



O PAPEL DA MÃO COMO ATENUADOR DO NÍVEL DE VIBRAÇÃO ENTRE O CABO DE MARTELOS E O PUNHO DOS USUÁRIOS.

Paulo Cesar M. Desessards

paulodes@vortex.ufrgs.br

Alberto Tamagna

tamagna@vortex.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica
Rua Sarmento Leite, 425 – 90050-170 – Porto Alegre, RS, Brasil.

Resumo. *O estudo da vibração nos membros superiores pelo uso de ferramentas manuais não motorizadas é muito pouco explorado. Sabe-se que a exposição da mão à vibração ocupacional é influenciada por fatores, tais como: posturais, biodinâmicos (força de agarre), tamanho e massa da mão. Este trabalho avaliou a vibração nas mãos de usuários, quando do uso de martelos, na simulação de atividades cotidianas, abordando o papel da mão na atenuação da vibração proveniente do cabo e que chega até o punho. Para tanto, foram selecionados 4 tipos de martelos, 4 materiais diferentes (aço, borracha, madeira e pedra) e 4 indivíduos, caracterizados pela massa de uma das mãos. As acelerações, tanto no cabo como no punho, foram registradas por mini acelerômetros. No caso do punho, posicionou-se o sensor sobre a porção distal do rádio e sobre o cabo o mais próximo da mão, procurando captar a aceleração que efetivamente chega à mão. Os resultados mostraram que a mão tem um papel importante na atenuação da vibração que chega até o punho e que o fator antropométrico massa da mão tem grande influência sobre esta atenuação.*

Palavras-chave: *Vibração, Atenuação, Biomecânica Ocupacional, Martelos.*

1. INTRODUÇÃO

Provavelmente, nos primórdios da humanidade, quando pela primeira vez o homem agrupou-se em abrigos e usou pedras como martelo ou ossos como uma ferramenta de poder, ele acusou a dor do impacto sofrido pela sua mão desprotegida. Da mesma forma, durante a época dos Fenícios, quando estes entregaram-se ao mar em busca de novos territórios, os efeitos da baixa frequência (movimento das ondas) foram mais conhecidos. Com o início da revolução industrial, o trabalhador veio a expor-se à vibração e ao impacto no ambiente ocupacional. Há menos de um século, doenças das mãos e dos dedos começaram a aparecer entre homens que trabalhavam com ferramentas manuais vibratórias.

Levando-se em conta apenas os efeitos da vibração em um ambiente ocupacional, o trabalhador pode ficar exposto a um ou ambos os tipos de vibração mecânica (Wasserman,

1987), a saber: (a) “whole body vibration“ (em todo o corpo) ou vibração transmitida a todo o corpo através de estruturas tais como assento de um veículo (caminhão, ônibus, trator etc.); (b) “hand-arm vibration“ (sistema mão-braço) vibração normalmente transmitida a uma parte específica do corpo tal como os membros superiores, por meio de moto-serras, ferramentas pneumáticas ou elétricas, por exemplo.

Embora ferramentas motorizadas sejam empregadas em diversas tarefas do dia-a-dia (e estudadas desde o advento da moto-serra a gasolina, final dos anos 50 e início dos 60), sabe-se que as não motorizadas também são utilizadas nos mais variados campos de trabalho. Dentre estas, encontra-se o martelo, uma ferramenta comum extensamente usada. Para operá-la, usa-se a mão, um órgão excepcionalmente projetado que, sob o ponto de vista da vibração no ambiente ocupacional, exerce um papel fundamental na atenuação desta ao longo do sistema mão-braço (Schäfer *et. al.*, 1984). Dentre os fatores de riscos para o desenvolvimento de um distúrbio ósteo-muscular relativo ao trabalho (D.O.R.T) encontra-se a vibração mecânica (Armstrong and Silverstein, 1987) que, normalmente combinado com outros fatores, contribuem para a evolução das D.O.R.Ts.. Contudo, é conveniente ressaltar que as presenças destes, no ambiente ocupacional, necessariamente não causam a doença, mas podem acelerar o risco de desenvolvimento desta. Neste contexto, este artigo tem como objetivo investigar o impacto no sistema mão-punho, através da simulação de atividades diárias exercidas por voluntários, enfocando o papel da mão na atenuação da vibração proveniente do cabo e que chega até o punho.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Variáveis físicas importantes

As seguintes quantidades físicas são importantes para se entender as colocações posteriores.

Ponto de entrada da vibração no corpo. Dois pontos na qual a vibração chega ao corpo são ergonomicamente importantes: pés/nádegas (ao longo de uma viagem em um veículo) e mãos (usando ferramentas manuais motorizadas ou não).

Frequência das oscilações. O grau dos efeitos fisiológicos e patológicos das vibrações é fortemente dependente da frequência, principalmente aquelas na faixa das frequências naturais do corpo.

Aceleração das oscilações. Dentro da faixa de frequência que é fisiologicamente importante, a aceleração das oscilações é usualmente descrita como a carga vibracional. A unidade é a aceleração devido à gravidade.

Duração do efeito. O efeito das vibrações depende grandemente da sua duração e seus efeitos maléficos aumentam muito rapidamente com o aumento do tempo de exposição.

Frequência de ressonância. Todo sistema mecânico possui propriedades de massa e elasticidade e, portanto, está passível de ser colocado em oscilação. A força que coloca o sistema em movimento é conhecida como a força de excitação, e a oscilação resultante é chamada de vibração forçada. Todo sistema possui uma ou várias frequências fundamentais, e quanto mais próximo desta estiver a força de excitação, maior será a amplificação da oscilação. Quando isso ocorre, ou seja, a amplitude da resposta excede a da excitação, o sistema é dito estar em ressonância. Por outro lado, as oscilações de qualquer sistema estão

sujeitos ao amortecimento, o qual reduz a amplitude, por exemplo, quando se está em pé qualquer vibração vertical nas pernas são rapidamente amortecidas (Grandjean, 1981).

2.2. Fatores que podem influenciar na exposição da mão à vibração ocupacional.

Físicos. Frequências dominantes entrando na mão; anos de trabalho envolvendo exposição à vibração; duração da exposição à vibração por cada dia de trabalho; amostra temporal de exposição por cada dia de trabalho; direção da vibração dominante relativa à mão; exposição não-ocupacional à vibração.

Biodinâmicos. Forças de pega; áreas de superfície, localização e massa de partes da mão em contato com a fonte vibratória; postura (posição da mão relativa ao corpo); outros fatores que influenciam no acoplamento da vibração na mão (textura do cabo).

Individuais. Fatores epidemiológicos (idade, etc.); tamanho e peso da mão; pré-disposição à doença ou lesão anterior nos dedos ou mão (trauma, lacerações, etc.); agentes vasoconstritores que afetam a circulação periférica (fumo, drogas, etc.); suscetibilidade biológica à vibração; fatores que influenciam na duração da exposição e na intensidade da fonte (sustentação da ferramenta, ritmo de trabalho, habilidade e produtividade).

2.3. Faixa de frequência

Alguns estudos concluem que o sistema mão-braço comporta-se como uma massa pura em frequências baixas - até 100Hz-, ou seja, as vibrações são transmitidas para o ombro e para cabeça (Burström e Ludström, 1994). Já frequências em torno de 150Hz até 200Hz são absorvidas pelas áreas da mão e dos dedos diretamente em contato com o cabo da ferramenta (Reynolds e Angevine, 1977). Outro estudo infere que exposição à vibração em baixas frequências (< 50Hz), predominantemente, causam grande carga no cotovelo e nos ombros ao contrário de altas frequências (≥ 100 Hz), porém estas causam enormes cargas na mão e nos dedos (Kihlberg, 1995). Neste trabalho, a faixa de frequência estudada foi abaixo de 200Hz.

3. MÉTODO

Para executar a tarefa escolheram-se quatro voluntários, caracterizados pela respectiva massa da mão, os martelos de unha, de pena, de bola e a marreta oitavada, e quatro materiais diferentes, a saber: madeira, aço, borracha e pedra. Para captar a aceleração que é transmitida até a mão, o acelerômetro foi fixado o mais próximo possível da mão. Da mesma forma instrumentou-se o punho, mais exatamente na pele sobre a porção distal do rádio (Fig. 1); a fixação efetuou-se obedecendo à seguinte técnica e cuidados: este sensor foi fixado na pele por meio de uma fita com adesivo em ambos os lados (dupla face), sendo localizado numa área onde a espessura da pele sobre o osso era mínima, buscando assim, transmitir o máximo possível da vibração que chega ao punho para o sensor. A seguir colou-se o sensor, pressionando-o contra a pele, sendo então envolvidos (punho e sensor) com uma fita cirúrgica. Isto foi feito com o objetivo de minimizar o movimento relativo que poderia ter ocorrido entre o osso e o acelerômetro fixado na pele. Como é praticamente impossível evitar-se totalmente o movimento relativo, sabia-se de antemão, que haveria um erro neste procedimento (Reynolds e Angevine, 1977). Os passos para instrumentação do martelo com o acelerômetro obedeceram às seguintes diretrizes: o local de fixação do acelerômetro próximo à mão (Fig. 2), é de extrema importância, uma vez que se deseja avaliar vibração na interface mão-ferramenta, ou seja, a que efetivamente está entrando na mão; a localização deste foi em

função da dimensão da mão, ou melhor, a distância entre os pontos mais laterais da mão, ao nível da primeira falange do dedo polegar (Fig. 3). O valor desta distância foi retirado de um banco de dados antropométrico (ERGOKIT, 1995) obtido a partir da população brasileira, buscando identificar as dimensões desta população. De forma mais concreta, as variáveis que efetivamente serão mensuradas neste estudo são as aceleração no cabo -próximo à mão- e aceleração no punho.

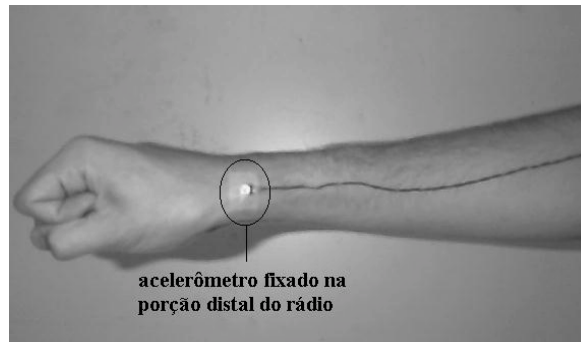


Figura 1- Acelerômetro fixado na direção transversal, segundo a ISO #5349.



Figura 2 - Local de fixação do mini acelerômetro sobre o cabo da ferramenta.



Dados da largura da mão,
no polegar (cm) – homens:
número de pessoas: 538;
média: 10,0;
desvio padrão: 0,5;
valor mínimo: 8,5;
valor máximo: 11,8;
percentil 95: 11,0;
Fonte Ergokit (1995).

Figura 3 - Distância entre os pontos mais laterais da mão, ao nível da primeira falange do dedo polegar.

O conjunto de equipamentos e acessórios utilizados está descrito a seguir: os acelerômetros estão conectados aos condicionadores, que por sua vez, ligam-se a um conversor A/D que finalmente é conectado ao microcomputador; prossegue-se, então, com a entrada de dados no programa de aquisição. Estando o martelo na posição de partida -em repouso, apoiado no material- pede-se ao usuário (na posição agachada) que proceda com a martelada concomitantemente à partida do programa; da mesma forma se efetua um segundo ensaio; efetua-se em seguida a troca de martelo e de material. A ordem dos ensaios foi realizada de acordo com o planejamento estatístico; os martelos foram utilizados por todos os usuários em todos os materiais. Ressalva-se que estes testes foram executados sobre uma base de concreto de grande rigidez.

Para obter a massa da mão de cada indivíduo, procedeu-se com a seguinte técnica: mergulhar a mão em um recipiente com água devidamente graduado e; a partir do volume de água deslocado, multiplica-se, então, pela densidade da mão encontrada, a saber: $\rho = 1160 \text{ kg/m}^3$ (Miller, 1976). Os resultados podem ser vistos na Tabela 1, onde se verifica massa encontrada para cada indivíduo.

Tabela 1 – Massa da mão dos indivíduos.

massa (kg)
$m_2 = (0,325 \pm 3\%)$
$m_3 = (0,423 \pm 3\%)$
$m_1 = (0,561 \pm 3\%)$
$m_4 = (0,666 \pm 2\%)$

Para avaliar os efeitos dos fatores tipo de martelo, material e massa da mão sobre a aceleração no punho, foi elaborado uma análise de variâncias (ANOVA). O nível de significância aplicado (α) foi de 0,1. No artigo corrente é de interesse apenas analisar o fator massa da mão.

4. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

A diferença entre a aceleração sobre o cabo, que chega até a mão e a que atinge punho, é bastante significativa. É visível (Fig. 4) essa diferença (atenuação) e ainda observa-se que os níveis destas acelerações diminuem com o aumento da massa da mão. Assim constata-se o amortecimento inerente da mão de cada indivíduo, provocando desta forma, a diferença entre as acelerações. A Tabela 2 -observar 5^a e 6^a colunas- salienta, por meio da análise de variância, que o fator massa da mão tem um efeito bastante significativo (F calculado maior que o F tabelado) sobre a aceleração que chega até o punho; as interações (AB, AC, BC e ABC) não tem relevância neste caso.

Os gráficos da Figura 5(a) à 5(f) mostram a atenuação do sinal (no domínio tempo) da vibração proveniente do cabo da ferramenta e a respectiva aceleração que atinge o punho, no instante em que ocorre o impacto da martelada. É interessante observar-se a diferença entre os níveis de aceleração no cabo e no punho. Para um mesmo nível de aceleração que atinge mão, em torno de 50g (Fig. 5a e 5c), a aceleração que atinge o punho do indivíduo com massa da mão maior, em torno de 5g (Fig. 5b) é menor, em torno de 14g, do que àquela que chega até o punho do indivíduo de massa menor (Fig. 5d). Para o primeiro indivíduo a atenuação foi

aproximadamente 10 vezes, no segundo foi de 3 vezes e para o terceiro (Fig. 5e e 5f), com uma massa intermediária, foi de aproximadamente 6 vezes.

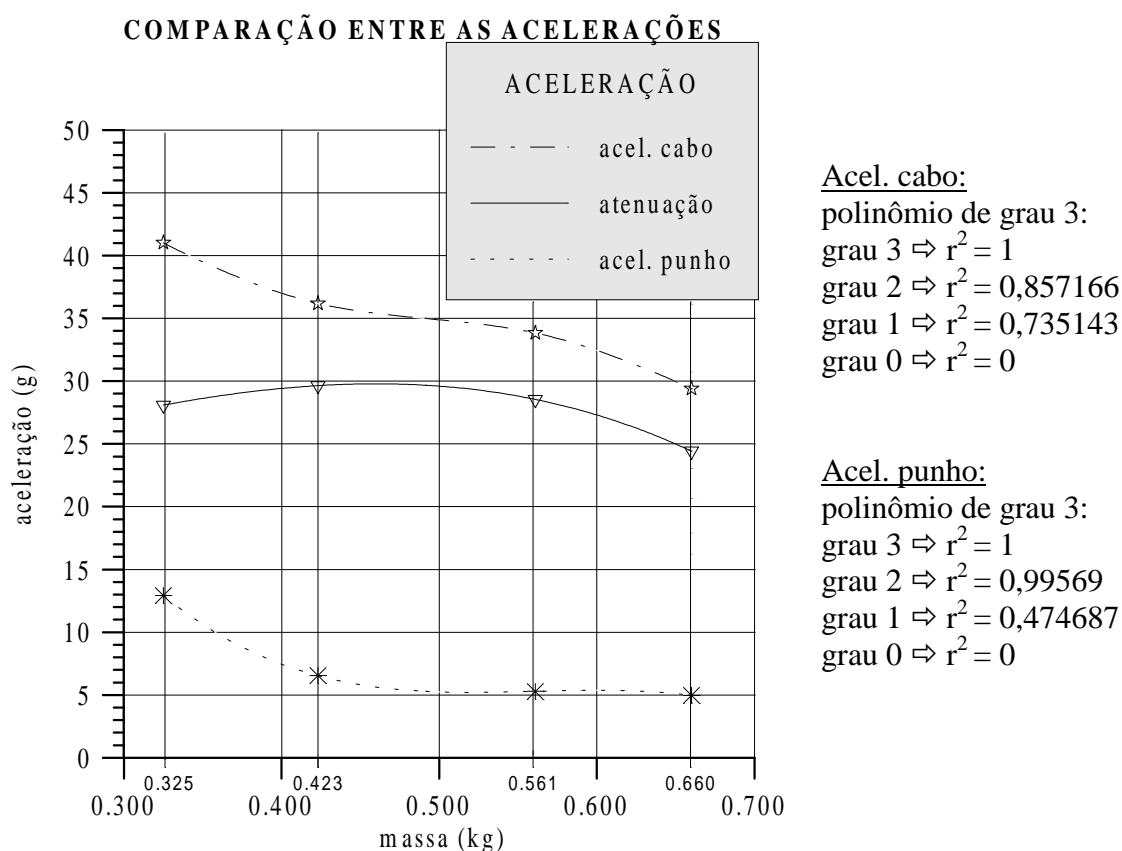
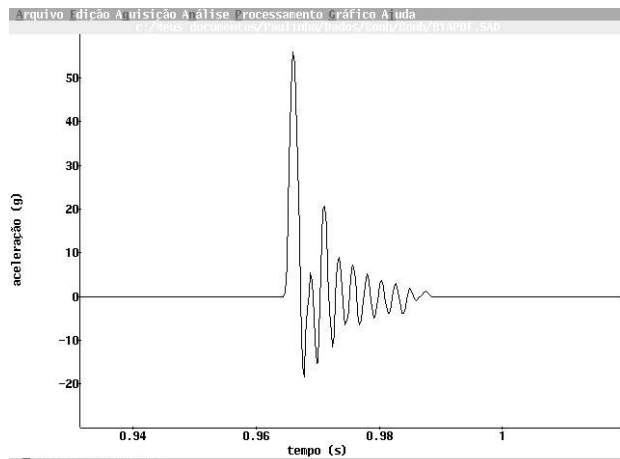


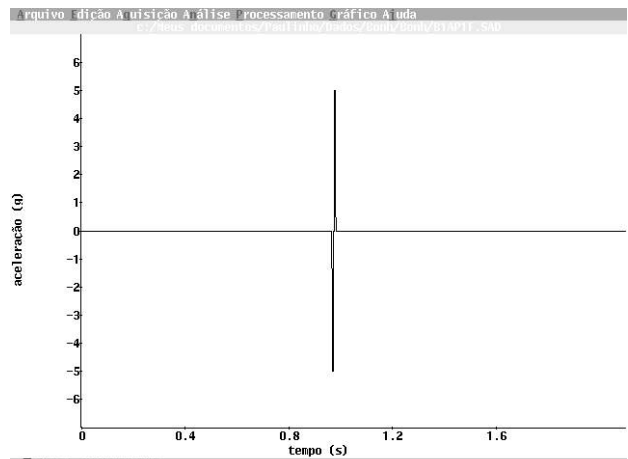
Figura 4 - Gráfico comparando as acelerações no cabo e no punho, entre os quatro indivíduos (fator B).

Tabela 2 - ANOVA para a aceleração no punho.

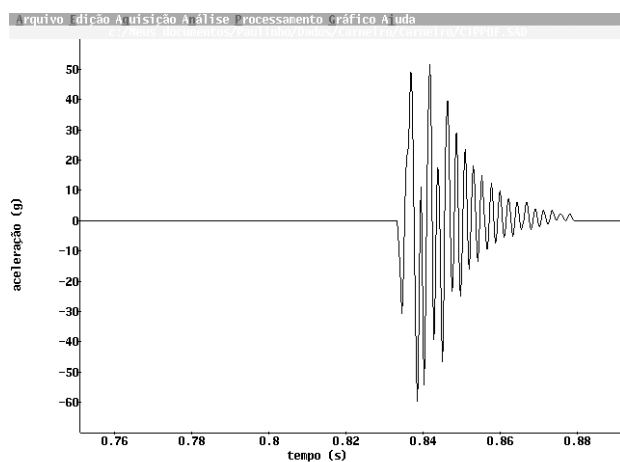
FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GDL	MÉDIAS QUADRADAS	TESTE F calculado	TESTE F (tabelado) $\alpha= 0.1$	SIG?
Material - A	44,20	3	14,73	1,60	2,18	Não
Massa/mão - B	1333,17	3	444,39	48,23	2,18	Sim
Martelo - C	53,66	3	17,89	1,94	2,18	Não
AB	43,17	9	4,80	0,52	1,74	Não
AC	246,41	9	27,38	2,97	1,74	Sim
BC	58,93	9	6,55	0,71	1,74	Não
ABC	459,79	27	17,03	1,85	1,49	Sim
Erro	589,73	64	9,21			
TOTAL	2829,06	127	-	-		-



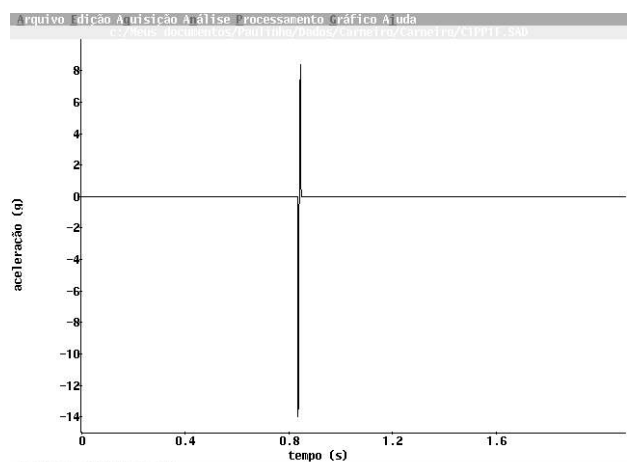
(a) massa m1, martelo de unha e material aço.



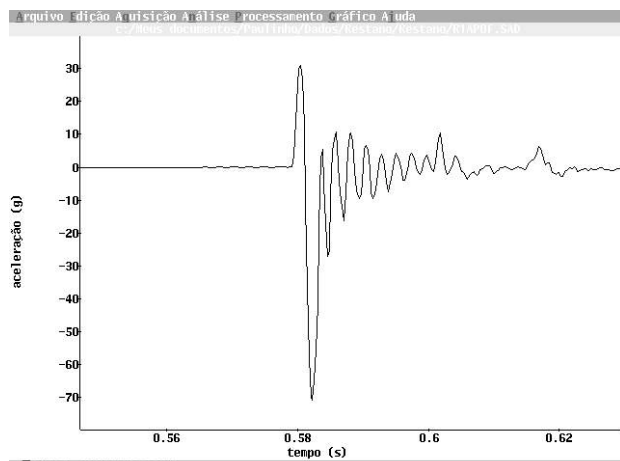
(b) massa m1, martelo de unha e material aço.



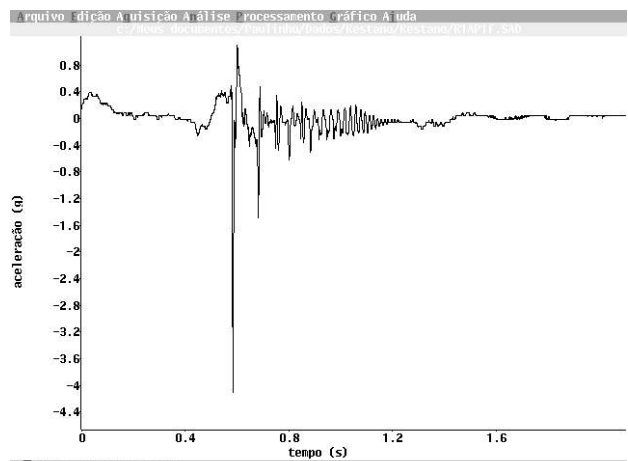
(c) massa m2, martelo de unha e material pedra.



(d) massa m2, martelo de unha e material pedra.



(e) massa m3, martelo de unha e material aço.



(f) massa m3, martelo de unha e material aço.

Figura 5 - Acelerações no cabo da ferramenta -coluna da esquerda- e sobre o punho -coluna da direita- no domínio tempo.

5. CONCLUSÕES

As mãos tem um papel fundamental no amortecimento das vibrações, provenientes do cabo da ferramenta, e que chegam até o punho e propagam-se para o braço. Esta atenuação está diretamente relacionada com a antropometria da mão. Isto vai ao encontro dos estudos feitos por Burström em 1994, onde sugerem que, em relação a fatores biológicos (dados antropométricos), quanto maior o tamanho do indivíduo, maior será a dissipação de energia; segundo o trabalho, isto poderia explicar o porquê de a mulher geralmente (menor constituição física) absorver menos energia do que homens.

Em termos quantitativos, os valores encontrados foram elevados, variando desde 58g de aceleração no cabo da ferramenta até 4,5g, dependendo do indivíduo e/ou da intensidade da martelada, caindo para valores em torno de 3g, ou menos em alguns casos, na aceleração sobre o punho. Com valores tão altos de aceleração e de amortecimento pela mão, mais uma vez fica claro a importância desta como atenuadora da vibração proveniente do cabo de ferramentas.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Armstrong, T. J. e Silverstein, B. A., 1987, Upper-extremity pain in the workplace - role of usage in causality, *Clinical concepts in regional musculoskeletal illness*, Grune e Stratton Inc., pp. 333-354.
- Burström, L., Ludström, R., 1994, Absorption of vibration energy in the human hand and arm, *Ergonomics*, vol. 37 (5), pp. 879-890.
- Ergokit, 1995. Banco de dados antropométricos, Instituto Nacional de Tecnologia, Unidade de Programa de Desenho Industrial, Rio de Janeiro.
- Grandjean, E., 1981. *Fitting the task to the man*, Taylor & Francis Ltda, London.
- Kihlberg, S., 1995, Biodynamic response of the hand-arm system to vibration from an impact hammer and grinder, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 16, pp. 1-8.
- Ludström, R., Burström, L., 1989, Mechanical impedance of the human hand-arm system, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 3, pp. 235-242.
- Miller, D. I. e Nelson, R. C., 1976, *Biomechanics of sport*, Lea and Febiger, Philadelphia, pp. 48-53 e 88-110.
- Reynolds, D. D. e Angevine, E., N., 1977. Hand-arm vibration, part II: vibration transmission characteristics of the hand-arm, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 51 (2), pp. 255-265.
- Schäfer, N., Dupui, H. e Hartung, E., 1984, Acute effects of shock-type vibration transmitted to the hand-arm system, *Occupational and Environmental Health*, vol. 55, pp. 49-59.
- Wasserman, D. E., 1987, *Human aspects of occupational vibration*, vol. 8, Elsevier Science Publishers, New York.

THE INFLUENCE OF THE HAND IN THE ATTENUATION OF THE LEVEL OF VIBRATION AMONG THE CABLE OF HAMMERS AND THE WRIST OF THE SUBJECTS.

Summary. The study of the vibration in the upper limbs in the use of manual tools not motorized it is very a little explored. It is known that the exhibition of the hand to the occupational vibration, it is influenced by factors, such as: postures, biodynamics (grip forces), size and mass of the hand. The proposal for this work is to study some dynamic aspects of act of hammering. This study presents measurements of the acceleration in the

hammer handle as well as the workers' wrist acceleration during some usual hammering tasks. For so much, 4 types of hammers were selected, 4 different materials (steel, rubber, wood and stone) and 4 individuals, characterized by the mass of one of the hands. The accelerations, so much in the cable as in the wrist, they were registered by mini accelerometers. The device was located over the distal part of the radius bone in the wrist, and the closest possible to the hand on the handle in the case of the wrist, seeking reading the acceleration that the hand effectively suffers. The results showed that the hand has an important part in the attenuation of the vibration that arrives to the wrist and that the factor anthropometric mass of the hand has great influence on this attenuation.

Keywords: Vibration, Attenuation, Occupational Biomechanics, Hammers.