



ANÁLISE DA MARCHA HUMANA

Luiz Carlos de Queiroz

Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL
Departamento de Engenharia Química
Rodovia Itajubá – Lorena, km 74,5, Lorena – SP, Brasil, CEP 12600-000, Fone: (12) 553-3422 –
Ramal: 5077
queiroz@dequi.fauenquil.br

Marcio Augusto Martin

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG)
Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá – SP, Brasil, CEP 12516-410, Fone (12)
525-2800
isabel_marcio@uol.com.br

Geraldo José Pedran

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG)
Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá – SP, Brasil, CEP 12516-410, Fone (12)
525-2800
gjpedran@uol.com.br

Tamotsu Hirata

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG)
Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá – SP, Brasil, CEP 12516-410, Fone (12)
525-2800
tamotsu@feg.unesp.br

Resumo. *A análise da marcha humana é um tema importante tratado em diversas pesquisas da área de Biomecânica. Neste trabalho apresenta-se um estudo das marchas de voluntários em uma esteira elétrica. Fontes luminosas pequenas foram fixadas em várias partes do corpo de cada voluntário, segundo um modelo proposto para o aparelho locomotor humano. Em um ambiente de luz controlada, foram realizadas filmagens dos movimentos dos pontos luminosos, juntamente com a aquisição de dados de força de reação do solo, por meio de uma plataforma de força. A partir dos dados coletados foram realizadas simulações numéricas para analisar as características da marcha. Os resultados foram comparados com os resultados da literatura.*

Palavras-chave: *biomecânica, marcha humana, plataforma de força.*

1. INTRODUÇÃO

As forças de contato entre a superfície de apoio e os pés são fundamentais para a análise das características do andar ou do correr, tanto em termos das intensidades das forças quanto na dependência das intensidades das forças com o instante de tempo. Dependendo destas forças de

contato os resultados do modelo dinâmico do corpo humano podem variar significativamente, Gooda (1977).

A análise das forças de contato pode servir, também, para auxiliar a reabilitação de um paciente com problemas no andar, Terashima (1996), ou para corrigir a forma de corrida de um atleta, Cavanagh (1985).

O estudo e a determinação das forças de reação do solo sobre o aparelho locomotor humano durante o andar e durante o correr, bem como os desenvolvimentos de plataformas de forças para piso fixo e para esteiras foram realizados por diversos pesquisadores da área de Biomecânica.

Os levantamentos de dados experimentais de forças de contato para um andar normal com velocidade constante foram feitos por vários pesquisadores, começando por Elfman (1939), medindo as forças normais à superfície de contato.

Para um melhor acompanhamento da marcha humana em seu aspecto dinâmico, o uso da placa de forças instalada em uma esteira ergométrica foi ampliado, Kram (1989), Dingwell (1996), Silveira (1997) e Queiroz et al. (1999). No entanto, os dados cinemáticos obtidos do piso fixo e da esteira através do processamento de imagem apresentaram resultados bastante controversos tanto para o andar como para o correr em diferentes velocidades, Williams (1985). Os trabalhos de Taves (1985) e Isacson (1986) não revelaram qualquer diferença significativa na distância e na frequência de passos entre os dados do piso fixo e da esteira.

Este trabalho tem por objetivo apresentar um sistema de medição para o estudo da marcha humana, para análise da componente vertical da força de contato do pé com o solo durante a caminhada, associada à cinemetria do movimento humano.

O estudo proposto está na interface da Medicina e da Engenharia Mecânica e pretende contribuir com a área médica em termos de análise dinâmica, como por exemplo, com a área de fisioterapia, com a medição da força de contato do pé com o solo durante a marcha associada a um sistema de captura de imagem, de baixo custo, para avaliação do movimento humano.

2. SISTEMA DE MEDIÇÃO

Uma plataforma de força foi projetada e construída para ser adaptada no solo e em esteiras ergométricas comerciais, para determinação da componente vertical da força de contato durante a marcha humana, considerando os parâmetros sensibilidade e resistência para ensaios com pessoas de massas no intervalo de 20 kg a 120 kg.

A plataforma de força é composta por duas placas retangulares metálicas e independentes fixadas numa estrutura metálica apoiada por quatro vigas metálicas de seção transversal retangular, onde são colados extensômetros nas faces superior e inferior, com o objetivo de medir a força exercida sobre a placa. Para este trabalho, foi instrumentada apenas a placa do lado direito e somente medidas as componentes verticais da força de reação da superfície de apoio do pé direito, devido às limitações técnicas dos instrumentos disponíveis.

A obtenção do sinal elétrico correspondente à variação de força foi feita através de oito extensômetros de 120 Ω colados nas vigas de sustentação da placa. Os sinais de tensão elétrica, provenientes das deformações dos extensômetros, foram coletados através de uma ponte para extensometria. Antes do registro, o sinal obtido foi filtrado com um filtro passa baixa, com frequência de corte de 10 Hz. Foi empregado o software AQDADOS, na coleta de dados. Na Figura (1), são mostrados o esquema do sistema de coleta de dados e as adaptações da plataforma de força no solo e na esteira ergométrica.

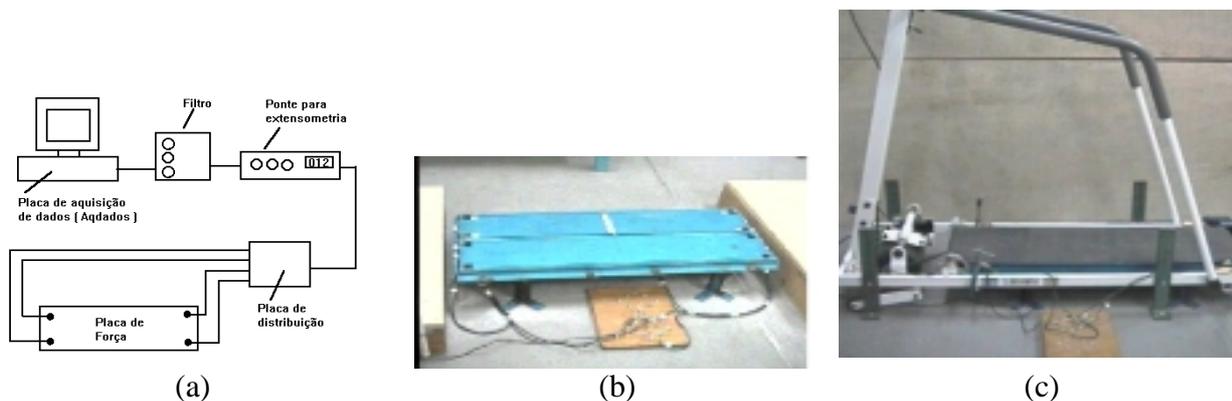


Figura 1. (a) Esquema do sistema de aquisição de dados; (b) Adaptação da plataforma de força no solo – piso fixo; (c) Adaptação da plataforma de força na esteira elétrica.

Com o objetivo de estudar a marcha, de modo que as posições de vários pontos do corpo humano sejam avaliadas e determinadas, foi montado um sistema de aquisição de imagens, mostrado na Fig. (2).

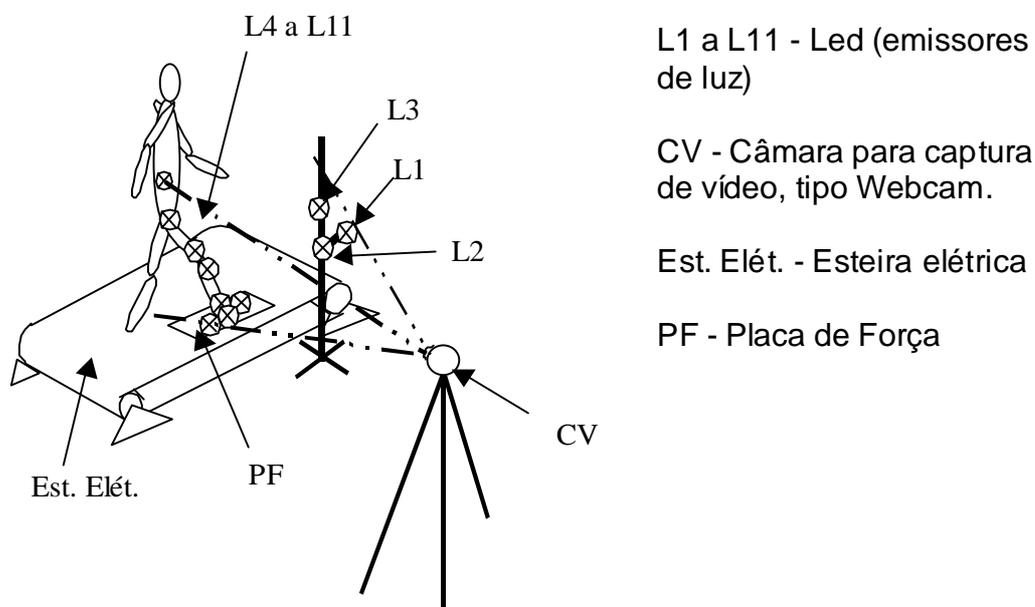


Figura 2. Esquema do sistema de captura de imagens.

O voluntário movimentou-se sobre uma esteira elétrica a uma velocidade controlada, com emissores de luz fixados em vários pontos de seu corpo, *leds* L4 a L11, segundo modelo adaptado de Winter (1991).

Enquanto o voluntário se movimentava, uma câmera de vídeo, do tipo *webcam*, capturou imagens dos pontos luminosos. O início e o fim do contato do pé com a placa são definidos pelo ponto luminoso L1, que acendeu quando o voluntário tocou a placa de força, no início do contato, e apagou no instante em que o pé foi retirado da placa.

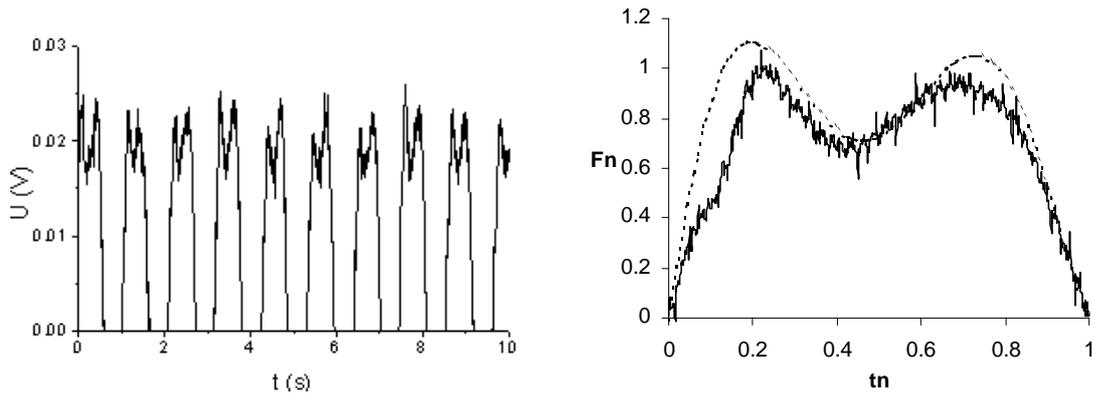
Durante um determinado intervalo de tempo imagens foram capturadas e registradas, sendo posteriormente processadas por um programa computacional, especialmente desenvolvido, que permitiu uma análise qualitativa do movimento e determinou as posições dos pontos luminosos L1 a L11, registrando-as para análises posteriores.

As posições dos pontos luminosos foram avaliadas em termos de coordenadas cartesianas, determinadas a partir de escalas de vídeo, tendo como referencial horizontal a distância entre os pontos luminosos fixos L1 e L2, e como referencial vertical, a distância entre os pontos luminosos fixos L2 e L3.

3. RESULTADOS

Foram realizados ensaios com voluntários normais, que se movimentaram sobre uma esteira elétrica comercial, a uma velocidade controlada de 1,0 m/s.

Os resultados obtidos no ensaio com um voluntário de massa 76 kg são mostrados na Fig. (3). Na parte (a) da Fig. (3) são mostrados os resultados obtidos a partir dos sinais dos extensômetros instalados na plataforma de força e registrados pelo software AQDADOS. As curvas das forças de contato, na parte (b) da Fig. (3), foram normalizadas tanto no tempo, em relação ao tempo de contato, quanto na intensidade, em relação à intensidade do peso do voluntário, para facilitar a comparação com os dados obtidos por Winter (1991), que receberam o mesmo tratamento.



(a) dados registrados pelo sistema de aquisição de força (b) componente vertical da força de contato dados de Winter e __ dados experimentais

Figura 3. Força de reação do solo.

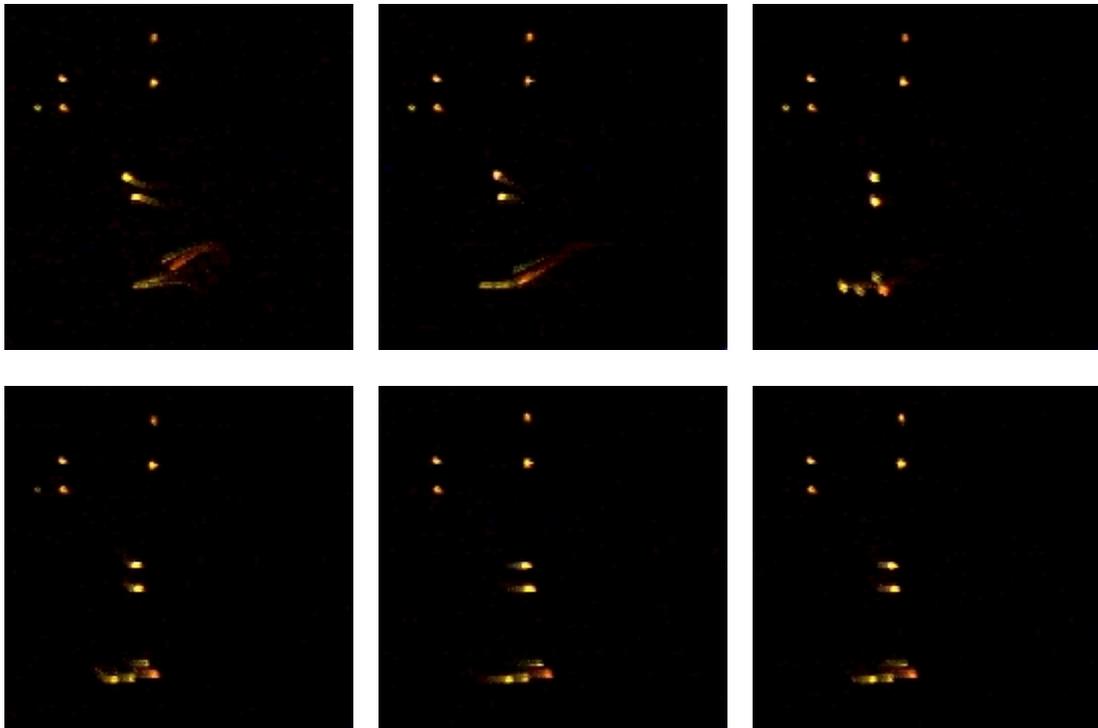


Figura 4. Exemplos de imagens capturadas.

Na Figura (4) são apresentados os resultados de cinemetria para avaliar o movimento, mostrando exemplos de imagens capturadas dos pontos luminosos L1 a L11.

Após o processamento das imagens os pontos luminosos são localizados em termos de coordenadas cartesianas de acordo com a calibração do sistema de captura de imagens.

As análises minuciosas das curvas das forças de contato associadas às análises dos movimentos dos pontos luminosos permitem avaliar o comportamento dinâmico do voluntário durante a marcha, na fase de contato.

4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

A simulação numérica foi feita com o objetivo de obter o torque no joelho, local escolhido por ser uma articulação de grande importância na área médica, principalmente pelo grande número de patologias ligadas a esta articulação.

Foram feitas simulações com os dados experimentais obtidos por Winter (1991) e com os dados experimentais obtidos para o voluntário, sobre uma esteira elétrica. Os dados obtidos por Winter foram com o voluntário realizando uma marcha no piso fixo.

O torque obtido foi ainda comparado com o torque obtido por Winter, que calculou estaticamente também o torque no joelho.

Para a realização da simulação numérica, utilizando os dados experimentais para obter o torque no joelho, as seguintes etapas foram elaboradas.

1- Os dados antropométricos do voluntário foram determinados.

2- Após a realização do ensaio com o voluntário, a curva média da força de reação durante o contato do pé direito do voluntário com a placa de força foi obtida. Um ajuste polinomial foi realizado. A equação curva polinomial foi utilizada na modelagem, para caracterizar a atuação da força durante o contato.

3- Com os dados do processamento de imagens foram obtidas as coordenadas cartesianas dos pontos luminosos. As equações das posições dos pontos em função do tempo foram determinadas.

4- Com as equações obtidas e os dados antropométricos foi elaborado um programa com o software AUTOLEV.

5- A execução do programa AUTOLEV gerou um programa em FORTRAN.

6- A execução do programa FORTRAN gerou os dados referentes ao torque no joelho.

A Figura (5) apresenta os pontos de aplicação da força de reação.

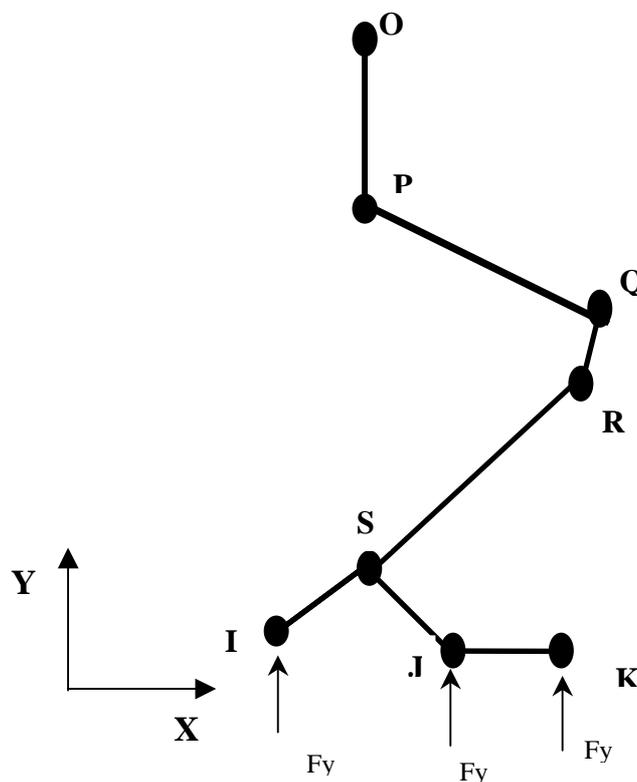


Figura 5. Pontos de aplicação da força de reação.

Os resultados da simulação usando a força de reação concentrada no ponto j, comparados com os resultados obtidos por Winter, são apresentados na Fig. (6).

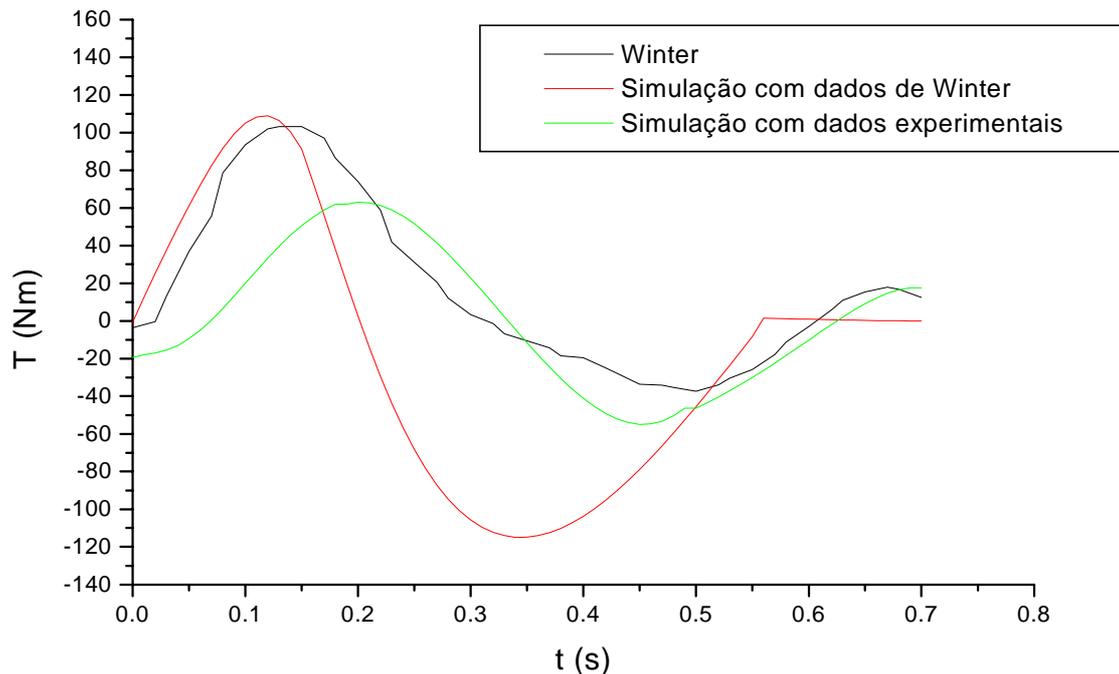


Figura 6. Comparação entre os torques no joelho.

O torque calculado, usando a força aplicada no ponto j, apresentou um resultado melhor que os resultados obtidos com outras distribuições não apresentadas neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

O protótipo de plataforma de força construído serviu para avaliar o comportamento dinâmico da marcha humana em termos da componente vertical da força de contato.

Os resultados experimentais de forças de contato apresentaram as características dos resultados apresentadas por Winter (1991).

O sistema de captura de imagens, embora ainda em fase de desenvolvimento, demonstrou possuir aplicabilidade.

O cálculo do torque no joelho através de dados experimentais apresentou o mesmo comportamento do torque com os dados de força de contato e de posição de Winter e também do torque calculado por Winter. As diferenças obtidas resultaram tanto do tipo de modelagem feita quanto dos tipos de ensaios, pois os dados obtidos por Winter foram realizados em piso fixo, e os ensaios realizados, neste trabalho, foram em uma esteira elétrica.

No aspecto geral, o projeto possui condições de ser utilizado em condições reais, atendendo à sua proposta de ser economicamente viável.

6. REFERÊNCIAS

- Cavanagh, P., et al., 1985, "An approach to Biomechanical profiling of elite distance runners", *Int. J. Sports Biomech.*, v. 1, pp. 36-62.
- Dingwell, J. B., Davis, B. L., 1996, "A rehabilitation treadmill with software for providing real-time gait analysis and visual feedback", *J. Biomechanical Engineering*, v. 118, pp. 253-255.
- Elftman, H., 1939, "Forces and energy changes in the leg during walking", *American Journal of Physiology*, v.125, pp. 339-356.

- Gooda, S. and Kinoshita, G., 1977, "Robot Engineering", Crona Pub. Co., Tokyo.
- Isacson, J., Gransberg, L., Knutsson, E., 1986, "Three-dimensional electrogoniometric gait recording", Journal of Biomechanics, v.19, pp. 627-635.
- Kram, R., Powell, J., 1989, "A treadmill-mounted force platform", J. Applied Physiology, v.67, pp. 1692-1698.
- Queiroz, L.C., Martin, M.A. e Hirata, T., 1999, "Avaliação comparativa da força de contato da marcha humana", VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, Florianópolis, Brasil, pp. 603-607.
- Silveira, E. D., et al., 1997, "Plataforma de força montada para instrumentação de esteira ergométrica para avaliação de marcha humana", VII Congresso Brasileiro de Biomecânica, Campinas, Brasil, pp. 216-221.
- Taves, C. L., Charteris, J., Wall, J. C., 1985, "A speed related kinematic analysis of overground and treadmill walking", Human Kinetics, Ed. Biomechanics, Champaign, pp. 423-426.
- Terashima, S., et al., 1996, "Three dimensional gait analysis for ankle fusion", Proc. 73 th Annual meeting JSME, Narashino, pp. 548-549.
- Williams, K., 1985, "Biomechanics of running", Exercise Sports Science Review, v.13, pp. 389-441.
- Winter, D. A., 1991, "Biomechanics and Motor Control of Human Movement", Warterloo Press, Warterloo.

Analysis of Human Walking Motion

Luiz Carlos de Queiroz

Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL

Departamento de Engenharia Química

Rodovia Itajubá – Lorena, km 74,5, Lorena – SP, Brasil, CEP 12600-000, Fone: (12) 553-3422 – Ramal: 5077

queiroz@dequi.fauenquil.br

Marcio Augusto Martin

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG)

Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá – SP, Brasil, CEP 12516-410, Fone (12) 525-2800

isabel_marcio@uol.com.br

Geraldo José Pedran

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG)

Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá – SP, Brasil, CEP 12516-410, Fone (12) 525-2800

gjpedran@uol.com.br

Tamotsu Hirata

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG)

Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá – SP, Brasil, CEP 12516-410, Fone (12) 525-2800

tamotsu@feg.unesp.br

***Abstract.** The analysis of human walking motion is one important theme in several researches of the Biomechanics area. This work presents a study of human walking motions in an ergometric treadmill. Little light sources were going fastened in parts of body of each voluntary, according to a proposed model for the human body. In a controlled light environment, a webcam camera and a force plate installed in an*

ergometric treadmill were used to measure the displacements of the light sources and the reaction forces. From the collected data were going accomplished numeric simulations to analyze the characteristics of human walking motion. The results were going compared with the results of literature.

Keywords: *biomechanics, human walking motion, force plate.*