14	702,53	1,0388
1,733	161,94	615,12	1,0439
1,750	147,83	506,43	1,0485
1,767	122,43	385,29	1,0589
1,783	89,41	265,59	1,0674
1,800	55,5	161,54	1,07

(WINTER, 1979)

TABELA 10 FORÇAS MOD. DE REAÇÃO DO SOLO

TEMPO (s)	FORÇA Fh (N)	FORÇA Fv (N)	POSIÇÃO X - d (m)
0,000	1542000	1851000	76390
0,017	-2861000	20162000	77130
0,033	-7914000	38732000	77860
0,050	-13109000	55742000	78600
0,067	-17215000	68904000	80510
0,083	-19526000	77569000	81180
0,100	-20219000	82994000	82090
0,117	-19772000	86688000	83000
0,133	-18582000	89029000	84090
0,150	-16930000	89556000	84770
0,167	-14996000	87873000	85630
0,183	-12913000	84091000	86650
0,200	-10833000	78851000	87620
0,217	-8935000	73116000	88970
0,233	-7373000	67798000	90780
0,250	-6176000	63474000	92030
0,267	-5225000	60390000	93510
0,283	-4387000	58563000	94780
0,300	-3606000	57860000	96160
0,317	-2859000	58096000	96810
0,333	-2115000	59101000	97580
0,350	-1337000	60713000	98030
0,367	-489000	62766000	98460
0,383	450000	65110000	98980
0,400	1498000	67618000	98970
0,417	2691000	70224000	99600
0,433	4058000	72917000	99880
0,450	5586000	75684000	100570
0,467	7239000	78409000	100650
0,483	8960000	80828000	100970
0,500	10664000	82589000	101600
0,517	12273000	83353000	101850
0,533	13745000	82818000	102350
0,550	15032000	80679000	102930
0,567	16025000	76596000	103250
0,583	16514000	70253000	103880
0,600	16194000	61512000	104390
0,617	14783000	50643000	104850
0,633	12243000	38529000	105890
0,650	8941000	26559000	106740
0,667	5550000	16154000	107000
0,683	2722000	8211000	107290
0,700	734000	2724000	109100
0,717	-638000	-1201000	110900
0,733	0	0	0
0,750	0	0	0
0,767	0	0	0
0,783	0	0	0
0,800	0	0	0
0,817	0	0	0
0,833	0	0	0
0,850	0	0	0
0,867	0	0	0
0,883	0	0	0
0,900	0	0	0
0,917	0	0	0
0,933	0	0	0

TABELA 10 FORÇAS MOD. DE REAÇÃO DO SOLO

TEMPO (s)	FORÇA Fh (N)	FORÇA Fv (N)	POSIÇÃO X - d (m)
0,950	0	0	0
0,967	0	0	0
0,983	0	0	0
1,000	0	0	0
1,017	0	0	0
1,033	0	0	0
1,050	0	0	0
1,067	0	0	0
1,083	0	0	0
1,100	0	0	0
1,117	0	0	0
1,133	1542000	1851000	76390
1,150	-2861000	20162000	77130
1,167	-7914000	38732000	77860
1,183	-13109000	55742000	78600
1,200	-17215000	68904000	80510
1,217	-19526000	77569000	81180
1,233	-20219000	82994000	82090
1,250	-19772000	86688000	83000
1,267	-18582000	89029000	84090
1,283	-16930000	89556000	84770
1,300	-14996000	87873000	85630
1,317	-12913000	84091000	86650
1,333	-10833000	78851000	87620
1,350	-8935000	73116000	88970
1,367	-7373000	67798000	90780
1,383	-6176000	63474000	92030
1,400	-5225000	60390000	93510
1,417	-4387000	58563000	94780
1,433	-3606000	57860000	96160
1,450	-2859000	58096000	96810
1,467	-2115000	59101000	97580
1,483	-1337000	60713000	98030
1,500	-489000	62766000	98460
1,517	450000	65110000	98980
1,533	1498000	67618000	98970
1,550	2691000	70224000	99600
1,567	4058000	72917000	99880
1,583	5586000	75684000	100570
1,600	7239000	78409000	100650
1,617	8960000	80828000	100970
1,633	10664000	82589000	101600
1,650	12273000	83353000	101850
1,667	13745000	82818000	102350
1,683	15032000	80679000	102930
1,700	16025000	76596000	103250
1,717	16514000	70253000	103880
1,733	16194000	61512000	104390
1,750	14783000	50643000	104850
1,767	12243000	38529000	105890
1,783	8941000	26559000	106740
1,800	5550000	16154000	107000

TABELA 11 COORDENADAS DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO	PONTO 1		PONTO 2 - PTO A		PONTO 3 - PTO B		PONTO 4 - PTO C	
(s)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0,017	0,371	1,204	0,406	0,913	0,571	0,548	0,569	0,498
0,000	0,399	1,203	0,435	0,913	0,602	0,548	0,599	0,499
0,017	0,428	1,199	0,467	0,906	0,635	0,541	0,633	0,493
0,033	0,455	1,2	0,496	0,908	0,663	0,544	0,66	0,493
0,050	0,489	1,2	0,531	0,906	0,696	0,539	0,691	0,492
0,067	0,517	1,199	0,561	0,908	0,723	0,543	0,719	0,495
0,083	0,552	1,195	0,596	0,912	0,757	0,544	0,753	0,499
0,100	0,579	1,196	0,624	0,916	0,788	0,549	0,781	0,502
0,117	0,606	1,2	0,649	0,921	0,813	0,552	0,807	0,503
0,133	0,629	1,204	0,674	0,923	0,836	0,552	0,826	0,506
0,150	0,652	1,206	0,696	0,923	0,852	0,549	0,841	0,5
0,167	0,676	1,21	0,719	0,928	0,866	0,549	0,853	0,503
0,183	0,698	1,218	0,742	0,931	0,876	0,548	0,864	0,502
0,200	0,724	1,218	0,765	0,936	0,885	0,548	0,871	0,503
0,217	0,746	1,225	0,784	0,94	0,894	0,545	0,88	0,504
0,233	0,771	1,229	0,808	0,946	0,904	0,547	0,887	0,502
0,250	0,797	1,233	0,828	0,946	0,909	0,544	0,89	0,498
0,267	0,82	1,24	0,847	0,95	0,918	0,548	0,898	0,502
0,283	0,841	1,245	0,865	0,951	0,923	0,545	0,901	0,502
0,300	0,866	1,249	0,884	0,957	0,928	0,547	0,909	0,503
0,317	0,889	1,248	0,9	0,953	0,935	0,547	0,911	0,502
0,333	0,91	1,245	0,917	0,954	0,938	0,54	0,916	0,5
0,350	0,931	1,247	0,937	0,954	0,946	0,543	0,923	0,5
0,367	0,956	1,247	0,955	0,951	0,956	0,541	0,93	0,499
0,383	0,979	1,244	0,974	0,951	0,963	0,544	0,935	0,5
0,400	0,996	1,243	0,989	0,951	0,968	0,544	0,941	0,503
0,417	1,018	1,238	1,009	0,949	0,977	0,543	0,947	0,5
0,433	1,039	1,238	1,028	0,949	0,984	0,544	0,954	0,502
0,450	1,064	1,232	1,048	0,949	0,996	0,541	0,964	0,503
0,467	1,083	1,234	1,066	0,943	1,001	0,544	0,968	0,506
0,483	1,106	1,229	1,09	0,946	1,015	0,544	0,979	0,507
0,500	1,133	1,225	1,112	0,942	1,028	0,543	0,992	0,506
0,517	1,156	1,222	1,131	0,938	1,041	0,543	1,006	0,509
0,533	1,181	1,219	1,156	0,939	1,058	0,545	1,024	0,509
0,550	1,201	1,215	1,178	0,938	1,076	0,545	1,04	0,513
0,567	1,225	1,211	1,199	0,932	1,096	0,543	1,056	0,509
0,583	1,251	1,21	1,227	0,932	1,122	0,544	1,082	0,51
0,600	1,273	1,21	1,251	0,932	1,147	0,543	1,109	0,511
0,617	1,307	1,203	1,282	0,927	1,178	0,536	1,14	0,506
0,633	1,332	1,2	1,307	0,92	1,213	0,531	1,172	0,503
0,650	1,361	1,201	1,336	0,923	1,247	0,529	1,206	0,502
0,667	1,386	1,2	1,366	0,914	1,284	0,524	1,247	0,498
0,683	1,408	1,197	1,394	0,913	1,329	0,521	1,288	0,493
0,700	1,436	1,203	1,425	0,913	1,374	0,515	1,337	0,491
0,717	1,465	1,201	1,455	0,913	1,429	0,514	1,387	0,492
0,733	1,479	1,203	1,477	0,91	1,469	0,51	1,431	0,487
0,750	1,502	1,204	1,505	0,912	1,514	0,513	1,48	0,488
0,767	1,524	1,21	1,53	0,913	1,559	0,517	1,524	0,493
0,783	1,542	1,212	1,553	0,92	1,604	0,525	1,567	0,498
0,800	1,566	1,216	1,581	0,923	1,648	0,528	1,611	0,5
0,817	1,588	1,223	1,606	0,931	1,685	0,541	1,651	0,513
0,833	1,608	1,229	1,628	0,936	1,723	0,545	1,69	0,515
0,850	1,629	1,236	1,653	0,939	1,759	0,554	1,729	0,522
0,867	1,649	1,237	1,678	0,943	1,79	0,559	1,764	0,526
0,883	1,674	1,244	1,704	0,949	1,833	0,564	1,804	0,534

TABELA 11 COORDENADAS DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO (s)	PONTO 1		PONTO 2 - PTO A		PONTO 3 - PTO B		PONTO 4 - PTO C	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
0,900	1,693	1,245	1,723	0,951	1,858	0,573	1,832	0,54
0,917	1,714	1,245	1,747	0,951	1,892	0,577	1,865	0,541
0,933	1,737	1,244	1,771	0,951	1,918	0,577	1,893	0,539
0,950	1,76	1,244	1,794	0,951	1,944	0,577	1,922	0,539
0,967	1,782	1,244	1,811	0,95	1,968	0,578	1,951	0,539
0,983	1,804	1,247	1,837	0,951	1,995	0,577	1,973	0,539
1,000	1,827	1,241	1,858	0,951	2,017	0,574	2,002	0,533
1,017	1,852	1,243	1,881	0,949	2,039	0,571	2,025	0,528
1,033	1,872	1,24	1,897	0,943	2,058	0,566	2,047	0,521
1,050	1,895	1,232	1,921	0,935	2,079	0,562	2,071	0,515
1,067	1,915	1,228	1,942	0,934	2,101	0,559	2,093	0,509
1,083	1,942	1,223	1,968	0,928	2,125	0,552	2,121	0,506
1,100	1,965	1,219	1,995	0,929	2,149	0,551	2,147	0,506
1,117	1,987	1,218	2,021	0,925	2,175	0,551	2,173	0,502
1,133	2,012	1,214	2,048	0,921	2,205	0,548	2,202	0,5
1,150	2,039	1,214	2,077	0,92	2,237	0,547	2,23	0,498
1,167	2,062	1,212	2,101	0,916	2,261	0,545	2,257	0,499
1,183	2,087	1,207	2,129	0,912	2,288	0,543	2,282	0,493
1,200	2,118	1,207	2,159	0,913	2,315	0,54	2,31	0,492
1,217	2,143	1,203	2,187	0,913	2,34	0,539	2,333	0,492
1,233	2,173	1,208	2,216	0,925	2,367	0,545	2,36	0,499
1,250	2,195	1,204	2,239	0,92	2,391	0,544	2,382	0,498
1,267	2,223	1,21	2,265	0,923	2,417	0,547	2,408	0,5
1,283	2,25	1,208	2,291	0,925	2,437	0,545	2,428	0,498
1,300	2,27	1,214	2,315	0,931	2,45	0,545	2,441	0,499
1,317	2,292	1,215	2,336	0,931	2,461	0,541	2,449	0,495
1,333	2,318	1,221	2,36	0,934	2,478	0,543	2,464	0,495
1,350	2,344	1,226	2,378	0,935	2,485	0,541	2,473	0,496
1,367	2,37	1,229	2,402	0,938	2,5	0,541	2,482	0,493
1,383	2,391	1,229	2,418	0,938	2,507	0,54	2,489	0,495
1,400	2,414	1,236	2,439	0,943	2,514	0,54	2,498	0,496
1,417	2,435	1,24	2,459	0,946	2,521	0,539	2,501	0,493
1,433	2,459	1,243	2,477	0,949	2,528	0,54	2,507	0,495
1,450	2,477	1,244	2,492	0,949	2,532	0,537	2,508	0,495
1,467	2,501	1,248	2,512	0,95	2,536	0,541	2,516	0,499
1,483	2,519	1,244	2,526	0,949	2,542	0,54	2,517	0,496
1,500	2,543	1,245	2,546	0,947	2,549	0,54	2,524	0,499
1,517	2,563	1,245	2,561	0,951	2,553	0,541	2,526	0,499
1,533	2,584	1,241	2,578	0,946	2,554	0,539	2,529	0,5
1,550	2,61	1,241	2,601	0,949	2,564	0,541	2,537	0,502
1,567	2,628	1,237	2,619	0,944	2,569	0,54	2,54	0,502
1,583	2,652	1,233	2,635	0,944	2,579	0,54	2,548	0,502
1,600	2,671	1,232	2,655	0,943	2,591	0,545	2,557	0,507
1,617	2,692	1,23	2,674	0,944	2,596	0,545	2,564	0,509
1,633	2,712	1,222	2,69	0,94	2,605	0,54	2,574	0,506
1,650	2,736	1,223	2,712	0,943	2,622	0,545	2,588	0,509
1,667	2,755	1,218	2,732	0,936	2,635	0,545	2,599	0,51
1,683	2,778	1,218	2,753	0,938	2,65	0,547	2,616	0,514
1,700	2,802	1,214	2,781	0,936	2,672	0,545	2,635	0,513
1,717	2,827	1,214	2,803	0,935	2,69	0,541	2,654	0,513
1,733	2,848	1,206	2,827	0,929	2,716	0,54	2,68	0,51
1,750	2,873	1,207	2,85	0,927	2,74	0,539	2,703	0,511
1,767	2,899	1,206	2,877	0,927	2,771	0,533	2,734	0,51
1,783	2,927	1,201	2,908	0,924	2,804	0,533	2,769	0,503
1,800	2,951	1,199	2,932	0,92	2,84	0,526	2,799	0,499
1,817	2,978	1,196	2,967	0,916	2,881	0,522	2,841	0,495
1,833	3,004	1,199	2,99	0,908	2,922	0,521	2,884	0,493
1,850	3,025	1,199	3,016	0,91	2,967	0,517	2,926	0,491

TABELA 11

COORDENADAS DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO (s)	PONTO 5		PONTO 6		PONTO 7		PONTO 8	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0,017	0,741	0,148	0,729	0,033	0,937	0,131	0,976	0,172
0,000	0,763	0,141	0,75	0,026	0,958	0,124	0,996	0,168
0,017	0,778	0,13	0,764	0,018	0,974	0,107	1,013	0,153
0,033	0,787	0,123	0,764	0,021	0,981	0,093	1,021	0,134
0,050	0,807	0,119	0,769	0,022	0,993	0,072	1,038	0,107
0,067	0,821	0,118	0,774	0,026	1,001	0,051	1,049	0,083
0,083	0,832	0,112	0,776	0,022	1,007	0,036	1,054	0,064
0,100	0,838	0,112	0,779	0,023	1,01	0,03	1,059	0,053
0,117	0,844	0,113	0,782	0,025	1,012	0,021	1,061	0,041
0,133	0,848	0,111	0,782	0,026	1,012	0,016	1,061	0,037
0,150	0,846	0,109	0,781	0,026	1,01	0,016	1,061	0,031
0,167	0,849	0,111	0,778	0,023	1,012	0,015	1,061	0,031
0,183	0,848	0,111	0,779	0,026	1,01	0,015	1,06	0,031
0,200	0,847	0,109	0,779	0,025	1,008	0,012	1,059	0,029
0,217	0,847	0,112	0,778	0,026	1,007	0,014	1,061	0,029
0,233	0,849	0,112	0,78	0,025	1,007	0,015	1,062	0,029
0,250	0,849	0,109	0,778	0,023	1,007	0,011	1,059	0,023
0,267	0,85	0,112	0,781	0,025	1,008	0,014	1,063	0,026
0,283	0,852	0,112	0,78	0,026	1,008	0,009	1,063	0,026
0,300	0,854	0,112	0,78	0,027	1,011	0,014	1,063	0,026
0,317	0,85	0,113	0,779	0,025	1,009	0,011	1,061	0,023
0,333	0,854	0,112	0,779	0,025	1,009	0,009	1,064	0,022
0,350	0,856	0,115	0,784	0,027	1,012	0,009	1,067	0,025
0,367	0,859	0,113	0,784	0,027	1,012	0,011	1,068	0,025
0,383	0,86	0,115	0,786	0,03	1,012	0,009	1,066	0,025
0,400	0,858	0,118	0,784	0,033	1,009	0,011	1,068	0,027
0,417	0,861	0,118	0,787	0,031	1,011	0,008	1,068	0,023
0,433	0,864	0,119	0,787	0,034	1,013	0,012	1,069	0,023
0,450	0,866	0,122	0,789	0,034	1,012	0,007	1,07	0,022
0,467	0,863	0,123	0,785	0,041	1,008	0,009	1,065	0,023
0,483	0,864	0,126	0,789	0,048	1,009	0,011	1,067	0,022
0,500	0,869	0,131	0,79	0,051	1,01	0,008	1,067	0,021
0,517	0,873	0,135	0,791	0,055	1,011	0,009	1,069	0,022
0,533	0,876	0,142	0,793	0,064	1,007	0,007	1,067	0,021
0,550	0,881	0,148	0,795	0,071	1,009	0,008	1,069	0,022
0,567	0,885	0,153	0,796	0,082	1,008	0,012	1,067	0,022
0,583	0,899	0,16	0,805	0,096	1,013	0,011	1,071	0,022
0,600	0,908	0,165	0,811	0,104	1,015	0,014	1,071	0,023
0,617	0,924	0,175	0,826	0,12	1,017	0,011	1,073	0,022
0,633	0,937	0,187	0,831	0,139	1,015	0,009	1,072	0,022
0,650	0,952	0,194	0,848	0,163	1,014	0,009	1,072	0,023
0,667	0,976	0,205	0,865	0,183	1,014	0,008	1,07	0,019
0,683	1,002	0,216	0,891	0,211	1,014	0,018	1,072	0,015
0,700	1,034	0,232	0,923	0,239	1,022	0,027	1,079	0,014
0,717	1,074	0,247	0,964	0,261	1,044	0,042	1,087	0,012
0,733	1,108	0,258	0,999	0,275	1,069	0,052	1,11	0,016
0,750	1,154	0,266	1,041	0,282	1,117	0,059	1,159	0,023
0,767	1,194	0,272	1,082	0,28	1,172	0,064	1,214	0,031
0,783	1,241	0,273	1,127	0,273	1,235	0,064	1,274	0,034
0,800	1,295	0,268	1,179	0,262	1,298	0,06	1,344	0,03
0,817	1,342	0,264	1,228	0,246	1,366	0,059	1,413	0,031
0,833	1,395	0,247	1,283	0,226	1,436	0,052	1,485	0,029
0,850	1,45	0,238	1,342	0,199	1,513	0,042	1,564	0,022
0,867	1,507	0,216	1,4	0,171	1,586	0,033	1,642	0,021
0,883	1,574	0,202	1,472	0,145	1,669	0,029	1,725	0,019

TABELA 11 COORDENADAS DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO	PONTO 5		PONTO 6		PONTO 7		PONTO 8	
(s)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
0,900	1,628	0,189	1,534	0,118	1,742	0,023	1,798	0,019
0,917	1,695	0,172	1,602	0,096	1,824	0,021	1,877	0,022
0,933	1,756	0,157	1,673	0,071	1,896	0,019	1,954	0,025
0,950	1,824	0,145	1,742	0,052	1,97	0,021	2,029	0,029
0,967	1,889	0,135	1,816	0,041	2,046	0,021	2,104	0,036
0,983	1,951	0,133	1,891	0,033	2,121	0,025	2,173	0,042
1,000	2,015	0,123	1,959	0,027	2,186	0,027	2,245	0,049
1,017	2,073	0,127	2,025	0,026	2,252	0,036	2,308	0,061
1,033	2,129	0,127	2,084	0,023	2,312	0,051	2,364	0,078
1,050	2,182	0,131	2,144	0,022	2,37	0,068	2,42	0,1
1,067	2,225	0,134	2,198	0,022	2,422	0,085	2,465	0,12
1,083	2,267	0,137	2,245	0,025	2,468	0,101	2,506	0,139
1,100	2,302	0,139	2,286	0,03	2,502	0,115	2,543	0,156
1,117	2,33	0,138	2,311	0,027	2,527	0,116	2,565	0,156
1,133	2,351	0,134	2,335	0,021	2,548	0,108	2,586	0,15
1,150	2,371	0,127	2,349	0,015	2,565	0,097	2,603	0,142
1,167	2,38	0,124	2,353	0,014	2,573	0,083	2,614	0,126
1,183	2,387	0,112	2,353	0,012	2,576	0,071	2,618	0,105
1,200	2,403	0,111	2,358	0,009	2,586	0,053	2,632	0,085
1,217	2,415	0,107	2,362	0,014	2,591	0,036	2,633	0,063
1,233	2,418	0,108	2,362	0,019	2,594	0,029	2,638	0,055
1,250	2,422	0,104	2,359	0,014	2,593	0,016	2,639	0,038
1,267	2,43	0,103	2,362	0,015	2,597	0,011	2,642	0,03
1,283	2,435	0,104	2,366	0,015	2,599	0,009	2,645	0,029
1,300	2,437	0,104	2,366	0,016	2,598	0,009	2,644	0,026
1,317	2,433	0,1	2,364	0,015	2,598	0,008	2,645	0,022
1,333	2,438	0,105	2,368	0,018	2,604	0,009	2,649	0,023
1,350	2,438	0,104	2,366	0,018	2,6	0,009	2,648	0,022
1,367	2,439	0,097	2,368	0,018	2,604	0,009	2,652	0,023
1,383	2,44	0,103	2,368	0,018	2,602	0,008	2,649	0,021
1,400	2,444	0,104	2,371	0,019	2,606	0,005	2,653	0,022
1,417	2,446	0,105	2,371	0,018	2,605	0,005	2,654	0,019
1,433	2,444	0,107	2,372	0,016	2,606	0,005	2,653	0,019
1,450	2,443	0,103	2,37	0,019	2,601	0,003	2,652	0,018
1,467	2,446	0,105	2,374	0,019	2,606	0,005	2,657	0,021
1,483	2,446	0,107	2,371	0,019	2,605	0,001	2,656	0,018
1,500	2,45	0,107	2,374	0,021	2,606	0,004	2,657	0,016
1,517	2,449	0,108	2,373	0,018	2,605	0,005	2,658	0,018
1,533	2,449	0,108	2,373	0,021	2,606	0,001	2,658	0,016
1,550	2,453	0,112	2,375	0,023	2,608	0,004	2,658	0,016
1,567	2,453	0,113	2,372	0,026	2,604	0,003	2,656	0,015
1,583	2,452	0,112	2,376	0,027	2,606	0,003	2,657	0,014
1,600	2,455	0,119	2,378	0,033	2,607	0,003	2,661	0,015
1,617	2,454	0,12	2,375	0,037	2,605	0,004	2,657	0,016
1,633	2,457	0,12	2,375	0,041	2,605	0,004	2,657	0,014
1,650	2,459	0,126	2,377	0,048	2,607	0,003	2,659	0,016
1,667	2,463	0,133	2,378	0,053	2,603	0	2,657	0,015
1,683	2,467	0,137	2,382	0,061	2,607	0,004	2,657	0,016
1,700	2,471	0,141	2,386	0,068	2,605	0,003	2,659	0,015
1,717	2,478	0,148	2,386	0,078	2,605	0	2,657	0,014
1,733	2,49	0,15	2,393	0,086	2,604	-0,001	2,659	0,015
1,750	2,497	0,157	2,415	0,101	2,608	0,004	2,658	0,014
1,767	2,51	0,168	2,411	0,118	2,607	0,005	2,659	0,014
1,783	2,531	0,18	2,422	0,134	2,609	0,005	2,665	0,016
1,800	2,544	0,187	2,434	0,154	2,604	0,003	2,661	0,014
1,817	2,566	0,197	2,454	0,176	2,605	0,004	2,659	0,012
1,833	2,594	0,211	2,481	0,199	2,608	0,009	2,665	0,014
1,850	2,621	0,22	2,508	0,227	2,61	0,019	2,665	0,008

(WINTER, 1979)

TABELA 12 COORDENADAS MOD. DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO	PONTO 1		PONTO 2 - PTO A		PONTO 3 - PTO B		PONTO 4	
(s)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)
-0,017	37100	120400	40600	91300	57100	54800	56900	49800
0,000	39900	120300	43500	91300	60200	54800	59900	49900
0,017	42800	119900	46700	90600	63500	54100	63300	49300
0,033	45500	120000	49600	90800	66300	54400	66000	49300
0,050	48900	120000	53100	90600	69600	53900	69100	49200
0,067	51700	119900	56100	90800	72300	54300	71900	49500
0,083	55200	119500	59600	91200	75700	54400	75300	49900
0,100	57900	119600	62400	91600	78800	54900	78100	50200
0,117	60600	120000	64900	92100	81300	55200	80700	50300
0,133	62900	120400	67400	92300	83600	55200	82600	50600
0,150	65200	120600	69600	92300	85200	54900	84100	50000
0,167	67600	121000	71900	92800	86600	54900	85300	50300
0,183	69800	121800	74200	93100	87600	54800	86400	50200
0,200	72400	121800	76500	93600	88500	54800	87100	50300
0,217	74600	122500	78400	94000	89400	54500	88000	50400
0,233	77100	122900	80800	94600	90400	54700	88700	50200
0,250	79700	123300	82800	94600	90900	54400	89000	49800
0,267	82000	124000	84700	95000	91800	54800	89800	50200
0,283	84100	124500	86500	95100	92300	54500	90100	50200
0,300	86600	124900	88400	95700	92800	54700	90900	50300
0,317	88900	124800	90000	95300	93500	54700	91100	50200
0,333	91000	124500	91700	95400	93800	54000	91600	50000
0,350	93100	124700	93700	95400	94600	54300	92300	50000
0,367	95600	124700	95500	95100	95600	54100	93000	49900
0,383	97900	124400	97400	95100	96300	54400	93500	50000
0,400	99600	124300	98900	95100	96800	54400	94100	50300
0,417	101800	123800	100900	94900	97700	54300	94700	50000
0,433	103900	123800	102800	94900	98400	54400	95400	50200
0,450	106400	123200	104800	94900	99600	54100	96400	50300
0,467	108300	123400	106600	94300	100100	54400	96800	50600
0,483	110600	122900	109000	94600	101500	54400	97900	50700
0,500	113300	122500	111200	94200	102800	54300	99200	50600
0,517	115600	122200	113100	93800	104100	54300	100600	50900
0,533	118100	121900	115600	93900	105800	54500	102400	50900
0,550	120100	121500	117800	93800	107600	54500	104000	51300
0,567	122500	121100	119900	93200	109600	54300	105600	50900
0,583	125100	121000	122700	93200	112200	54400	108200	51000
0,600	127300	121000	125100	93200	114700	54300	110900	51100
0,617	130700	120300	128200	92700	117800	53600	114000	50600
0,633	133200	120000	130700	92000	121300	53100	117200	50300
0,650	136100	120100	133600	92300	124700	52900	120600	50200
0,667	138600	120000	136600	91400	128400	52400	124700	49800
0,683	140800	119700	139400	91300	132900	52100	128800	49300
0,700	143600	120300	142500	91300	137400	51500	133700	49100
0,717	146500	120100	145500	91300	142900	51400	138700	49200
0,733	147900	120300	147700	91000	146900	51000	143100	48700
0,750	150200	120400	150500	91200	151400	51300	148000	48800
0,767	152400	121000	153000	91300	155900	51700	152400	49300
0,783	154200	121200	155300	92000	160400	52500	156700	49800
0,800	156600	121600	158100	92300	164800	52800	161100	50000
0,817	158800	122300	160600	93100	168500	54100	165100	51300
0,833	160800	122900	162800	93600	172300	54500	169000	51500
0,850	162900	123600	165300	93900	175900	55400	172900	52200
0,867	164900	123700	167800	94300	179000	55900	176400	52600
0,883	167400	124400	170400	94900	183300	56400	180400	53400

TABELA 12 COORDENADAS MOD. DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO	PONTO 1		PONTO 2 - PTO A		PONTO 3 - PTO B		PONTO 4	
(s)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)
0,900	169300	124500	172300	95100	185800	57300	183200	54000
0,917	171400	124500	174700	95100	189200	57700	186500	54100
0,933	173700	124400	177100	95100	191800	57700	189300	53900
0,950	176000	124400	179400	95100	194400	57700	192200	53900
0,967	178200	124400	181100	95000	196800	57800	195100	53900
0,983	180400	124700	183700	95100	199500	57700	197300	53900
1,000	182700	124100	185800	95100	201700	57400	200200	53300
1,017	185200	124300	188100	94900	203900	57100	202500	52800
1,033	187200	124000	189700	94300	205800	56600	204700	52100
1,050	189500	123200	192100	93500	207900	56200	207100	51500
1,067	191500	122800	194200	93400	210100	55900	209300	50900
1,083	194200	122300	196800	92800	212500	55200	212100	50600
1,100	196500	121900	199500	92900	214900	55100	214700	50600
1,117	198700	121800	202100	92500	217500	55100	217300	50200
1,133	201200	121400	204800	92100	220500	54800	220200	50000
1,150	203900	121400	207700	92000	223700	54700	223000	49800
1,167	206200	121200	210100	91600	226100	54500	225700	49900
1,183	208700	120700	212900	91200	228800	54300	228200	49300
1,200	211800	120700	215900	91300	231500	54000	231000	49200
1,217	214300	120300	218700	91300	234000	53900	233300	49200
1,233	217300	120800	221600	92500	236700	54500	236000	49900
1,250	219500	120400	223900	92000	239100	54400	238200	49800
1,267	222300	121000	226500	92300	241700	54700	240800	50000
1,283	225000	120800	229100	92500	243700	54500	242800	49800
1,300	227000	121400	231500	93100	245000	54500	244100	49900
1,317	229200	121500	233600	93100	246100	54100	244900	49500
1,333	231800	122100	236000	93400	247800	54300	246400	49500
1,350	234400	122600	237800	93500	248500	54100	247300	49600
1,367	237000	122900	240200	93800	250000	54100	248200	49300
1,383	239100	122900	241800	93800	250700	54000	248900	49500
1,400	241400	123600	243900	94300	251400	54000	249800	49600
1,417	243500	124000	245900	94600	252100	53900	250100	49300
1,433	245900	124300	247700	94900	252800	54000	250700	49500
1,450	247700	124400	249200	94900	253200	53700	250800	49500
1,467	250100	124800	251200	95000	253600	54100	251600	49900
1,483	251900	124400	252600	94900	254200	54000	251700	49600
1,500	254300	124500	254600	94700	254900	54000	252400	49900
1,517	256300	124500	256100	95100	255300	54100	252600	49900
1,533	258400	124100	257800	94600	255400	53900	252900	50000
1,550	261000	124100	260100	94900	256400	54100	253700	50200
1,567	262800	123700	261900	94400	256900	54000	254000	50200
1,583	265200	123300	263500	94400	257900	54000	254800	50200
1,600	267100	123200	265500	94300	259100	54500	255700	50700
1,617	269200	123000	267400	94400	259600	54500	256400	50900
1,633	271200	122200	269000	94000	260500	54000	257400	50600
1,650	273600	122300	271200	94300	262200	54500	258800	50900
1,667	275500	121800	273200	93600	263500	54500	259900	51000
1,683	277800	121800	275300	93800	265000	54700	261600	51400
1,700	280200	121400	278100	93600	267200	54500	263500	51300
1,717	282700	121400	280300	93500	269000	54100	265400	51300
1,733	284800	120600	282700	92900	271600	54000	268000	51000
1,750	287300	120700	285000	92700	274000	53900	270300	51100
1,767	289900	120600	287700	92700	277100	53300	273400	51000
1,783	292700	120100	290800	92400	280400	53300	276900	50300
1,800	295100	119900	293200	92000	284000	52600	279900	49900
1,817	297800	119600	296700	91600	288100	52200	284100	49500
1,833	300400	119900	299000	90800	292200	52100	288400	49300
1,850	302500	119900	301600	91000	296700	51700	292600	49100

TABELA 12 COORDENADAS MOD. DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO (s)	PONTO 5 - PTO C		PONTO 6		PONTO 7		PONTO 8	
	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)
-0,017	74100	14800	72900	3300	93700	13100	97600	17200
0,000	76300	14100	75000	2600	95800	12400	99600	16800
0,017	77800	13000	76400	1800	97400	10700	101300	15300
0,033	78700	12300	76400	2100	98100	9300	102100	13400
0,050	80700	11900	76900	2200	99300	7200	103800	10700
0,067	82100	11800	77400	2600	100100	5100	104900	8300
0,083	83200	11200	77600	2200	100700	3600	105400	6400
0,100	83800	11200	77900	2300	101000	3000	105900	5300
0,117	84400	11300	78200	2500	101200	2100	106100	4100
0,133	84800	11100	78200	2600	101200	1600	106100	3700
0,150	84600	10900	78100	2600	101000	1600	106100	3100
0,167	84900	11100	77800	2300	101200	1500	106100	3100
0,183	84800	11100	77900	2600	101000	1500	106000	3100
0,200	84700	10900	77900	2500	100800	1200	105900	2900
0,217	84700	11200	77800	2600	100700	1400	106100	2900
0,233	84900	11200	78000	2500	100700	1500	106200	2900
0,250	84900	10900	77800	2300	100700	1100	105900	2300
0,267	85000	11200	78100	2500	100800	1400	106300	2600
0,283	85200	11200	78000	2600	100800	900	106300	2600
0,300	85400	11200	78000	2700	101100	1400	106300	2600
0,317	85000	11300	77900	2500	100900	1100	106100	2300
0,333	85400	11200	77900	2500	100900	900	106400	2200
0,350	85600	11500	78400	2700	101200	900	106700	2500
0,367	85900	11300	78400	2700	101200	1100	106800	2500
0,383	86000	11500	78600	3000	101200	900	106600	2500
0,400	85800	11800	78400	3300	100900	1100	106800	2700
0,417	86100	11800	78700	3100	101100	800	106800	2300
0,433	86400	11900	78700	3400	101300	1200	106900	2300
0,450	86600	12200	78900	3400	101200	700	107000	2200
0,467	86300	12300	78500	4100	100800	900	106500	2300
0,483	86400	12600	78900	4800	100900	1100	106700	2200
0,500	86900	13100	79000	5100	101000	800	106700	2100
0,517	87300	13500	79100	5500	101100	900	106900	2200
0,533	87600	14200	79300	6400	100700	700	106700	2100
0,550	88100	14800	79500	7100	100900	800	106900	2200
0,567	88500	15300	79600	8200	100800	1200	106700	2200
0,583	89900	16000	80500	9600	101300	1100	107100	2200
0,600	90800	16500	81100	10400	101500	1400	107100	2300
0,617	92400	17500	82600	12000	101700	1100	107300	2200
0,633	93700	18700	83100	13900	101500	900	107200	2200
0,650	95200	19400	84800	16300	101400	900	107200	2300
0,667	97600	20500	86500	18300	101400	800	107000	1900
0,683	100200	21600	89100	21100	101400	1800	107200	1500
0,700	103400	23200	92300	23900	102200	2700	107900	1400
0,717	107400	24700	96400	26100	104400	4200	108700	1200
0,733	110800	25800	99900	27500	106900	5200	111000	1600
0,750	115400	26600	104100	28200	111700	5900	115900	2300
0,767	119400	27200	108200	28000	117200	6400	121400	3100
0,783	124100	27300	112700	27300	123500	6400	127400	3400
0,800	129500	26800	117900	26200	129800	6000	134400	3000
0,817	134200	26400	122800	24600	136600	5900	141300	3100
0,833	139500	24700	128300	22600	143600	5200	148500	2900
0,850	145000	23800	134200	19900	151300	4200	156400	2200
0,867	150700	21600	140000	17100	158600	3300	164200	2100
0,883	157400	20200	147200	14500	166900	2900	172500	1900

TABELA 12 COORDENADAS MOD. DOS PONTOS COM MARCADORES

TEMPO	PONTO 5 - PTO C		PONTO 6		PONTO 7		PONTO 8	
(s)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)	X(m*10 ⁵)	Y(m*10 ⁵)
0,900	162800	18900	153400	11800	174200	2300	179800	1900
0,917	169500	17200	160200	9600	182400	2100	187700	2200
0,933	175600	15700	167300	7100	189600	1900	195400	2500
0,950	182400	14500	174200	5200	197000	2100	202900	2900
0,967	188900	13500	181600	4100	204600	2100	210400	3600
0,983	195100	13300	189100	3300	212100	2500	217300	4200
1,000	201500	12300	195900	2700	218600	2700	224500	4900
1,017	207300	12700	202500	2600	225200	3600	230800	6100
1,033	212900	12700	208400	2300	231200	5100	236400	7800
1,050	218200	13100	214400	2200	237000	6800	242000	10000
1,067	222500	13400	219800	2200	242200	8500	246500	12000
1,083	226700	13700	224500	2500	246800	10100	250600	13900
1,100	230200	13900	228600	3000	250200	11500	254300	15600
1,117	233000	13800	231100	2700	252700	11600	256500	15600
1,133	235100	13400	233500	2100	254800	10800	258600	15000
1,150	237100	12700	234900	1500	256500	9700	260300	14200
1,167	238000	12400	235300	1400	257300	8300	261400	12600
1,183	238700	11200	235300	1200	257600	7100	261800	10500
1,200	240300	11100	235800	900	258600	5300	263200	8500
1,217	241500	10700	236200	1400	259100	3600	263300	6300
1,233	241800	10800	236200	1900	259400	2900	263800	5500
1,250	242200	10400	235900	1400	259300	1600	263900	3800
1,267	243000	10300	236200	1500	259700	1100	264200	3000
1,283	243500	10400	236600	1500	259900	900	264500	2900
1,300	243700	10400	236600	1600	259800	900	264400	2600
1,317	243300	10000	236400	1500	259800	800	264500	2200
1,333	243800	10500	236800	1800	260400	900	264900	2300
1,350	243800	10400	236600	1800	260000	900	264800	2200
1,367	243900	9700	236800	1800	260400	900	265200	2300
1,383	244000	10300	236800	1800	260200	800	264900	2100
1,400	244400	10400	237100	1900	260600	500	265300	2200
1,417	244600	10500	237100	1800	260500	500	265400	1900
1,433	244400	10700	237200	1600	260600	500	265300	1900
1,450	244300	10300	237000	1900	260100	300	265200	1800
1,467	244600	10500	237400	1900	260600	500	265700	2100
1,483	244600	10700	237100	1900	260500	100	265600	1800
1,500	245000	10700	237400	2100	260600	400	265700	1600
1,517	244900	10800	237300	1800	260500	500	265800	1800
1,533	244900	10800	237300	2100	260600	100	265800	1600
1,550	245300	11200	237500	2300	260800	400	265800	1600
1,567	245300	11300	237200	2600	260400	300	265600	1500
1,583	245200	11200	237600	2700	260600	300	265700	1400
1,600	245500	11900	237800	3300	260700	300	266100	1500
1,617	245400	12000	237500	3700	260500	400	265700	1600
1,633	245700	12000	237500	4100	260500	400	265700	1400
1,650	245900	12600	237700	4800	260700	300	265900	1600
1,667	246300	13300	237800	5300	260300	0	265700	1500
1,683	246700	13700	238200	6100	260700	400	265700	1600
1,700	247100	14100	238600	6800	260500	300	265900	1500
1,717	247800	14800	238600	7800	260500	0	265700	1400
1,733	249000	15000	239300	8600	260400	-100	265900	1500
1,750	249700	15700	241500	10100	260800	400	265800	1400
1,767	251000	16800	241100	11800	260700	500	265900	1400
1,783	253100	18000	242200	13400	260900	500	266500	1600
1,800	254400	18700	243400	15400	260400	300	266100	1400
1,817	256600	19700	245400	17600	260500	400	265900	1200
1,833	259400	21100	248100	19900	260800	900	266500	1400
1,850	262100	22000	250800	22700	261000	1900	266500	800

ANEXO B - Gráficos

GRÁFICO 1: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
ELEVAÇÃO (y) x DESLOCAMENTO (x)

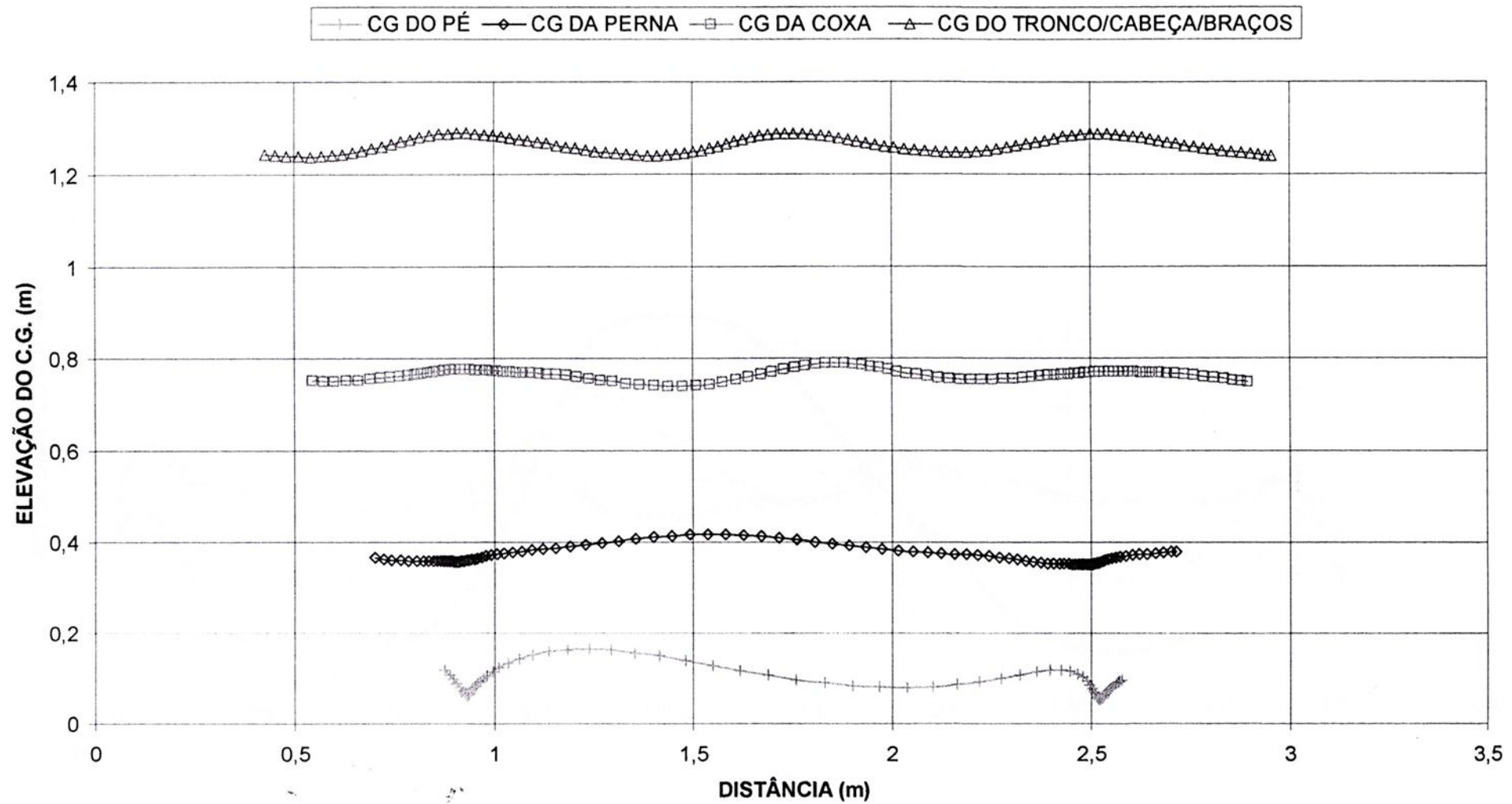
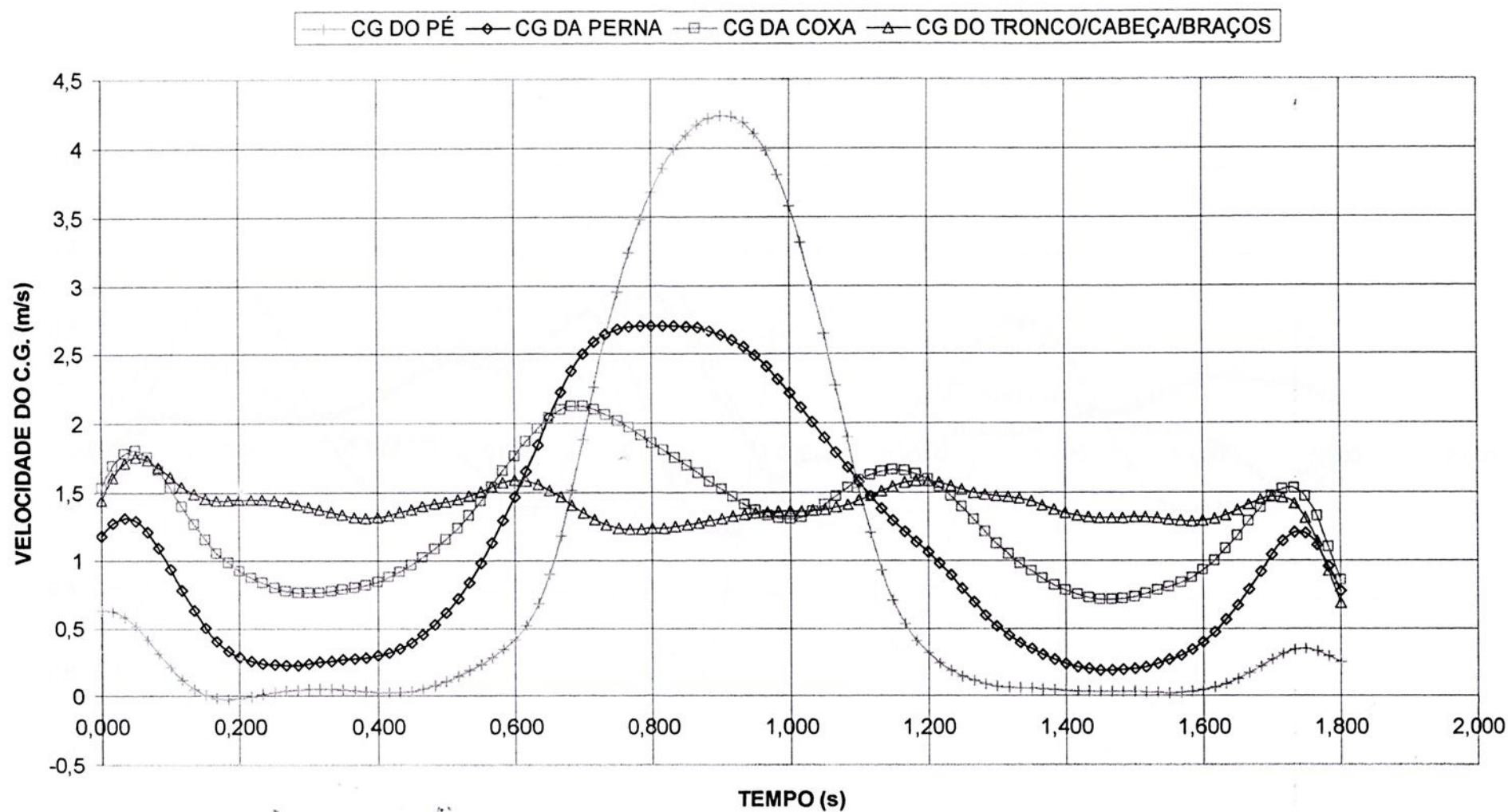
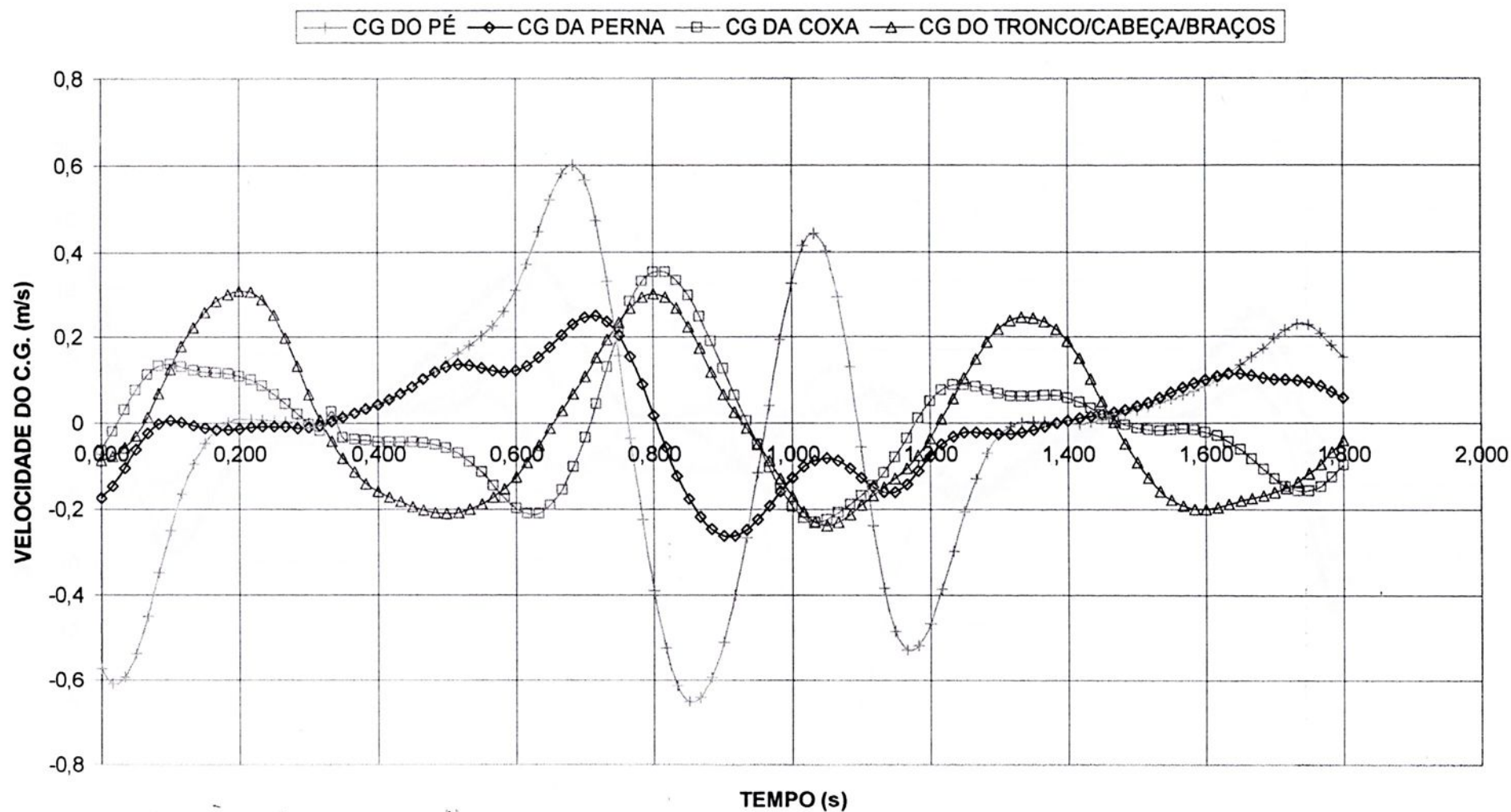


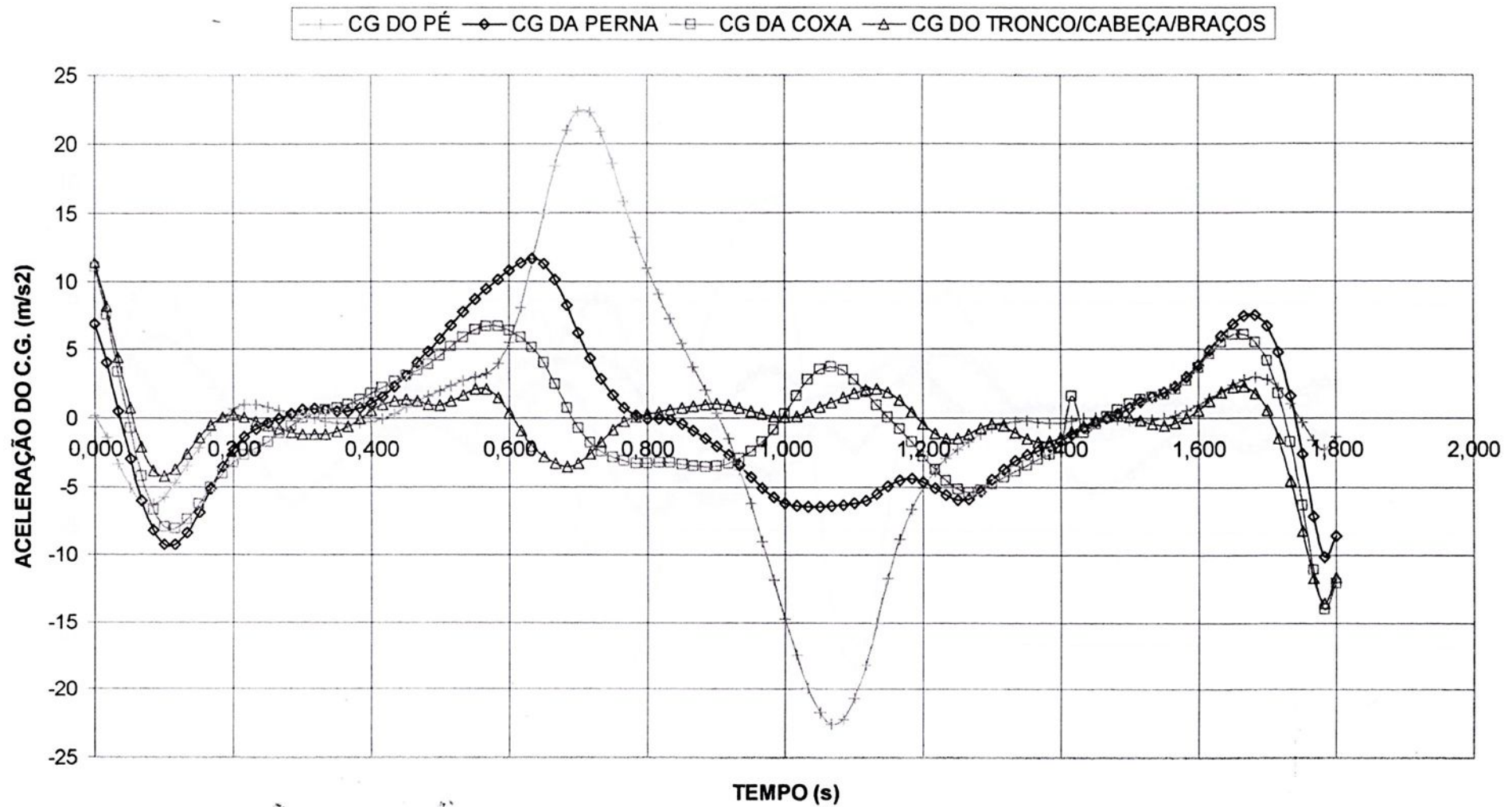
GRÁFICO 2: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
VELOCIDADE (x) x TEMPO



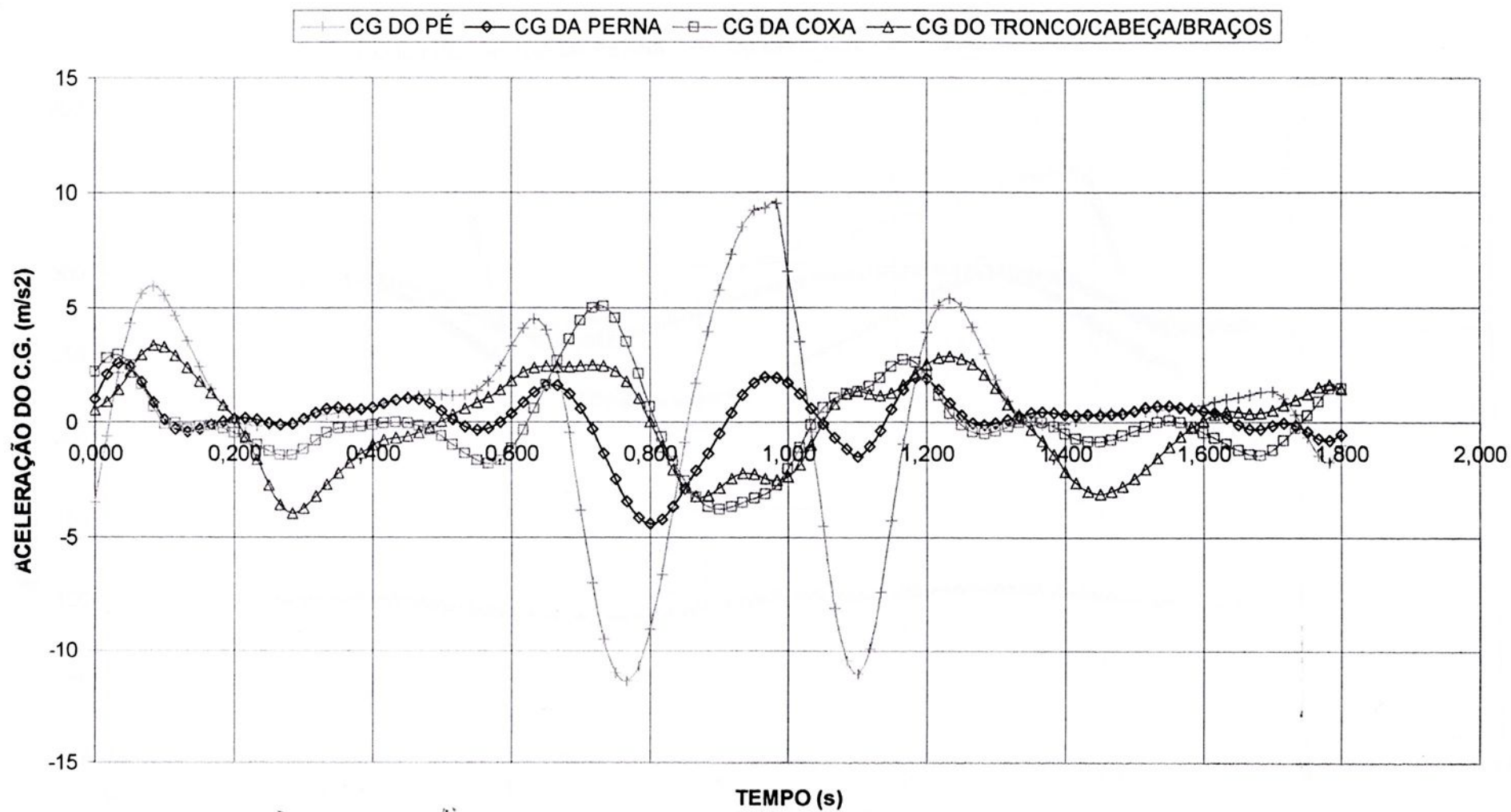
**GRÁFICO 3: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
VELOCIDADE (y) x TEMPO**



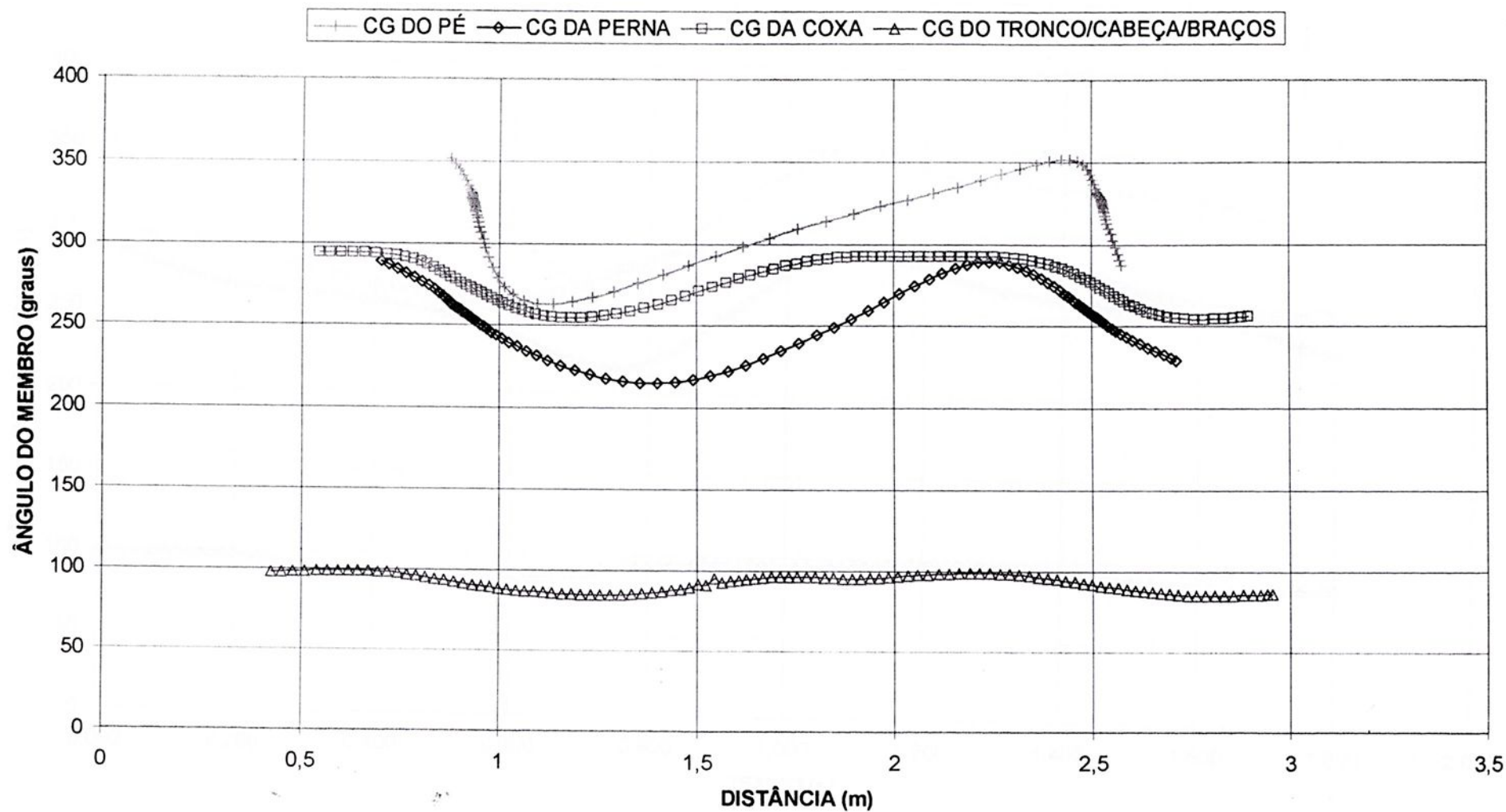
**GRÁFICO 4: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
ACELERAÇÃO (x) x TEMPO**



**GRÁFICO 5: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
ACELERAÇÃO (y) x TEMPO**



**GRÁFICO 6: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
INCLINAÇÃO DO MEMBRO x DESLOCAMENTO (x)**



**GRÁFICO 7: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
INCLINAÇÃO DO MEMBRO x TEMPO**

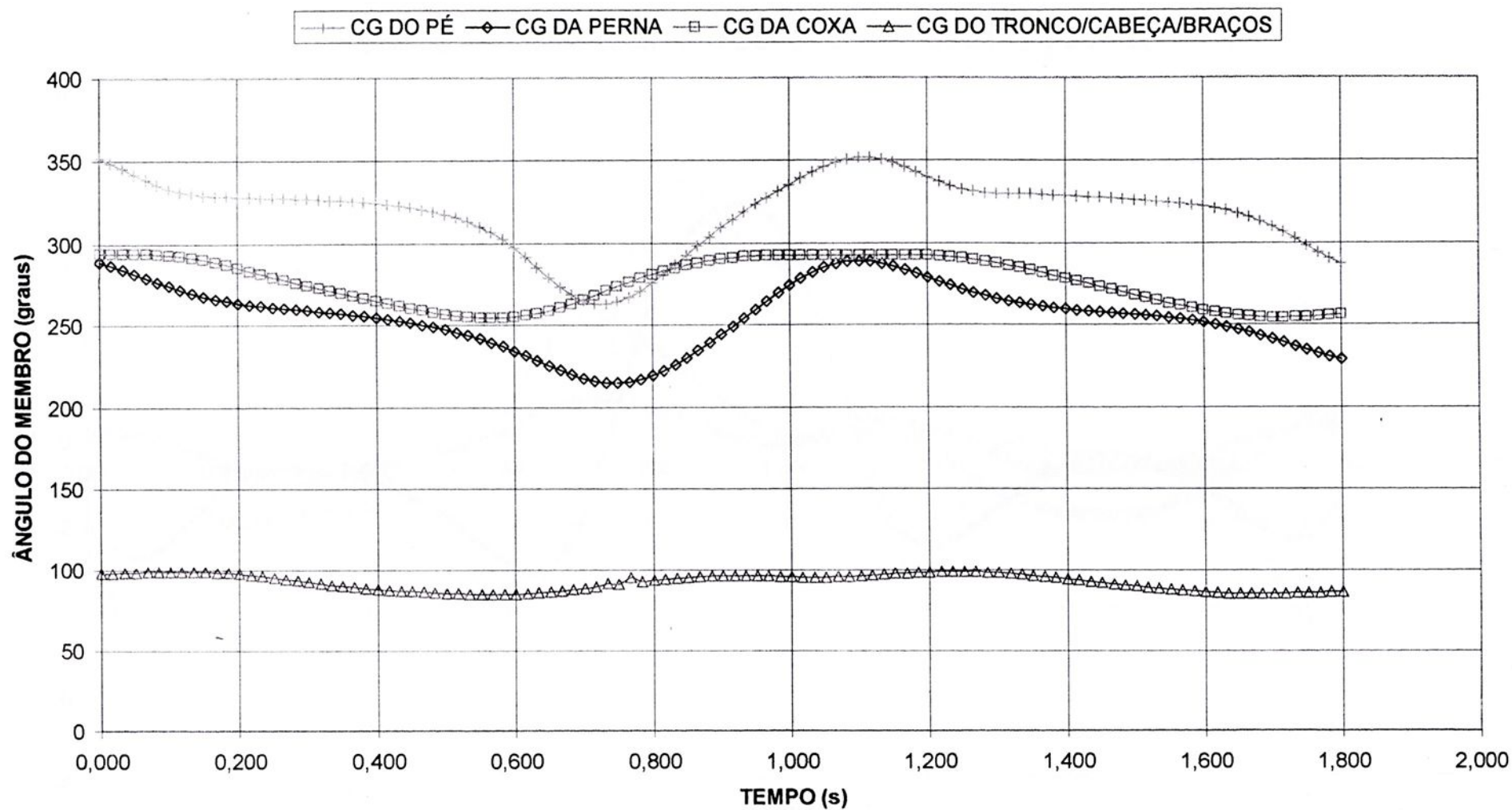
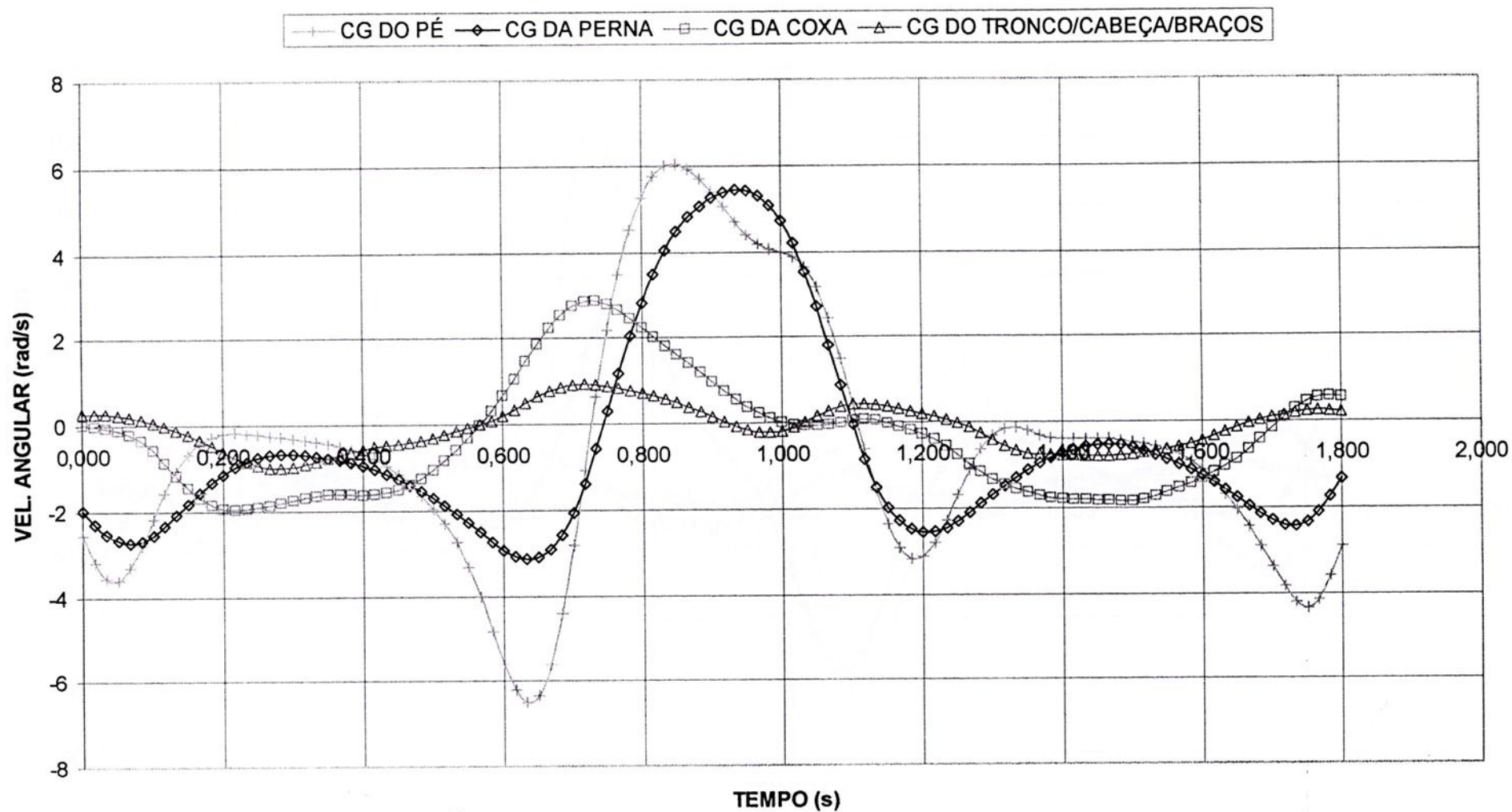
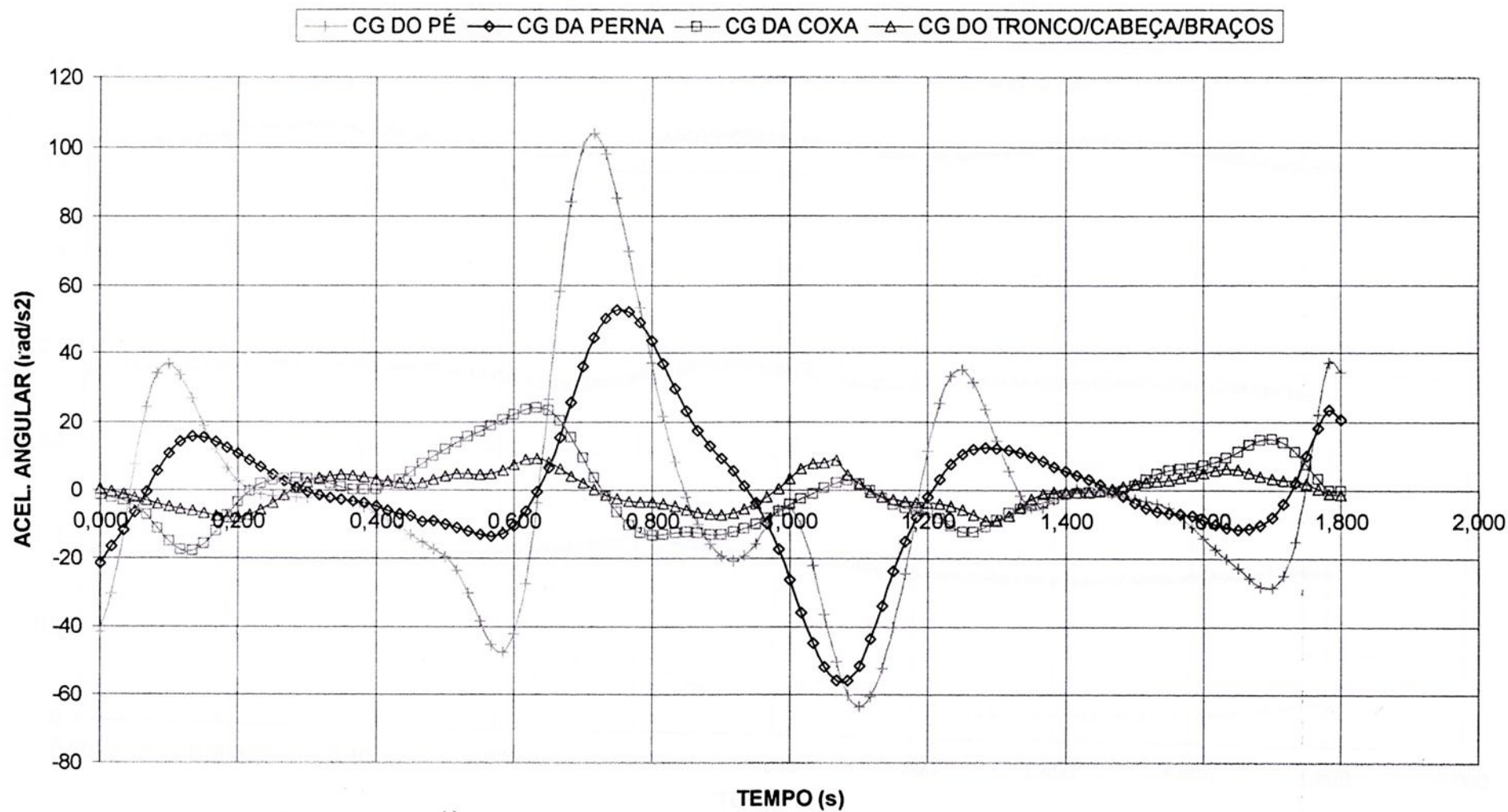


GRÁFICO 8: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
VEL. ANGULAR DO MEMBRO x TEMPO



**GRÁFICO 9: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
ACEL. ANGULAR DO MEMBRO x TEMPO**



**GRÁFICO 10: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
ELEVAÇÃO (y) x TEMPO**

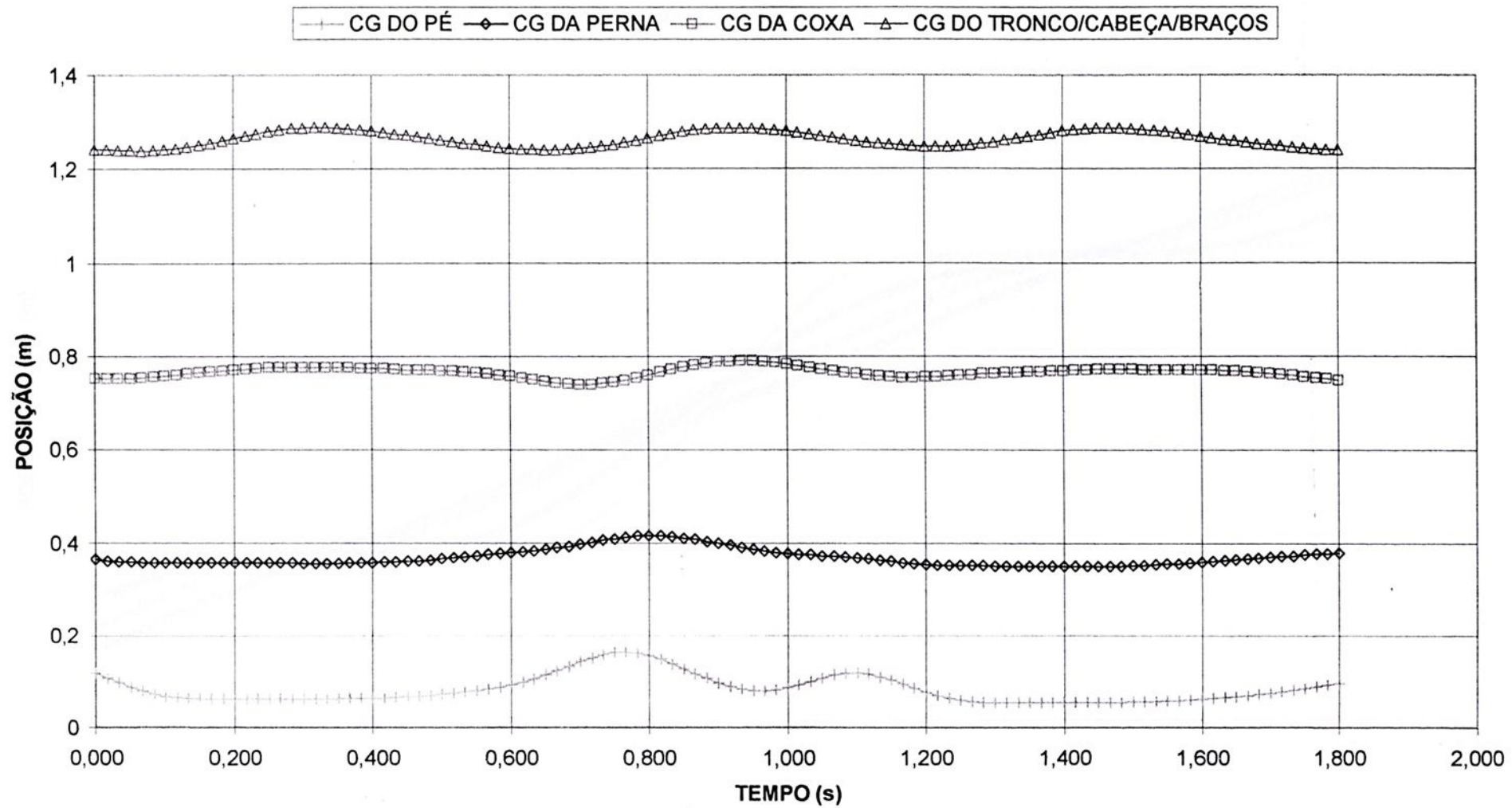


GRÁFICO 11: MARCHA HUMANA - CG DOS MEMBROS
DESLOCAMENTO (x) x TEMPO

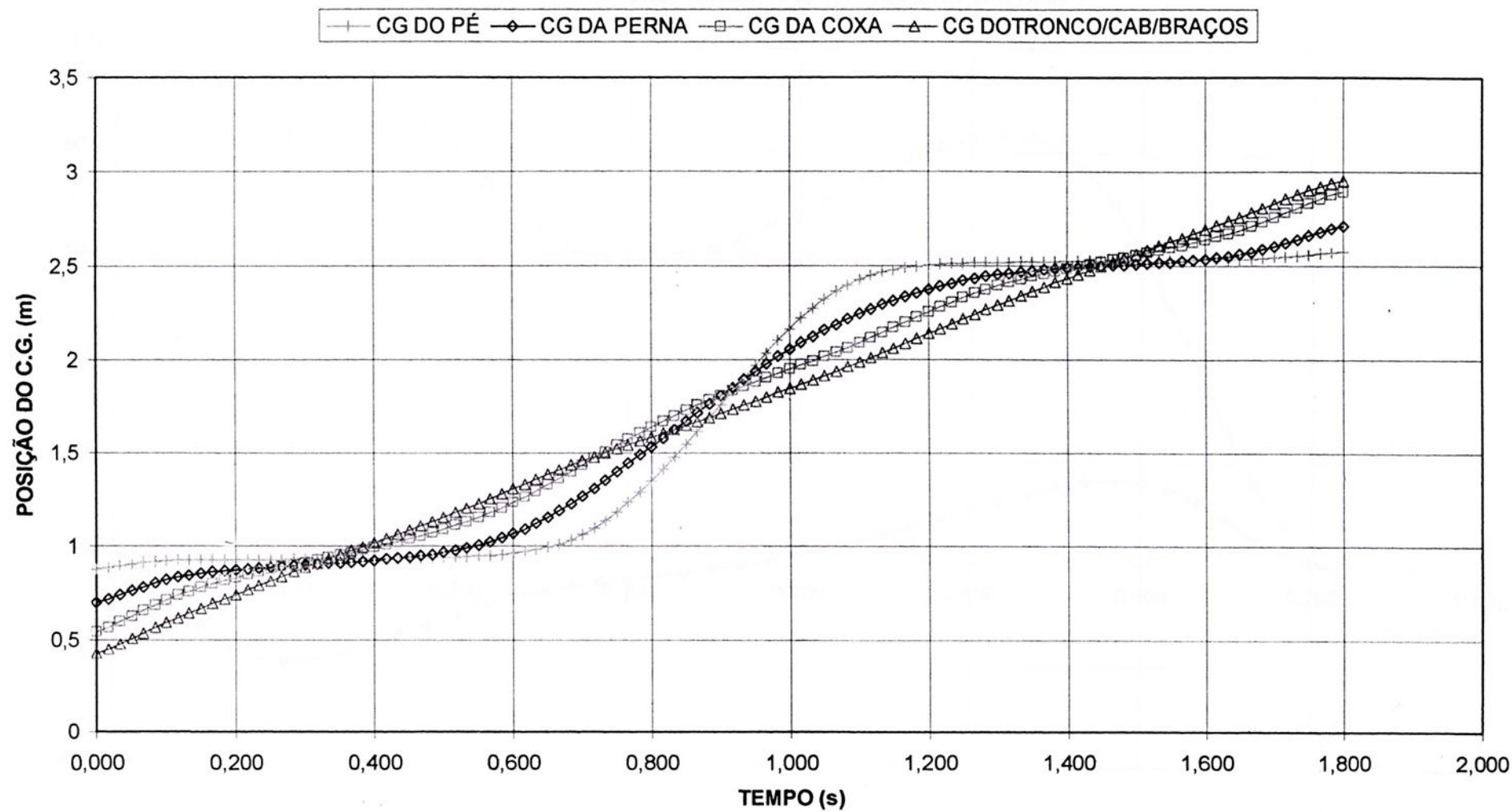
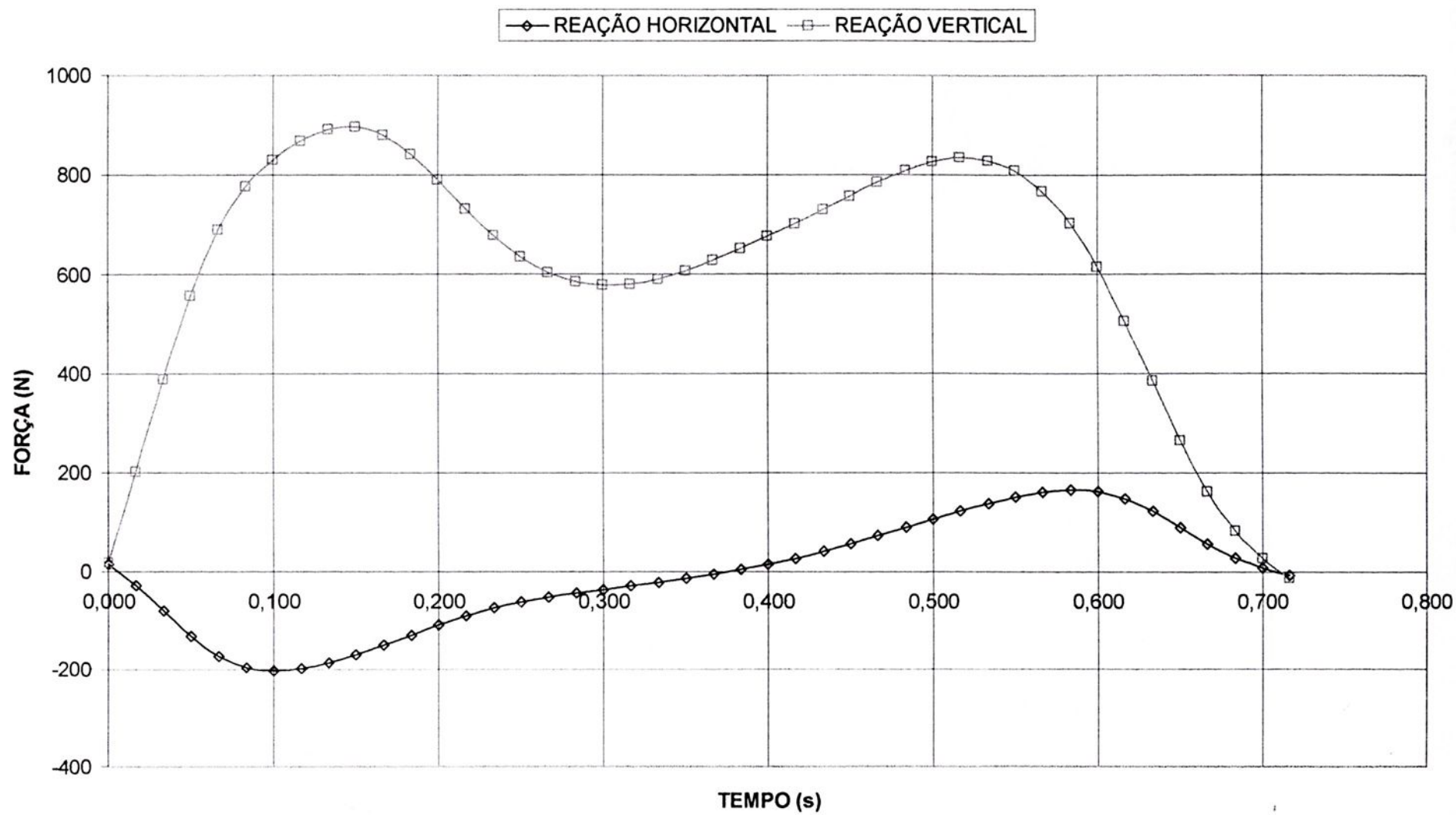


GRÁFICO 12 - REAÇÕES DO SOLO



ANEXO C - Programas

PROGRAMA 1: Ajuste de curva dos cg dos membros – posição (y)

- Centro de gravidade da cabeça /tronco /braços.
- Posição y - posição-velocidade-aceleração.
- Ajuste de curvas utilizando o método dos quadrados mínimos, tomando por base a posição.

```
clear t m d w x ALFA me de A B k tei tef Evalor Evalorv Evalora Ede C EC Cv ECv Ca ECa
disp('Com esse comando clear, não se apaga os vetores f; g e hm');
disp('ENTRADA DE DADOS-matriz com dados de posição; velocidade e aceleração');
global f g hm m
disp('curvas harmônicas');
disp('t(1) é o valor inicial de tempo');
t(1)=.050;
m=input('O valor da qtde de coeficientes da equação - utilize m com valor ímpar - m=');
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/30;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas dos vetores
posição/velocida/aceleração');
disp('Esses vetores são do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=51;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Entre com o vetor f (posição de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor g (velocidade de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor hm (aceleração de k colunas) no MATLAB');
disp('Esses valores de x é para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes ímpares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
```

PROGRAMA 1

```

soma1=0;
soma2=0;
for q=1:k;
ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
fa=f(q)*bb;
soma1=soma1+ba*bb;
soma2=soma2+fa;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFA=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
qualtempo=input('Você quer mudar os valores tei e tef?, digite 1 p/ qualtempo - qualtempo=');
if qualtempo==1;
tei=input('Entre com o tempo inicial da sua escolha tei=');
tef=input('Entre com o tempo final da sua escolha tef=');
end;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
C(j)=de;
end
s1=s1+1;
valor(s1)=C*ALFA;
tem(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;
y3=(j-rem(j,2))/2;
Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
EC(j)=Ede;
end
Evalor(i)=EC*ALFA;
end
somaqd=0;
somarms=0;
for i=1:k;
erro(i)=abs(((Evalor(i)-f(i))/f(i))*100);
desvioq=(Evalor(i)-f(i))^2;

```


PROGRAMA 1

```

somaqd=somaqd+desvioq;
somarms=somarms+Evalov(i)^2;
end
rms=sqrt(somarms/k);
drms=sqrt(somaqd/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x VELOCIDADE');
s2=0;
for tev=tei:.01:tef;
Cv(1)=0;
for j=2:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
Cv(j)=dev;
end
s2=s2+1;
valorv(s2)=Cv*ALFA;
temv(s2)=tev;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x VELOCIDADE');
for i=1:k;
ECv(1)=0;
for j=2:m;
y5=(j-rem(j,2))/2;
Edev=(y5*w)*cos(y5*w*t(i))*x(j)-(y5*w)*sin(y5*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
ECv(j)=Edev;
end
Evalov(i)=ECv*ALFA;
end;
somaqdv=0;
somarmsv=0;
for i=1:k;
errov(i)=abs(((Evalov(i)-g(i))/g(i))*100);
desvioqv=(Evalov(i)-g(i))^2;
somaqdv=somaqdv+desvioqv;
somarmsv=somarmsv+Evalov(i)^2;
end
rmsv=sqrt(somarmsv/k);
drmsv=sqrt(somaqdv/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
s3=0;
for tea=tei:.01:tef;
Ca(1)=0;
for j=2:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
Ca(j)=dea;
end
s3=s3+1;

```

PROGRAMA 1

```

valora(s3)=Ca*ALFA;
tema(s3)=tea;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
for i=1:k;
ECa(1)=0;
for j=2:m;
y7=(j-rem(j,2))/2;
Edea=-(y7*w)^2*sin(y7*w*t(i))*x(j)-(y7*w)^2*cos(y7*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
ECa(j)=Edea;
end
Evalora(i)=ECa*ALFA;
end;
somaqda=0;
somarmsa=0;
for i=1:k;
erroa(i)=abs(((Evalora(i)-hm(i))/hm(i))*100);
desvioqa=(Evalora(i)-hm(i))^2;
somaqda=somaqda+desvioqa;
somarmsa=somarmsa+Evalora(i)^2;
end
rmsa=sqrt(somarmsa/k);
drmsa=sqrt(somaqda/k);
disp('Quer ver o gráfico TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tem,valor)
end;
disp('Quer ver o gráfico TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(temv,valorv)
end;
disp('Quer ver o gráfico TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tema,valora)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erro
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erro)
disp('A soma dos quadrados dos desvios=')
somaqd
disp('Valor eficaz')
rms

```



PROGRAMA 1

```

disp('Desvio-valor eficaz')
drms
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
    errov
    disp('O maior erro encontrado foi:')
    max(errov)
    disp('A soma dos quadrados dos desvios=')
    somaqdv
    disp('Valor eficaz')
    rmsv
    disp('Desvio-valor eficaz')
    drmsv
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
    erroa
    disp('O maior erro encontrado foi:')
    max(erroa)
    disp('A soma dos quadrados dos desvios=')
    somaqda
    disp('Valor eficaz')
    rmsa
    disp('Desvio-valor eficaz')
    drmsa
end;
disp('ENTRADA T - SAIDA POSIÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a posicao relativa digite escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
    tee=input('entre com o tempo, tee=');
    Ce(1)=1;
    for j=2:m;
        y2=(j-rem(j,2))/2;
        dee=sin(y2*w*tee)*x(j)+cos(y2*w*tee)*(x(j)-1)^2;
        Ce(j)=dee;
    end
    posicaot=Ce*ALFA
    escolha=('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA VELOCIDADE');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a velocidade relativa digite escolha=1');

```

PROGRAMA 1

```

disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
Cev(1)=0;
for j=2:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
Cev(j)=dev;
end
velocidadet=Cev*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA ACELERAÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a aceleração relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
Cea(1)=0;
for j=2:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
Cea(j)=dea;
end
aceleracaot=Cea*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end

```



PROGRAMA 2: Ajuste de curva dos cg dos membros – ângulo de inclinação

- Centro de gravidade da cabeça /tronco /braços.
- Ângulo de inclinação - posição-velocidade-aceleração.
- Ajuste de curvas utilizando o método dos quadrados mínimos, tomando por base a posição (teta).

```
clear t m d w x ALFA me de A B k tei tef Evalor C EC Cv ECv Ca ECa
disp('Com esse comando clear, não se apaga os vetores f; g e hm');
disp('ENTRADA DE DADOS-matriz com dados de posição; velocidade e aceleração');
global f g hm m
disp('curvas harmônicas');
disp('t(1) é o valor inicial de tempo');
t(1)=.050;
m=input('O valor da qtde de coeficientes da equação - utilize m com valor ímpar - m=');
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/30;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas dos vetores
posição/velocida/aceleração');
disp('Esses vetores são do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=51;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Entre com o vetor f (posição de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor g (velocidade de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor hm (aceleração de k colunas) no MATLAB');
disp('Esses valores de x é para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes ímpares da expressão');
fm=f*pi/180;
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i):');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
```

PROGRAMA 2

```

z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;
soma2=0;
for q=1:k;
ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
fa=fm(q)*bb;
soma1=soma1+ba*bb;
soma2=soma2+fa;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFA=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
qualtempo=input('Você quer mudar os valores tei e tef?, digite 1 p/ qualtempo - qualtempo=');
if qualtempo==1;
tei=input('Entre com o tempo inicial da sua escolha tei=');
tef=input('Entre com o tempo final da sua escolha tef=');
end;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
C(j)=de;
end
s1=s1+1;
valor(s1)=C*ALFA;
tem(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;
y3=(j-rem(j,2))/2;
Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
EC(j)=Ede;
end
Evalor(i)=EC*ALFA;
end
somaqd=0;
somarms=0;
for i=1:k;
erro(i)=abs(((Evalor(i)-fm(i))/fm(i))*100);

```


PROGRAMA 2

```

somaqd=somaqd+(Evalor(i)-fm(i))^2;
somarms=somarms+Evalor(i)^2;
end
rms=sqrt(somarms/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x VELOCIDADE');
s2=0;
for tev=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
Cv(j)=dev;
end
s2=s2+1;
valorv(s2)=Cv*ALFA;
temv(s2)=tev;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x VELOCIDADE');
for i=1:k;
for j=1:m;
y5=(j-rem(j,2))/2;
Edev=(y5*w)*cos(y5*w*t(i))*x(j)-(y5*w)*sin(y5*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
ECv(j)=Edev;
end
Evalorv(i)=ECv*ALFA;
end
somaqdv=0;
somarmsv=0;
for i=1:k;
errov(i)=abs(((Evalorv(i)-g(i))/g(i))*100);
somaqdv=somaqdv+(Evalorv(i)-g(i))^2;
somarmsv=somarmsv+Evalorv(i)^2;
end;
rmsv=sqrt(somarmsv/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
s3=0;
for tea=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
Ca(j)=dea;
end
s3=s3+1;
valora(s3)=Ca*ALFA;
tema(s3)=tea;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;

```



PROGRAMA 2

```

y7=(j-rem(j,2))/2;
Edea=-(y7*w)^2*sin(y7*w*t(i))*x(j)-(y7*w)^2*cos(y7*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
ECa(j)=Edea;
end
Evalora(i)=ECa*ALFA;
end
somaqda=0;
somarmsa=0;
for i=1:k;
erroa(i)=abs(((Evalora(i)-hm(i))/hm(i))*100);
somaqda=somaqda+(Evalora(i)-hm(i))^2;
somarmsa=somarmsa+Evalora(i)^2;
end
rmsa=sqrt(somarmsa/k);
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
valorm=valor*180/pi;
plot(tem,valorm)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(temv,valorv)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tema,valora)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erro
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erro)
disp('soma dos quadrados dos desvios')
somaqd
disp('Valor eficaz em radianos')
rms
disp('Valor eficaz em graus')
rms*180/pi
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqd/k)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;

```


PROGRAMA 2

```

errov
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(errov)
disp('soma dos quadrados dos desvios')
somaqdv
disp('Valor eficaz')
rmsv
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqdv/k)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erroa
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erroa)
disp('soma dos quadrados dos desvios')
somaqda
disp('Valor eficaz')
rmsa
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqda/k)
end;
disp('ENTRADA T - SAIDA POSIÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a posicao relativa digite escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
dee=sin(y2*w*tee)*x(j)+cos(y2*w*tee)*(x(j)-1)^2;
Ce(j)=dee;
end
posicaot=Ce*ALFA*180/pi
escolha=('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA VELOCIDADE');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a velocidade relativa digite escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;

```

PROGRAMA 2

```
Cev(j)=dev;
end
velocidadet=Cev*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA ACELERAÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a aceleração relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
Cea(j)=dea;
end
aceleracaot=Cea*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
```



PROGRAMA 3: Ajuste de curva dos cg dos membros – posição (x)

- Centro de gravidade da cabeça /tronco /braços.
- Posição x - posição-velocidade-aceleração.
- Ajuste de curvas utilizando o método dos quadrados mínimos, tomando por base a posição.

```
clear t m d w x ALFA me de A B k tei tef Evalor C EC CV ECv CA ECa
disp('Com esse comando clear, não se apaga os vetores f, g e hm');
disp('ENTRADA DE DADOS-matriz com dados de posição; velocidade e aceleração');
disp('curvas harmônicas');
disp('t(1) é o valor inicial de tempo');
t(1)=.05;
m=input('O valor da qtde de coeficientes da equação - utilize m com valor par - m=');
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/30;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas dos vetores
posição/velocida/aceleração');
disp('Esses vetores são do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=51;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Entre com o vetor f (posição de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor g (velocidade de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor hm (aceleração de k colunas) no MATLAB');
disp('Esses valores de x é para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes ímpares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;
```


PROGRAMA 3

```

soma2=0;
for q=1:k;
    if h~=m;
        ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
    else ba=t(q);
    end;
    if j~=m;
        bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
    else bb=t(q);
    end
    fa=f(q)*bb;
    soma1=soma1+ba*bb;
    soma2=soma2+fa;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFA=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
qualtempo=input('Você quer mudar os valores tei e tef?, digite 1 p/ qualtempo - qualtempo=');
if qualtempo==1;
    tei=input('Entre com o tempo inicial da sua escolha tei=');
    tef=input('Entre com o tempo final da sua escolha tef=');
end;
for te=tei:.01:tef;
    for j=1:m;
        if j~=m;
            y2=(j-rem(j,2))/2;
            de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
        else de=te;
        end
        C(j)=de;
    end
    s1=s1+1;
    valor(s1)=C*ALFA;
    tem(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
    for j=1:m;
        y3=(j-rem(j,2))/2;
        if j~=m
            Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;

```



PROGRAMA 3

```

else Ede=t(i);
end;
EC(j)=Ede;
end
Evalor(i)=EC*ALFA;
end
somaqd=0;
somarms=0;
for i=1:k;
erro(i)=abs(((Evalor(i)-f(i))/f(i))*100);
somaqd=somaqd+(Evalor(i)-f(i))^2;
somarms=somarms+Evalor(i)^2;
end
rms=sqrt(somarms/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x VELOCIDADE');
s2=0;
for tev=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
else dev=1;
end
CV(j)=dev;
end
s2=s2+1;
valorv(s2)=CV*ALFA;
temv(s2)=tev;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x VELOCIDADE');
for i=1:k;
for j=1:m;
y5=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
Edev=(y5*w)*cos(y5*w*t(i))*x(j)-(y5*w)*sin(y5*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
else Edev=1;
end;
ECv(j)=Edev;
end
Evalorv(i)=ECv*ALFA;
end
somaqdv=0;
somarmsv=0;
for i=1:k;
errov(i)=abs(((Evalorv(i)-g(i))/g(i))*100);
somaqdv=somaqdv+(Evalorv(i)-g(i))^2;
somarmsv=somarmsv+Evalorv(i)^2;
end

```

PROGRAMA 3

```

rmsv=sqrt(somarmsv/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
s3=0;
for tea=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
else dea=0;
end
CA(j)=dea;
end
s3=s3+1;
valora(s3)=CA*ALFA;
tema(s3)=tea;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;
y7=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
Edea=-(y7*w)^2*sin(y7*w*t(i))*x(j)-(y7*w)^2*cos(y7*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
else Edea=0;
end;
ECa(j)=Edea;
end
Evalora(i)=ECa*ALFA;
end
somaqda=0;
somarmsa=0;
for i=1:k;
erroa(i)=abs(((Evalora(i)-hm(i))/hm(i))*100);
somaqda=somaqda+(Evalora(i)-hm(i))^2;
somarmsa=somarmsa+Evalora(i)^2;
end
rmsa=sqrt(somarmsa/k);
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tem,valor)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(temv,valorv)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');

```



PROGRAMA 3

```
if escolha==1;
plot(tema,valor)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erro
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erro)
disp('Soma dos quadrados dos desvios')
somaqd
disp('valor eficaz')
rms
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqd/k)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
errov
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(errov)
disp('Soma dos quadrados dos desvios')
somaqdv
disp('valor eficaz')
rmsv
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqdv/k)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erroa
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erroa)
disp('Soma dos quadrados dos desvios')
somaqda
disp('valor eficaz')
rmsa
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqda/k)
end;
disp('ENTRADA T - SAIDA POSIÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a posicao relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
```



PROGRAMA 3

```

tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
    if j~=m;
        dee=sin(y2*w*tee)*x(j)+cos(y2*w*tee)*(x(j)-1)^2;
    else dee=tee;
    end;
Ce(j)=dee;
end
posicaot=Ce*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA VELOCIDADE');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a velocidade relativa digite escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
    if j~=m;
        dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
    else dev=1;
    end;
Cev(j)=dev;
end
velocidadet=Cev*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA ACELERAÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a aceleração relativa digite escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
    if j~=m;
        dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
    else dea=0;
    end;
Cea(j)=dea;
end
aceleracaot=Cea*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end

```

PROGRAMA 4: Transformada de vetor Excel x Matlab - programas 1 a 3

```
k=51;  
disp('Acerto do vetor posição');  
for n=1:k;  
f(1,n)=F(2*n-1,1)/100000;  
end;  
disp('Acerto do vetor velocidade');  
for n=1:k;  
g(1,n)=G(2*n-1,1)/100000;  
end;  
disp('Acerto do vetor aceleração');  
for n=1:k;  
hm(1,n)=H(2*n-1,1)/100000;  
end;
```



PROGRAMA 5: Ajuste de curva das reações do solo

- Reação do solo no pé.
- Força horizontal e vertical (fh e fv).
- Ajuste de curvas utilizando o método dos quadrados mínimos.

```
clear m w ba bb fa C Ce EC ALFA Evalor A B valor tem erro
disp('Com esse comando clear, não se apaga os vetores F')
disp('ENTRADA DE DADOS-matriz com dados de força F');
disp('curvas harmônicas');
disp('t(1) é o valor inicial de tempo');
t(1)=.017;
m=input('O valor da qtde de coeficientes da equação - utilize m com valor ímpar - m=');
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/60;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas dos vetores força');
disp('Esses vetores são do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=42;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Entre com o vetor FORÇA (posição de k colunas) no MATLAB');
disp('Esses valores de x é para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes impares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;
soma2=0;
for q=1:k;
ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
```

PROGRAMA 5

```

bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
fa=F(q)*bb;
soma1=soma1+ba*bb;
soma2=soma2+fa;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFA=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x FORÇA');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0.0;
tef=2;
qualtempo=input('Você quer mudar os valores tei e tef?, digite 1 p/ qualtempo - qualtempo=');
if qualtempo==1;
tei=input('Entre com o tempo inicial da sua escolha tei=');
tef=input('Entre com o tempo final da sua escolha tef=');
end;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
if rem(te,1.2)<=.701;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
C(j)=de;
else C(j)=0;
end
end
s1=s1+1;
valor(s1)=C*ALFA;
tem(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x FORÇA');
for i=1:k;
for j=1:m;
y3=(j-rem(j,2))/2;
Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
EC(j)=Ede;
end
Evalor(i)=EC*ALFA;
end
somaqd=0;
somarms=0;
for i=1:k;
erro(i)=abs(((Evalor(i)-F(i))/F(i))*100);
desvioq=(Evalor(i)-F(i))^2;
somaqd=somaqd+desvioq;

```

PROGRAMA 5

```

somarms=somarms+Evalor(i)^2;
end
rms=sqrt(somarms/k);
drms=sqrt(somaqd/k);
disp('Quer ver o grafico TEMPO x FORÇA? DIGITE escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tem,valor)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x FORÇA? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erro
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erro)
disp('A soma dos quadrados dos desvios=')
somaqd
disp('Valor eficaz')
rms
disp('Desvio-valor eficaz')
drms
end;
disp('ENTRADA T - SAIDA FORÇA');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a posicao relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
Ce(1)=1;
for j=2:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
if rem(tee,1.2)<=.701;
dee=sin(y2*w*tee)*x(j)+cos(y2*w*tee)*(x(j)-1)^2;
Ce(j)=dee;
else Ce(j)=0;
end
end
posicaot=Ce*ALFA
escolha=('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end

```


PROGRAMA 6: Transformada de vetor Excel x Matlab - programa 5

```
k=42;  
disp('Acerto do vetor força');  
for n=1:k;  
F(1,n)=FORCA(n,1)/100000;  
end;
```

PROGRAMA 7: Determinação de forças e torques atuantes nos membros inferiores

```

clear ALFA4 ALFA5 ALFA6 ALFA7 ALFA8 ALFA9 ALFA10 ALFA11 ALFA12 ALFA13
ALFA14
clear A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11 A12 A13 A14
clear acx acy aca apx apy apa atx aty ata Fv Fh z p
clear F1x F1y M1 F2x F2y M2 F3x F3y M3
disp('Definir vetores das posições dos pontos A; B e C');
disp('Utilize o programa 11 para transformação da planilha Excel x Matlab');
disp('Todas posições em metros, conforme S.I.');
```

t(1) é o valor inicial de tempo);

```

t(1)=.000;
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/60;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas dos vetores
posição/velocida/aceleração');
disp('Esses vetores são do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=109;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('C O X A')
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO LINEAR NA DIREÇÃO x DA COXA');
ALFA6=[0.4982 -0.0097 0.0845 0.0175 -0.0274 0.0047 0.0005 0.0005 -0.0028 1.4016];
for j=1:k;
A6=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))
0];
acx(j)=A6*ALFA6';
end;
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO LINEAR NA DIREÇÃO y DA COXA');
ALFA4=[0.7658 0.0006 0.0046 -0.0136 -0.0076 0.0019 -0.0075 0.0009 0.0013];
for j=1:k;
A4=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
acy(j)=A4*ALFA4';
end;
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR DA COXA');
ALFA5=[4.8548 -0.0653 0.3329 0.0084 -0.0700 0.0253 0.0049 -0.0003 -0.0043];
for j=1:k;
A5=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];

```

PROGRAMA 7

```

aca(j)=A5*ALFA5';
end;
disp('P E R N A')
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO LINEAR NA DIREÇÃO x DA PERNA');
ALFA9=[0.4810 0.0137 0.2357 -0.0081 -0.0132 0.0029 0.0030 -0.0016 -0.0027 1.4009];
for j=1:k;
A9=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))
0];
apx(j)=A9*ALFA9';
end;
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO LINEAR NA DIREÇÃO y DA PERNA');
ALFA7=[0.3749 -0.0264 -0.0064 0.0044 -0.0071 0.0021 0.0022 -0.0019 0.0011];
for j=1:k;
A7=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
apy(j)=A7*ALFA7';
end;
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR DA PERNA');
ALFA8=[4.4276 0.2337 0.4273 -0.1768 0.1692 -0.0315 -0.0116 -0.0022 0.0125];
for j=1:k;
A8=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
apa(j)=A8*ALFA8';
end;
disp('P É')
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO LINEAR NA DIREÇÃO x DO PÉ');
ALFA12=[0.4769 0.0874 0.3633 -0.0665 0.0354 -0.0039 -0.0036 -0.0024 0.0030 1.4040];
for j=1:k;
A12=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))
0];
atx(j)=A12*ALFA12';
end;
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO LINEAR NA DIREÇÃO y DO PÉ');
ALFA10=[0.0913 -0.0377 -0.0041 0.0144 0.0001 -0.0034 0.0190 -0.0088 0.0028];
for j=1:k;
A10=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
aty(j)=A10*ALFA10';
end;
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR DO PÉ');
ALFA11=[5.5203 0.3244 0.4146 -0.2713 0.1579 0.0025 -0.0537 -0.0035 0.0566];
for j=1:k;
A11=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
ata(j)=A11*ALFA11';
end;

```



PROGRAMA 7

```

disp('Massas e momentos de inércia da coxa; perna e pé');
mc=8;
lc=0.14;
mp=3.72;
lp=0.064;
mt=1.16;
lt=0.01;
disp('Reações do solo Fh e Fv');
ALFA13=[1.9370 -3.3690 1.5236 -2.5481 -1.9380 0.5108 -2.4265 1.6615 -0.3656 0.6593
0.8209 -0.2246 0.5196 -0.2478 0.0182 -0.0409 -0.0681 0.0070 -0.0114]*10^3;
ALFA14=[-1.7611 4.3866 -1.3031 2.0821 3.0958 -1.6411 2.1551 -1.9656 -0.6603 -0.0948 -
1.3655 0.6244 -0.3542 0.2685 0.1417 0.0249 0.0920 -0.0072 0.0169]*10^3;
for j=1:k;
P13=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j)) sin(5*w*t(j)) cos(5*w*t(j)) sin(6*w*t(j)) cos(6*w*t(j))
sin(7*w*t(j)) cos(7*w*t(j)) sin(8*w*t(j)) cos(8*w*t(j)) sin(9*w*t(j)) cos(9*w*t(j))];
P14=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j)) sin(5*w*t(j)) cos(5*w*t(j)) sin(6*w*t(j)) cos(6*w*t(j))
sin(7*w*t(j)) cos(7*w*t(j)) sin(8*w*t(j)) cos(8*w*t(j)) sin(9*w*t(j)) cos(9*w*t(j))];
if rem(t(j),1.133)<=.701;
    Fh(j)=P13*ALFA13';
    Fv(j)=P14*ALFA14';
else Fh(j)=0;
    Fv(j)=0;
end;
end;

clear t
t(1)=0;
k=69;
for j=2:k;
    t(j)=t(j-1)+d;
end;

disp('Determinação das forças')
for j=1:k;
p=rem(j,68);
if p==0;
    z=68;
    p=68;
end;
z=p;
F3x(j)=mt*atx(j)-Fh(j);
F3y(j)=mt*(aty(j)+9.81)-Fv(j);
M3(j)=Fv(j)*(D(z)-CGTx(z))+Fh(j)*CGTy(j)-F3x(j)*(Cy(j)-CGTy(j))-F3y(j)*(CGTx(j)-
Cx(j))-It*ata(j);
F2x(j)=F3x(j)+mp*apx(j);
F2y(j)=F3y(j)+mp*(apy(j)+9.81);
M2(j)=M3(j)-F2x(j)*(By(j)-CGPy(j))-F3x(j)*(CGPy(j)-Cy(j))+F2y(j)*(Bx(j)-
CGPx(j))+F3y(j)*(CGPx(j)-Cx(j))-Ip*apa(j);

```

PROGRAMA 7

```

F1x(j)=F2x(j)+mc*acx(j);
F1y(j)=F2y(j)+mc*(acy(j)+9.81);
M1(j)=M2(j)-F1x(j)*(Ay(j)-CGCy(j))-F2x(j)*(CGCy(j)-By(j))-F1y(j)*(CGCx(j)-Ax(j))-
F2y(j)*(Bx(j)-CGCx(j))-Ic*aca(j);
end;
disp('Quer ver o grafico F1x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F1x - Força no quadril na direção x')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,F1x)
title('Força horizontal no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico F1y x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F1y - Força no quadril na direção y')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-F1y)
title('Força vertical no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico M1 x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('M1 - Momento no quadril na direção z')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-M1)
title('Momento no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('Nm')
end;
disp('Quer ver o grafico F2x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F2x - Força no joelho na direção x')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,F2x)
title('Força horizontal no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico F2y x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F2y - Força no joelho na direção y')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-F2y)
title('Força vertical no joelho')
xlabel('seg')

```



PROGRAMA 7

```

ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico M2x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('M2 - Momento no joelho na direção z')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-M2)
title('Momento no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('Nm')
end;
disp('Quer ver o grafico F3x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F3x - Força no calcanhar na direção x')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,F3x)
title('Força horizontal no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico F3y x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F3y - Força no calcanhar na direção y')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-F3y)
title('Força vertical no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico M3 x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('M3 - Momento no calcanhar na direção z')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,M3)
title('Momento no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('Nm')
end;

```

IMPRESSÃO DOS GRÁFICOS:

```

disp('FORÇA HORIZONTAL - X')
disp('Impressão dos gráficos de Força horizontal')
subplot(2,2,1);
plot(t,F1x)

```



PROGRAMA 7

```
title('Fx no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,2);
plot(t,F2x)
title('Fx no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,3);
plot(t,F3x)
title('Fx no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('N')
disp('FORÇA VERTICAL - Y')
disp('Impressão dos gráficos de Força vertical')
subplot(2,2,1);
plot(t,F1y)
title('Fx no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,2);
plot(t,F2y)
title('Fx no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,3);
plot(t,F3y)
title('Fx no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('N')
disp('MOMENTOS - Z')
disp('Impressão dos gráficos de Momentos')
subplot(2,2,1);
plot(t,F1x)
title('Fx no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,2);
plot(t,F2x)
title('Fx no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,3);
plot(t,F3x)
title('Fx no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('N')
```



PROGRAMA 7

IMPRESSÃO DOS GRÁFICOS:

```
disp('FORÇA HORIZONTAL E VERTICAL')
disp('Impressão dos gráficos de Força horizontal e vertical')
subplot(2,2,1);
plot(t,F1x,t,F1y)
title('Fx e Fy no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,2);
plot(t,F2x,t,F2y)
title('Fx e Fy no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
subplot(2,2,3);
plot(t,F3x,t,F3y)
title('Fx e Fy no calcanhar')
xlabel('seg')
ylabel('N')
```

```
disp('Impressão dos gráficos de Momentos')
subplot(2,2,1);
plot(t,-M1)
title('Momento no quadril')
xlabel('(seg)')
ylabel('(Nm)')
subplot(2,2,2);
plot(t,-M2)
title('Momento no joelho')
xlabel('(seg)')
ylabel('(Nm)')
subplot(2,2,3);
plot(t,-M3)
title('Momento no calcanhar')
xlabel('(seg)')
ylabel('(Nm)')
```

```
disp('FORÇA HORIZONTAL E VERTICAL/Kg-percentual de marcha')
disp('Impressão dos gráficos de Força horizontal e vertical')
subplot(2,2,1);
for j=1:k;
n(j)=(t(j)/1.2)*100;
end;
```



PROGRAMA 7

```

plot(n,F1x/80,n,-F1y/80)
title('Fx/Kg e Fy/Kg no quadril')
xlabel('%marcha')
ylabel('(N/Kg)')
subplot(2,2,2);
plot(n,F2x/80,n,-F2y/80)
title('Fx/Kg e Fy/Kg no joelho')
xlabel('%marcha')
ylabel('(N/Kg)')
subplot(2,2,3);
plot(n,F3x/80,n,-F3y/80)
title('Fx/Kg e Fy/Kg no tornozelo')
xlabel('%marcha')
ylabel('(N/Kg)')

```

```

disp('Impressão dos gráficos de Momentos/Kg-percentual de marcha')
subplot(2,2,1);
for j=1:k;
n(j)=(t(j)/1.2)*100;
end;
plot(n,-M1/80)
title('Momento no quadril')
xlabel('% marcha')
ylabel('(Nm/Kg)')
subplot(2,2,2);
plot(n,-M2/80)
title('Momento no joelho')
xlabel('% marcha')
ylabel('(Nm/Kg)')
subplot(2,2,3);
plot(n,-M3/80)
title('Momento no calcanhar')
xlabel('% marcha')
ylabel('(Nm/Kg)')

```

```

disp('Impressão dos gráficos de Momentos Ajuste X Winter')
subplot(2,2,1);
plot(t,-M1,tt,WQ)
title('Momento no quadril')
xlabel('(seg)')
ylabel('(Nm)')
subplot(2,2,2);
plot(t,-M2,tt,WJ)
title('Momento no joelho')
xlabel('(seg)')
ylabel('(Nm)')

```



PROGRAMA 7

```
subplot(2,2,3);  
plot(t,-M3,tt,WT)  
title('Momento no calcanhar')  
xlabel('(seg)')  
ylabel('(Nm)')
```

PROGRAMA 8: Transformada de vetor Excel x Matlab – programa 7

- Transformar vetor de posição-ordenadas x e y, de Excel para Matlab.
- Posições a; b; c; cg da coxa; cg da perna; cg do pé; posição de reação do solo.

```

clear Ax Ay Bx By Cx Cy D
clear CGCx CGCy CGPx CGPy CGTx CGTy
k=109;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO Ax');
for n=1:k;
Ax(1,n)=Amx(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO Bx');
for n=1:k;
Bx(1,n)=Bmx(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO Cx');
for n=1:k;
Cx(1,n)=Cmx(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO CGCx');
for n=1:k;
CGCx(1,n)=CGCmx(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO CGPx');
for n=1:k;
CGPx(1,n)=CGPmx(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO CGTx');
for n=1:k;
CGTx(1,n)=CGTmx(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO Ay');
for n=1:k;
Ay(1,n)=Amy(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO By');
for n=1:k;
By(1,n)=Bmy(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO Cy');
for n=1:k;
Cy(1,n)=Cmy(n,1)/100000;
end;
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO CGCy');
for n=1:k;
CGCy(1,n)=CGCmy(n,1)/100000;
end;

```

PROGRAMA 8

```
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO CGPy');  
for n=1:k;  
CGPy(1,n)=CGPmy(n,1)/100000;  
end;  
disp('Acerto do vetor POSIÇÃO CGTy');  
for n=1:k;  
CGTy(1,n)=CGTmy(n,1)/100000;  
end;  
disp('Acerto do vetor REAÇÃO DO SOLO');  
for n=1:k;  
D(1,n)=Dm(n,1)/100000;  
end;
```

CURVAS COM DADOS LEVANTADOS POR WINTER

```
disp('Acerto Winter-quadril');  
tt(1)=0;  
kk=73;  
for n=1:kk;  
WQ(1,n)=WQm(n,1)/100000;  
end;  
disp('Acerto Winter-jelho');  
for n=1:kk;  
WJ(1,n)=WJm(n,1)/100000;  
end;  
disp('Acerto Winter-calcanhar');  
for n=1:kk;  
WT(1,n)=WTm(n,1)/100000;  
end;  
for n=2:kk;  
tt(n)=tt(n-1)+1/60;  
end;
```



PROGRAMA 9: Ajuste de curva da junta do quadril – posição (y)

- Junta do quadril.
- Posição/velocidade/aceleração.
- Posição y - ajuste de curvas utilizando o método dos quadrados mínimos, tomando por base a posição.

```
clear t m d w x ALFA me de A B k tei tef Evalor Evalorv Evalora Ede C EC Cv ECv Ca ECa
disp('Com esse comando clear, não se apaga os vetores f');
disp('ENTRADA DE DADOS-matriz com dados de posição');
global f m
disp('curvas harmônicas');
disp('t(1) é o valor inicial de tempo');
t(1)=.050;
m=input('O valor da qtde de coeficientes da equação - utilize m com valor ímpar - m=');
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/30;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas do vetor posição');
disp('Esse vetor é do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=51;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Entre com o vetor f (posição de k colunas) no MATLAB');
disp('Esses valores de x é para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes ímpares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;
soma2=0;
```

PROGRAMA 9

```

for q=1:k;
ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
fa=f(q)*bb;
soma1=soma1+ba*bb;
soma2=soma2+fa;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFA=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
qualtempo=input('Você quer mudar os valores tei e tef?, digite 1 p/ qualtempo - qualtempo=');
if qualtempo==1;
tei=input('Entre com o tempo inicial da sua escolha tei=');
tef=input('Entre com o tempo final da sua escolha tef=');
end;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
C(j)=de;
end
s1=s1+1;
valor(s1)=C*ALFA;
tem(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;
y3=(j-rem(j,2))/2;
Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
EC(j)=Ede;
end
Evalor(i)=EC*ALFA;
end
somaqd=0;
somarms=0;
for i=1:k;
erro(i)=abs(((Evalor(i)-f(i))/f(i))*100);
desvioq=(Evalor(i)-f(i))^2;
somaqd=somaqd+desvioq;
somarms=somarms+Evalor(i)^2;

```

PROGRAMA 9

```

end
rms=sqrt(somarms/k);
drms=sqrt(somaqd/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x VELOCIDADE');
s2=0;
for tev=tei:.01:tef;
Cv(1)=0;
for j=2:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
Cv(j)=dev;
end
s2=s2+1;
valorv(s2)=Cv*ALFA;
temv(s2)=tev;
end
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
s3=0;
for tea=tei:.01:tef;
Ca(1)=0;
for j=2:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
Ca(j)=dea;
end
s3=s3+1;
valora(s3)=Ca*ALFA;
tema(s3)=tea;
end
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tem,valor)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(temv,valorv)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tema,valora)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erro

```



PROGRAMA 9

```
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erro)
disp('A soma dos quadrados dos desvios=')
somaqd
disp('Valor eficaz')
rms
disp('Desvio-valor eficaz')
drms
end;
disp('ENTRADA T - SAIDA POSIÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a posicao relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
Ce(1)=1;
for j=2:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
dee=sin(y2*w*tee)*x(j)+cos(y2*w*tee)*(x(j)-1)^2;
Ce(j)=dee;
end
posicaot=Ce*ALFA
escolha=('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
```



PROGRAMA 10: Transformada de vetor Excel x Matlab – programas 9 e 11

```

k=51;
disp('Acerto do vetor posição');
for n=1:k;
f(1,n)=F(2*n-1,1)/100000;
end;

```

PROGRAMA 11: Ajuste de curva da junta do quadril – posição (x)

- Junta do quadril.
- Posição-velocidade-aceleração.
- Posição x - ajuste de curvas utilizando o método dos quadrados mínimos, tomando por base a posição.

```
clear t m d w x ALFA me de A B k tei tef Evalor C EC CV ECv CA ECa
disp('Com esse comando clear, não se apaga os vetores f');
disp('ENTRADA DE DADOS-matriz com dados de posição; velocidade e aceleração');
disp('curvas harmônicas');
disp('t(1) é o valor inicial de tempo');
t(1)=.05;
m=input('O valor da qtde de coeficientes da equação - utilize m com valor par - m=');
disp('d = incremento de tempo ');
d=1/30;
disp('Entre com o valor da frequência fundamental para cada caso');
disp('w = frequência fundamental*2*pi');
w=5.544;
disp('k = quantidade de dados de entrada-numero de colunas do vetor posição');
disp('Esses vetores são do tipo 1 linha x k colunas');
disp('Entre com o numero de colunas');
k=51;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Entre com o vetor f (posição de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor g (velocidade de k colunas) no MATLAB');
disp('Entre com o vetor hm (aceleração de k colunas) no MATLAB');
disp('Esses valores de x é para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes impares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;
soma2=0;
```


PROGRAMA 11

```

for q=1:k;
    if h~=m;
        ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
    else ba=t(q);
    end;
    if j~=m;
        bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
    else bb=t(q);
    end
    fa=f(q)*bb;
    soma1=soma1+ba*bb;
    soma2=soma2+fa;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFA=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
qualtempo=input('Você quer mudar os valores tei e tef?, digite 1 p/ qualtempo - qualtempo=');
if qualtempo==1;
    tei=input('Entre com o tempo inicial da sua escolha tei=');
    tef=input('Entre com o tempo final da sua escolha tef=');
end;
for te=tei:.01:tef;
    for j=1:m;
        if j~=m;
            y2=(j-rem(j,2))/2;
            de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
        else de=te;
        end
        C(j)=de;
    end
    s1=s1+1;
    valor(s1)=C*ALFA;
    tem(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
    for j=1:m;
        y3=(j-rem(j,2))/2;
        if j~=m
            Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
        else Ede=t(i);
    end
end

```

PROGRAMA 11

```

end;
EC(j)=Ede;
end
Evalor(i)=EC*ALFA;
end
somaqd=0;
somarms=0;
for i=1:k;
erro(i)=abs(((Evalor(i)-f(i))/f(i))*100);
somaqd=somaqd+(Evalor(i)-f(i))^2;
somarms=somarms+Evalor(i)^2;
end
rms=sqrt(somarms/k);
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x VELOCIDADE');
s2=0;
for tev=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
else dev=1;
end
CV(j)=dev;
end
s2=s2+1;
valorv(s2)=CV*ALFA;
temv(s2)=tev;
end
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x ACELERAÇÃO');
s3=0;
for tea=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
else dea=0;
end
CA(j)=dea;
end
s3=s3+1;
valora(s3)=CA*ALFA;
tema(s3)=tea;
end
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tem,valor)

```

PROGRAMA 11

```

end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x VELOCIDADE? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(temv,valorv)
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x ACELERAÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(tema,valora)
end;
disp('Quer ver a matriz de ERRO TEMPO x POSIÇÃO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
erro
disp('O maior erro encontrado foi:')
max(erro)
disp('Soma dos quadrados dos desvios')
somaqd
disp('valor eficaz')
rms
disp('Desvio-valor eficaz')
sqrt(somaqd/k)
end;
disp('ENTRADA T - SAIDA POSIÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a posicao relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dee=sin(y2*w*tee)*x(j)+cos(y2*w*tee)*(x(j)-1)^2;
else dee=tee;
end;
Ce(j)=dee;
end
posicaot=Ce*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA VELOCIDADE');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a velocidade relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1

```


PROGRAMA 11

```

tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y4=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dev=(y4*w)*cos(y4*w*tev)*x(j)-(y4*w)*sin(y4*w*tev)*(x(j)-1)^2;
else dev=1;
end;
Cev(j)=dev;
end
velocidadet=Cev*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end
disp('ENTRADA T - SAIDA ACELERAÇÃO');
disp('Caso queira entrar com o valor de t qualquer para obter a aceleração relativa digite
escolha=1');
disp('Caso nao queira passar por essa etapa digite outro valor');
escolha=input('A escolha=');
while escolha==1
tee=input('entre com o tempo, tee=');
for j=1:m;
y6=(j-rem(j,2))/2;
if j~=m;
dea=-(y6*w)^2*sin(y6*w*tea)*x(j)-(y6*w)^2*cos(y6*w*tea)*(x(j)-1)^2;
else dea=0;
end;
Cea(j)=dea;
end
aceleracaot=Cea*ALFA
escolha=input('Quer continuar digite escolha=1; caso negativo digite outro valor');
end

```



PROGRAMA 12: Lado da prótese: Determinação de forças e torques

- Prótese – determinação de forças, momentos, posições, velocidades, acelerações e inclinações .

```
clear A5 TETAPC TETAC M aM B1 B2 B3 TETA1 TETA2 TETA3 A5d A5dd TETA1d
TETA1dd
clear x TETAjoelho TETAcoxa valorjoelho valormjoelho valorcoxa valormcoxa tempjoelho
clear tempcoxa tempc valorpc valormpc pxQ pyQ vxQ vyQ axQ ayQ pxcgC pycgC vxcgC
vycgC
clear axcgC aycgC angci angf pxrci braco hip
disp('*****PARTE 1 - ÂNGULOS DOS REFERENCIAIS 1, 2 E 3 E SUAS
DERIVADAS*****');
disp('DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO RELATIVO ENTRE A PERNA E A COXA')
disp('Inclinação da perna em relação a coxa');
disp('Essa inclinação é dada por ALFA5-ALFA8');
ALFA58=[0.4272 -.2990 -.0944 .1852 -.2392 .0568 .0165 .0019 -.0168]';
ALFA5=[4.8548 -0.0653 0.3329 0.0084 -0.0700 0.0253 0.0049 -0.0003 -0.0043]';
disp('tempo inicial');
t(1)=0;
disp('incremento de tempo');
d=1/60;
disp('frequência da caminhada');
w=5.544;
disp('k é o número de elementos do vetor');
k=109;
disp('m é o número de coeficientes dada expressão harmônica');
m=9;
disp('Entrada do vetor posição de aplicação das reações do solo');
D=[0.7639 0.7713 0.7786 0.7860 0.8051 0.8118 0.8209 0.8300 0.8409 0.8477 0.8563 0.8665
0.8762 0.8897 0.9078 0.9203 0.9351 0.9478 0.9616 0.9681 0.9758 0.9803 0.9846 0.9898
0.9897 0.9960 0.9988 1.0057 1.0065 1.0097 1.0160 1.0185 1.0235 1.0293 1.0325 1.0388
1.0439 1.0485 1.0589 1.0674 1.0700 1.0729 1.0910 1.1090 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0.7639 0.7713 0.7786 0.7860 0.8051 0.8118 0.8209 0.8300 0.8409 0.8477 0.8563
0.8665 0.8762 0.8897 0.9078 0.9203 0.9351 0.9478 0.9616 0.9681 0.9758 0.9803 0.9846
0.9898 0.9897 0.9960 0.9988 1.0057 1.0065 1.0097 1.0160 1.0185 1.0235 1.0293 1.0325
1.0388 1.0439 1.0485 1.0589 1.0674 1.0700];
for j=2:109;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Ângulo de flexão do joelho e da coxa');
```

PROGRAMA 12

```

for j=1:109;
P5=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j))];
TETAjoelho(j)=P5*ALFA58;
TETAcoxa(j)=P5*ALFA5;
TETAC(j)=P5*ALFA5;
end;
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO de flexão do joelho e da coxa');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
CZ(j)=de;
end
s1=s1+1;
valorjoelho(s1)=CZ*ALFA58;
valorcoxa(s1)=CZ*ALFA5;
tempjoelho(s1)=te;
tempcoxa(s1)=te;
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO de flexão do joelho? escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
valormjoelho=valorjoelho*180/pi;
plot(tempjoelho,valormjoelho);
title('Flexão do joelho')
xlabel('seg')
ylabel('graus')
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO de flexão da coxa? escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
valormcoxa=valorcoxa*180/pi;
plot(tempcoxa,valormcoxa);
title('Flexão da coxa')
xlabel('seg')
ylabel('graus')
end;
disp('O ângulo TETAPC equivale a flexão da prótese');
for j=1:109;
P5=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j))];
if rem(t(j),1.133)<.481;
TETAPC(j)=0;

```


PROGRAMA 12

```

elseif rem(t(j),1.133)>.481 & rem(t(j),1.133)<.581;
TETAPC(j)=21*(rem(t(j),1.133)-.48)^2;
elseif rem(t(j),1.133)>1.018 & rem(t(j),1.133)<1.133;
TETAPC(j)=19.2*(rem(t(j),1.133)-1.133)^2;
else TETAPC(j)=P5*ALFA58;
end;
end;
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO de flexão da prótese');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
CZ(j)=de;
end
s1=s1+1;
if rem(te,1.133)<.481;
valorpc(s1)=0;
elseif rem(te,1.133)>.481 & rem(te,1.133)<.581;
valorpc(s1)=21*(rem(te,1.133)-.48)^2;
elseif rem(te,1.133)>1.015 & rem(te,1.133)<1.133;
valorpc(s1)=19.2*(rem(te,1.133)-1.133)^2;
else valorpc(s1)=CZ*ALFA58;
end;
tempc(s1)=te;
end;
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO DA FLEXÃO DA PRÓTESE? DIGITE
escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
valormpc=valorpc*180/pi;
plot(tempc,-valormpc);
title('Flexão da prótese')
xlabel('seg')
ylabel('graus')
end;
disp('DETERMINAÇÃO DOS ÂNGULOS RELATIVOS DA PRÓTESE B1, B2 e B3');
disp('B1+B2=9.9987 PARA PERNA NÃO FLEXIONADA');
B11=5.1;
for j=1:109;
TK=9.9987-TETAPC(j);
amenor=100;
angulo=0;
for i=1:230;
b1=B11-i*.005;

```

PROGRAMA 12

```

AA=cos(b1)+.4037;
BB=sin(b1)+.4129;
aa=0.8894;
CC=(1-AA^2-BB^2-aa^2)/(2*aa);
M=AA*cos(TK)+BB*sin(TK)-CC;
aM=abs(M);
if aM<amenor;
amenor=aM;
angulo=b1;
end;
end;
if rem(t(j),1.133)<.481;
    B1(j)=5.0896;
    else B1(j)=angulo;
end;
B2(j)=TK-B1(j);
bt31=acos((35*cos(B1(j))+31.13*cos(B1(j)+B2(j))+14.13)/35);
bt32=asin((35*sin(B1(j))+31.13*sin(B1(j)+B2(j))+14.45)/35);
if sin(bt31)/sin(bt32)>0;
B3(j)=bt31;
else B3(j)=2*pi-bt31;
end;
end;
disp('ANGULO DOS REFERENCIAIS 1; 2 E 3');
disp('TRANSFORMAÇÃO DO ANGULO B1 EM TETA2');
TETA2=pi/2+B1;
TETA3=B2;
TETA1=TETAC;
disp('Ajuste das curvas para os ângulos TETA1, TETA2 e TETA3');
disp('Ângulo TETA1 - já ajustado');
for j=1:109;
V5=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j))];
A5=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
TETA1d(j)=V5*ALFA5;
TETA1dd(j)=A5*ALFA5;
end;
disp('Ângulo TETA2 -Ajuste');
clear a b x A B C EC2 valor2 tem2 erro2 Evalor2
m=9;
disp('Esses valores de x são para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes ímpares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;

```



PROGRAMA 12

```

p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;
soma2=0;
for q=1:k;
ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
TETA2a=TETA2(q)*bb;
soma1=soma1+ba*bb;
soma2=soma2+TETA2a;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFATETA2=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef é o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
C(j)=de;
end
s1=s1+1;
valor2(s1)=C*ALFATETA2;
tem2(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;
y3=(j-rem(j,2))/2;
Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
EC2(j)=Ede;
end
Evalor2(i)=EC2*ALFATETA2;
end

```


PROGRAMA 12

```

somaqd2=0;
somarms2=0;
for i=1:k;
erro2(i)=abs(((Evalor2(i)-TETA2(i))/TETA2(i))*100);
somaqd2=somaqd2+(Evalor2(i)-TETA2(i))^2;
somarms2=somarms2+Evalor2(i)^2;
end
rms2=sqrt(somarms2/k);
disp('Quer ver o grafico TEMPO x POSIÇÃO do ângulo TETA2-referencial 2? DIGITE
escolha=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
valorm2=valor2*180/pi;
plot(tem2,valorm2);
title('Angulo do referencial 2 em rel. ao ref. 1')
xlabel('seg')
ylabel('graus')
end;
for j=1:109;
ATETA2d=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j))];
ATETA2dd=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -
4*w^2*cos(2*w*t(j)) -9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -
16*w^2*cos(4*w*t(j))];
TETA2d(j)=ATETA2d*ALFATETA2;
TETA2dd(j)=ATETA2dd*ALFATETA2;
end;
disp('Ângulo TETA3 -Ajuste');
clear a b x A B C EC3 valor3 tem3 erro3 Evalor3
m=9;
disp('Esses valores de x são para a construção da equação harmônica');
disp('Esse valor x, assume valor 0 (zero) para componentes pares da expressão');
disp('Esse valor x, assume valor 1 (um) para componentes impares da expressão');
for j=1:k;
v=j-1;
r=rem(v,2);
if r==0;
p=0;
else p=1;
end;
x(j)=p;
end
disp('Determinação dos valores a(i,j) e b(i,:)');
for j=1:m;
y1=(j-rem(j,2))/2;
for h=1:m;
z1=(h-rem(h,2))/2;
soma1=0;

```

PROGRAMA 12

```

soma2=0;
for q=1:k;
ba=sin(z1*w*t(q))*x(h)+cos(z1*w*t(q))*(x(h)-1)^2;
bb=sin(y1*w*t(q))*x(j)+cos(y1*w*t(q))*(x(j)-1)^2;
TETA3a=TETA3(q)*bb;
soma1=soma1+ba*bb;
soma2=soma2+TETA3a;
end;
A(j,h)=soma1;
B(j)=soma2;
end;
end;
ALFATETA3=inv(A)*B';
disp('Definição do gráfico com a curva TEMPO x POSIÇÃO');
s1=0;
disp('tei é o valor inicial e tef e o valor final para plotar o gráfico');
tei=0;
tef=1.8;
for te=tei:.01:tef;
for j=1:m;
y2=(j-rem(j,2))/2;
de=sin(y2*w*te)*x(j)+cos(y2*w*te)*(x(j)-1)^2;
C(j)=de;
end
s1=s1+1;
valor3(s1)=C*ALFATETA3;
tem3(s1)=te;
end
disp('Definição do erro do ajuste da curva TEMPO x POSIÇÃO');
for i=1:k;
for j=1:m;
y3=(j-rem(j,2))/2;
Ede=sin(y3*w*t(i))*x(j)+cos(y3*w*t(i))*(x(j)-1)^2;
EC3(j)=Ede;
end
Evalor3(i)=EC3*ALFATETA3;
end
somaqd3=0;
somarms3=0;
for i=1:k;
erro3(i)=abs(((Evalor3(i)-TETA3(i))/TETA3(i))*100);
somaqd3=somaqd3+(Evalor3(i)-TETA3(i))^2;
somarms3=somarms3+Evalor3(i)^2;
end
rms3=sqrt(somarms3/k);
disp('Quer ver o gráfico TEMPO x POSIÇÃO do ângulo TETA3-referencial 3? DIGITE
escolha=1');
escolha=input('A escolha=');

```

PROGRAMA 12

```

if escolha==1;
valorm3=valor3*180/pi;
plot(tem3,valorm3);
title('Angulo do referencial 3 em rel. ao ref. 2')
xlabel('seg')
ylabel('graus')
end;
for j=1:109;
ATETA3d=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j))];
ATETA3dd=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -
4*w^2*cos(2*w*t(j)) -9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -
16*w^2*cos(4*w*t(j))];
TETA3d(j)=ATETA3d*ALFATETA3;
TETA3dd(j)=ATETA3dd*ALFATETA3;
end;
disp('*****PARTE 2 - POSIÇÃO/VELOCIDADE/ACELERAÇÃO DA JUNTA DO
QUADRIL*****');
disp('a posição do quadril (pyq e pxq) é o vetor R10');
ALFA15=[0.9343 0.0037 -0.0025 -0.0159 -0.0082 -0.0013 -0.0062 0.0008 0.0009]';
ALFA16=[0.4505 0.0033 0.0273 0.0129 -0.0177 0.0007 -0.0004 0.0007 -0.0030 1.4018]';
for j=1:109;
P15=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j))];
V15=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j))];
A15=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
P16=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j)) t(j)];
V16=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j)) 1];
A16=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))
0];
pyq(j)=P15*ALFA15;
vyq(j)=V15*ALFA15;
ayq(j)=A15*ALFA15;
pxq(j)=P16*ALFA16;
vxq(j)=V16*ALFA16;
axq(j)=A16*ALFA16;
end;
disp('*****PARTE 3 - POSIÇÃO/VELOCIDADE/ACELERAÇÃO DO CG DA
COXA*****');
ALFA4=[0.7658 0.0006 0.0046 -0.0136 -0.0076 0.0019 -0.0075 0.0009 0.0013]';
ALFA6=[0.4982 -0.0097 0.0845 0.0175 -0.0274 0.0047 0.0005 0.0005 -0.0028 1.4016]';
for j=1:109;

```


PROGRAMA 12

```

P4=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j))];
V4=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j))];
A4=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
P6=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j)) t(j)];
V6=[0 w*cos(w*t(j)) -w*sin(w*t(j)) 2*w*cos(2*w*t(j)) -2*w*sin(2*w*t(j))
3*w*cos(3*w*t(j)) -3*w*sin(3*w*t(j)) 4*w*cos(4*w*t(j)) -4*w*sin(4*w*t(j)) 1];
A6=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))
0];
pxcgc(j)=P6*ALFA6;
vxcgc(j)=V6*ALFA6;
axcgc(j)=A6*ALFA6;
pycgc(j)=P4*ALFA4;
vycgc(j)=V4*ALFA4;
aycgc(j)=A4*ALFA4;
end;
disp('*****PARTE 4 - DETERMINAÇÃO DO VETOR R21 E SUAS
DERIVADAS*****');
disp('posição do referencial 2 em relação ao 1');
R21=[.4098;-.0007];
R21d=0;
R21dd=0;
disp('*****PARTE 5 - POSIÇÃO/VELOCIDADE/ACELERAÇÃO DO
REFERENCIAL 2*****');
disp('Posição/velocidade/aceleração absoluta do referencial 2');
for j=1:109;
A1=[cos(TETA1(j)) -sin(TETA1(j));sin(TETA1(j)) cos(TETA1(j))];
A1d=TETA1d(j)*[-sin(TETA1(j)) -cos(TETA1(j));cos(TETA1(j)) -sin(TETA1(j))];
A1dd=TETA1dd(j)*[-sin(TETA1(j)) -cos(TETA1(j));cos(TETA1(j)) -
sin(TETA1(j))]+(TETA1d(j)^2)*[-cos(TETA1(j)) sin(TETA1(j));-sin(TETA1(j)) -
cos(TETA1(j))];
R20=[pxq(j);pyq(j)]+A1*R21;
R20d=[vxq(j);vyq(j)]+A1d*R21;
R20dd=[axq(j);ayq(j)]+A1dd*R21;
px2(j)=R20(1,1);
py2(j)=R20(2,1);
vx2(j)=R20d(1,1);
vy2(j)=R20d(2,1);
ax2(j)=R20dd(1,1);
ay2(j)=R20dd(2,1);
end;
disp('*****PARTE 6 - POSIÇÃO DOS CENTROS INSTANTÂNEOS DE
ROTAÇÃO*****');
disp('Vamos determinar primeiro a posição do CI em relação ao referencial 2');

```

PROGRAMA 12

```

for j=1:109;
Rci2(j)=(-14.45+14.13*tan(B3(j)))/(sin(B1(j))-tan(B3(j))*cos(B1(j)))/1000;
end;
for j=1:109;
A1=[cos(TETA1(j)) -sin(TETA1(j));sin(TETA1(j)) cos(TETA1(j))];
TETA21=TETA2(j)-TETA1(j);
A2=[cos(TETA21) -sin(TETA21);sin(TETA21) cos(TETA21)];
RCI=[pxq(j);pyq(j)]+A1*R21+A1*A2*[Rci2(j);0];
pxci(j)=RCI(1,1);
pyci(j)=RCI(2,1);
end;
disp('*****PARTE 7 - DETERMINAÇÃO DO VETOR R32 E SUAS
DERIVADAS*****');
R32=[.035;0];
R32d=0;
R32dd=0;
disp('*****PARTE 8 - DETERMINAÇÃO DO VETOR R43 E SUAS
DERIVADAS*****');
disp('Vetor R43 - representa a posição do CG da parte inferior em relação ao ref. 3');
R43=[.24248;-.00233];
R43d=0;
R43dd=0;
disp('*****PARTE 9 - DETERMINAÇÃO DO CG DA PARTE INFERIOR E SUAS
DERIVADAS*****');
for j=1:109;
ZTETA1=TETA1(j);
ZTETA1d=TETA1d(j);
ZTETA1dd=TETA1dd(j);
ZTETA2=TETA2(j);
ZTETA2d=TETA2d(j);
ZTETA2dd=TETA2dd(j);
ZTETA3=TETA3(j);
ZTETA3d=TETA3d(j);
ZTETA3dd=TETA3dd(j);
A1=[cos(ZTETA1) -sin(ZTETA1);sin(ZTETA1) cos(ZTETA1)];
A2=[cos(ZTETA2) -sin(ZTETA2);sin(ZTETA2) cos(ZTETA2)];
A3=[cos(ZTETA3) -sin(ZTETA3);sin(ZTETA3) cos(ZTETA3)];
A1d=ZTETA1d*[-sin(ZTETA1) -cos(ZTETA1);cos(ZTETA1) -sin(ZTETA1)];
A1dd=ZTETA1dd*[-sin(ZTETA1) -cos(ZTETA1);cos(ZTETA1) -
sin(ZTETA1)]+(ZTETA1d^2)*[-cos(ZTETA1) sin(ZTETA1);-sin(ZTETA1) -cos(ZTETA1)];
A2d=ZTETA2d*[-sin(ZTETA2) -cos(ZTETA2);cos(ZTETA2) -sin(ZTETA2)];
A2dd=ZTETA2dd*[-sin(ZTETA2) -cos(ZTETA2);cos(ZTETA2) -
sin(ZTETA2)]+(ZTETA2d^2)*[-cos(ZTETA2) sin(ZTETA2);-sin(ZTETA2) -cos(ZTETA2)];
A3d=ZTETA3d*[-sin(ZTETA3) -cos(ZTETA3);cos(ZTETA3) -sin(ZTETA3)];
A3dd=ZTETA3dd*[-sin(ZTETA3) -cos(ZTETA3);cos(ZTETA3) -
sin(ZTETA3)]+(ZTETA3d^2)*[-cos(ZTETA3) sin(ZTETA3);-sin(ZTETA3) -cos(ZTETA3)];
Rcg=[pxq(j);pyq(j)]+A1*R21+A1*A2*R32+A1*A2*A3*R43;

```


PROGRAMA 12

```

Rcgd=[vxq(j);vyq(j)]+A1d*R21+A1d*A2*R32+A1*A2d*R32+A1d*A2*A3*R43+A1*A2d*
A3*R43+A1*A2*A3d*R43;
Rcgdd=[axq(j);ayq(j)]+A1dd*R21+A1dd*A2*R32+A1*A2dd*R32+2*A1d*A2d*R32+A1dd
*A2*A3*R43+A1*A2dd*A3*R43+A1*A2*A3dd*R43+2*A1d*A2d*A3*R43+2*A1d*A2*
A3d*R43+A1*A2d*A3d*R43;
pxcg(j)=Rcg(1,1);
pycg(j)=Rcg(2,1);
vxcg(j)=Rcgd(1,1);
vycg(j)=Rcgd(2,1);
axcg(j)=Rcgdd(1,1);
aycg(j)=Rcgdd(2,1);
end;
disp('*****PARTE 10 - DETERMINAÇÃO DAS POSIÇÕES DA PONTA DO
PÉ*****');
for j=1:109;
Rp1=[0.168;0.509];
Rp2=[0.171;0.509];
Rp3=[0.177;0.506];
ZTETA1=TETA1(j);
ZTETA2=TETA2(j);
ZTETA3=TETA3(j);
A1=[cos(ZTETA1) -sin(ZTETA1);sin(ZTETA1) cos(ZTETA1)];
A2=[cos(ZTETA2) -sin(ZTETA2);sin(ZTETA2) cos(ZTETA2)];
A3=[cos(ZTETA3) -sin(ZTETA3);sin(ZTETA3) cos(ZTETA3)];
Rp1g=[pxq(j);pyq(j)]+A1*R21+A1*A2*R32+A1*A2*A3*Rp1;
Rp1gx(j)=Rp1g(1,1);
Rp1gy(j)=Rp1g(2,1);
Rp2g=[pxq(j);pyq(j)]+A1*R21+A1*A2*R32+A1*A2*A3*Rp2;
Rp2gx(j)=Rp2g(1,1);
Rp2gy(j)=Rp2g(2,1);
Rp3g=[pxq(j);pyq(j)]+A1*R21+A1*A2*R32+A1*A2*A3*Rp3;
Rp3gx(j)=Rp3g(1,1);
Rp3gy(j)=Rp3g(2,1);
end;
disp('Quer ver o grafico POSIÇÕES DO PÉ x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,Rp1gy*1000,t,Rp2gy*1000,t,Rp3gy*1000);
title('Posição da ponta do pé')
xlabel('seg')
ylabel('mm')
end;
disp('*****PARTE 11 - DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS E TORQUES
ATUANTES NA PRÓTESE E NO QUADRIL*****');
clear ALFA4 ALFA6 ALFA7 ALFA8 ALFA9 ALFA10 ALFA11 ALFA12 ALFA13
ALFA14
clear A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11 A12 A13 A14
clear acx acy aca apx apy apa atx aty ata Fv Fh z p

```



PROGRAMA 12

```

clear F1x F1y M1 F2x F2y M2 F3x F3y M3
disp('Definir vetores das posições dos pontos A; B e C');
disp('Utilize o programa 11 para transformação da planilha Excel x Matlab');
disp('Todas posições em metros, conforme S.I.');
```

*****C O X A*****

```

disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR DA COXA');
for j=1:k;
A5=[0 -w^2*sin(w*t(j)) -w^2*cos(w*t(j)) -4*w^2*sin(2*w*t(j)) -4*w^2*cos(2*w*t(j)) -
9*w^2*sin(3*w*t(j)) -9*w^2*cos(3*w*t(j)) -16*w^2*sin(4*w*t(j)) -16*w^2*cos(4*w*t(j))];
aacgc(j)=A5*ALFA5;
end;
disp('*****PRÓTESE*****')
disp('DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR DA PRÓTESE');
ALFATOTAL=ALFA5+ALFATETA2+ALFATETA3;
for j=1:k;
aacg(j)=A5*ALFATOTAL;
end;
disp('Massas e momentos de inércia da coxa; prótese');
mc=8;
Ic=0.14;
mp=1.82;
Ip=0.063;
disp('Reações do solo Fh e Fv');
```

ALFA13=[1.9370 -3.3690 1.5236 -2.5481 -1.9380 0.5108 -2.4265 1.6615 -0.3656 0.6593
0.8209 -0.2246 0.5196 -0.2478 0.0182 -0.0409 -0.0681 0.0070 -0.0114]*10^3;

ALFA14=[-1.7611 4.3866 -1.3031 2.0821 3.0958 -1.6411 2.1551 -1.9656 -0.6603 -0.0948 -
1.3655 0.6244 -0.3542 0.2685 0.1417 0.0249 0.0920 -0.0072 0.0169]*10^3;

```

for j=1:k;
P13=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j)) sin(5*w*t(j)) cos(5*w*t(j)) sin(6*w*t(j)) cos(6*w*t(j))
sin(7*w*t(j)) cos(7*w*t(j)) sin(8*w*t(j)) cos(8*w*t(j)) sin(9*w*t(j)) cos(9*w*t(j))];
P14=[1 sin(w*t(j)) cos(w*t(j)) sin(2*w*t(j)) cos(2*w*t(j)) sin(3*w*t(j)) cos(3*w*t(j))
sin(4*w*t(j)) cos(4*w*t(j)) sin(5*w*t(j)) cos(5*w*t(j)) sin(6*w*t(j)) cos(6*w*t(j))
sin(7*w*t(j)) cos(7*w*t(j)) sin(8*w*t(j)) cos(8*w*t(j)) sin(9*w*t(j)) cos(9*w*t(j))];
if rem(t(j),1.133)<=.701;
Fh(j)=P13*ALFA13';
Fv(j)=P14*ALFA14';
else Fh(j)=0;
Fv(j)=0;
end;
end;
clear t
t(1)=0;
k=69;
for j=2:k;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
disp('Determinação das forças')
```

PROGRAMA 12

```

for j=1:k;
p=rem(j,68);
    if p==0;
        z=68;
        p=68;
    end;
z=p;
F2x(j)=mp*axcg(j)-Fh(j);
F2y(j)=Fv(j)-mp*(aycg(j)+9.81);
M2(j)=Fv(j)*(D(z)-pxcg(z))+Fh(j)*pycg(j)-F2x(j)*(pyci(j)-pycg(j))-F2y(j)*(pxci(j)-pxcg(j))-
Ip*aacg(j);
F1x(j)=F2x(j)+mc*axcgc(j);
F1y(j)=F2y(j)-mc*(aycgc(j)+9.81);
M1(j)=M2(j)-F1x(j)*(pyq(j)-pycgc(j))-F2x(j)*(pycgc(j)-pyci(j))+F1y(j)*(pxcgc(j)-
pxq(j))+F2y(j)*(pxci(j)-pxcgc(j))-Ic*aacgc(j);
end;
disp('Quer ver o grafico F1x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F1x - Força no quadril na direção x')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,F1x)
title('Força horizontal no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico F1y x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F1y - Força no quadril na direção y')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-F1y)
title('Força vertical no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico M1 x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('M1 - Momento no quadril na direção z')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,M1)
title('Momento no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('Nm')
end;
disp('Quer ver o grafico F2x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F2x - Força no joelho na direção x')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,F2x)

```



PROGRAMA 12

```

title('Força horizontal no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico F2y x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('F2y - Força no joelho na direção y')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,-F2y)
title('Força vertical no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('N')
end;
disp('Quer ver o grafico M2x x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('M2 - Momento no joelho na direção z')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,M2)
title('Momento no joelho')
xlabel('seg')
ylabel('Nm')
end;
disp('*****PARTE 12 - POSIÇÃO DOS CENTROS INSTANTÂNEOS EM
RELAÇÃO A LINHA DE FORÇA*****');
clear t tetapc
for j=2:44;
t(1)=0;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
for j=1:44;
angp=atan(abs(Fh(j)/Fv(j)));
if Fh(j)/Fv(j)<0;
angf(j)=pi/2+angp;
else angf(j)=pi/2-angp;
end;
pxrcip=pxci(j)-D(j);
pxrci(j)=pxrcip;
angpp=atan(abs(pxrci(j)/pyci(j)));
if pxrci(j)/pyci(j)<0;
angci(j)=pi/2+angpp;
else angci(j)=pi/2-angpp;
end;
end;
disp('Vamos calcular o braço de força no joelho');
for j=1:44;
tetapcp=TETAPC(j);
tetapc(j)=tetapcp;
hipp=sqrt(pxrci(j)^2+pyci(j)^2);

```


PROGRAMA 12

```

hip(j)=hipp;
bracop=hip(j)*sin(angci(j)-angf(j));
braco(j)=bracop;
end;
disp('Quer ver o grafico Braço x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('braço de alavanca - positivo-trava o joelho e negativo-flete o joelho')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,braco*1000);
title('Braço de alavanca');
xlabel('seg');
ylabel('mm');
end;
disp('Quer ver o grafico Angulos do ci e da força x TEMPO? DIGITE ESCOLHA=1');
disp('Angulos do ci e da reação da força')
escolha=input('A escolha=');
if escolha==1;
plot(t,angci*180/pi,t,angf*180/pi,t,tetapc*180/pi);
title('Angulos');
xlabel('seg');
ylabel('graus');
end;

```

IMPRESSÃO DOS GRÁFICOS:

```

disp('*****GRÁFICO 1*****');
disp('FORÇA HORIZONTAL E VERTICAL')
disp('Impressão dos gráficos de Força horizontal e vertical')
clear t
t(1)=0;
for j=2:69;
t(j)=t(j-1)+d;
end;
subplot(2,2,1);
plot(p,F1x,p,F1y)
title('Fx e Fy no quadril')
xlabel('seg')
ylabel('(N)')
subplot(2,2,2);
plot(p,F2x,p,F2y)
title('Fx e Fy na prótese de joelho')
xlabel('seg')
ylabel('(N)')

```

```

disp('*****GRÁFICO 2*****');
disp('FORÇA HORIZONTAL/Kg E VERTICAL/Kg')
disp('Impressão dos gráficos de Força horizontal e vertical')

```

PROGRAMA 12

```

clear t
t(1)=0;
for j=2:69;
t(j)=t(j-1)+d;
tempo=t(j);
p(j)=(tempo*100)/(68/60);
end;
subplot(2,2,1);
plot(p,F1x/80,p,F1y/80)
title('Fx/Kg e Fy/Kg no quadril')
xlabel('%marcha')
ylabel('(N/Kg)')
subplot(2,2,2);
plot(p,F2x/80,p,F2y/80)
title('Fx/Kg e Fy/Kg na prótese de joelho')
xlabel('%marcha')
ylabel('(N/Kg)')

disp('*****GRÁFICO 3*****');
disp('Ângulo do CI x reação do solo x inclinação da haste anterior')
disp('Impressão dos gráficos de ângulos')
clear t angcix angfx haste p px
tx(1)=0;
for j=2:69;
tx(j)=tx(j-1)+d;
tempox=tx(j);
px(j)=(tempox*100)/(68/60);
B1xx=B1(j)-5.0896;
haste(j)=B1xx;
end;
for j=1:44;
t(j)=(j-1)*d;
tempo=t(j);
p(j)=(tempo*100)/(68/60);
anguloci=angci(j);
angulof=angf(j);
angcix(j)=anguloci;
angfx(j)=angulof;
end;
plot(p,angcix*180/pi,p,angfx*180/pi,p,(angcix-angfx)*180/pi,px,haste*180/pi);
title('Ângulos');
xlabel('seg');
ylabel('graus');

disp('*****GRÁFICO 4*****');
disp('Braço de momento da reação do solo')
disp('Impressão do braço de momento')
clear t tempo p

```



PROGRAMA 12

```

for j=1:44;
t(j)=(j-1)*d;
tempo=t(j);
p(j)=(tempo*100)/(68/60);
end;
plot(p,braco*1000);
title('Braço de alavanca');
xlabel('seg');
ylabel('mm');

disp('*****GRÁFICO 5*****');
disp('Momento/Kg')
disp('Impressão dos gráficos de Momentos')
clear t
t(1)=0;
for j=2:69;
t(j)=t(j-1)+d;
tempo=t(j);
p(j)=(tempo*100)/(68/60);
end;
subplot(2,2,1);
plot(p,M1/80)
title('M/Kg no quadril')
xlabel('%marcha')
ylabel('(Nm/Kg)')
subplot(2,2,2);
plot(p,M2/80)
title('M/Kg na prótese de joelho')
xlabel('%marcha')
ylabel('(Nm/Kg)')

disp('*****GRÁFICO 6*****');
disp('Posições da parte inferior do pé - parte frontal')
clear t
for j=1:109;
t(j)=(j-1)*d;
tempo=t(j);
p(j)=(tempo*100)/(68/60);
end;
plot(p,Rp1gy*1000);
title('Posição da ponta do pé')
xlabel('%marcha')
ylabel('mm')

disp('*****GRÁFICO 7*****');
disp('Momento/Kg x inclinação da haste anterior')
clear t p
for j=2:69;

```



PROGRAMA 12

```
t(j)=(j-1)*d;  
tempo=t(j);  
p(j)=(tempo*100)/(68/60);  
end;  
subplot(2,2,1);  
plot(p,M2/80)  
title('Momento na prótese de joelho')  
xlabel('%marcha')  
ylabel('(Nm/Kg)')  
subplot(2,2,3);  
plot(p,haste*180/pi)  
title('Ângulo da haste')  
xlabel('%marcha')  
ylabel('(graus)')
```



ANEXO D – Procedimentos para ajustes de curvas

Procedimento 1 - para ajuste de curva das posições x, y e teta:

- Abrir tabela de dados antropométricos (Tabela 2), e clicar na coluna C.G. em Y e selecionar os dados de posição referentes ao intervalo de tempo 0,050 até 1,717 s: posição - (células H-9 @ H-109).

- Copiar esses dados no programa do MATLAB, dentro dos colchetes conforme indicado abaixo:

```
>> F=[dados copiados];
```

- Repetir para o vetor velocidade - (células I-9 @ I-109).

```
>> G=[dados copiados];
```

- Repetir para o vetor aceleração - (células J-9 @ J-109).

```
>> H=[dados copiados];
```

- O MATLAB “entende a virgula como separador”, para eliminar esse problema, foi criada uma nova planilha modificada em relação a Tabela 1 (Tabela 2), com os dados multiplicados por 10^5 e sem casa decimal. Foi utilizado o Programa 4 (Transformada de vetor posição Excel x MATLAB), para: dividir o valor por 10^5 ; para transformar num vetor linha e para utilizar os dados com incremento de tempo de 1/30 s (na tabela o incremento = 1/60 s).

- Copiar o programa 4 (bloco de notas) no MATLAB e teclar enter. Dessa forma tem-se os vetores **f**, **g** e **hm**.

- Copiar o programa 1 (bloco de notas), no MATLAB e teclar enter. Esse programa executa o ajuste de curva tendo como básico a posição.

- O programa é auto-explicativo e várias perguntas são feitas durante a execução.

- Escrever no programa os seguintes valores: $k = 51$ (número de elementos do vetor posição / velocidade / aceleração); $t(1) = 0,050$ (tempo inicial); $w = 5,544$ (frequência).

- A ordem da expressão é dada pelo fator m. Escolha m, até se ter um melhor ajuste. Analise as curvas e as matrizes de erros percentuais para a posição; velocidade e aceleração. É importante salientar que quando as curvas cruzam -no caso da velocidade e aceleração- o eixo do tempo ($\overset{o}{y} = 0; \overset{\infty}{y} = 0$), os valores dos erros são elevados.

- Foi utilizada a curva de ajuste tomando por base a posição.

- O maior erro de ajuste para a posição verificado nos 51 pontos, nesse caso, foi inferior a 1%.
- Como Winter (1979) utilizou os pontos adjacentes para cálculo das velocidades, e na sequência utilizou o mesmo procedimento para o cálculo das acelerações, o que acarretou erros, pode-se afirmar que as curvas de velocidades e acelerações ajustadas tenham “afastamentos” dos valores tabelados, e não erros.
- Seguindo o critério acima, o afastamento dos valores ajustados de velocidade em relação ao tabelado, não ultrapassou em média a 20%, já na velocidade o afastamento atingiu o valor médio de cerca de 50%.

Procedimento 2 - para ajuste de curva das reações do solo:

- Abrir tabela de dados antropométricos (Tabela 10), e clicar na coluna F_H e selecionar os dados de posição referentes ao intervalo de tempo 0,017 até 0,7 s: posição - (células B-5 @ B-46).

- Copiar esses dados no programa do MATLAB, dentro dos colchetes conforme indicado abaixo:

>> FORCA=[**dados copiados**];

- O MATLAB “entende a vírgula como separador”, para eliminar esse problema, foi criada uma nova planilha modificada (Tabela 10), com os dados multiplicados por 10^5 e sem casa decimal. Foi utilizado o Programa 9 (Transformada de vetor força Excel x MATLAB), para: dividir o valor por 10^5 ; para transformar num vetor linha.

- Copiar o Programa 6 (bloco de notas) no MATLAB e teclar enter. Dessa forma tem-se o vetor F .

- Copiar o Programa 5 (bloco de notas), no MATLAB e teclar enter. Esse programa executa o ajuste de curva.

- O programa é auto-explicativo e várias perguntas são feitas durante a execução.

- Escrever no programa os seguintes valores: $k = 42$ (número de elementos do vetor força); $t(1) = 0,017$ (tempo inicial); $w = 5,544$ (freq.).

- A ordem da expressão é dada pelo fator m . Escolha m , até se ter um melhor ajuste. Analise a curva e a matriz de erro percentual.

Procedimento 3 - para cálculo de forças e torques:

- Abrir tabela de dados antropométricos da coxa (Tabela 4), e clicar na coluna C.G. em **x** e selecionar os dados de posição referentes ao intervalo de tempo 0,0 até 1,8 s: posição - (células E-6 @ E-114).

- Copiar esses dados no programa do MATLAB, dentro dos colchetes conforme indicado abaixo:

```
>> CGCmx=[dados copiados];
```

- O MATLAB “ entende a virgula como separador ”, para eliminar esse problema, foi criada uma nova planilha modificada (Tabela 4), com os dados multiplicados por 10^5 e sem casa decimal. Foi utilizado o Programa 8 (Transf. de vetor posição Excel x MATLAB), para: dividir o valor por 10^5 ; e para transformar num vetor linha.

- Fazer o mesmo procedimento do CGCmx (acima) e no mesmo intervalo de tempo para os seguintes vetores:

```
>>CGCmy=[células H-6 @ H-114 – Tabela 2-mod];
```

```
>>CGPmx=[células E-6 @ E-114 – Tabela 3-mod];
```

```
>>CGPmy=[células H-6 @ H-114 – Tabela 3-mod];
```

```
>>CGTmx=[células E-6 @ E-114 – Tabela 4-mod];
```

```
>>CGTmy=[células H-6 @ H-114 – Tabela 4-mod];
```

```
>>Dm=[células D-8 @ D-116 – Tabela 5-mod];
```

```
>>Amx=[células D-9 @ D-117 – Tabela 6-mod];
```

```
>>Amy=[células E-9 @ E-117 – Tabela 6-mod];
```

```
>>Bmx=[células F-9 @ F-117 – Tabela 6-mod];
```

```
>>Bmy=[células G-9 @ G-117 – Tabela 6-mod];
```

```
>>Cmx=[células J-9 @ J-117 – Tabela 6-mod];
```

```
>>Cmy=[células K-9 @ K-117 – Tabela 6-mod];
```

- Copiar o Programa 8 (bloco de notas) no MATLAB e teclar enter. Dessa forma tem-se os vetores CGCx; CGCy; CGPx; CGPy; CGTx; CGTy; D; Ax; Ay; Bx; By; Cx; Cy.

- Copiar o Programa 7 (bloco de notas), no MATLAB e teclar enter. Esse programa calcula as forças e os torques nas extremidades dos membros inferiores.

- O programa apresenta em forma de gráfico, caso seja selecionado, as forças e torques em função do tempo.

- Escrever no programa os seguintes valores: $k = 109$ (número de elementos do vetor força); $t(1) = 0,0$ (tempo inicial); $w = 5,544$ (freq.).



