

Utilização de luvas instrumentadas em avaliações biomecânicas da preensão da mão humana

Instrumented gloves utilization in biomechanic assessment of the human hand prehension

Silva, Danilo Corrêa; Graduando; Universidade Estadual Paulista
danilodesign2005@gmail.com

Paschoarelli, Luis Carlos; Professor Doutor; Universidade Estadual Paulista
lcpascho@faac.unesp.br

Poussep, Stanislav; Graduando; Universidade Estadual Paulista
creaktive@gmail.com

Resumo

A preensão humana é uma ação complexa, da qual se exige avaliação para projetar instrumentos manuais ergonômicos. O uso de luvas com sensores é uma técnica muito utilizada para este tipo de análise nas áreas da robótica e biomecânica. Esse artigo apresenta uma análise sobre os principais aspectos envolvidos na preensão humana e sua importância na construção de um protótipo de luva instrumentada com sensores FSRs. A construção de um equipamento dessa natureza permite identificar pontos de pressão concentrada sobre a superfície palmar das mãos, caracterizando uma das alternativas mais viáveis para avaliações do design ergonômico de instrumentos manuais.

Palavras Chave: preensão, luva instrumentada, avaliação ergonômica.

Abstract

The human prehension is a complex action, which requires assessment for ergonomic hand tools design. The use of the instrumented gloves is a procedure widely utilized for this type of analysis in both robotics and biomechanics. This paper presents an analysis of major issues involved in the human prehension and holds their importance to build a glove prototype instrumented with FSRs sensors. The construction of such equipment permits to identify concentrated pressure points on the hand palm surface, characterizing one of the most viable alternatives for ergonomics and biomechanics assessments of the hand tools design.

Keywords: prehension, instrumented glove, ergonomic assessment.

Anais do 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design

8 a 11 de outubro de 2008 São Paulo – SP Brasil ISBN 978-85-60186-03-7

©2008 Associação de Ensino e Pesquisa de Nível Superior de Design do Brasil (AEND|Brasil)

Reprodução permitida, para uso sem fins comerciais, desde que seja citada a fonte.

Este documento foi publicado exatamente como fornecido pelo(s) autor(es), o(s) qual(is) se responsabiliza(m) pela totalidade de seu conteúdo.

Introdução

A mão humana é um órgão complexo que, de acordo com Moreira (*et al.* 2003), apresenta pelo menos três finalidades de destaque: a comunicação gestual, que colabora com a verbal; a ação tátil, a qual relaciona o organismo com a estrutura ambiental; e o ato preênsil, o qual é capaz, tanto de imprimir força, como segurar e manipular objetos.

Por outro lado, esta complexa estrutura é o local dos membros superiores mais suscetíveis a danos associados ao mau desenho de instrumentos manuais (BUREAU OF LABOR STATISTICS, 1995 *apud* KONG; LOWE, 2005). A pressão excessiva ou contínua na palma e/ou nas falanges é indicadora de um equipamento mal desenhado ou problemático (PUTZ-ANDERSON, 1988).

Em decorrência de posturas extremas, esforços acima dos níveis funcionais e, freqüentemente, pontos concentrados de pressão sobre os tecidos da mão, os danos podem aparecer sob diversas formas de patologias de ordem ocupacional além de desconforto e ineficiência da atividade (YUN, *et al.* 1992, *apud* HALL, 1997).

Neste sentido, o fato de conhecer as forças biomecânicas exercidas durante a manipulação desses instrumentos possibilita estabelecer parâmetros ergonômicos mais precisos para o projeto desses dispositivos.

No estudo aqui relatado, serão apresentadas as características da preensão da mão humana e o emprego de luvas instrumentadas com sensores, para avaliação das forças de preensão em atividades ocupacionais.

Revisão Bibliográfica

Preensão da Mão Humana

A superfície palmar da mão é altamente adaptada para a preensão, para a qual ela proporciona o atrito, devido à rugosidade da epiderme; excreções aderentes e habilidade de compressão (GLICENSTEIN *et al.*, 1981). Também contém numerosos receptores táteis, proporcionando uma grande quantidade de informação ao sistema nervoso central sobre o objeto com o qual eles entram em contato, o que, associado à grande parcela do córtex motor que é dedicada à manipulação, indica a sua importância para as interações homem-objeto (OKAMURA *et al.*, 2000).

O funcionamento da mão implica em uma coordenação das forças aplicadas sobre o objeto apreendido. Quando se segura um objeto, as componentes tangenciais e normais das forças digitais e os seus pontos de aplicação formam sinergias relacionadas à força necessária de aperto e a manutenção do equilíbrio rotacional (ZATSIORSKY *et al.*, 2004).

A preensão consiste em um componente de transporte, que leva a mão junto ao objeto de interesse, e um componente de pega, que ajusta a abertura dos dedos às características intrínsecas do objeto, por exemplo, seu tamanho, forma e orientação (WEIGELT; BOCK, 2007). Jeannerod (1984) afirma que o componente de transporte dos movimentos preênsais utiliza os mesmos mecanismos adaptativos do apontar e seguir, respondendo à localização espacial de um objeto; o componente de pega estaria relacionado com as características intrínsecas (dimensões, formato, etc.) do objeto, e poderia se adaptar de diferentes maneiras.

Dessa forma, observa-se um infinito número de possíveis pegas, pois há muitas maneiras diferentes de escolher a localização, forças de contato e posicionamento ótimo dos dedos para uma combinação particular entre objeto e tarefa.

Forças de preensão

O movimento preênsil é a aplicação de forças, com um envolvimento anatômico das mãos, contra um objeto para a execução de uma tarefa (IBERALL, 1987). Ressalta-se ainda que várias forças são aplicadas simultaneamente em múltiplos locais no perímetro do objeto, indicando que mais de um tipo de padrão de preensão é utilizado por vez, não existindo, portanto, um limite claro para a classificação das preensões.

Durante uma tarefa de preensão, o contato da superfície palmar com a superfície do objeto não é uniforme e a distribuição de força depende tanto da área de contato, quanto da geometria e das características do objeto, ou ainda da natureza da tarefa a ser desenvolvida (MURALIDHAR *et al.*, 1999). As características do objeto, como a sua textura (FLANAGAN *et al.* 1995), ou a curvatura da superfície (GOODWIN; WHEAT 1992) também influenciam a percepção de peso ou a força de contato, o que pode induzir o sujeito a variar a força aplicada.

Henningsen *et al.* (1995) encontraram que o formato da superfície de contato contra o dedo indicador gerou forças influenciadas pela percepção, começando a ser superestimadas à medida que eram aplicadas em superfícies cônicas, se comparadas a superfícies planas.

Burstedt *et al.* (1997) afirma também que a coordenação de forças dos dedos durante a manipulação surge de uma rede neural independente para cada dedo. Quando os sujeitos manipulam objetos com superfícies diferentes para cada dedo, eles dimensionam a carga independentemente, baseada nas condições de atrito locais naquele dedo.

As forças de aperto se tornam maiores para objetos com superfícies mais lisas, nesse caso, o dimensionamento do atrito não parece estar relacionado a nenhuma tarefa específica ou configuração específica de pega (AOKI *et al.* 2006). Aparentemente, a percepção tátil dos dedos tem um papel importante na coordenação das forças de preensão.

Segundo Wings e Santello (2005), a magnitude das forças normais produzidas por cada dedo usado para pressionar e segurar um objeto também varia com o peso do objeto e posição do seu centro de massa. Em qualquer tarefa de preensão estática, a soma das forças e momentos aplicados ao objeto tem de ser igual a zero (JENMALM; JOHANSSON, 1997) e a força total produzida pelo polegar precisa ser igual à força total dos outros dedos.

Quando um sujeito segura um objeto com os cinco dedos e o levanta, um padrão de compartilhamento de força característico se apresenta, onde o indicador produz a maior porção de força, seguido pelo médio, anelar e mínimo (SANTELLO; SOECHTING, 2000). Este padrão é estabelecido no início do levantar, sendo modulado de acordo com o centro de massa do objeto, mesmo quando esse não pode ser predito em um teste inicial, e é preservado quando a pega é realizada pela mão não preferencial (REARICK *et al.*, 2003).

Zatsiorsky *et al.* (2002) descreve três fenômenos principais observados no comportamento das forças de preensão. O primeiro é o compartilhamento de força, ou seja, a força total é compartilhada entre os dedos de uma maneira específica, dependendo da tarefa. O segundo é o déficit de força, no qual a força máxima produzida por um dedo qualquer em uma tarefa de muitos dedos é menor do que a gerada em uma tarefa com apenas esse dedo. O terceiro é a subordinação, na qual dedos que não foram instruídos a produzir força são ativados involuntariamente, esses efeitos revelam a existência de interconexões biomecânicas e neurofisiológicas entre os dedos, no qual um comando neural para um dedo induz a ativação de outros.

De qualquer maneira, observa-se que a identificação e mensuração de forças de preensão são importantes na realização de avaliações de usabilidade de instrumentos manuais, já que isto possibilita qualificar o design ergonômico nesses dispositivos. Para Fellows e Freivalds (1991), a identificação e mensuração destas forças podem ser obtidas com o uso de sensores FSR – Force Sensing Resistors. Hall (1997) afirma, inclusive, que o uso desse tipo de sensores é uma técnica vastamente utilizada para esse tipo de avaliação e mensuração.

Sensores FSRs

Os sensores FSRs são dispositivos em que a resistência varia em função da força mecânica (ou pressão) aplicada em sua área ativa. A sua sensibilidade à força é ótima para o uso em equipamentos eletrônicos de controle por toque humano. O sensor consiste em dois filmes espessos de polímero unidos por um adesivo espaçador, que promove a ventilação do sistema, como pode ser visto na Figura 01. Na camada superior encontra-se impresso um material semicondutor e na inferior, eletrodos inter-espaçados. Quando se aplica uma força sobre essa estrutura, as camadas entram em contato promovendo uma queda da resistência à passagem da corrente elétrica.

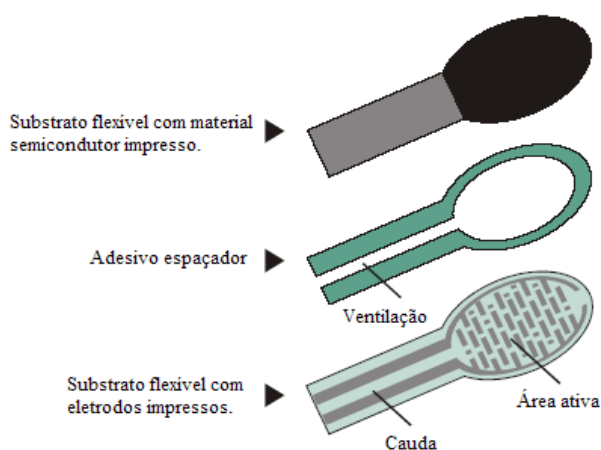


Figura 01. Estrutura de um FSR (Adaptado de Interlink Electronics, 2002, p. 05).

Paschoarelli e Coury (2004) aplicaram esse tipo de sensor para avaliar e analisar as forças de reação relativas ao tipo de preensão empregada em dois diferentes desenhos de equipamentos para ultrassonografia, sendo que o primeiro foi desenvolvido para o uso com preensão de precisão e o segundo para o uso com preensão palmar. Os resultados permitiram concluir qual o dispositivo mais adequado, de forma a minimizar os atritos da interface mão-objeto.

Nessa ocasião, os sensores foram fixados nas mãos por meio de dedais obtidos com o corte de luvas cirúrgicas. Apesar do sucesso do procedimento citado, o mesmo exigiu muito tempo de preparação para a coleta, além da necessidade de assistência adicional para a confecção dos dedais e fixação dos sensores.

Dessa forma, observou-se a necessidade de um equipamento auxiliar que torne a preparação de tais procedimentos mais ágil, e ainda, permita a avaliação de mais pontos de concentração de pressão na região palmar da mão. Esse equipamento pode ser comparado a um par de luvas contendo sensores de pressão em pontos específicos, o qual permitirá avaliações com menor interferência e maior interação entre a mão e o objeto apreendido.

Utilização de luvas em avaliações de preensões

Tarchanidis e Lygouras (2003) afirmam que o uso de luvas abrange diversas áreas do conhecimento: a utilização em realidade virtual; robótica; biomecânica; e para fins terapêuticos. Nesse sentido, apresentam uma luva que obtém informação sobre a posição dos dedos e quantifica a força aplicada no objeto. Utilizaram uma luva de cotton imerso em látex, tornando os sensores firmemente presos à luva, sendo que a mesma pode ser facilmente removida sem destruir os sensores. O equipamento utilizado pode ser visualizado na Figura 02.



Figura 02. Luva equipada com sensores de posição e força (Fonte: Tarchanidis e Lygouras, 2003, p. 1)

Para o caso específico da aplicação em biomecânica, Kong e Freivalds (2003) utilizaram uma luva equipada com 12 sensores FSRs (Figura 03) para avaliar a contribuição de força das falanges distais, médias e proximais em uma tarefa de força máxima de tração com pegas para transporte de carnes.

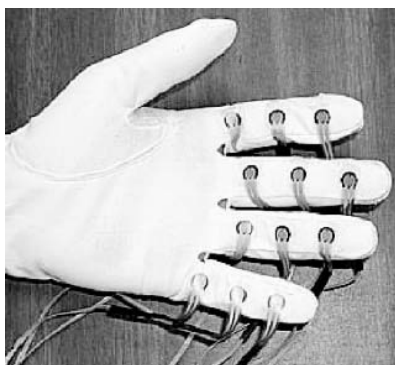


Figura 03. Luva com sensores em cada falange (Fonte: Kong; Freivalds, 2003, p. 3).

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito dos formatos de pegadas em tarefas de tração máxima, na atividade muscular, na distribuição da força nos dedos, o desconforto na pega, a força nos tendões dos dedos e determinar o formato ótimo para pegadas pela atividade do músculo flexor e força de tração. O uso desse equipamento contribuiu para o sucesso dos itens mencionados, além de possibilitar a identificação de um modelo biomecânico de forças nos tendões dos dedos.

Já para o uso clínico, Castro e Cliquet (2000) apresentam um sistema prático para uso diário na reabilitação dos movimentos dos membros superiores. Um sistema de controle com feedback empregando uma combinação de sensores de força e de posição dos dedos ofereceu um controle da preensão sob diferentes condições (Figura 04).



Figura 04. Luva com sensores no dedo polegar e nas falanges médias do dedo médio e indicador e (Fonte: Castro; Cliquet, 2000, p. 2).

Lu *et al.* (2008) analisaram as forças de interação da mão e o esforço do polegar durante o uso de três modelos de pipetas. Os autores apontam que o esforço repetitivo do polegar pode resultar em fadiga muscular da mão. Forças exercidas pelo polegar e mão com desvio ulnar em tarefas com pipetas também representam um fator de risco para o desenvolvimento DORTs, tais como a Síndrome do Túnel Carpal e tenossinovites (ARMSTRONG *et al.*, 1987 *apud* LU *et al.*, 2008). Para a coleta dos dados necessários, utilizaram uma luva instrumentada com sensores Flexiforce™ (Tekscan Inc, Boston – MA), como pode ser visto na Figura 05.



Figura 05. Sensores FlexiForce™ fixados em uma luva para avaliar modelos de pipetas. (Fonte: LU *et al.*, 2008, p. 20).

Os resultados desse estudo revelaram que a força exercida pelo polegar e mão durante as tarefas com pipetas são ditadas pelo design da pipeta, independentemente da tarefa, posição corporal e volume da amostra transportada.

Em síntese, todos esses estudos anteriores relatam o sucesso no uso de um sistema que utilize luvas e sensores para obter informações a respeito da interface da mão com o item avaliado. Dessa forma, a aplicação desse sistema pode gerar parâmetros significativos para avaliações de usabilidade em instrumentos manuais.

Objetivos

O objetivo desse estudo é o desenvolvimento de um protótipo de luva instrumentada que colabore na avaliação de atividades manuais, dotado de sensores FSRs dispostos sobre a face palmar da região metacarpal e falanges distais, o qual possibilitará mensurar as forças de reação em diferentes tipos de preensões: de força (palmar) e de precisão (digital). Esse protótipo será utilizado na avaliação de diferentes designs de instrumentos manuais, indicando os pontos de concentração de pressão sobre a superfície palmar da mão.

Metodologia

Materiais - Luva

Para a escolha da luva a ser utilizada, buscou-se reduzir possíveis interferências na interface entre a mão e o objeto. A atuação dos sensores não deveria ser prejudicada, bem como a sua fixação nos locais determinados. Nesse sentido, foram analisadas as especificações de vários desses produtos disponíveis no mercado. O produto que se mostrou mais compatível com essas determinações foi a luva X-Thermo® da Solo® (Figura 06), esta se trata de um modelo desenvolvido para ser usado sob outras luvas de proteção para fins de aquecimento durante a prática de esportes a baixas temperaturas, como o alpinismo por exemplo.



Figura 06. Luva X-Thermo® do fabricante Solo. (Fonte: SOLO®, 2007).

Materiais - Sensores

Os sensores utilizados constituem-se dos dispositivos citados anteriormente. Foram utilizadas dez unidades do modelo 402, com área ativa de $\frac{1}{2}$ "', conforme visualizado na Figura 07.



Figura 07. Sensor FSR e suas dimensões (modelo 402, $\frac{1}{2}$ "').

Procedimentos

Localização dos sensores

A localização dos sensores foi determinada considerando as possíveis atividades a serem desenvolvidas e as regiões mais suscetíveis de pressão excessiva durante atividades simuladas com pegas cilíndricas, como descritas por Kong e Lowe (2005). O máximo de dez sensores pode ser utilizado por luva, devido a esse fato, foi mantido um receptáculo em reserva, o que permitirá a mobilidade dos sensores de acordo com a atividade a ser analisada. A localização dos sensores pode ser vista na Figura 08.

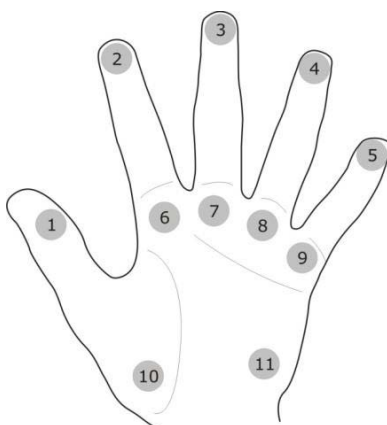


Figura 08. Esquema da disposição dos sensores sobre a superfície palmar da mão.

Alojamento dos sensores

Para a fixação dos sensores, pequenos setores circulares de tecido (malha) foram costurados nas regiões determinadas, como pode ser visto no esquema da Figura 09. Essa costura ultrapassa sutilmente a linha do diâmetro do sensor para mantê-lo posicionado, porém, devido à elasticidade do material este permanece removível, possibilitando a realocação e substituição dos sensores de forma fácil e rápida.



Figura 09. Esquema de alojamento dos sensores, vista explodida.

Em seguida, houve um processo de acabamento, atribuindo o formato circular aos receptáculos dos sensores e finalizando a construção dos alojamentos. A Figura 10 exibe a luva para a mão direita após o processo de acabamento.



Figura 10. Luva para a mão direita após o processo de acabamento.

Calibração

Os FSRs não podem ser considerados sensores de alta precisão. Os resultados obtidos em levantamentos dinâmicos devem considerar que sua precisão pode variar de $\pm 5\%$ à $\pm 25\%$, dependendo da consistência das medidas e atuação do sistema. Já a resolução dos resultados obtidos em situações estáticas apresenta-se em torno de $\pm 5\%$ da força total. Em situações em que se pretende obter maior precisão nos dados, deve-se realizar uma calibração individual nos sensores.

O método adotado para a calibração dos FSRs foi o desenvolvido por Paschoarelli e Coury (2003), que adaptaram a calibração sugerida pelo fabricante dos sensores (Interlink Electronics) para analisar a relação entre força e resistência elétrica desse equipamento. Esse processo consiste, basicamente, no ajuste dos valores nominais de voltagem de saída dos sensores a uma curva paramétrica, obtida a partir de uma regressão polinomial (SILVA *et al.* 2007).

Resultados

O desenvolvimento desse protótipo pode colaborar expressivamente na avaliação de atividades manuais. A mobilidade e facilidade de substituição dos sensores permitem que os mesmos sejam concentrados em regiões específicas da mão, de acordo com o tipo de pega analisado.

As características técnicas da luva permitem uma interferência reduzida e alta sensibilidade tátil durante a manipulação de objetos, assim como pequena alteração das condições de atrito com os mesmos. A disposição dos sensores e o seu cabeamento pela região dorsal da mão também garantem a mobilidade das juntas e articulações exigidas por uma grande variedade de tarefas (Figura 11).



Figura 11. Luva com os sensores aplicados.

Esse protótipo poderá agora ser submetido a diferentes testes, nos quais serão avaliadas a sua precisão quanto à identificação de diferentes padrões de preensão e a sua aplicabilidade na avaliação do design de instrumentos manuais, indicando os níveis de pressão em pontos específicos da superfície palmar da mão.

Discussão e Considerações Finais

A utilização de luvas em processos de avaliação de forças de reação na superfície palmar da mão é um processo adotado com sucesso em diversas pesquisas de teor científico. Entretanto, algumas considerações devem ser feitas a respeito do uso desse dispositivo, por exemplo, as dimensões da luva devem ser ajustadas aos diferentes tamanhos de mãos, permitindo um ajuste ótimo da mesma para diferentes gêneros ou variabilidade antropométrica.

Além disso, nas mensurações das tarefas, os sensores podem fazer contato parcial com o objeto apreendido, dependendo da configuração da mão e do objeto. Esse contato parcial distribui sobre o sensor uma pressão abaixo da pressão total exercida/recebida pela mão.

Jones e Piatieski (2006) verificaram também que a magnitude de forças geradas pelos músculos que controlam a mão e o braço é influenciada por feedbacks cutâneos da pega ou da superfície de contato, mesmo quando as forças são produzidas por músculos no braço. Em um estudo com três grupos musculares das mãos e braços, concluíram que a remoção do feedback sobre a distribuição de forças na mão ocasionou uma mudança na magnitude percebida de forças geradas. Na ausência do mesmo sobre a distribuição de forças nos dedos, as forças musculares são percebidas como menores do que elas são realmente.

Considerando o nível de precisão dos sensores e as limitações impostas pelo uso de luvas, o protótipo de luva seria recomendado apenas para fins comparativos na avaliação ergonômica do design de interfaces mão-objeto, por exemplo, como efetuado por Lu *et al.* (2008) em estudo com três modelos comerciais de pipetas. Assim, considera-se que o protótipo pode colaborar expressivamente na avaliação do design de novos (e antigos) produtos e em intervenções ergonômicas em postos de trabalho.

Agradecimentos

O desenvolvimento deste estudo contou com o apoio da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo 06/55891-3) e do PIBIC-CNPq.

Referências

- AOKI, T.; NIU, X.; LATASH, M. L.; ZATSIORSKY, V. M. Effects of friction at the digit-object interface on the digit forces in multi-finger prehension. **Experimental Brain Research** 172: p. 425–438, 2006.
- BURSTEDT, M. K.; EDIN, B. B.; JOHANSSON, R. S. Coordination of fingertip forces during human manipulation can emerge from independent neural networks controlling each engaged digit. **Experimental Brain Research** 117: p. 67–79, 1997.
- CASTRO, M. C. F.; CLIQUET JR, A. An artificial grasping evaluation system for the paralysed hand. **Medical & Biological Engineering & Computing**, Vol. 38, p. 275-280, 2000.
- FELLOWS, G.L.; FREIVALDS, A. Ergonomics evaluation of a foam rubber grip for tool handles. **Applied Ergonomics**, 22 (04): 225-230. 1991.
- FLANAGAN, J. R.; WING, A. M.; ALLISON, S.; SPENCELEY, A. Effects of surface texture on weight perception when lifting objects with a precision grip. **Perceptual Psychophys** 57: p. 282–290, 1995.
- GOODWIN A. W., WHEAT H. E. Magnitude estimation of contact force when objects with different shapes are applied passively to the fingerpad. **Somatosensory & motor research** 9: p. 339–344, 1992.
- GLICENSTEIN, J.; DARDOUR, J. The pulp: anatomy and physiology. In: **The hand**, R. Tubiana vol 1, Philadelphia: W. B. Saunders, p. 116-120, 1981.

HALL, C. External pressure at the hand during object handling and work with tools. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Vol. 20 (03): p. 191-206, 1997.

HENNINGSSEN, H.; ENDE-HENNINGSSEN B.; GORDON A. M. Contribution of tactile afferent information to the control of isometric finger forces. **Experimental Brain Research** 105: p. 312–217, 1995.

IBERALL, T. The nature of human prehension: three dexterous hands in one. **IEEE Proceedings International Conference on Robotics and Automation**, vol. 2, 1987.

INTERLINK ELECTRONICS INC. FSR – Force Sensing Resistors Integration Guide and Evaluation Parts Catalog. Camarillo (USA), 26p, (Version 1.0), 2002.

JENMALM, P.; JOHANSSON, R. S.. Visual and somatosensory information about object shape control manipulative fingertip forces. **Journal of Neuroscience** 17: p. 4486–4499, 1997.

JONES, L. A.; PIATESKI, E. Contribution of tactile feedback from the hand to the perception of force. **Experimental Brain Research** 168: 298–302, 2006.

JEANNEROD, M. The timing of natural prehension movements. **Journal of Motor Behavior** 16: p. 235–254, 1984.

KONG, Y.; FREIVALDS, A. Evaluation of meat-hook handle shapes. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Vol. 32, p. 13–23, 2003.

KONG, Y.; LOWE, B. D. Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 35 (06): p. 495-507, 2005.

LU, M. L.; JAMES, T.; LOWE, B.; BARRERO, M.; KONG, Y. K. An investigation of hand forces and postures for using selected mechanical pipettes. **International Journal of Industrial Ergonomics** 38: p. 18–29, 2008.

MOREIRA, D. ÁLVAREZ, R. R. A.; GOGOY, J. R.; CAMBRAIA, A. N. Abordagem sobre preensão palmar utilizando o dinamômetro JAMAR®: uma revisão de literatura. Brasília: **Revista Brasileira Ciência e Movimento**, v. 11 n. 2 (06): p. 95-99, 2003.

MURALIDHAR, A.; BISHU, R. R.; HALLBECK; M. S. The development and evaluation of an ergonomic glove. **Applied Ergonomics**, Vol. 30 555-563, 1999.

OKAMURA, A. M.; SMABY, N.; CUTKOSKY, M. R. An Overview of Dexterous Manipulation. Proceedings of the 2000 IEEE. **International Conference on Robotics & Automation**. San Francisco: CA (04) 2000.

PASCHOARELLI, L. C.; GIL COURY, H. J. C. Calibração de Sensores FSRs: definindo a equação a partir da regressão polinomial. In: **Anais X Congresso Brasileiro de Biomecânica**. 02: p. 86-89, 2003.

PASCHOARELLI, L. C.; GIL COURY, H. J. C. O uso de FSR na avaliação de preensão de instrumentos manuais: uma alternativa metodológica para o design ergonômico de empunhadura. In: **Anais do VI Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design – P&D Design. 2004.**

PUTZ-ANDERSON, V. Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal disease of upper limbs. London: **Taylor & Francis**, 1988, 151p.

SANTELLLO, M.; SOECHTING, J. F. Force synergies for multifingered grasping. **Experimental Brain Research** 133: p.457–467, 2000.

SILVA, D. C. ; PASCHOARELLI, Luis Carlos ; ULSON, J. A. C. ; RAZZA, B. M. . Diferentes Métodos de Calibração de Sensores FSRs. In: **Anais do VII Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia - VII Ergodesign**, 2007, Camboriú.

SOLO®. Luva X-Thermo. Disponível em:
<http://www.solobr.com/solo/produtos/produto.aspx?idcategoria=1&idsubcategoria=9&idproduto=519>. Acessado em: 14/11/2007.

TARCHANIDIS, K. N.; LYGOURAS, J. N. Data Glove With a Force Sensor. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, Vol. 52 (06), n. 3, p. 984 – 989, 2003.

WEIGELT, C.; BOCK, O. Adaptation of grasping responses to distorted object size and orientation. **Experimental Brain Research**, 181: p. 139–146, 2007.

WINGES, S. A.; SANTELLO, M. From Single Motor Unit Activity to Multiple Grip Forces: Mini-review of Multi-digit Grasping. **Integrative and Comparative Biology** 45: p.679–682, 2005.

ZATSIORSKY V. M.; GREGORY R. W.; LATASH M. L. Force and torque production in static multifinger prehension: biomechanics and control. I. Biomechanics. **Biological Cybernetics** 87: p. 50–57, 2002.

ZATSIORSKY, V. M.; LATASH, M. L.; GAO, F.; SHIM, J. K. The principle of superposition in human prehension. **Robotica** 22: p. 231–234, 2004.