

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

Avaliação de Pegas e Sobrecarga dos Membros Superiores
durante o Manuseio de Caixas: Aspectos Biomecânicos e
Perceptuais

Luciana Cristina da Cunha Bueno Silva

São Carlos
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

**Avaliação de Pegas e Sobrecarga dos Membros Superiores
durante o Manuseio de Caixas: Aspectos Biomecânicos e
Perceptuais**

Orientação: Prof^a Dr^a Helenice Jane Cote Gil Coury

Luciana Cristina da Cunha Bueno Silva

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Fisioterapia. Área de Concentração: Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia.

Apoio Financeiro: CNPq (processo: 142408/2009-3)
São Carlos
2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

S586ap

Silva, Luciana Cristina da Cunha Bueno.

Avaliação de pegas e sobrecarga dos membros superiores durante o manuseio de caixas : aspectos biomecânicos e perceptuais / Luciana Cristina da Cunha Bueno Silva. -- São Carlos : UFSCar, 2012.
149 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Ergonomia. 2. Materiais - manuseio. 3. Membros superiores. 4. Eletrogoniômetro. 5. Eletromiografia. 6. Inclínômetro. I. Título.

CDD: 615.82 (20^a)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da banca examinadora para defesa de tese de doutorado de LUCIANA CRISTINA DA CUNHA BUENO SILVA, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, em 21 de Junho de 2012.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Helenice Jane Cote Gil Coury
(UFSCar - São Carlos)

Prof. Dr. Rodrigo Luiz Carregaro
(UnB)

Profa. Dra. Rosimeire Simprini Padula
(USF/UNICID)

Profa. Dra. Leticia Carnaz
(UFSCar - São Carlos)

Profa. Dra. Tatiana de Oliveira Sato
(UFSCar - São Carlos)

DEDICATÓRIA

À minha família,

Aos meus queridos pais José Antônio e Maria Cristina que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram nos momentos mais difíceis! Eu sei que os meus sonhos também foram os de vocês! Espero um dia ser para meus filhos uma parte do que vocês foram para mim...

“Aprende que há mais dos seus pais em você do que você supunha. Aprende que nunca se deve dizer a uma criança que sonhos são bobagens, poucas coisas são tão humilhantes e seria uma tragédia se ela acreditasse nisso.”

William Shakespeare

Ao meu irmão Daniel por ter dividido comigo parte de todo o processo de construção desta tese. Mesmo você tendo crescido, você pode ter certeza que sempre irei te curar e cuidar de você. Foi muito difícil estar aqui sem você!

*“Ele era um menino
Valente e caprino
Um pequeno infante
Sadio e grimpante.
Anos tinha dez
E asinhas nos pés”*
Vinicius de Moraes

Aos meus queridos avós João e Joana pelo imenso carinho e amor. É um privilégio poder conviver com vocês e tê-los ao meu lado!

“Já a avó não tem direitos legais, mas oferece a sedução do romance e do imprevisto.

Mora em outra casa. Traz presentes. Faz coisas não programadas. Leva a passear,

"não ralha nunca". Deixa lambuzar de pirulito. Não tem a menor pretensão pedagógica. É a confidente das horas de ressentimento, o último recurso dos momentos de opressão, a secreta aliada nas crises de rebeldia”.

Raquel de Queirós

Ao meu agora noivo Guilherme, que sempre esteve ao meu lado, desde o vestibular até agora...

“nada vai conseguir mudar o que ficou

Quando penso em alguém só penso em você

E aí, então, estamos bem”

Cássia Eller

Vocês são os amores da minha vida, e esta conquista também é de vocês. Não tenho como agradecer...

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À professora Helenice,

Por ter me acolhido no laboratório, pela oportunidade de aprendizado oferecida, pela disponibilidade, amizade e incentivo. Agradeço muito sua contribuição para minha formação profissional e pessoal, desde a iniciação científica! Por ter acreditado que eu poderia realizar este trabalho. Pelo exemplo de profissionalismo e dedicação.

Minha imensa admiração e respeito!

“Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende”

João Guimarães Rosa

AGRADECIMENTOS

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos pelos ensinamentos ao longo das disciplinas cursadas, desde a Graduação!

Ao Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli pela imensa contribuição com este estudo, além da atenção dispensada, paciência e amizade.

Aos funcionários do programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, especialmente à Kelly por ser tão prestativa e eficiente.

Aos membros da banca, por aceitarem participar desta avaliação e pela grande contribuição com a finalização deste estudo.

À Prof^a Dr^a Michele Elisabete Rubio Alem por facilitar o acesso aos funcionários voluntários do primeiro estudo e por todas as outras contribuições prestadas.

Aos voluntários que participaram deste estudo.

À querida Iolanda, pela sua sensibilidade e carinho, principalmente nos momentos mais difíceis. Você não tem ideia das saudades que vou sentir de você! Queria te levar comigo!

Às queridas amigas Leticia, Bia e Anielle por todo apoio, em todos os momentos. À Le pelas intermináveis conversas, pelas risadas, desabafos, conselhos e companheirismo. Sinto saudades das nossas caminhadas na Avenida São Carlos e das paradas no Mac Donalds! À Bia pelas discussões enriquecedoras, pelos conselhos valiosos, pela generosidade, disposição e paciência em distribuir seus conhecimentos e habilidades (que são muitas!). Você sabe da grande admiração que tenho por você! À Ani pelo carinho e acolhimento nos momentos difíceis e pelas piadas sempre surpreendentes!

Às queridas amigas de laboratório (atuais ou que já defenderam) Tatiana, Roberta, Fabiana e Cristiane pelo apoio nas horas alegres e pelas contribuições valiosas que permitiram o desenvolvimento deste estudo. À Tati pela disponibilidade e generosidade em compartilhar seus conhecimentos. À Rô por ser minha vizinha sempre alerta, amiga e companheira! À Fabi e Cris pela amizade e por sempre estarem dispostas a ajudar!

Aos queridos amigos Helen, Dechristian e Luciana, pela amizade e grande ajuda com a coleta dos dados. À Helen por ser sempre tão atenta e prestativa. Ao Dechris por ser tão detalhista e estar sempre atento aos porquês. À Luzinha pelas infinitas randomizações! Eu aprendi e me diverti muito com vocês! Tenho certeza que vocês vão longe e eu sempre estarei torcendo muito por vocês!

Meu muito obrigada a todos!

*“Talvez não exprima corretamente
a imensa falta
que sentimos de coisas
ou pessoas queridas.*

E é por isso que eu tenho mais saudades...

*Porque encontrei uma palavra
para usar todas as vezes
em que sinto este aperto no peito,
meio nostálgico, meio gostoso,
mas que funciona melhor
do que um sinal vital
quando se quer falar de vida
e de sentimentos.*

*Ela é a prova inequívoca
de que somos sensíveis!
De que amamos muito
o que tivemos
e lamentamos as coisas boas
que perdemos ao longo da nossa existência...”*

Clarice Lispector

É isso que eu sinto e vou sentir de todos vocês, saudades, muitas saudades...

RESUMO

O manuseio de materiais é comum em ambientes ocupacionais e está associado a lesões na coluna lombar e membros superiores. Estudos indicam o uso de alças como uma forma de minimizar a demanda física exigida pela atividade, melhorando o acoplamento entre as mãos do trabalhador e o objeto manuseado. No entanto, mesmo quando as caixas possuem alças, este recurso não é utilizado pela maioria dos trabalhadores, sugerindo a necessidade de novos designs de alças e caixas. Na tentativa de ampliar o conhecimento nessa área, a presente tese foi composta por três estudos. O primeiro estudo teve caráter exploratório e o principal objetivo foi avaliar descritivamente e objetivamente, através da eletrogoniometria de punho, antebraço e cotovelo, como funcionários experientes realizavam o manuseio de caixas de papelão em um setor industrial. As caixas manuseadas haviam sido alteradas por uma intervenção ergonômica, implantada no setor seis meses antes da coleta de dados. A intervenção ergonômica avaliada foi a presença de alças, na forma de perfurações laterais. Os principais resultados apontaram que a forma como o indivíduo apreende a caixa interfere no movimento das articulações avaliadas durante o manuseio. Apesar da grande aceitação dos trabalhadores pelo uso de alças nas caixas, não foram todos os funcionários que as utilizaram em todos os manuseios. Sendo assim, uma hipótese levantada foi de que o posicionamento das mãos próximas à face inferior pudesse proporcionar ao indivíduo maior controle e vantagem biomecânica sobre a carga. Assim, foram realizados dois outros estudos. Estes estudos tiveram caráter experimental e foram realizados em laboratório, seguindo o mesmo método. Equipamentos de inclinometria e eletromiografia foram acrescentados à análise, ampliando o número de articulações avaliadas tendo como objetivo de entender melhor a sobrecarga imposta aos membros superiores. O principal objetivo do segundo estudo foi avaliar um protótipo de caixa de papelão, desenvolvido como alternativa ao design avaliado no primeiro estudo (caixa de papelão comercial com alças). Os resultados demonstraram que os protótipos foram resistentes para a reutilização extensiva em transportes internos, favoreceram pegas mais confortáveis e movimentos mais seguros de punho e cotovelo, bem como exigiram menor atividade eletromiográfica dos extensores do punho e bíceps braquial, quando comparadas às caixas comerciais sem alças. Tendo em vista que as

caixas de papelão apresentam a limitação de permitir apenas o transporte de produtos secos, novos designs utilizando material plástico foram desenvolvidos. O objetivo do terceiro estudo foi: comparar o manuseio de uma caixa comercial com alças e de protótipos com alças ajustáveis confeccionados em plástico, avaliar seus efeitos na postura, atividade elétrica muscular e percepção de agradabilidade dos membros superiores, durante atividades de manuseio. Os protótipos testados possibilitavam a mudança do posicionamento (superior e inferior) e angulação das alças (0°, 15° e 30°). Os protótipos com alças anguladas em 30° apresentaram as melhores avaliações para os movimentos de flexão dos cotovelos, elevação dos ombros e desvio ulnar do punho. Os achados da presente tese mostraram que o melhor design de caixa a ser utilizado depende de características como o tipo de material transportado e das alturas das superfícies de manuseio presentes no ambiente de trabalho. Se as superfícies de manuseio puderem ser padronizadas no ambiente de trabalho, sugerimos pegas próximas às superfícies superiores da caixa para manuseios entre o solo e a altura do trocanter maior do fêmur e, pegas próximas à superfície inferior da caixa (fundo) para manuseios entre o trocanter maior do fêmur e acrômio do trabalhador. Os protótipos avaliados apresentaram boa durabilidade e custo-benefício, e podem ser utilizados em ambientes industriais, principalmente para o transporte interno. Os estudos permitiram aumentar a compreensão sobre condições mais seguras e confortáveis de manuseio, promoveram movimentos mais próximos à postura neutra e exigiram menor atividade elétrica muscular quando comparados a caixas comerciais. Em estudos futuros, sugerimos que sujeitos com experiência em manuseio também avaliem os novos protótipos e que novas articulações e grupos musculares também sejam avaliados.

Palavras-chave: manuseio de materiais, membros superiores, eletrogoniômetro, inclinômetro e eletromiografia.

ABSTRACT

Manual material handling (MMH) is a common task in occupational environments and has been associated with musculoskeletal disorders at low back and upper limbs. Studies have shown that the correct hand/box coupling can minimize the risks for upper limb disorders, suggesting the use of handles as a way to reduce the physical demand required by the task. However, even when the boxes have handles, the workers not always use them during handling, suggesting the need for new boxes and handles designs. In order to improve the knowledge in this area, this thesis was composed by three studies: the first study was exploratory and the main objective was to descriptively and objectively evaluate how experienced workers performed cardboard boxes handling activities in an industry setting. The range of movements for wrists, forearms and elbows were objectively evaluated through electrogoniometry. The boxes had already received an ergonomic intervention, implemented six months before the data collection. The ergonomic intervention evaluated was the insertion of cutout handles in the cardboard boxes. The main results indicated that the way the worker grasps the box is crucial to the upper limbs movements during handling tasks. Thus, one hypothesis was that the positioning of the hands close to the bottom face would give workers greater control and biomechanical advantage regarding the load. In this sense, the second and third studies were performed. These studies had been carried out both experimentally in a laboratory setting, and followed the same data collection methodology. Inclinometers and electromyography equipments were added to the data collection. The aim of the second study was to evaluate a new prototype cardboard, developed as an alternative design to the one evaluated in the first study. The results showed that cardboard prototypes were resistant for reuse in internal transport, comfortable and safer for wrist and elbow movements, as well had promoted a reduced muscle demand on electromyography activity for wrist extensors and biceps brachii, when compared to the commercial boxes. Considering that the cardboard boxes are limited to the transportation of dried products, it is suggested the need for new boxes designs using other types of materials. In this sense, new plastic prototypes have been developed. The aim of the third study was: to compare the common commercial boxes with plastic prototypes boxes regarding their effect on upper limb posture, muscle electrical activity and perceived pleasantness of volunteers about their perception of upper limbs comfort

during handling tasks. The prototypes allowed changes in handle position (top and bottom) and inclination (0 °, 15° and 30°). The prototypes with handles positioned at 30° were positive for the elbow flexion, shoulders elevation and ulnar deviation of the wrists. The results of present thesis showed that the best box to be used depends on conditions such as the type of conveyed material and height of the handling surfaces at the work environments. The evaluated prototypes showed good durability and cost-effective, and can be used in industrial environments, especially for internal transportation. The studies have increased our understanding of safer conditions and more comfortable grips, promoted safer movements and required less electrical muscle activity when compared to commercial boxes. In future studies, we suggest that individuals with experience in manual handling tasks were also evaluated and new joints and muscle groups are also evaluated.

Keywords: manual handling, upper limbs, electrogoniometer, inclinometer and electromyography.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Figura 1: Lado esquerdo: Tipos de pega adotados – A: ambas as mãos utilizando as alças da caixa; Pega B: uma das mãos utilizando a alça, enquanto a outra mão foi posicionada no bordo inferior da aba contralateral; C: a mão esquerda inserida na alça enquanto a mão direita foi posicionada na parte inferior direita da caixa; D: ambas as mãos utilizaram os cantos laterais da caixa para a preensão. Lado direito: Valores médios dos percentis 10 (-), 50 (•) e 90 (-) para cada tipo de pega e para, respectivamente, os membros superiores direito (D) e esquerdo (E) da flexão do cotovelo, supinação e pronação do antebraço, flexão e extensão e desvios ulnar e radial do punho. A faixa cinza representa a amplitude de movimento considerada segura..... 19
- Figura 2. Figura 2: Caixas utilizadas na coleta: vista superior (A1) e inferior (A2) do protótipo de papelão A; caixa de papelão comercial (B); caixa de papelão comercial com alças na forma de perfurações (C) e; protótipo similar ao A, acrescido de alças bilaterais na forma de perfurações (D)... 35
- Figura 3. Figura 3: Escala subjetiva de Agradabilidade (média e desvio-padrão) e preferência (%) quando o manuseio do protótipo D ocorreu entre as superfícies fixa e ajustável (SF-SA = levantamento) e fixa e chão (SF-SC = abaixamento). O valor médio e desvio-padrão da altura da superfície ajustável no acrômio foram de 144,1 ($\pm 3,5$) cm..... 46
- Figura 4. Caixas utilizadas para a coleta dos dados: A = caixa plástica comercial, B.1 = protótipo com alças na posição superior e 0° de inclinação com relação à horizontal; C.1 = protótipo com alças na inferior e 0° de inclinação com relação à horizontal..... 71

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores médios e desvios-padrão (DP) para os percentis 10 de extensão do punho direito e esquerdo (-), 90 de flexão do cotovelo direito e esquerdo (+) e 90 de elevação dos braços direito e esquerdo (+). A: protótipo com recessos inferiores; B: caixa comercial regular; C: caixa comercial com alças na forma de perfurações. SF-SA/SA-SF: manuseio entre suporte fixo e suporte ajustável. SF-SC/SC-SF: manuseio entre o suporte fixo e o chão. Lev/o = levantamento; Aba/o = abaixamento. As letras sobrescritas mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas..... 49
- Tabela 2. Valores médios e desvios-padrão (DP) para os percentis 90 dos músculos trapézio descendente direito e esquerdo, bíceps braquial direito e esquerdo e extensores do punho direito e esquerdo. A: protótipo com recessos inferiores; B: caixa comercial regular; C: caixa comercial com alças na forma de perfurações. SF-SA/SA-SF: manuseio entre suporte fixo e suporte ajustável. SF-SC/SC-SF: manuseio entre o suporte fixo e o chão. Lev/o = levantamento; Aba/o = abaixamento. As letras sobrescritas mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas..... 53

Tabela 3. Médias e desvios-padrão (\pm DP) da escala subjetiva de agradabilidade para cada uma das caixas avaliadas em cada uma das alturas de manuseio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,05$). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão; SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o suporte ajustado na altura do trocanter maior do fêmur; SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o suporte ajustado na altura do acrômio direito..... 80

Tabela 4. Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos percentis 90 e 10 para os antímeros (D) e esquerdo (E) dos registros da EGM do cotovelo (P90 flex cotovelo, +), movimento de extensão do punho (P10 extensão punho, -) e desvio ulnar do punho (P90 desv ulnar do punho, +). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocanter maior. SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrômio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os dados estão apresentados em graus ($^\circ$)..... 84

Tabela 5. Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos percentis 90 dos registros da INC dos braços (P90 de elev braços) para os antímeros direito (D) e esquerdo (E). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B,1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B,2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B,3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C,1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C,2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C,3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocanter maior. SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrômio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os dados estão apresentados em graus (°)..... 86

Tabela 6. Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos percentis 90 para os antímeros (D) e esquerdo (E) dos registros da EMG dos músculos bíceps braquial (P90 bíceps), extensores do punho (P90 ext punho) e porção superior do trapézio (P90 porção sup trapézio). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocanter maior, SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrômio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os dados estão apresentados em valores percentuais da contração isométrica voluntária máxima (CIVM)..... 88

Tabela 7. Aspectos positivos e negativos dos principais resultados encontrados para os manuseios das caixas plásticas considerando todas as alturas avaliadas.....	93
--	----

SUMÁRIO

1. Contextualização.....	1
2. Justificativa.....	5
3. Primeiro Estudo.....	9
3.1. Introdução.....	12
3.2. Métodos.....	14
3.3. Procedimentos.....	15
3.4. Análise dos dados.....	17
3.5. Resultados.....	18
3.6. Discussão.....	21
4. Desdobramentos do Primeiro Estudo.....	25
5. Segundo Estudo.....	27
5.1. Introdução.....	30
5.2. Métodos.....	33
5.2.1. Sujeitos.....	33
5.2.2. Protótipos e caixas de papelão comerciais.....	34
5.2.3. Atividades.....	36
5.2.4. Escala Subjetiva de agradabilidade.....	37
5.2.5. Registros eletrogoniométricos.....	38
5.2.6. Registros inclinométricos.....	39
5.2.7. Eletromiografia.....	40
5.3. Análise dos dados.....	42
5.4. Resultados.....	45
5.4.1. Percepção de agradabilidade e preferência.....	45
5.4.2. Registros eletrogoniométricos.....	47
5.4.3. Registros inclinométricos.....	51
5.4.4. Eletromiografia.....	51
5.5. Discussão.....	54
6. Desdobramentos do Segundo Estudo.....	60
7. Terceiro Estudo.....	62
7.1. Introdução.....	65
7.2. Métodos.....	68

7.2.1. Sujeitos.....	68
7.2.2. Protótipos e caixas de plástico comerciais.....	69
7.2.3. Atividade de manuseio.....	72
7.2.4. Escala subjetiva de agradabilidade.....	73
7.2.5. Registros eletrogoniométricos.....	74
7.2.6. Registros inclinométricos.....	74
7.2.7. Eletromiografia.....	75
7.3. Análise dos dados.....	77
7.4. Resultados.....	80
7.4.1. Escala subjetiva de agradabilidade.....	80
7.4.2. Registros eletrogoniométricos.....	81
7.4.3. Registros inclinométricos.....	85
7.4.4. Eletromiografia.....	87
7.5. Discussão.....	89
8. Considerações Finais.....	95
9. Referências.....	98
10. Anexos.....	114
10.1. Primeiro estudo.....	115
10.2. Escala de dor.....	116
10.3. Protocolo comitê de ética.....	118
10.4. Segundo estudo.....	120
10.5. Ficha de avaliação inicial.....	122
10.6. Escala de agradabilidade.....	124
10.7. Terceiro estudo.....	126

1. CONTEXTUALIZAÇÃO



1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Muitas atividades ocupacionais ou da vida diária requerem o manuseio de materiais. O manuseio compreende as atividades de puxar, empurrar, manter, levantar, abaixar ou carregar objetos e/ou cargas. O levantamento e abaixamento de cargas são as atividades mais comuns, e representaram 39,9% e 29,5%, respectivamente, das 25.291 atividades analisadas por Ciriello et al. (1999) em 2.442 indústrias dos EUA em 1999. Em ambientes ocupacionais, as atividades de manuseio são descritas como: transporte de mercadorias, carregamento ou descarregamento de caixas ou sacos, remoção de materiais de esteiras, empilhamentos em depósitos, dentre outros (JUNG e JUNG, 2003). Estudos têm associado a atividade de manuseio ao desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas, sendo que a região lombar é a mais acometida, seguida pelos membros superiores (DEMPSEY e HASHEMI, 1999; STRAKER, 1999; YEUNG, et al., 2002; SMITH et al., 2004).

Grande número de estudos tem enfatizado a região da coluna lombar durante o manuseio de materiais (GAGNON et al., 2002; PADULA e GIL COURRY, 2003a e b), porém DEMPSEY e HASHEMI (1999) afirmam que outras regiões do corpo, como os membros superiores, também devem ser estudadas. Em uma revisão sistemática realizada por Mayer et al. (2011) os autores apontaram forte evidência da associação entre as atividades de manuseio de peso e o aumento do número de queixas na região dos ombros.

Como fatores significativos para o desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas durante a realização de atividades de manuseio, podem ser citados a massa manuseada, a repetição da atividade (MARRAS, 2000), tempo insuficiente para

a recuperação tecidual, posturas inadequadas e o desempenho excessivo de força (COLOMBINI et al., 2008). Com relação a postura, estudos apontam que amplitudes extremas das articulações do punho e antebraço diminuem o braço de alavanca, desfavorecem a aplicação de força (KATTEL et al., 1996; LASTAYO et al., 1995) e predis põem ao desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas.

Estudos preventivos (COURY e DRURY, 1982 E GARG E SAXENA, 1980) envolvendo o manuseio de caixas ou outros recipientes, enfatizam que o acoplamento adequado entre a mão do trabalhador e o objeto manuseado é um fator importante a ser avaliado, sobretudo na prevenção de lesões dos membros superiores. Neste sentido, o uso de alças nos recipientes tem sido sugerido como uma forma de se minimizar a demanda física exigida pela atividade (COURY e DRURY, 1982). Garg e Saxena (1980) avaliaram as dimensões da caixa e os efeitos da presença ou ausência de alças com relação ao peso máximo aceitável para o manuseio. Os autores relataram um decréscimo médio de 7,2% no peso máximo aceitável, devido à ausência de alças. Ainda, quando comparados os fatores dimensões da caixa e ausência de alças, foi verificado um aumento de 40% no peso máximo aceitável devido à presença de alças, quando comparado aos fatores comprimento ou largura das caixas. Assim, a presença das alças facilita o acoplamento das mãos na caixa, tornando a pega mais confortável e segura.

Jung e Jung (2003) avaliaram o transporte e empilhamento de 20 sacos de fertilizantes, com e sem a presença de alças. Os autores relataram uma diminuição significativa na taxa de percepção de esforço, consumo de oxigênio e frequência cardíaca quando os sujeitos realizavam a atividade com o protótipo que apresentava alças. Jung e Jung (2008) avaliaram também o design das alças de um recipiente para transporte de líquidos. Os autores afirmam que a preferência dos voluntários para o

posicionamento das alças durante o manuseio do recipiente parece estar associada às posturas neutras dos punhos, que favoreceram maior aplicação de força, melhorando o desempenho durante a atividade. Embora os autores (Jung e Jung, 2003 e 2008) tenham avaliado aspectos subjetivos (preferência) dos voluntários, não realizaram a avaliação quantitativa dos movimentos dos membros superiores e/ou da atividade elétrica dos músculos envolvidos na preensão, que corroborassem estes dados subjetivos.

Embora a presença de alças seja um fator positivo no que diz respeito à prevenção de lesões, um levantamento industrial realizado por Drury et al. (1982) mostrou que poucas caixas utilizadas na indústria possuem alças. Ainda, os autores afirmam que mesmo quando estão presentes, as alças não são utilizadas por todos os trabalhadores. Estes autores relataram também que o tipo de atividade de manuseio, isto é, se será de levantamento ou abaixamento, podem determinar a posição das mãos na caixa e viabilizar o uso ou não das alças. Em estudo prévio realizado por nosso grupo de pesquisa, conduzido por Oliveira et al. (2012), alguns designs de caixas foram sugeridos, porém não foram testados com relação a sua eficácia no que diz respeito à redução de riscos posturais e de sobrecarga musculoesquelética durante os movimentos dos membros superiores. Assim, neste trabalho, novos designs de caixas foram propostos com a finalidade de identificar desenhos mais favoráveis para a redução na sobrecarga biomecânica dos membros superiores durante o manuseio.

Para descrição dos métodos e resultados dos três estudos foram utilizados os seguintes termos, acompanhados de suas respectivas definições segundo Michaelis (2012): “Preensão”: Ato de segurar, agarrar ou apanhar e ;“Pega”: Ação de pegar, ato de segurar com as mãos, ponto por onde se pega, cabo.

2. JUSTIFICATIVA

.....

2. JUSTIFICATIVA

Os membros superiores são a segunda região corporal mais acometida por lesões musculoesqueléticas devido ao manuseio de materiais (DEMPSEY e HASHEMI, 1999; SMITH et al., 2004). Neste sentido, o desenvolvimento e aprimoramento de novos designs de caixas poderiam favorecer o melhor acoplamento da mão e a promoção de amplitudes de movimento mais seguras, ou de maior vantagem biomecânica. Estes novos designs podem ser aplicados em diferentes setores industriais e, por serem caixas para uso interno (utilizados para o transporte entre setores ou células de um mesmo setor) podem ter maior valor agregado já que não são descartáveis e são as que mais expõem os funcionários a riscos devido ao manuseio constante.

Assim, a presente tese foi composta por três estudos:

Primeiro Estudo: Foi realizada uma investigação com caráter exploratório, em que o principal objetivo foi avaliar descritivamente e objetivamente, através de eletrogoniometria, como funcionários experientes realizavam o manuseio de caixas de papelão em um setor gráfico de uma indústria. A coleta de dados foi realizada em ambiente de trabalho e foram obtidas medidas quantitativas dos movimentos bilaterais de punho, antebraço e cotovelo. As caixas manuseadas já haviam recebido uma intervenção ergonômica, implantada no setor ocupacional com base nos princípios da ergonomia participativa, seis meses antes da coleta dos dados. A intervenção ergonômica efetuada foi a inclusão de alças nas caixas, na forma de perfurações em suas faces laterais, adotadas pela empresa. Os principais resultados apontaram que a forma como o indivíduo apreende a caixa interfere no movimento das articulações avaliadas durante o manuseio. Apesar da grande aceitação dos trabalhadores pelo uso de alças nas caixas, não foram todos os funcionários que as utilizaram em todos os manuseios.

Sendo assim, uma hipótese foi levantada de que o posicionamento das mãos próximas à face inferior pudesse proporcionar ao indivíduo maior controle e vantagem biomecânica sobre a carga. Esta hipótese foi testada no segundo e terceiro estudo.

Segundo Estudo: Este estudo teve caráter experimental/transversal e foi realizado em ambiente de laboratório, para o qual foi criado um ambiente de simulação de uma atividade de manuseio. O principal objetivo do estudo foi avaliar um novo protótipo de papelão, desenvolvido como alternativa ao design avaliado no primeiro estudo. Para o desenvolvimento e confecção do novo design de caixa, foi realizada a parceria com o Laboratório de Ergonomia e Interfaces do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista (UNESP – Campus Bauru). O protótipo foi então desenvolvido sob a supervisão do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli. Para uma análise mais completa da sobrecarga imposta aos membros superiores durante o manuseio de cargas, equipamentos de inclinometria e eletromiografia foram acrescentados à análise. Desta maneira, os movimentos de elevação dos braços e atividade elétrica dos músculos trapézio superior, bíceps braquial e extensores do punho também foram avaliados.

Terceiro Estudo: Este estudo também teve caráter experimental/transversal e foi realizado em ambiente de laboratório, utilizando-se de simulações de atividades de manuseio. Tendo em vista que as caixas de papelão apresentavam como limitação o transporte apenas de produtos secos, verificou-se a necessidade de novos designs e materiais. Assim, foram desenvolvidos novos designs de caixa em material plástico. Para o desenvolvimento e confecção destes novos designs, foi realizada a parceria com o Laboratório de Ergonomia e Interfaces do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista (UNESP – Campus Bauru). Os protótipos foram então desenvolvidos sob a supervisão do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli. Estes novos

designs trouxeram outras possibilidades para o posicionamento das alças, como a possibilidade de inclinação com relação à horizontal. Neste estudo foram utilizados os mesmos equipamentos do estudo anterior. O objetivo do terceiro estudo foi comparar o manuseio de uma caixa comercial com alças e de protótipos confeccionados em plástico, e avaliar seus efeitos na percepção de agradabilidade, postura e atividade elétrica muscular dos membros superiores durante atividades de manuseio simulado entre diferentes alturas.

Estes estudos são apresentados a seguir.

3. Primeiro Estudo

AS ALÇAS DAS CAIXAS SÃO UTILIZADAS PELOS TRABALHADORES DURANTE O MANUSEIO? DESCRIÇÃO DAS PEGAS E MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES DURANTE MANUSEIO DE CAIXAS INDUSTRIAIS EM AMBIENTE OCUPACIONAL

Autores: Luciana C. C. B. Silva, Ana B. Oliveira, Michele E. R. Alem, Luis C. Paschoarelli e Helenice J. C. G. Coury

Artigo publicado na revista Work 41 (2012) 4808-4812

DOI: 10.3233/WOR-2012-0768-4808

IOS Press

3. Primeiro Estudo

AS ALÇAS DAS CAIXAS SÃO UTILIZADAS PELOS TRABALHADORES DURANTE O MANUSEIO? DESCRIÇÃO DAS PEGAS E MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES DURANTE MANUSEIO DE CAIXAS INDUSTRIAIS EM AMBIENTE OCUPACIONAL

RESUMO

Para alcançar posturas seguras de movimento e diminuir os riscos musculoesqueléticos durante o manuseio de materiais é necessário o design adequado de alças que favoreçam o acoplamento das mãos na caixa. Existe uma carência de estudos na literatura que avaliem os movimentos dos membros superiores através de medidas diretas durante o manuseio de materiais, em ambiente real de trabalho. Neste estudo descrevemos os tipos de pega e os movimentos dos membros superiores realizados por dez trabalhadores durante o manuseio de caixas redesenhadas. As caixas redesenhadas possuíam alças laterais na forma de perfurações e os manuseios das caixas ocorriam entre diferentes alturas sobre paletes industriais. O desenho das alças foi sugerido pelos próprios funcionários, baseado no princípio da ergonomia participativa. As alças foram utilizadas por 90% dos trabalhadores e diferentes tipos de pegas foram realizados. Medidas eletrogoniométricas mostraram movimentos relativamente seguros de antebraço e punho, embora os movimentos dos cotovelos tenham sido registrados em amplitudes inadequadas. Embora o redesenho das caixas tenha apresentado boa aceitação por parte

dos trabalhadores, o novo design necessitava de espaço interno vazio extra nas caixas, reduzindo sua aplicação mais ampla em ambientes ocupacionais.

Palavras-chave: manuseio industrial, registros de movimento, eletrogoniômetro, desordens musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho e punho.

Versão em inglês do estudo no ANEXO I.

3.1. INTRODUÇÃO

Apesar da intensa mecanização e rápido avanço tecnológico, o manuseio de materiais ainda é comum em muitos setores industriais e representa uma das maiores preocupações no que diz respeito aos riscos ocupacionais (LIN et al., 2006). Estudos têm avaliado extensivamente a coluna lombar a despeito dos membros superiores, porém estes representam a segunda região corporal mais afetada por distúrbios musculoesqueléticos durante o manuseio de materiais (DEMPSEY e HASHEMI, 1999).

A aplicação de força associada a amplitudes extremas de desvio do punho estão associados à sobrecarga na articulação e desenvolvimento de distúrbios musculoesqueléticos (SANDE et al., 2001). Os movimentos extremos de desvio podem aumentar a pressão no túnel do carpo e diminuir o braço de alavanca dos músculos intrínsecos do punho, aumentando a sobrecarga musculoesquelética e o risco de lesão (WELLS e KEIR, 1999).

Neste contexto, o uso de alças nas caixas tem sido aceito como um meio de promover melhor acoplamento das mãos, evitando amplitudes extremas de movimento e aumentando o peso máximo aceitável para o carregamento (CHENG e LEE, 2006). No entanto, poucas caixas utilizadas em ambientes industriais possuem alças e, quando estão disponíveis, não são utilizadas por todos os trabalhadores (DRURY et al., 1982). Assim, pode ser levantada a hipótese de que, se as alças forem desenhadas segundo princípios ergonômicos, apoiados na ergonomia participativa, os resultados poderiam ser diferentes e as alças poderiam ser utilizadas por todos os trabalhadores.

As caixas de papelão avaliadas pelo presente estudo possuíam alças laterais na forma de perfurações ovais que foram adotadas pelo setor gráfico de uma indústria após uma intervenção, baseada nos princípios da ergonomia participativa. O design das alças

foi sugerido pelos trabalhadores, e após a análise de sua viabilidade, foram adotados pela companhia para o transporte interno de materiais.

Uma vez que esta mudança foi introduzida segundo princípios da ergonomia participativa e que contou com a participação dos trabalhadores, era esperado que as alças fossem utilizadas por eles e garantisse amplitudes seguras de movimento dos membros superiores. Assim, os objetivos do presente estudo foram: 1) descrever os tipos de pega adotados durante o manuseio das novas caixas com alças e; 2) avaliar as amplitudes dos movimentos do punho, antebraço e cotovelo (flexão/extensão e desvios ulnar/radial dos punhos, supinação/pronação dos antebraços e flexão dos cotovelos), registrados por meio da eletrogoniometria, quando os trabalhadores executavam atividades de empilhamento e retirada das caixas sobre paletes, em um ambiente industrial real.

3.2. MÉTODOS

Participaram do estudo dez trabalhadores destros (idade média de $38,2 \pm 8,3$ anos, massa média de $78,3 \pm 13,2$ kg, estatura média de $1,7 \pm 0,05$ m) e não sintomáticos para desordens musculoesqueléticas durante o período de coleta de dados. Os sintomas foram avaliados através de escalas visuais analógicas que associavam a dor e/ou desconforto percebido durante o último ano a uma parte corporal específica dos membros superiores e/ou coluna lombar (ANEXO II). Como todos os voluntários presentes no setor responderam não ter tido dor ou desconforto no último ano, foram considerados assintomáticos. Estes trabalhadores tinham pelo menos um ano de experiência prévia com o manuseio e empilhamento de caixas sobre paletes, critério também adotado por Oliveira et al., (2012). O estudo foi aprovado pelo comitê de ética local (CAAE 0054.0.135.000-07 – ANEXO III).

As caixas manuseadas pelos trabalhadores eram utilizadas para transporte interno de embalagens vazias de um setor gráfico (nas quais as embalagens vazias eram confeccionadas) para as linhas de produção (onde as embalagens vazias eram preenchidas com produtos). A atividade de manuseio consistia no empilhamento de caixas sobre o palete, que possuía 15 cm de altura em relação ao solo. Os trabalhadores poderiam fechar as caixas (fechar as tampas das caixas) antes ou depois da realização do manuseio. Os paletes completos eram então movidos mecanicamente para outro setor, em que as caixas eram então retiradas do palete. As atividades de empilhamento e retirada das caixas eram finalizadas após o manuseio de 16 caixas, distribuídas em 4 camadas. As caixas de papelão tinham as seguintes dimensões 53 cm de largura, 47 cm de profundidade e 27 cm de altura, e alças na forma de perfurações (aberturas) laterais ovais nas dimensões 9 x 4 cm. As camadas 1, 2, 3 e 4 (totalizando as 16 caixas

empilhadas) possuíam, respectivamente, as seguintes alturas em relação ao solo: 42 cm, 69 cm, 96 cm e 123 cm. O design da caixa foi realizado de maneira a fornecer espaço vazio extra suficiente para a inserção dos dedos dos trabalhadores nas perfurações laterais. A estrutura da caixa era forte o suficiente para permitir várias reutilizações, potencializando seu uso. A massa total da caixa variou entre 7 e 20 kg, dependendo da gramatura das embalagens que eram transportadas dentro das caixas. A massa total da caixa foi mensurada para cada sujeito, em cada um dos dias de coleta. Os trabalhadores estavam familiarizados com o novo design da caixa, pois a intervenção havia ocorrido 6 meses antes da coleta dos dados.

Sensores eletrogoniométricos foram utilizados para o registro bilateral dos movimentos dos membros superiores (modelo XM65 para os punhos: mensurou flexão/extensão e desvios ulnar/radial; XM 110 para os cotovelos: mensurou flexão/extensão; Z110 para os antebraços: mensurou supinação/pronação) e a unidade de aquisição DataLog (BIOMETRICS[®], Gwent, UK). Os eletrogoniômetros foram avaliados previamente e considerados confiáveis e acurados (SHIRATSU e COURY, 2003). A frequência de aquisição dos dados foi de 100 Hz.

3.3. PROCEDIMENTOS

Os sensores eletrogoniométricos foram acoplados nos membros superiores dos trabalhadores utilizando fitas dupla-face. Os sensores foram calibrados e acoplados nos sujeitos segundo as instruções contidas no manual fornecido pelo fabricante (BIOMETRICS, 2007). Após o acoplamento dos sensores, os trabalhadores foram instruídos a realizar seu trabalho rotineiro da maneira mais natural possível.

Os dados foram registrados durante todo o período da atividade (preenchimento de um palete, ou 16 manuseios), que ocorreu em apenas um dia. Os trabalhadores avaliados também eram responsáveis pela manutenção das máquinas que confeccionavam as embalagens. Assim, para a identificação correta do início e final de cada manuseio, toda a atividade foi filmada, e os registros de vídeo foram sincronizados com os registros dos sensores eletrogoniométricos. Este procedimento permitiu a identificação precisa das atividades de manuseio. Como nas atividades de empilhamento e retirada das caixas dos paletes os manuseios aconteciam entre as mesmas alturas e superfícies, ambas as atividades (empilhamento e retirada) foram analisadas de maneira conjunta.

3.4. ANÁLISE DOS DADOS

Os tipos de pega identificados durante as atividades de manuseio foram avaliados de maneira descritiva, através dos registros de vídeo. Os dados dos registros eletrogoniométricos foram reduzidos através de uma rotina desenvolvida em ambiente MatLab (7.0.1, The Mathworks Inc., Natick, MA, USA). Os dados foram filtrados com filtro Butterworth, passa-baixo de segunda ordem, com frequência de corte de 5 Hz. A frequência de corte foi determinada após análise residual. Os percentis 10, 50 e 90 foram extraídos dos movimentos registrados por cada um dos sensores eletrogoniométricos, em cada uma das atividades de manuseio, realizadas por cada sujeito.

A presença de risco postural para os membros superiores foi avaliada de acordo com amplitudes de movimento seguras, descritas na literatura (PASCHOARELLI et al., 2008; MURRAY et al., 1995). Para os movimentos do punho a amplitude segura considerada foi entre $\pm 15^\circ$ de flexão (+)/extensão (-) e entre 15° de desvio ulnar (+)/ 10° de desvio radial (-) e amplitudes de até 45° para os movimentos de supinação (+)/pronação (-). Estas faixas de amplitude foram consideradas seguras, pois apresentam vantagem biomecânica para os movimentos destas articulações (PASCHOARELLI et al., 2008). Para a articulação do cotovelo, movimentos entre 80° a 120° de flexão foram considerados seguros, pois esta amplitude de movimento inclui a maior vantagem biomecânica para os principais músculos envolvidos na flexão (MURRAY et al., 1995).

3.5. RESULTADOS

Cinco diferentes tipos de pega foram observados durante as atividades de manuseio (Figura 1 – lado esquerdo). As pegas foram descritas em termos de se as alças foram utilizadas ou não para o manuseio: Pega A: ambas as alças foram utilizadas; Pega B.1: apenas uma das mãos (mão direita) foi inserida na alça, enquanto a outra mão (mão esquerda) foi posicionada no bordo inferior da aba contralateral da caixa (não ilustrado); Pega B.2: oposta à situação anterior, apenas uma das mãos (mão esquerda) foi inserida na alça, enquanto a outra mão (mão direita) foi posicionada no bordo inferior da aba contralateral da caixa; Pega C: a mão esquerda foi inserida na alça enquanto a mão direita foi posicionada na parte inferior direita da caixa (fundo da caixa); Pega D: nenhuma das alças foi utilizada, os cantos laterais da caixa foram utilizados para a preensão e manuseio.

A maioria dos trabalhadores (90%) utilizou as alças para realização dos manuseios, de maneira simétrica ou assimétrica (Figura 1 – A, B.1, B.2 e C). Diferentes tipos de pega foram adotados pelos trabalhadores, porém, a pega escolhida por cada trabalhador se manteve constante durante todo o período da coleta. Apenas um trabalhador utilizou 2 tipos de pega para realização dos manuseios (Pegas A e B.2). O número de trabalhadores que adotou cada um dos tipos de pega foi: Pega A – 4 trabalhadores; Pega B.1 – 1 trabalhador; Pega B.2 – 2 trabalhadores; Pega C – 1 trabalhador; Pega D – 1 trabalhador e 1 trabalhador que adotou a combinação de duas pegas (Pegas A e B.2). Com relação à simetria, 50% das pegas adotadas pelos trabalhadores podem ser consideradas simétricas (Pegas A e D).

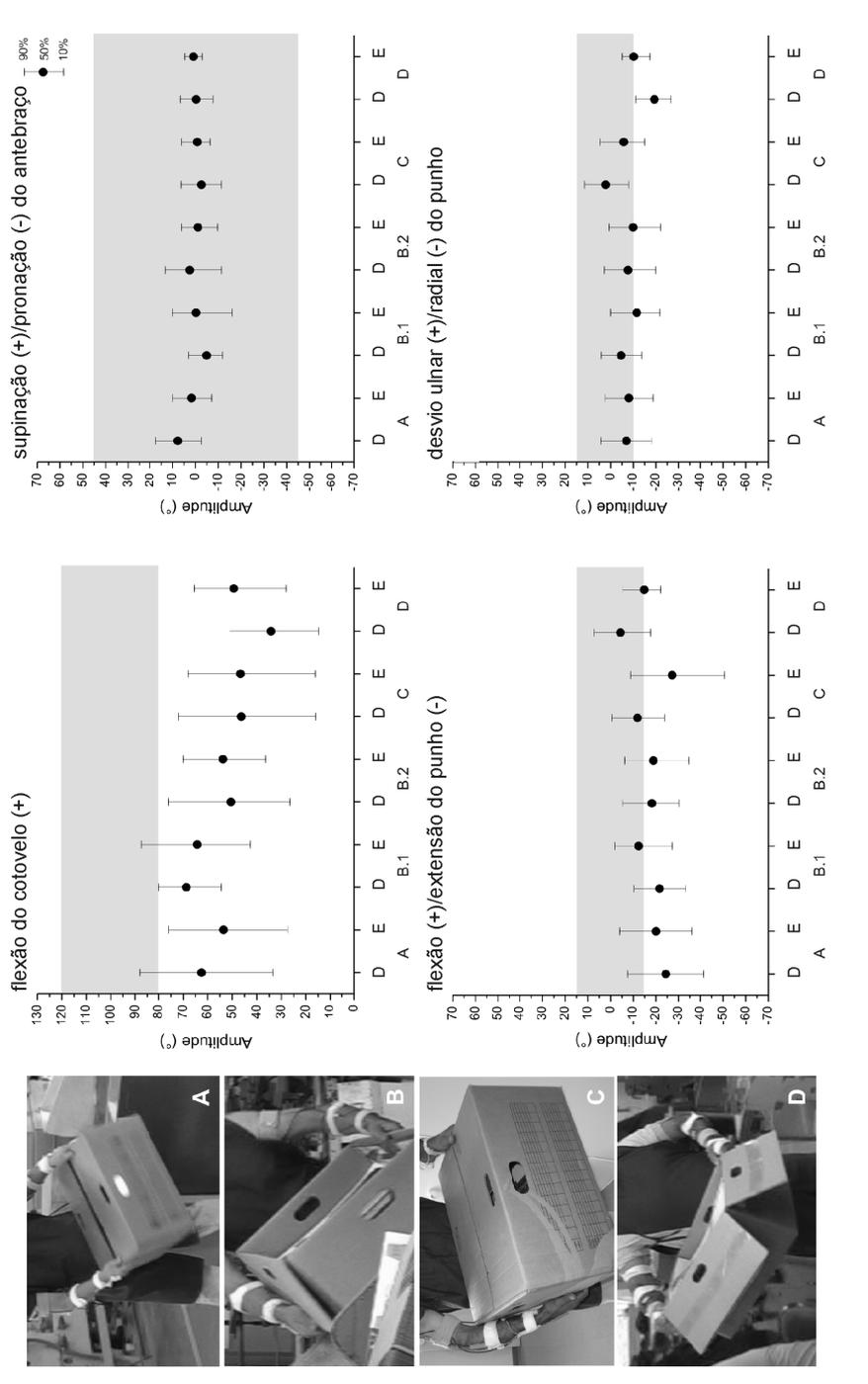


Figura 1: Lado esquerdo: Tipos de pega adotados – A: ambas as mãos utilizando as alças da caixa; Pega B: uma das mãos utilizando a alça, enquanto a outra mão foi posicionada no bordo inferior da aba contralateral; C: a mão esquerda inserida na alça enquanto a mão direita foi posicionada na parte inferior direita da caixa; D: ambas as mãos utilizaram os cantos laterais da caixa para a preensão. Lado direito: Valores médios dos percentis 10 (-), 50 (•) e 90 (+) para cada tipo de pega e para, respectivamente, os membros superiores direito (D) e esquerdo (E) da flexão do cotovelo, supinação e pronação do antebraço, flexão e extensão e desvios ulnar e radial do punho. A faixa cinza representa a amplitude de movimento considerada segura.

Os valores médios dos percentis 10, 50 e 90 dos movimentos registrados durante os manuseios estão apresentados na Figura 1 (lado direito), para cada uma das pegas anteriormente descritas. Maiores amplitudes entre os percentis 10 e 90 indicaram alta variabilidade de movimentos entre os sujeitos para todas as condições, particularmente para os cotovelos e punhos. Os valores de percentil 50 para as amplitudes de cotovelo estavam fora da faixa segura para todos os tipos de pegas (Figura 1 – flexão do cotovelo). O valor médio do percentil 50 mais afastado da faixa segura foi identificado para o cotovelo direito na pega D. Todos os valores de percentis 50 para os movimentos de supinação/pronação registrados estavam dentro da faixa segura de movimento (Figura 1 – supinação e pronação do antebraço).

Os movimentos mais frequentes registrados para ambos os punhos foram extensão e desvio radial (Figura 1 – flexão e extensão e desvio ulnar e radial do punho). Os valores dos percentis 50 de flexão e extensão do punho foram limítrofes à faixa segura, para a maioria das pegas. O valor de percentil 50 mais afastado da faixa segura foi identificado para o punho esquerdo durante a pega C (Figura 1 – flexão e extensão do punho). Para a maioria das pegas, os valores do percentil 50 para os movimentos de desvio ulnar e radial permaneceram nos limites inferiores da faixa segura (Figura 1 – desvio ulnar e radial do punho). O valor de percentil 50 mais afastado da faixa segura foi encontrado para o membro superior direito durante a pega D.

3.6. DISCUSSÃO

Se as alças tivessem sido utilizadas de forma simétrica, movimentos mais similares entre os trabalhadores poderiam ter sido encontrados. No entanto, os resultados mostraram uma alta variabilidade de tipos de pegas e uma pequena variabilidade entre os manuseios de um mesmo trabalhador. Neste sentido, a variação intra-sujeito pode ser considerada baixa, pois a maioria dos trabalhadores (90%) adotou um único tipo de pega durante toda a coleta.

A preferência do trabalhador por um único tipo de pega pode ser explicada por sua experiência no trabalho (pelo menos um ano de experiência prévia no manuseio e empilhamento de caixas sobre paletes). Trabalhadores experientes tendem a desenvolver estratégias individuais que melhoram o balanço ou equilíbrio e permitem um melhor controle da carga durante o manuseio (AUTHIER et al., 1996). Estas estratégias adotadas por trabalhadores experientes, nem sempre simétricas, são desenvolvidas para aumentar a vantagem biomecânica no manuseio dos materiais. No presente estudo, observações das atividades realizadas através dos registros de vídeo mostraram que alguns trabalhadores tendiam a inclinar lateralmente as caixas durante as atividades de manuseio.

Em três tipos de pegas (pegas B.1, B.2 e C) a caixa foi também apreendida pela face inferior (fundo). A preensão da caixa com apoio das mãos na superfície inferior (fundo) foi relatada por Padula et al. (2006) principalmente durante manuseio de caixas pesadas (10 kg). De maneira similar, a preferência por pegas com apoio das mãos nas faces laterais superiores das caixas foram mostradas por Jung e Jung (2010), quando as caixas avaliadas eram mais leves (4,2 kg). A escolha por manusear caixas pesadas com apoio das mãos nas faces inferiores permite que o centro de massa da carga seja trazido

mais próximo ao corpo do trabalhador. Além disso, a distribuição do peso da caixa entre os dedos e palmas aumenta o controle do trabalhador sobre a carga. Conjuntamente, todas estas estratégias parecem minimizar o estresse nas articulações dos membros superiores e coluna lombar durante os manuseios e podem ser consideradas quando no desenvolvimento de novos designs de caixas. Com relação às diferentes cargas manuseadas (7 a 20 kg), segundo Authier et al. (1995) mudanças na carga têm pequeno efeito nas técnicas de manuseio e, portanto, nos movimentos adotados.

Apesar das diferenças nos tipos de pega adotados no presente estudo, o número de trabalhadores que escolheram manusear as caixas inserindo as mãos nas alças foi alto, particularmente considerando que eles não tiveram treinamento que incentivasse seu uso. O fato de os trabalhadores ainda estarem utilizando as alças 6 meses após sua introdução nas caixas parece ser um indicativo claro da aceitação desta alternativa. O fato de a intervenção ter sido apoiada na abordagem participativa pode também ter contribuído para estes resultados. Apesar da grande aceitação, alguns problemas neste design também podem ser observados: o uso de alças requer um espaço extra para a inserção dos dedos na caixa e, como consequência, o tamanho da caixa é um pouco maior que o necessário para acomodar os materiais. Considerando que este espaço extra também pode afetar no número de produtos transportados e exigir um espaço extra também para áreas de estocagem, este fator pode ser considerado uma desvantagem. Assim este design pode ser útil apenas para condições específicas como transporte interno de materiais. Por outro lado, as caixas podem ser reutilizadas e se tornarem substitutos das caixas plásticas com vantagem ecológica.

Nenhum estudo prévio comparou de maneira objetiva caixas com e sem alças em ambiente ocupacional real através de medidas diretas. Em estudo de laboratório, Ando et al. (2000) compararam o desenvolvimento de força e percepção de esforço em

três condições de levantamento de caixas, condição 1: pegar as caixas com apoio das mãos nas faces inferiores; condição 2: pegar as caixas nos cantos superior e inferior de maneira oblíqua; e condição 3: pegar as caixas através de alças retangulares (na forma de perfurações) próximas a superfície lateral superior da caixa. Do ponto de vista dos riscos posturais, os resultados deste estudo mostraram que a condição de preensão da caixa com alças foi considerada a melhor dentre as três outras possibilidades avaliadas. No presente estudo, os punhos e cotovelos foram objetivamente avaliados em ambiente real de trabalho, porém nenhum dado estava disponível a respeito das caixas antigas (sem alças) utilizadas anteriormente pela companhia e que pudessem ser comparados com os dados coletados com as caixas atuais. Quanto aos tipos gerais de alças, tem sido amplamente reconhecido que o uso de alças é vantajoso para a redução de amplitudes extremas de movimento e aumentam o peso máximo aceitável durante o manuseio (CHENG e LEE, 2006), sugerindo que as caixas com alças são comparativamente mais favoráveis que as caixas sem alças.

Embora o tamanho da amostra avaliada possa ser considerado pequeno, a amostra compreende todos os funcionários que realizam atividade de manuseio e que trabalham neste setor gráfico da empresa. Ainda, estes trabalhadores estão submetidos às mesmas condições e exigências de trabalho os quais fazem da amostra e das condições avaliadas menos influenciáveis por outras fontes de variação.

Considerando a falta de estudos que avaliam os membros superiores durante o manuseio de materiais em ambientes reais de trabalho, e considerando o fato de que o presente estudo tenha identificado limitações no design atual das caixas, novos designs de caixas devem ser propostos e avaliados em situações ocupacionais. Ainda, os registros de movimento de outras articulações devem ser incluídos, tais como os ombros e coluna vertebral, para o melhor entendimento da exposição no trabalho, permitindo

assim posturas mais seguras para os movimentos das mãos e braços durante atividades de manuseio de caixas.

4. DESDOBRAMENTOS DO PRIMEIRO ESTUDO



4. DESDOBRAMENTOS DO PRIMEIRO ESTUDO

Os principais resultados encontrados no primeiro estudo apontaram que a forma como o indivíduo apreende a caixa (tipo de preensão) tem influência nos movimentos das articulações dos membros superiores durante o manuseio. Sendo assim, uma hipótese levantada pelo primeiro estudo é a de que o posicionamento das mãos próximas à face inferior da caixa pudesse proporcionar ao indivíduo maior controle e vantagem biomecânica sobre a carga. Neste sentido, foi realizada parceria com o Laboratório de Ergonomia e Interfaces do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista (UNESP – Campus Bauru) e novos protótipos em papelão foram desenvolvidos sob a coordenação do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli.

O principal objetivo do segundo estudo foi comparar caixas de papelão regulares comerciais com os novos protótipos confeccionados em papelão. Para proporcionar uma análise mais precisa da sobrecarga imposta aos membros superiores durante as atividades de manuseio foram acrescentados ao estudo os equipamentos de inclinometria e eletromiografia.

5. Segundo Estudo

.....

AVALIAÇÃO DE NOVOS DESIGNS DE CAIXAS DE PAPELÃO REUTILIZÁVEIS: ASPECTOS BIOMECÂNICOS E PERCEPTUAIS

Autores: Luciana C. C. B. Silva, Ana B. Oliveira, Danilo C da Silva, Luis C. Paschoarelli e Helenice J. C. G. Coury

Artigo submetido e em processo de revisão para publicação na revista International Journal of Industrial Ergonomics

5. Segundo Estudo

AVALIAÇÃO DE NOVOS DESIGNS DE CAIXAS DE PAPELÃO REUTILIZÁVEIS: ASPECTOS BIOMECÂNICOS E PERCEPTUAIS

RESUMO

Caixas de papelão reutilizáveis podem ser ergonomicamente desenhadas para o transporte interno de produtos secos em ambientes industriais. Neste estudo foram comparados os efeitos dos manuseios de caixas de papelão comerciais e de dois protótipos na postura dos membros superiores registrados através da avaliação dos movimentos, atividade eletromiográfica, percepção de agradabilidade da pega e capacidade de reutilização. Os designs ergonômicos apresentaram maiores valores de agradabilidade, posturas mais seguras de punho e cotovelos e menor atividade elétrica dos músculos extensores do punho e bíceps braquial. Desvantagens biomecânicas foram observadas apenas para um dos protótipos quando o manuseio ocorria em superfícies altas. Os protótipos foram resistentes e adequados para reutilização interna extensiva (mais que 2000 manuseios) em transportes industriais, quando comparados ao mesmo número de manuseios utilizando as caixas comerciais. Apesar de serem mais caros que as caixas de papelão regulares, os protótipos apresentaram bom custo-benefício considerando a alta durabilidade.

Palavras-chave: design ergonômico, usabilidade, eletrogoniometria, eletromiografia, percepção da pega.

Versão em inglês do estudo no ANEXO IV.

5.1. INTRODUÇÃO

Apesar da intensa mecanização e rápido avanço tecnológico nos últimos anos, o manuseio de materiais ainda é muito comum nos ambientes ocupacionais, particularmente em ambientes industriais e centros de distribuição (MARRAS, 2000). Como consequência, as desordens musculoesqueléticas da coluna lombar e dos membros superiores são responsáveis por mais que 70% das reivindicações trabalhistas e por altos custos com saúde, associados à atividade de manuseio (DEMPSEY e HASHEMI, 1999).

O design ergonômico pode aumentar a vantagem biomecânica dos movimentos durante o manuseio e diminuir os riscos de desordens musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho (PASCHOARELLI et al., 2008). Considerando a alta prevalência de desordens musculoesqueléticas nos membros superiores em muitos países (PUNNETT e WEGMAN, 2004; SOCIAL SECURITY MINISTRY, 2011), há uma necessidade óbvia de controle e redução de sobrecarga no trabalho, principalmente para os membros superiores e coluna lombar (PADULA et al., 2006). Para Shi e Wang (1997), um elemento que potencializa o risco de lesão durante o manuseio é o desvio extremo do punho enquanto o sujeito apreende uma carga pesada.

O uso de caixas com alças tem sido aceito como uma forma de melhorar o acoplamento das mãos na caixa, evitar amplitudes extremas de movimento e aumentar o peso máximo aceitável de manuseio (STALHAMMAR et al. 1989, JUNG e JUNG, 2003; CHENG e LEE, 2006). No entanto, em ambientes de trabalho poucas caixas possuem alças e, quando estão disponíveis, nem sempre são utilizadas pelos trabalhadores (DRURY et al., 1982).

Em um estudo recente realizado por nosso grupo (SILVA et al., 2012), a preferência do trabalhador pela pega utilizando o fundo da caixa foi demonstrado em um contexto ocupacional real. De acordo com os resultados, a pega da caixa utilizando a face inferior promoveu manuseios mais simétricos para os movimentos das articulações de punho e cotovelo, o que pode proporcionar melhor distribuição das forças entre as mãos, posturas mais seguras e melhor vantagem biomecânica. Estes resultados estão de acordo com o estudo de Jung e Jung (2010) que avaliaram alças entre três níveis diferentes nas faces laterais da caixa (superior, médio e inferior) e recomendaram que as alças fossem posicionadas na parte superior das faces laterais para o carregamento das caixas do chão até a altura da cintura. Alças posicionadas no nível médio e inferior das faces laterais para carregamentos e descarregamentos de caixas, acima do nível da cintura. Entretanto, a pega com as mãos posicionadas na face inferior da caixa não é uma opção natural nas caixas disponíveis comercialmente.

Para proporcionar aos trabalhadores caixas mais seguras para uso industrial, novos designs são necessários. Porém, designs mais sofisticados poderão aumentar o custo final do produto, sugerindo a necessidade de produtos mais duráveis. Assim, a reciclagem e reutilização podem melhorar significativamente a sustentabilidade do produto. Tradicionalmente, as caixas de papelão têm sido consideradas de mais fácil reciclagem e reutilização. Por outro lado, a Confederação de Indústrias do Papel (Confederation of Paper Industries Ltd.) (2011) do Reino Unido reconhece a complexidade desta questão, e atesta que a reutilização pode ser a saída mais econômica e eficiente. Um design mais ergonômico e resistente de caixa de papelão pode aumentar sua reutilização em certas aplicações, tais como o transporte interno de produtos secos em ambientes industriais, e também entre setores, linhas de produção ou células do

mesmo setor. Assim, redesenhos de caixas de papelão industriais são necessários para oferecer caixas mais duráveis e seguras.

Para a avaliação destes novos designs, equipamentos de medida direta, utilizados de maneira simultânea e sincronizada são recomendados, na medida em que proporcionam melhor entendimento dos possíveis benefícios alcançados, facilitando o contínuo aprimoramento das caixas e proporcionando a diminuição da sobrecarga nos membros superiores (HANSSON et al., 2010; AKESSON et al., 2012).

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi comparar caixas de papelão regulares comerciais com protótipos confeccionados em papelão, desenhados com uma pega alternativa, com a possibilidade de posicionamento das mãos na superfície inferior da caixa. Para a avaliação destes novos protótipos, equipamentos de medida direta utilizados de maneira sincronizada foram utilizados. Os efeitos de ambos os protótipos na postura e movimento dos membros superiores, atividade elétrica muscular, e percepção de agradabilidade da pega durante o manuseio, como também sua capacidade de reutilização, foram comparadas com as caixas comerciais regulares.

5.2. MÉTODOS

5.2.1. SUJEITOS

Trinta e sete estudantes universitários do gênero masculino participaram do estudo (idade média de $23,85 \pm 3,97$ anos; estatura média de $1,71 \pm 0,03$ m e massa média de $73,95 \pm 10,35$ kg). Os sujeitos não apresentavam experiência em atividades de manuseio e a idade média da amostra compreende a idade média da maior porcentagem de indivíduos economicamente ativos no Brasil em 2009 (IBGE, 2009). Sujeitos inexperientes foram escolhidos porque, como eles não possuíam treinamento na atividade, não apresentariam estratégias motoras para redução de sobrecarga, observadas em indivíduos experientes em manuseio (DELISLE et al., 1999).

Os critérios de inclusão no estudo foram: ser destro, possuir estatura entre 1,65 e 1,75 m, e índice de massa corporal até $29,9 \text{ kg/m}^2$. Os critérios de exclusão foram: presença de sintomas musculoesqueléticos, intolerância à palpação, lesões cutâneas, doenças em geral, e problemas de equilíbrio (ANEXO V). O recrutamento de sujeitos teve como intenção a obtenção de uma amostra homogênea e sem treinamento prévio na atividade, hábitos ou preferências. O cálculo da amostra foi realizado através do programa ENE (v.2.0). O movimento de abdução do ombro foi escolhido como o principal desfecho e o resultado apontou uma amostra suficiente de 34 sujeitos (poder estatístico de 80%, desvio-padrão máximo do conjunto de $14,50^\circ$ e diferença entre os grupos de 10°).

Todos os sujeitos foram informados a respeito dos procedimentos da coleta e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética Local (CAAE 0054.0.135.000-07 – ANEXO III).

Nenhum incentivo foi dado para que se aumentasse a taxa de adesão dos sujeitos à participação na coleta.

Recomendações da Avaliação do Relato Transparente de Designs de Estudos Não-Randomizados (“Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs”) (2011) foram seguidas tanto quanto possível.

5.2.2. PROTÓTIPOS E CAIXAS DE PAPELÃO COMERCIAIS

Um protótipo de caixa de papelão (44 x 31 x 31,5 cm) foi desenhado (Figura 2 – A1, vista superior) com recessos em cada um dos lados da face inferior (Figura 2 – A2, vista da face inferior do protótipo), permitindo que os dedos fossem inseridos sob a face inferior da caixa. Uma caixa comercial regular (Figura 2 – B) e uma caixa comercial com alças na forma de perfurações também foram utilizadas (Figura 2 – C). Um segundo protótipo (Figura 2 – D), similar ao da Figura A, mas com alças bilaterais (12 x 4 cm, 5 cm abaixo das bordas superiores) também foi avaliado. As caixas foram preenchidas de modo que a massa final fosse estável e apresentasse 15 kg. A massa das caixas foi escolhida após a observação de atividades de manuseio de uma indústria de médio porte com 1800 trabalhadores (OLIVEIRA et al., 2011). Cerca de 70% das atividades observadas foram realizadas envolvendo manuseios de caixas com massas de 7 a 15 kg.

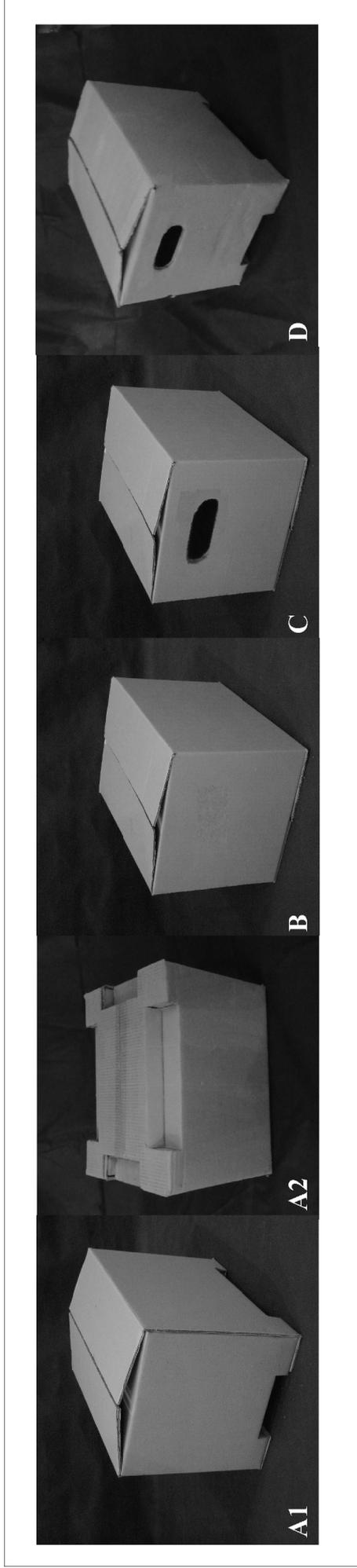


Figura 2: Caixas utilizadas na coleta: vista superior (A1) e inferior (A2) do protótipo de papelão A; caixa de papelão comercial (B); caixa de papelão comercial com alças na forma de perfurações (C) e; protótipo similar ao A, acrescido de alças bilaterais na forma de perfurações (D).

5.2.3. ATIVIDADES

As quatro caixas anteriormente citadas foram movidas entre três superfícies de diferentes alturas. Cada sujeito realizava dois manuseios entre cada uma das superfícies com cada uma das caixas. Um dos manuseios consistia em mover a caixa entre um suporte fixo (Suporte Fixo = SF) de 102,5 cm de altura (altura média entre o chão e o trocâter maior direito dos sujeitos avaliados) e o nível chão (Superfície Chão = SC), e voltar (SC para SF). O outro manuseio consistia em mover a caixa do SF para um suporte móvel ajustado para cada sujeito de acordo com a altura do acrômio direito (Suporte Ajustável = SA), e voltar (SA para SF). O suporte fixo e ajustável foram posicionados perpendicularmente um em relação ao outro. Os manuseios entre cada uma das superfícies e a ordem das caixas foram aleatorizados.

Antes de cada atividade de manuseio, cada sujeito recebeu informações a respeito das posições inicial e final da caixa e quando deveria iniciar a atividade. Para cada tentativa, os registros de eletrogoniometria, inclinometria e eletromiografia foram coletados de maneira sincronizada. Um marcador de eventos foi utilizado para indicar os períodos iniciais e finais de cada manuseio. Ao final dos manuseios de cada uma das caixas, o sujeito respondia a escala subjetiva de agradabilidade (PASCHOARELLI et al., 2008) (ANEXO VI). Para o manuseio da caixa D não foi fornecida nenhuma indicação de como o sujeito deveria realizar a preensão, ficando livre para realizar o manuseio apoiando as mãos no recesso inferior ou nas alças superiores. Desta maneira, valores percentuais de preferência (escolha) para cada condição de pega da caixa D puderam ser calculados.

Todos os testes foram filmados para o melhor controle das atividades.

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia (LAFIPE) da UFSCar, Brasil. Todas as coletas foram realizadas em um período de duas horas.

5.2.4. ESCALA SUBJETIVA DE AGRADABILIDADE

A escala subjetiva de agradabilidade constituiu-se de uma linha horizontal de 100 mm de comprimento que indicava em seu extremo esquerdo “ausência de agradabilidade” e em seu extremo direito “máxima agradabilidade” (PASCHOARELLI et al., 2008) (ANEXO VI). O termo agradabilidade está relacionado aos aspectos positivos percebidos durante o manuseio de cada caixa, à sensação de relaxamento e bem-estar, estar à vontade e calma (KUIJT-EVERS et al., 2004). A escala foi adaptada de Downie et al. (1978), sendo que valores numéricos de 0 a 10 foram acrescentados à escala visual analógica original, de forma a facilitar seu preenchimento.

As orientações para o preenchimento estavam contidas na própria escala, sendo que o avaliador realizava a leitura da escala para o sujeito e esclarecia possíveis dúvidas ao término dos manuseios com cada uma das caixas. As instruções para o preenchimento da escala foram: “Considerando os aspectos positivos da caixa utilizada. Observe a escala de agradabilidade apresentada abaixo. O lado esquerdo da escala você encontra a indicação de “Ausência de Agradabilidade” (0) e do lado direito da escala você encontra a indicação de “Máxima Agradabilidade” (10). Associe o lado direito da escala com a presença de máxima agradabilidade ao manusear objetos em toda sua vida, pensando na melhor sensação percebida em termos de formato e posição da mão durante a pega. Dentro dessa perspectiva, procure pensar na pega da caixa que acabou

de manusear e marque com um traço vertical na escala, o nível de agradabilidade que possa ter sentido. Se não percebeu nenhuma agradabilidade, marque o extremo esquerdo da escala”.

O sujeito respondia a escala de agradabilidade ao término dos manuseios realizados com cada uma das caixas, entre as superfícies determinadas pela aleatorização. Assim, duas escalas de agradabilidade foram respondidas para cada caixa avaliada, uma para o manuseio entre SF-SA/SA-SF e outra para o manuseio entre SF-SC/SC-SF, totalizando seis escalas de agradabilidade para cada sujeito e caixa (A, B e C) avaliados.

5.2.5. REGISTROS ELETROGONIOMÉTRICOS

Registros bilaterais dos movimentos do punho e cotovelo foram realizados utilizando sensores eletrogoniométricos (EGM) e a unidade de aquisição DataLog (Biometrics[®], Gwent, UK). O modelo SG65 foi utilizado para o registro dos movimentos de flexão (valores positivos, +) e extensão (valores negativos, -) do punho e o modelo SG110 foi utilizado para os registros de movimento da flexão (valores positivos, +) do cotovelo. Os eletrogoniômetros foram acoplados aos membros superiores dos sujeitos com auxílio de fitas dupla-face (Biometrics[®], Gwent, UK) e posicionados de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante (Biometrics[®], Gwent, UK). Estes sensores de eletrogoniometria foram previamente testados e considerados confiáveis e acurados (SHIRATSU e COURY, 2003). O erro do equipamento é específico para cada sensor e foi calculado previamente à coleta de dados, sendo que o erro máximo coletado pelos sensores foi de $\pm 3^\circ$ em uma amplitude

de movimento de 90°, conforme recomendação do fabricante (BIOMETRICS, 2007). A taxa de amostragem dos dados foi de 20 Hz.

Duas posições de referência foram mensuradas de forma a se estabelecer a postura neutra para cada articulação: 1) sujeito na posição ortostática com os cotovelos fletidos em 90°, os antebraços apoiados sobre uma superfície plana, na posição pronada, e as mãos em posição neutra (em 0° de flexão/extensão e 0° de desvios ulnar/radial); 2) com os cotovelos em completa extensão e ao lado do corpo, com as palmas das mãos voltadas para o corpo. Estas duas posições estáticas foram registradas pelo período de um minuto e foram utilizadas para as análises dos sensores de punho (SG65) e cotovelo (SG110), respectivamente.

5.2.6. REGISTROS INCLINOMÉTRICOS

Os sensores inclinométricos (INC) são baseados em acelerômetros triaxiais (Logger Teknologi HB, Akarp, Sweden) e foram utilizados para a coleta dos movimentos de elevação dos braços (valores positivos, +), registrados em valores angulares, relativos à linha da gravidade. Os inclinômetros utilizados apresentam acurácia de 1,3° e confiabilidade de 0,2° (HANSSON et al., 2001). A frequência de amostragem foi de 20 Hz.

Os inclinômetros foram acoplados a placas de plástico que foram fixadas abaixo das inserções dos músculos deltoides médios bilaterais e, depois, foram registradas as posições de referência e direção do movimento. A posição de referência foi obtida com o sujeito sentado em uma cadeira, com a axila sobre o apoio das costas da cadeira e o braço pendente livremente, segurando um haltere de massa de 2 kg. A direção anterior

do movimento foi fixada em 90° de elevação dos membros superiores no plano da escápula (HANSSON et al., 2006).

A elevação do braço é registrada independentemente da direção, ou seja, os movimentos de abdução/adução e flexão/extensão não podem ser separados e os movimentos de rotação não podem ser mensurados (HANSSON et al., 2010).

5.2.7. ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia de superfície (EMG) foi registrada bilateralmente na porção descendente do trapézio (trapézio superior), bíceps braquial e extensores do punho. O músculo trapézio superior atua nos movimentos de elevação da escápula (KAPANDJI, 2000) e foi avaliado devido à alta prevalência de desordens musculoesqueléticas na região dos ombros, observada em trabalhadores que realizam o manuseio de caixas (NIELSEN et al., 1998). O músculo bíceps braquial, principal flexor do cotovelo, foi avaliado, pois existe evidência de que a combinação dos fatores de risco força e postura, características da atividade de manuseio, predispõem ao desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas na região dos cotovelos (BERNARD, 1997). Ainda, de acordo com Bao e Silverstein (2005), a sobrecarga muscular nos músculos extensores de punho é maior que nos músculos flexores, quando atividades de preensão envolvendo força são avaliadas. Desta maneira, os músculos extensores do punho foram também escolhidos em detrimento aos flexores, para a avaliação da sobrecarga muscular durante o manuseio.

Sensores de superfície ativos simples diferenciais (Modelo #DE-2.3, DelSys[®], Boston, USA) foram acoplados à pele com auxílio de um adesivo dupla-face (DelSys[®]). Os eletrodos possuíam uma superfície de detecção constituída de duas barras de prata

paralelas (1 mm² x 1 cm) separadas por 1 cm, Common Mode Rejection Ratio > 92 dB; impedância de entrada >1015Ω em paralelo, com 0,2 pF; ganho de voltagem 10 V/V ±1%; e ruído de 1,5 μV (RMS). Os sinais foram condicionados por um amplificador principal (Myomonitor Wireless EMG System, DelSys[®]), o qual fornece um ganho de 1000 V/V, uma banda de frequência de 20–450 Hz e um ruído de ≤ 1,2 μV (RMS). A frequência de aquisição dos dados foi de 1000 Hz utilizando um computador e o software EMGworks[®] (versão 4.0.1, DelSys[®]). Antes do acoplamento dos eletrodos, a pele foi tricotomizada e limpa com álcool nas áreas apropriadas. Para a porção descendente do músculo trapézio, os eletrodos foram acoplados 2 cm laterais do ponto médio da linha imaginária entre o processo espinhoso da sétima vértebra cervical e o acrômio (MATHIASSEN et al., 1995). Para o bíceps braquial, os eletrodos foram acoplados em uma linha entre o ponto médio do acrômio e a fossa cubital, a 1/3 de distância da fossa cubital (FRERIKS e HERMENS, 1999). Os eletrodos foram acoplados sobre os ventres musculares dos extensores do punho localizados por palpação durante a contração voluntária com o antebraço na posição pronada (STAL et al., 2000).

Um eletrodo de referência adesivo (5 x 5 cm) foi colado no punho direito (face flexora). Uma linha de base de 30 segundos foi obtida através do registro eletromiográfico dos referidos músculos com o sujeito na posição ortostática e membros superiores relaxados.

A atividade muscular foi normalizada de acordo com a atividade eletromiográfica durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM). Duas contrações voluntárias máximas de 5 segundos foram realizadas bilateralmente. A CIVM do músculo trapézio foi registrada durante abdução isométrica do braço no plano da escápula, enquanto o sujeito estava na posição ortostática e exercia força contra uma

faixa ajustável posicionada ao redor da porção distal do braço (AKESSON et al., 1997). A CIVM do bíceps foi registrada enquanto o sujeito estava na posição sentada com o cotovelo fletido em 90°, o antebraço em supinação apoiado sobre uma mesa plana (FRERIKS e HERMENS, 1999) e com uma faixa ajustável posicionada ao redor da mão. Para os músculos extensores do antebraço, a CIVM foi registrada com o sujeito na posição sentada com o cotovelo fletido e antebraço apoiado em pronação sobre uma mesa plana, a mão não apoiada e o punho na posição neutra. A faixa ajustável foi posicionada ao redor da mão entre 10 a 20 mm distais à articulação metacarpofalangeana do terceiro dedo (AKESSON et al., 1997). A faixa ajustável estava presa ao chão por um dispositivo metálico e possibilitava ajuste individual, de acordo com a altura do voluntário.

5.3. ANÁLISE DOS DADOS

Os registros eletrogoniométricos, inclinométricos e eletromiográficos foram sincronizados e registrados durante toda a coleta. Cada manuseio foi identificado por um marcador de eventos que era ativado quando o sujeito apreendia a caixa (início do manuseio) e a depositava (término do manuseio) em cada uma das superfícies. Inicialmente os dados de inclinometria foram processados segundo Hansson et al., (2001) para a identificação das posições de referência e para obtenção dos ângulos de elevação dos braços. Os dados de EGM, INC e EMG foram reduzidos através de rotinas desenvolvidas em MatLab[®] (versão 7.0.1, MathWorks Inc., Natick, USA). Todos os sinais foram filtrados utilizando o filtro Butterworth, com atraso de fase zero. Os dados de EGM e INC foram filtrados através de filtro passa-baixo, de segunda ordem, com frequência de corte de 5 e 3 Hz, respectivamente. A frequência de corte foi determinada

através de análise residual. Os dados de EMG foram filtrados através de filtro passa-banda de 20-450 Hz, de quarta ordem, e a raiz quadrada média (RMS - root mean square) foi obtida através da técnica de janelamento (com duração de 25 ms e 50% de sobreposição). Os registros de EMG foram então normalizados pelo máximo valor de RMS identificado na porção média da CIVM (3 segundos centrais) de cada músculo. A média do RMS dos 30 segundos de linha de base foi subtraída do sinal para correção de possíveis ruídos.

A análise da Amplitude de Função de Probabilidade de Distribuição (Amplitude Probability Distribution Function - APDF) foi calculada para os dados de EMG e de movimento. De acordo com Jonsson (1982), os percentis 10, 50 e 90 representam a carga muscular estática, mediana e pico, respectivamente. Para definir os valores correspondentes aos percentis, o conjunto de observações deve estar ordenado de forma crescente, o valor que ocupa a posição equidistante dos extremos representa a mediana ou percentil 50%, ou seja, o ponto que separa os dados ao meio. No caso do percentis 10 e 90 pode-se dizer que são os valores que limitam os 10% dos dados inferiores e superiores do conjunto (ARANGO, 2005).

O método da APDF é amplamente aplicado para a descrição da sobrecarga ocupacional (HAGG et al., 2000; SOGAARD et al., 2001) para os registros de EMG e de movimento (CHEN et al., 2010). A APDF foi considerada mais adequada para os referidos registros, devido à pequena duração de cada manuseio, esta análise fornece informações mais detalhadas do que os valores médios. Como os resultados não satisfizeram os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância, os resultados da EGM, INC, EMG e escala subjetiva de agradabilidade de cada uma das caixas (A, B e C) foram comparados através do teste de Kruskal-Wallis ($P \leq 0,05$) e Mann-Whitney (post-hoc) com ajuste de Bonferroni (ajuste = α / número de

comparações, ou seja; $0,05/3 = 0,016$), utilizando o software SPSS 11.5. O protótipo D foi avaliado apenas descritivamente.

A preferência pela pega utilizando o recesso inferior ou as alças superiores foi calculada através de valores percentuais.

5.4. RESULTADOS

5.4.1. PERCEPÇÃO DE AGRADABILIDADE E PREFERÊNCIA

A escala subjetiva de agradabilidade (valores médios e desvios-padrão) (ANEXO VI) e preferência (valores percentuais) com relação aos manuseios do protótipo D estão apresentadas na Figura 3.

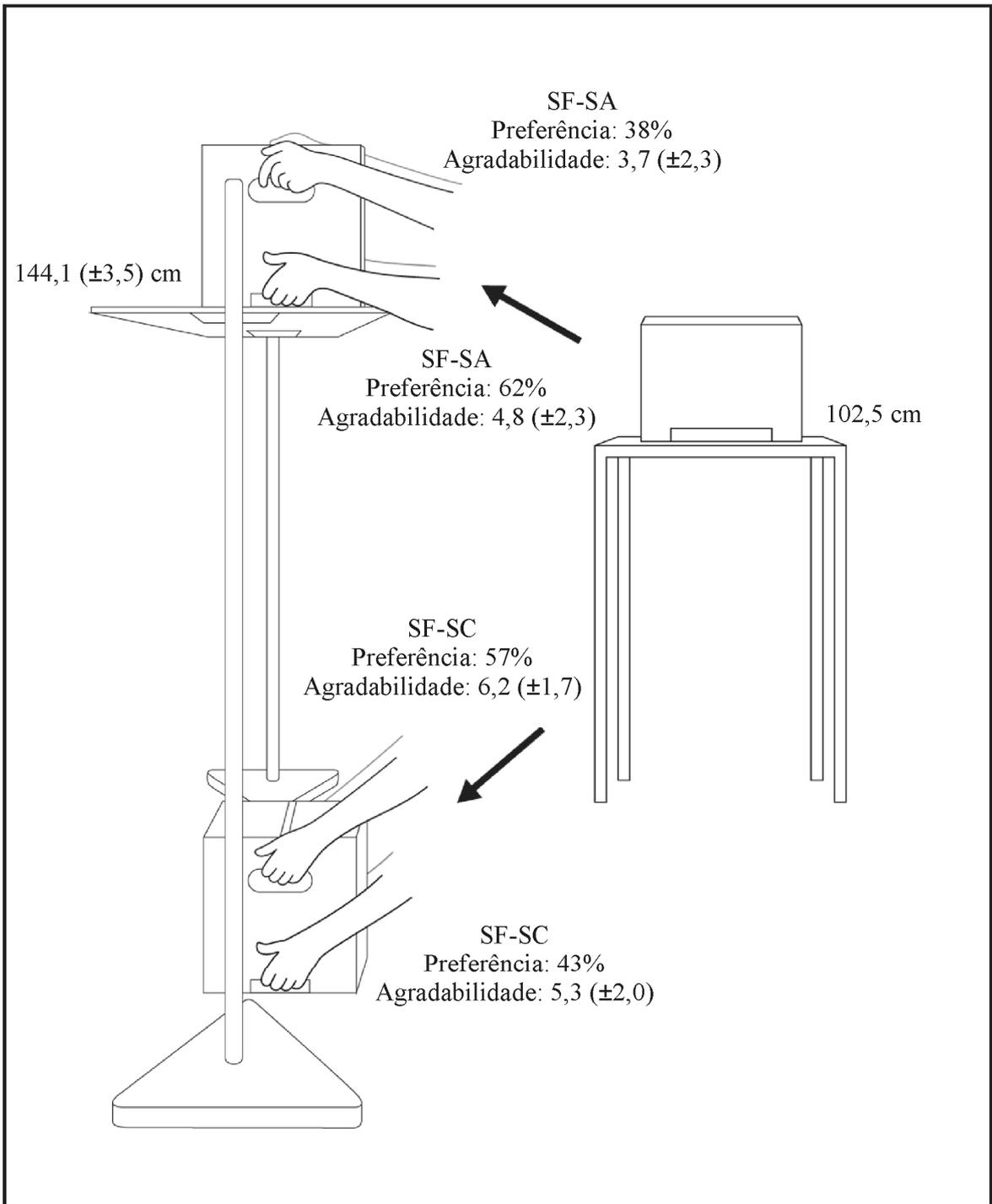


Figura 3: Escala subjetiva de Agradabilidade (média e desvio-padrão) e preferência (%) quando o manuseio do protótipo D ocorreu entre as superfícies fixa e ajustável (SF-SA = levantamento) e fixa e chão (SF-SC = abaixamento). O valor médio e desvio-padrão da altura da superfície ajustável no acrômio foram de 144,1 (±3,5) cm.

Quando foi permitida a livre escolha da forma de como apreender a caixa, os sujeitos preferiram pegar a caixa utilizando o recesso inferior, quando o protótipo D foi elevado (SF-SA), e as alças na forma de perfurações quando o protótipo foi abaixado (SF-SC).

Os valores médios e desvios-padrão para a agradabilidade quando o manuseio era realizado com a caixa comercial foi de 3,3 ($\pm 2,1$) quando a caixa foi elevada (SF-SA) e de 3,2 ($\pm 2,0$) quando a caixa foi abaixada (SF-SC). O teste de Kruskal-Wallis mostrou diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre a média dos valores de agradabilidade entre os três tipos de pega: protótipo D com pega através do recesso, protótipo D com pega utilizando as alças (alças na forma de perfurações) e a caixa comercial B em ambos os níveis de altura. Os testes post-hoc (Mann-Whitney) revelaram diferenças entre a pega através do recesso (A) e a caixa comercial (B) e entre a pega através das alças (C) e a caixa comercial (B) para o manuseio entre SF-SC. O teste post-hoc (Mann-Whitney) também revelou diferença estatística para a agradabilidade entre a caixa comercial (B) e o recesso do protótipo (A) para as alturas SF-SA. Em todos os casos, a caixa comercial (B) apresentou os menores valores de agradabilidade.

5.4.2. REGISTROS ELETROGONIOMÉTRICOS

Embora os percentis 10, 50 e 90 tenham sido calculados para todas as variáveis, foram apresentados na Tabela 1 apenas os percentis que representavam maior risco (amplitudes mais distantes da postura neutra) para os movimentos do punho e cotovelo. Os valores angulares do movimento de extensão (percentil 10, valores negativos) dos punhos direito e esquerdo estão apresentados na Tabela 1. Em geral, maiores amplitudes

de extensão ocorreram quando as caixas eram abaixadas da superfície alta para a intermediária (SA-SF).

Tabela 1. Valores médios e desvios-padrão (DP) para os percentis 10 de extensão do punho direito e esquerdo (-), 90 de flexão do cotovelo direito e esquerdo (+) e 90 de elevação dos braços direito e esquerdo (+). A: protótipo com recessos inferiores; B: caixa comercial regular; C: caixa comercial com alças na forma de perfurações. SF-SA/SA-SF: manuseio entre suporte fixo e suporte ajustável. SF-SC/SC-SF: manuseio entre o suporte fixo e o chão. Lev/o = abaixamento; Aba/o = levantamento; Aba/o = abaixamento. As letras sobrescritas mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas.

	Extensão do Punho (-)						Flexão do Cotovelo (+)						Elevação do Braço (+)						
	P10			P90			P90			P90			P90			P90			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Direito	SF-SA	-26,6(10,3)	-32,0(11,6)	-26,9(8,3)	76,4(10,4)	75,0(13,1)	82,2(10,8)	87,8(9,8) ^{ac}	83,6(11,7) ^{bc}	101,9(8,5) ^{ac,bc}									
	SC-SF	-22,2(8,3) ^{ab}	-31,7(15,1) ^{ab}	-24,4(7,4)	66,1(13,0) ^{ac}	68,2(10,2) ^{bc}	80,5(10,4) ^{ac,bc}	38,5(7,0) ^{ac}	40,5(13,9)	44,5(8,5) ^{ac}									
	SA-SF	-27,9(9,1) ^{ab}	-40,6(12,9) ^{ab,bc}	-26,3(9,3) ^{bc}	74,5(10,4)	75,7(13,4)	79,7(11,2)	79,6(17,0) ^{ac}	78,4(14,5) ^{bc}	93,3(10,6) ^{ac,bc}									
	SF-SC	-21,4(8,5)	-21,8(7,5)	-25,9(7,8)	67,6(11,4) ^{ac}	64,4(11,3) ^{bc}	80,1(10,5) ^{ac,bc}	34,6(7,6) ^{ac}	38,6(16,1) ^{bc}	47,9(8,6) ^{ac,bc}									
Esquerdo	SF-SA	-22,7(8,8) ^{ab}	-31,0(10,7) ^{ab}	-25,1(7,6)	68,1(10,3) ^{ac}	69,9(10,2)	77,0(10,8) ^{ac}	87,3(12,6) ^{ac}	79,7(14,4) ^{bc}	101,3(12,6) ^{ac,bc}									
	SC-SF	-23,9(9,5)	-32,0(16,0)	-27,9(8,0)	60,4(11,3) ^{ac}	63,4(11,0) ^{bc}	75,4(10,1) ^{ac,bc}	40,0(14,7) ^{ac}	40,7(19,1) ^{bc}	47,1(15,2) ^{ac,bc}									
	SA-SF	-27,8(7,4) ^{ab}	-42,3(16,0) ^{ab,bc}	-28,8(9,6) ^{bc}	71,7(13,1)	74,8(12,4)	76,7(11,3)	80,6(17,5) ^{ac}	74,8(17,2) ^{bc}	93,9(15,2) ^{ac,bc}									
	SF-SC	-20,5(7,4) ^{ac}	-25,3(8,9)	-27,3(8,3) ^{ac}	60,0(10,2) ^{ac}	59,7(8,8) ^{bc}	74,3(10,3) ^{ac,bc}	37,8(15,1) ^{ac}	37,2(19,9) ^{bc}	49,9(14,9) ^{ac,bc}									

Os maiores valores de extensão foram associados à caixa comercial na maior parte das atividades (exceto para SF-SC, abaixamento). Durante o manuseio entre SA-SF, as amplitudes da caixa comercial para ambos os punhos direito e esquerdo foram de 49,9% e 49,5% maiores, respectivamente, que os protótipos. As amplitudes de extensão do punho direito e esquerdo foram relativamente similares para todas as caixas, com influencia das variações de acordo com a direção do movimento. Diferenças estatisticamente significativas foram identificadas pelo teste de Kruskal-Wallis e post-hoc de Mann-Whitney (com ajuste de Bonferroni) entre as caixas (A, B e C) dentro do percentil 10 (extensão do punho) para as mesmas alturas de manuseio. As diferenças entre as condições estão identificadas na Tabela 1, mostrando que o manuseio da caixa comercial foi responsável pelas maiores amplitudes de extensão do punho.

As amplitudes medianas (percentil 50), com poucas exceções, tenderam a amplitudes abaixo de 20° de extensão o punho, o percentil 90 mostrou amplitudes próximas à neutra para os movimentos de flexão (valores positivos), ou seja, praticamente nenhuma amplitude de flexão do punho ocorreu (resultados não apresentados).

A menor vantagem biomecânica para os movimentos de flexão dos cotovelos foram encontrados nos percentis 10 e os movimentos de maior vantagem biomecânica foram encontrados nos percentis 90 (Tabela 1). Amplitudes de maior vantagem biomecânica ocorreram durante manuseio do protótipo C. Diferenças estatisticamente significativas (Tabela 1) foram identificadas dentro do percentil 90 (flexão do cotovelo) para as mesmas alturas de manuseio. Amplitudes de movimento ligeiramente inferiores foram encontradas para o cotovelo esquerdo em todas as condições avaliadas.

5.4.3. REGISTROS INCLINOMÉTRICOS

Embora os percentis 10, 50 e 90 tenham sido calculados para as variáveis, foram apresentados na Tabela 1 apenas os percentis que representavam maior risco (amplitudes mais distantes da postura neutra) para os movimentos dos braços.

Para os registros inclinométricos, maiores amplitudes foram encontradas para o percentil 90 quando as caixas foram manuseadas para a superfície alta (SF-SA). Neste sentido, condições mais críticas e maiores amplitudes foram registradas para a caixa C (Tabela 1) quando comparadas à caixa A e B. Diferenças estatisticamente significativas foram identificadas pelo teste de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney (com ajuste de Bonferroni) entre as caixas para o percentil 90 e mesma altura de manuseio (Tabela 1).

5.4.4. ELETROMIOGRAFIA

Na Tabela 2 estão apresentados os percentis que representaram os maiores valores percentuais de atividade elétrica dos músculos extensores do punho, bíceps braquial, e porção descendente do trapézio (percentil 90).

Maior atividade elétrica para os músculos extensores dos punhos ocorreram durante manuseio da caixa B. Valores aproximadamente 45% menores ocorreram durante manuseio do protótipo C quando comparados ao protótipo B para algumas condições avaliadas (deslocamentos entre SC-SF, para o punho esquerdo).

Os maiores valores percentuais para o músculo trapézio foram registrados no manuseio do protótipo C. Menores valores de atividade elétrica ocorreram para o protótipo A e, especialmente, durante o manuseio do protótipo B. Os maiores valores de atividade elétrica do músculo bíceps foram registrados durante manuseio da caixa

comercial (B), particularmente durante o levantamento do chão (SC-SF) e abaixamento da superfície alta para a intermediária (SA-SF). Os menores valores de atividade elétrica ocorreram durante manuseio do protótipo C. Atividade elétrica muscular ligeiramente superior ocorreu para o membro superior direito.

Diferenças estatisticamente significativas foram encontradas entre as caixas para os percentis 90 de cada músculo avaliado dentro da mesma altura de manuseio e estão identificados pelas respectivas letras na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios e desvios-padrão (DP) para os percentis 90 dos músculos trapézio descendente direito e esquerdo, bíceps braquial direito e esquerdo e extensores do punho direito e esquerdo. A: protótipo com recessos inferiores; B: caixa comercial regular; C: caixa comercial regular; C: caixa comercial com alças na forma de perfurações. SF-SA/SA-SF: manuseio entre suporte fixo e suporte ajustável. SF-SC/SC-SF: manuseio entre o suporte fixo e o chão. Lev/o = levantamento; Aba/o = abaixamento. As letras sobrescritas mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas.

	Extensores do Punho			Bíceps Braquial			Trapézio Descendente			
	P90			P90			P90			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Direito	SF-SA	55,9(27,5) ^{ac}	61,8(27,3) ^{bc}	37,1(31,8) ^{ac,bc}	71,9(58,7)	82,3(71,6)	56,4(47,4)	78,5(30,8)	65,3(29,8)	80,8(29,6)
	SC-SF	49,3(24,6) ^{ac}	55,3(24,3) ^{bc}	31,2(20,0) ^{ac,bc}	64,4(53,7) ^{ab}	97,5(77,7) ^{ab}	65,0(52,2)	44,2(27,1)	43,0(26,5)	46,5(29,0)
	SA-SF	51,2(29,2) ^{ac}	61,4(28,9) ^{bc}	31,9(18,8) ^{ac,bc}	67,9(57,2)	88,8(75,6)	65,1(64,3)	56,7(22,1)	47,3(21,9) ^{bc}	66,3(24,7) ^{bc}
	SF-SC	32,2(14,0)	46,8(26,5) ^{bc}	26,3(14,7) ^{bc}	58,9(58,4)	71,2(60,7)	48,4(43,7)	30,2(17,2)	31,7(23,6)	35,5(20,1)
Esquerdo	SF-SA	47,9(23,2) ^{ac}	62,8(35,6) ^{bc}	33,2(14,3) ^{ac,bc}	64,1(31,1)	70,5(33,5)	55,1(39,5)	82,1(26,5)	72,0(26,6)	77,2(21,1)
	SC-SF	50,4(30,4) ^{ac}	70,2(41,2) ^{bc}	30,7(13,1) ^{ac,bc}	63,6(37,6) ^{ab}	93,1(49,0) ^{ab,bc}	58,7(37,3) ^{bc}	46,3(24,7)	41,9(24,7)	44,2(20,2)
	SA-SF	48,4(25,4)	66,4(34,2) ^{bc}	34,5(14,7) ^{bc}	57,0(32,1)	72,3(48,7)	56,8(33,7)	62,8(21,0)	48,8(18,8) ^{bc}	70,2(23,4) ^{bc}
	SF-SC	41,5(19,8)	52,0(22,9) ^{bc}	29,7(12,2) ^{bc}	60,4(36,7)	71,7(36,3) ^{bc}	44,2(29,4) ^{bc}	30,4(16,2)	32,4(26,5)	34,1(16,8)

5.5. DISCUSSÃO

Os valores obtidos pela escala de agradabilidade e a preferência entre as caixas foram maiores para os dois protótipos que para a caixa comercial. A pega mais alta (protótipo C) foi preferida quando a caixa teve o chão como superfície inicial ou final de manuseio, e a pega mais baixa (protótipo A) foi preferida quando a caixa teve como superfície inicial ou final de manuseio a superfície ajustável (altura do acrômio). Estes resultados eram esperados já que em ambas as condições as pegas possibilitaram que as caixas fossem mantidas junto ao corpo e os punhos e ombros estivessem em uma postura mais próxima à neutra.

Os dados de movimento corroboram as medidas subjetivas, pois amplitudes extremas de movimento foram registradas durante o manuseio do protótipo D entre superfícies altas. A relação entre as medidas subjetivas de percepção e os indicadores biomecânicos durante o manuseio de materiais foi investigado por Nastasia et al. (2007). Estes autores relataram que, embora os dados biomecânicos não possam ser substituídos pelas medidas de percepção, as avaliações subjetivas podem integrar informações extras e auxiliar na interpretação dos resultados.

Os valores obtidos pela escala de agradabilidade podem ter sido afetadas por diversos fatores, desde a aparência estética do objeto a ser manuseado (KUIJT-EVERS et al., 2005) até as formas das pegas e posições (DEEB et al., 1986). As posições das alças nas caixas têm sido avaliadas e reconhecidas como um fator que influencia o conforto (COURY e DRURY, 1982). A influência das alturas de manuseio e posição das mãos também têm sido investigadas por Jung e Jung (2010). Os autores recomendaram que as pegas devem ser posicionadas abaixo do centro de massa quando a carga é movida para superfícies acima da altura da cintura. Nenhum estudo

relacionando a preferência da pega para o movimento de cargas para superfícies baixas foi encontrado na literatura.

Amplitudes seguras de movimento devem ocorrer durante manuseio freqüente sob as seguintes condições: movimentos mais neutros de punho (RICHARDS, 1997); flexão dos cotovelos com maior vantagem biomecânica, isto é, movimentos próximos a 90° de flexão (DE WILLIAMS e STUTZMAN, 1959); e menores amplitudes de elevação dos braços (COURY et al., 1998_a).

O movimento de extensão (percentil 10) foi mais comum nos movimentos do punho. Maiores movimentos de extensão ocorreram quando a caixa foi abaixada de uma superfície alta para uma intermediária (SA-SF). As amplitudes foram maiores para a caixa comercial durante todos os manuseios, alcançando valores maiores que 40° de amplitude durante o manuseio entre SA-SF. Considerando como relevante do ponto de vista clínico, 10% da amplitude de movimento registrada pela articulação (AMA, 2005), podemos considerar que a diferença estatística encontrada também é significativa do ponto de vista clínico. As diferenças entre as amplitudes de movimento coletadas durante o manuseio das diferentes caixas foram entre 12° (diferenças entre as caixas A e B) e 14° (diferença entre as caixas B e C) e a amplitude média registrada para os punhos direito e esquerdo foi de 40° (diferença significativa de 4°). Tem sido reconhecido que amplitudes extremas dos punhos diminuem a capacidade de exercer força, podem causar fadiga e predispor à maior ocorrência de sintomas (LASTAYO et al., 1995; KATTEL et al., 1996; FAGARASANU e KUMAR, 2004). De acordo com Pryce (1980), as maiores forças de preensão podem ser alcançadas quando a amplitude de extensão está entre 0 a 10°.

Assim, de acordo com esta recomendação, as amplitudes médias foram altas em todas as caixas, sendo a caixa comercial responsável pelos maiores valores. Amplitudes

registradas durante o manuseio dos protótipos A e C mostraram resultados similares, com valores ligeiramente menores para o protótipo A.

Os maiores valores de atividade eletromiográfica dos extensores do punho ocorreram durante o manuseio da caixa B, a qual alcançou valores 128% maiores que os registrados pelo protótipo C. A combinação de altos valores de atividade eletromiográfica e movimentos extremos de extensão podem ser explicados devido à ausência de alças na caixa comercial, as superfícies planas requerem força extra de preensão durante o manuseio (COURY et al., 1998_a).

As amplitudes de movimento dos cotovelos foram menores que as recomendadas para realização torques eficientes, as quais têm sido estabelecidas em aproximadamente 90° (DE WILLIAMS e STUTZMAN, 1959). Amplitudes de movimento que apresentam maior vantagem biomecânica para propósitos ocupacionais variam entre 80° a 120°, dependendo do autor (MURRAY et al., 1995). Considerando os valores registrados pelo presente estudo, apenas as amplitudes registradas durante o manuseio do protótipo C estariam mais próximas da amplitude segura, apenas para o percentil 90. Como as caixas devem ser movidas para ambas as superfícies, altas e baixas, valores de extensão são esperados, particularmente para manuseio em superfícies baixas. Resultados similares foram relatados por Deeb et al. (1986). Considerando as amplitudes de movimento médias registradas para a articulação dos cotovelos (55°) e 10% desta amplitude como diferença clinicamente significativa (5°) entre as condições (AMA, 2005), podemos afirmar que as diferenças encontradas são clinicamente relevantes, para o levantamento e abaixamento entre as superfícies SC-SF (diferenças angulares entre as condições de 12° a 15°).

Consistente com as amplitudes de movimento do cotovelo, a atividade eletromiográfica do bíceps braquial também foi menor para o protótipo C. Enquanto que

maiores valores de atividade eletromiográfica do bíceps foram registradas durante manuseio da caixa comercial B. Devido à atuação biarticular do músculo bíceps, alguns graus de flexão do cotovelo estão associados à adução durante manuseio de caixas com acoplamento pobre (COURY et al., 1998_b).

Maiores amplitudes de movimento elevação dos braços (percentil 90) foram observadas quando as caixas eram movidas entre superfícies altas (SF-SA e SA-SF). Os maiores valores registrados foram durante o manuseio do protótipo C. Valores relativamente similares foram registrados para a caixa B e o protótipo A. Considerando como relevante do ponto de vista clínico 10% da amplitude de movimento registrada (AMA, 2005), podemos considerar que a diferença estatística também é significativa do ponto de vista clínico, já que as diferenças entre as amplitudes coletadas durante o manuseio das diferentes caixas foram entre 13° e 20° e a amplitude média registrada para a elevação dos braços foi de 50° (diferença significativa de 5°). Concordando com estes resultados, a atividade eletromiográfica do trapézio também apresentou os maiores valores durante o manuseio do protótipo C.

Maiores valores de elevação dos membros superiores foram necessários para alcançar as alças superiores nas faces laterais do protótipo C. A elevação adicional dos braços e escápulas também podem ter ocorrido e contribuído com a atividade eletromiográfica alta registrada para o trapézio. O efeito da superfície de manuseio na força de compressão dos ombros foi investigado por Faber et al. (2009). Os autores utilizaram um modelo de segmentos 3-D para calcular as forças de compressão na coluna lombar e ombros, e relataram um aumento das forças de compressão na região dos ombros quando o manuseio foi realizado no nível dos ombros. Wang et al. (2004) também mostraram que superfícies altas de manuseio (90 cm/125 cm) têm induzido maior força de compressão na articulação dos ombros.

Os maiores valores de atividade eletromiográfica registrados durante o manuseio da caixa C ocorrem quando as articulações desenvolvem posturas extremas de movimento o que dificulta a geração de torque (relação comprimento/tensão do músculo). Nestas posturas extremas, ocorre o recrutamento adicional de unidades motoras e/ou aumento da frequência de disparo das unidades motoras já ativadas (MERLETTI e PARKER, 2004) que explica o aumento da atividade eletromiográfica dos músculos avaliados.

Os protótipos foram confeccionados em papelão duplo ondulado, o qual aumenta os custos de produção em aproximadamente 30%, comparativamente às caixas comerciais (confeccionadas em papelão simples ondulado). Por outro lado, as caixas de papelão confeccionadas com este material podem ser mais rígidas e fortes e, ainda assim, leves. A avaliação da durabilidade da caixa revelou que após aproximadamente 360 manuseios, as bordas das alças do protótipo D se desgastaram e precisaram ser reforçadas. Uma folha de papel cartão foi colada na parte interna da caixa, no seu terço superior. Subsequentemente, as caixas foram manuseadas cerca de 2500 vezes com massa total de 15 kg e, como não foram encontrados outros problemas, os testes foram interrompidos.

Uma limitação de ambos os protótipos é o espaço extra necessário para o local das pegas, as quais consistiam nos recessos bilaterais do protótipo A e alças na forma de perfurações dos protótipos C e D. De qualquer forma, esta limitação pode ser atenuada pelo fato das caixas serem utilizadas apenas para o transporte industrial interno e, neste caso, nenhum espaço extra seria necessário para a estocagem das caixas.

Em conclusão, os protótipos foram resistentes e adequados para a reutilização extensiva em transportes internos de materiais secos relativamente pesados (massa total de 15 kg). De acordo com os dados subjetivos fornecidos pelos sujeitos, os designs

ergonômicos promoveram pegas mais confortáveis quando comparadas às caixas comerciais, promoveram movimentos mais seguros de punho e cotovelo e exigiram menor atividade eletromiográfica dos extensores do punho e bíceps. Desvantagens biomecânicas foram observadas para o protótipo C quando o manuseio envolveu superfícies altas. Mesmo sendo mais caros que as caixas regulares comerciais, os protótipos mostraram bom custo benefício devido sua alta durabilidade.

6. DESDOBRAMENTOS DO SEGUNDO ESTUDO



6. DESDOBRAMENTOS DO SEGUNDO ESTUDO

De acordo com a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE), o papelão e o plástico representaram em 2010, respectivamente, 33,2% e 29,7% da produção física de embalagens no país, quando comparados aos outros segmentos (madeira, vidro e metal). O setor de embalagens plásticas é o que mais emprega, totalizando, em dezembro de 2010, 117.750 empregos formais, correspondendo a 54,15% do setor.

Tendo em vista que as caixas de papelão apresentam como limitação o transporte de produtos secos, o que aponta para a necessidade de novos designs de caixa utilizando outros tipos de materiais, foram desenvolvidos novos designs de caixa em material plástico. Estes novos protótipos também foram desenvolvidos a partir da hipótese levantada pelo primeiro estudo, o qual demonstrou que a maneira como o indivíduo apreende a caixa tem influência nas amplitudes de movimento envolvidas na preensão.

Os protótipos plásticos e suas alças/pegas também foram desenvolvidos no Laboratório de Ergonomia e Interfaces do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista (UNESP – Campus Bauru), sob a supervisão do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli. As alças/pegas foram desenvolvidas utilizando compósitos de resina poliéster com carbonato de cálcio.

Estes novos designs trouxeram outras possibilidades para o posicionamento de alças, com a possibilidade de inclinação destas com relação à horizontal.

7. Terceiro Estudo

AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES, ATIVIDADE MIOELÉTRICA E ASPECTOS PERCEPTUAIS DURANTE O MANUSEIO DE CAIXAS PLÁSTICAS COMERCIAIS E NOVOS DESENHOS DE EMPUNHADURAS

Autores: Luciana C. C. B. Silva, Ana B. Oliveira, Luis C. Paschoarelli, Danilo C da Silva e Helenice J. C. G. Coury

Artigo aceito para publicação na Revista Brasileira de Fisioterapia

7. Terceiro Estudo

AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES, ATIVIDADE MIOELÉTRICA E ASPECTOS PERCEPTUAIS DURANTE O MANUSEIO DE CAIXAS PLÁSTICAS COMERCIAIS E NOVOS DESENHOS DE EMPUNHADURAS

RESUMO

Contextualização: O manuseio de materiais está presente nos setores industriais e está associado à lesões na coluna lombar, seguida pelos membros superiores. A inserção de alças em caixas industriais é uma forma de reduzir os riscos relacionados à atividade, porém a posição e angulação das alças é um fator importante para o conforto e segurança durante o manuseio. **Objetivos:** Comparar o manuseio de uma caixa comercial e de protótipos com alças, e avaliar seus efeitos na postura, atividade elétrica muscular e percepção de agradabilidade dos membros superiores durante atividade de manuseio entre diferentes alturas. **Métodos:** 37 voluntários saudáveis participaram do estudo. As alças dos protótipos possibilitavam mudança nas posições (superior e inferior) e angulações (0°, 15° e 30). Os movimentos dos punhos, cotovelos e braços foram avaliados através da eletrogoniometria e inclinometria. A atividade eletromiográfica dos extensores do punho, bíceps braquial e porção superior do trapézio foi avaliada por um eletromiógrafo portátil. Os registros de movimento e atividade elétrica muscular foram sincronizados. Aspectos subjetivos de agradabilidade foram avaliados através de uma escala visual analógica. **Resultados:** Os protótipos com alças inclinadas em 30° apresentaram as melhores avaliações de agradabilidade, posturas

mais neutras de punho, menores níveis de atividade eletromiográfica do trapézio superior e menores ângulos de elevação dos braços. **Conclusões:** Os diferentes métodos de medida se mostraram complementares para a avaliação dos membros superiores durante as atividades de manuseio. Além disso, os protótipos apresentaram boa durabilidade e custo-benefício, e podem ser utilizados em ambientes industriais, principalmente para o transporte interno.

Palavras-chave: design ergonômico, usabilidade, eletrogoniometria, eletromiografia, percepção da pega.

Versão em inglês do estudo no ANEXO VII.

7.1. INTRODUÇÃO

O manuseio de materiais está presente em muitos setores industriais e em diversas atividades da vida diária. Estudos prévios indicam que o manuseio é a atividade mais frequente no ambiente ocupacional e a que envolve maiores perdas e custos relativos à saúde do trabalhador (CIRIELLO, 2007).

Estudos de caráter preventivo têm avaliado extensivamente a coluna lombar durante as atividades de manuseio (SPLITTSTOESSER et al., 2007; SNOOK, 2004). Por outro lado, os membros superiores foram muito pouco estudados, apesar de representarem a segunda região corporal mais afetada por desordens musculoesqueléticas, durante o desempenho da atividade (DEMPSEY e HASHEMI, 1999).

A inserção de alças em caixas industriais representa uma forma de reduzir os riscos ocupacionais e aumentar a segurança durante o manuseio, principalmente quando o transporte envolve a utilização de caixas pesadas (LORTIE e BARIL-GINGRAS, 1998). Estudos mostraram que as alças proporcionam maior conforto e eficiência (DRURY, 1980; JUNG e JUNG, 2010) e aumentam o peso máximo aceitável durante o manuseio (CIRIELLO et al., 1993), porém, a posição das alças é um fator de fundamental importância, na medida em que apresenta grande influência nas variáveis citadas (ANDO et al., 2000; JUNG e JUNG, 2010).

Drury et al. (1989) avaliaram a utilização de alças em atividades de manuseio reais e observaram que a inserção de alças laterais próximas às superfícies superiores e inferiores centrais das caixas (descritas no estudo como posições 2/2 e 8/8, respectivamente) resultaram em menores índices de desconforto, especialmente para cargas pesadas (13 kg). Chung e Wang (2001) avaliaram dois modelos de caixas com

alças e encontraram que a alça com 0° de inclinação horizontal foi a condição que favoreceu um grande desvio ulnar do punho, enquanto que a caixa com alças a 90° de inclinação resultou em um grande desvio radial. Os autores sugeriram que as alças das caixas apresentassem uma inclinação entre 30° e 45° para que os punhos permanecessem em uma posição neutra durante os manuseios. Da mesma maneira, Wang et al. (2000) avaliaram o efeito dos ângulos de inclinação das alças em relação ao peso máximo aceitável para o manuseio e desvio do punho, e também sugerem angulações entre 30 e 45° para favorecer o melhor acoplamento das mãos às alças.

Para avaliar os benefícios de uma intervenção ergonômica, como a inserção de alças em caixas industriais, medidas de exposição e sobrecarga musculoesquelética confiáveis e válidas são necessárias. Estas medidas de exposição física podem ser realizadas por meio de métodos de auto relato, técnicas observacionais e de medidas diretas. Apesar do uso extensivo das técnicas observacionais e categóricas, medidas quantitativas objetivas, obtidas de forma simultânea e sincronizada, são necessárias para quantificar a sobrecarga de trabalho imposta durante a realização de atividades ocupacionais (AKESSON et al., 2012, HANSSON et al., 2010).

Embora os estudos tenham avaliado a posição e angulação das alças em caixas industriais (ANDO et al., 2000; CHUNG e WANG, 2001; JUNG e JUNG, 2010), apenas os movimentos de desvio do punho foram quantificados de maneira direta, revelando a necessidade de avaliação das outras articulações dos membros superiores, como os cotovelos e braços, obtidos de maneira sincronizada.

Tendo em vista a carência de estudos que abordem a sobrecarga dos membros superiores durante o manuseio e da necessidade de novos designs de caixa que favoreçam o melhor acoplamento das mãos, o objetivo do presente estudo foi comparar o manuseio de uma caixa comercial e de protótipos confeccionados em material

plástico, e avaliar seus efeitos na postura, atividade elétrica muscular e percepção de agradabilidade dos membros superiores durante atividades de manuseio simulado entre diferentes alturas. Os protótipos possuíam alças que possibilitavam a mudança das posições das pegadas (superior e inferior) e de angulações (0° , 15° e 30°), inclinadas no sentido do desvio radial do punho com relação à horizontal (anti-horário). Foi levantada a hipótese de que os novos designs propostos pudessem proporcionar maior conforto, posturas mais seguras de movimento e menor atividade elétrica dos músculos dos membros superiores, quando comparados às caixas comerciais.

7.2. MÉTODOS

7.2.1. SUJEITOS

Participaram do estudo trinta e sete estudantes universitários do gênero masculino com idade média de $23,85 \pm 3,97$ anos, estatura média de $1,71 \pm 0,03$ m e massa média de $73,95 \pm 10,35$ kg. Os sujeitos não apresentavam experiência em atividades de manuseio. Esta faixa etária foi escolhida, pois representa a idade média do maior percentual de indivíduos economicamente ativos no Brasil em 2009, segundo o IBGE (IBGE, 2009).

Os critérios de inclusão foram: ser destro, possuir estatura entre 1,65 e 1,75 m, e índice de massa corporal até $29,9 \text{ kg/m}^2$. Esta faixa de altura dos indivíduos foi escolhida devido à característica antropométrico dependente dos equipamentos de eletrogoniometria (FOLTRAN et al, 2011). Os critérios de exclusão foram: presença de sintomas musculoesqueléticos, intolerância à palpação, lesões cutâneas, doenças em geral, e problemas de equilíbrio (ANEXO V). O recrutamento dos sujeitos teve como intenção a obtenção de uma amostra homogênea e sem treinamento prévio na atividade, hábitos ou preferências. O cálculo da amostra foi realizado através do programa ENE (v.2.0). O movimento de abdução do ombro foi escolhido como o principal desfecho e o resultado apontou uma amostra suficiente de 34 sujeitos (poder estatístico de 80%, desvio-padrão máximo do conjunto de $14,50^\circ$ e diferença entre os grupos de 10°). Todos os sujeitos foram informados a respeito dos procedimentos da coleta e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aprovado pelo comitê de ética local (CAAE 0054.0.135.000-07 - ANEXO III).

Nenhum incentivo financeiro ou verbal foi fornecido para que se aumentasse a taxa de adesão dos sujeitos à participação na coleta. Este procedimento foi realizado para evitar possíveis vieses nos resultados, tanto com relação aos dados de agradabilidade como com relação aos dados objetivos.

Recomendações da Avaliação do Relato Transparente com Designs de Estudo Não-Aleatorizados (“Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs”) (2011) foram seguidas tanto quanto possível.

7.2.2. PROTÓTIPOS E CAIXAS DE PLÁSTICO COMERCIAIS

Uma caixa protótipo em plástico (55,5 x 36 x 31 cm) foi desenhada e construída para este estudo (Figura 4 – B.1 e C.1, vista lateral). O protótipo possuía alças (13 x 4,5 cm) que possibilitavam a mudança das posições das pegas (superior e inferior) em cada um dos lados e permitiam inclinações com relação à horizontal nas posições 0°, 15° e 30°, totalizando sete diferentes condições de caixas: 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. Os presentes ângulos de inclinação foram escolhidos tendo como base os estudos de Chung e Wang (2001) e Wang et al. (2000) que recomendaram inclinação das alças em torno dos 30°. A inclinação das alças foi mensurada partindo da posição horizontal, inclinando as alças no sentido do desvio radial do punho (anti-horário).

O protótipo e a caixa plástica comercial apresentavam as massas de 3,8 e 1,8 Kg, respectivamente. As caixas foram preenchidas de forma que a massa total de cada uma delas fosse de 15 kg. A massa das caixas foi determinada por estudo prévio (OLIVEIRA et al., 2011). Este modelo de caixa foi escolhido porque é amplamente comercializado e utilizado em muitos setores industriais e de distribuição, como na comercialização de hortaliças (HENZ e REIFSCHNEIDER, 2004).

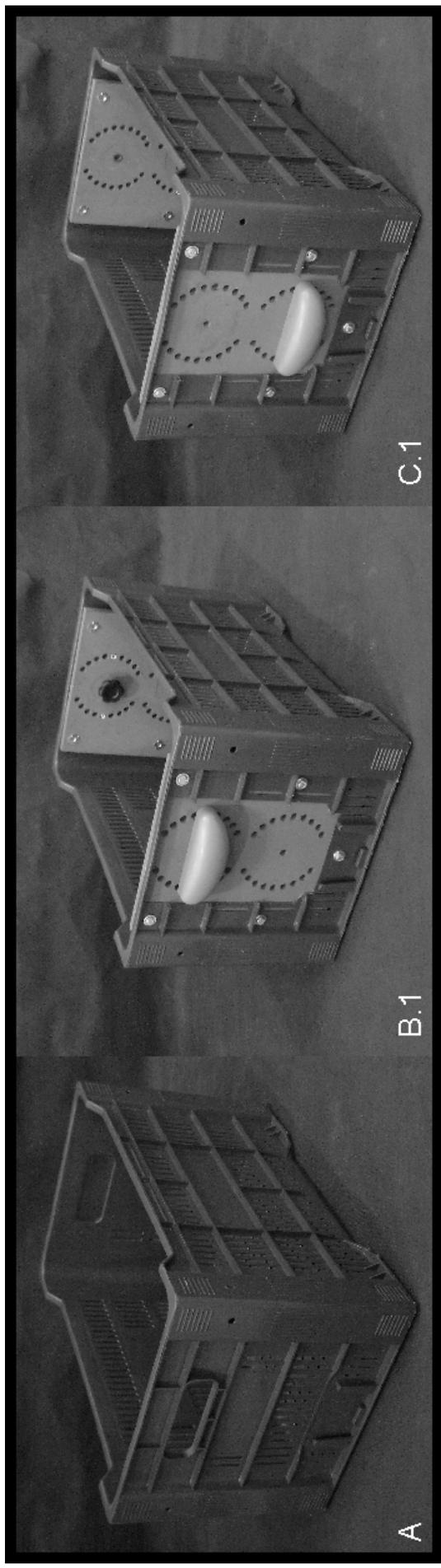


Figura 4: Caixas utilizadas para a coleta dos dados: A = caixa plástica comercial, B.1 = protótipo com alças na posição superior e 0° de inclinação com relação à horizontal; C.1 = protótipo com alças na inferior e 0° de inclinação com relação à horizontal.

7.2.3. ATIVIDADE DE MANUSEIO

As caixas mencionadas acima eram movidas entre superfícies com três diferentes medidas de altura. O manuseio de cada caixa foi realizado pelo sujeito apenas uma vez. Uma das alturas de manuseio consistia em mover a caixa de um suporte fixo (SF) de 102,5 cm de altura para o chão (Superfície Chão = SC). As outras alturas de manuseio consistiam no carregamento das caixas de SF para uma superfície de altura ajustável (SA). Esta superfície ajustável foi posicionada na altura do trocânter maior do fêmur direito (manuseios entre a superfície fixa e a ajustável posicionada próximo ao trocânter maior do fêmur = SF-TM) e na altura do acrômio direito de cada um dos sujeitos (manuseios entre a superfície fixa e a ajustável posicionada na altura do acrômio direito = SF-A). A superfície ajustável foi posicionada para cada sujeito de maneira individual, de acordo com suas próprias medidas antropométricas, assim o mesmo grau de dificuldade foi oferecido a cada um dos sujeitos avaliados.

Os suportes fixo e ajustável foram posicionados perpendicularmente entre si. A ordem dos manuseios de cada uma das caixas e para cada uma das alturas de superfície foram aleatorizados.

Antes de cada atividade de manuseio, cada sujeito recebeu informações a respeito das posições inicial e final da caixa e quando deveria iniciar a atividade. Para cada tentativa, os registros de eletrogoniometria, inclinometria e eletromiografia foram coletados de maneira sincronizada. Um marcador de eventos foi utilizado para indicar os períodos inicial e final de cada manuseio. Ao final dos manuseios de cada uma das caixas, o sujeito respondia uma escala subjetiva de agradabilidade (PASCHOARELLI et al., 2008 – ANEXO VI). Todos os testes foram filmados para o melhor controle das atividades.

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia (LAFIPE) da UFSCar, Brasil. Todas as coletas foram realizadas em um período de duas horas.

7.2.4. ESCALA SUBJETIVA DE AGRADABILIDADE

Esta escala constituiu-se de uma linha horizontal de 100 mm de comprimento que indicava em seu extremo esquerdo “ausência de agradabilidade” e em seu extremo direito “máxima agradabilidade” (PASCHOARELLI et al., 2008) (ANEXO VI). O termo agradabilidade está relacionado aos aspectos positivos percebidos durante o manuseio de cada caixa, à sensação de relaxamento e bem-estar, estar à vontade e calmo (KUIJT-EVERS et al. 2004). A escala foi adaptada de Downie et al. (1978), sendo que valores numéricos foram acrescentados à escala visual analógica original, de forma a facilitar seu preenchimento.

As orientações para o preenchimento estavam contidas na própria escala, sendo que o avaliador realizava a leitura da escala para o sujeito e esclarecia possíveis dúvidas ao término dos manuseios com cada uma das caixas.

O sujeito respondia a escala de agradabilidade ao término dos manuseios realizados com cada uma das caixas, entre as superfícies determinadas pela aleatorização. Assim, três escalas de agradabilidade foram respondidas para cada caixa avaliada: uma para o manuseio entre SF-SC, outra para o manuseio entre SF-TM e a terceira para o manuseio entre SF-A, totalizando 21 respostas de agradabilidade para cada sujeito e caixa (A, B.1, B.2, B.3, C.1, C.2 e C.3) avaliados.

7.2.5. REGISTROS ELETROGONIOMÉTRICOS

Registros dos movimentos do punho e cotovelo foram realizados bilateralmente utilizando sensores eletrogoniométricos (EGM) e a unidade de aquisição DataLog (Biometrics[®], Gwent, UK). O modelo SG65 foi utilizado para o registro dos movimentos de flexão (+) e extensão (-) e desvios ulnar (+) e radial (-) do punho e o modelo SG110 foi utilizado para os registros de movimento da flexão (+) do cotovelo.

Os eletrogoniômetros foram acoplados aos sujeitos com auxílio de fitas dupla-face e posicionados de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante (Biometrics[®], Gwent, UK). Os sensores foram previamente testados e o erro máximo coletado foi de 3° em uma amplitude de movimento de 90°, conforme recomendação do fabricante (Biometrics, 2007). A taxa de amostragem dos dados foi de 20 Hz.

Duas posições de referência foram estabelecidas: 1) sujeito na posição em pé com os cotovelos fletidos a 90°, os antebraços apoiados sobre uma superfície plana, na posição pronada, e as mãos em posição neutra; 2) com os cotovelos em completa extensão e ao lado do corpo, com as palmas das mãos voltadas para o corpo. Estas duas posições estáticas foram registradas pelo período de um minuto e foram utilizadas para as análises dos sensores de punho (SG65) e cotovelo (SG110), respectivamente.

7.2.6. REGISTROS INCLINOMÉTRICOS

Os sensores inclinométricos (INC) são baseados em acelerômetros triaxiais (Logger Teknologi HB, Akarp, Sweden) e foram utilizados para a coleta dos movimentos de elevação dos braços, registrados em valores angulares, relativos à linha da gravidade. Os inclinômetros utilizados apresentam acurácia de 1.3° e confiabilidade

de 0.2° (HANSSON et al., 2001). Os dados foram coletados com frequência de amostragem de 20 Hz.

Os inclinômetros foram acoplados a placas de plástico que foram fixadas abaixo da inserção do músculo deltoide médio e, depois, foram registradas as posições de referência e direção do movimento. A posição de referência foi obtida com o sujeito sentado em uma cadeira, com a axila posicionada sobre o encosto da cadeira e o braço pendente livremente, segurando um haltere de massa de 2 kg. A direção anterior do movimento foi fixada em 90° de elevação dos braços no plano da escápula (HANSSON et al., 2006).

Para os registros inclinométricos, os movimentos de abdução/adução e flexão/extensão dos braços não podem ser separados, assim como os movimentos de rotação não podem ser mensurados (HANSSON et al., 2010).

7.2.7. ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia de superfície (EMGs) foi registrada na porção descendente do trapézio, bíceps braquial e extensores do punho, bilateralmente. O músculo trapézio foi avaliado devido à alta prevalência de desordens musculoesqueléticas identificadas na região dos ombros (NIELSEN et al., 1998). Ainda, os músculos extensores do punho foram escolhidos em detrimento aos flexores, pois, segundo Bao e Silverstein (2005), a sobrecarga muscular nos músculos extensores de punho é maior que nos músculos flexores quando atividades de preensão envolvendo força são avaliadas.

Sensores de superfície ativos simples diferencial (Modelo #DE-2.3, DelSys[®], Boston, USA) foram acoplados à pele com auxílio de um adesivo dupla-face (DelSys[®]). Os eletrodos possuíam uma superfície de detecção constituída de duas barras de prata

paralelas (1 mm² x 1 cm) separadas por 1 cm, *common mode rejection ratio* (CMRR) > 92 dB; impedância de entrada >1015Ω em paralelo, com 0.2 pF; ganho de voltagem 10 V/V ±1%; e ruído de 1.5 μV (RMS). Os sinais foram condicionados por um amplificador principal (Myomonitor Wireless EMG System, DelSys[®]), o qual fornece um ganho de 1000 V/V, uma banda de frequência de 20–450 Hz e um ruído de ≤ 1.2 μV (RMS). A frequência de aquisição dos dados foi de 1000 Hz utilizando um computador e o software EMGworks[®] (versão 4.0.1, DelSys[®]).

Antes do acoplamento dos eletrodos, a pele foi tricotomizada e realizada leve abrasão com álcool nas áreas apropriadas. Para a porção descendente do músculo trapézio, os eletrodos foram acoplados 2 cm laterais do ponto médio da linha imaginária entre o processo espinhoso da sétima vértebra cervical e o acrômio (MATHIASSEN et al., 1995). Para o bíceps braquial, os eletrodos foram acoplados em uma linha entre o ponto médio do acrômio e a fossa cubital, a 1/3 de distância da fossa cubital (FRERIKS e HERMENS, 1999). Os eletrodos foram acoplados sobre os ventres musculares dos extensores do punho localizados por palpação durante a contração voluntária com o antebraço na posição pronada (STAL et al., 2000).

Um eletrodo de referência adesivo (5 x 5 cm) foi colado no punho direito (face flexora). Uma linha de base de 30 segundos foi obtida através do registro eletromiográfico dos referidos músculos com o sujeito na posição em pé e membros superiores relaxados.

A atividade muscular foi normalizada de acordo com a atividade eletromiográfica durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM). Duas contrações voluntárias máximas de 5 segundos foram realizadas bilateralmente. A CIVM do músculo trapézio foi registrada durante abdução isométrica do braço no plano da escápula enquanto o sujeito estava na posição em pé e exercia força contra uma faixa

posicionada ao redor da porção distal do braço (AKESSON et al., 1997). Esta faixa era presa ao chão através de uma placa metálica e possibilitava o ajuste individual, de acordo com a altura de cada voluntário e posição requerida. A CIVM do bíceps foi registrada enquanto o sujeito estava na posição sentada com o cotovelo fletido em 90°, o antebraço em supinação apoiado sobre uma mesa plana (FRERIKS e HERMENS, 1999) e com a faixa ajustável posicionada ao redor da mão. Para os músculos extensores do antebraço, a CIVM foi registrada com o sujeito na posição sentada com o cotovelo fletido e antebraço apoiado em pronação sobre uma mesa plana, a mão não apoiada e o punho na posição neutra. A faixa ajustável foi posicionada ao redor da mão entre 10 a 20 mm distais à articulação metacarpofalangeana do terceiro dedo (AKESSON et al., 1997).

Para cada uma das contrações voluntárias máximas, o avaliador forneceu *feedback* verbal, incentivando o sujeito a exercer sua força isométrica voluntária máxima durante os 5 segundos na posição requerida.

7.3. ANÁLISE DOS DADOS

Os registros eletrogoniométricos, inclinométricos e eletromiográficos foram sincronizados e registrados durante toda a coleta. Cada manuseio foi identificado por um marcador de eventos que era ativado pelo avaliador quando o sujeito apreendia a caixa (início do manuseio) e a depositava (término do manuseio) em cada uma das superfícies. Inicialmente os dados de inclinometria foram processados segundo Hansson et al., (2001) para a identificação das posições de referência e para obtenção dos ângulos de elevação dos braços. Os dados de EGM, INC e EMG foram processados através de rotinas desenvolvidas em MatLab[®] (versão 7.0.1, MathWorks Inc., Natick, USA).

Todos os sinais foram filtrados utilizando o filtro Butterworth com atraso de fase zero. Os dados de EGM e INC foram filtrados através de filtro passa-baixo, de segunda ordem, com frequência de corte de 5 e 3 Hz, respectivamente. A frequência de corte foi determinada através de análise residual (WINTER, 1990). Os dados de EMG foram filtrados através de filtro passa-banda de 20-450 Hz, de quarta ordem, e o RMS (root mean square) foi obtido através da técnica de janelamento (com duração de 25 ms e 50% de sobreposição). Os registros de EMG foram então normalizados pelo máximo valor de RMS identificado na porção média (3 segundos centrais) da CIVM de cada músculo. A média do RMS dos 30 segundos de linha de base foi subtraída do sinal para correção de possíveis ruídos.

A análise da Amplitude de Função de Probabilidade de Distribuição (Amplitude Probability Distribution Function - APDF) foi calculada para os dados de EMG e de movimento. De acordo com Jonsson (1982), os níveis de probabilidade nos percentis 10, 50 e 90 representam a carga muscular ou postural estática, mediana e pico, respectivamente. Para definir os valores correspondentes aos percentis, o conjunto de dados deve estar ordenado de forma crescente, o valor que ocupa a posição equidistante dos extremos representa a mediana (percentil 50), ou seja, o ponto que separa os dados ao meio. No caso do percentis 10 e 90 pode-se dizer que são os valores que limitam os 10% dos dados inferiores e superiores do conjunto (ARANGO, 2005).

O método da APDF é amplamente aplicado para a descrição da sobrecarga ocupacional (HAGG et al., 2000; SOGAARD et al., 2001) para os registros de EMG e de movimento (CHEN et al., 2010). A APDF foi considerada mais adequada para os referidos registros, pois devido à pequena duração de cada manuseio, esta análise fornece informações mais detalhadas do que os valores médios.

Como os resultados não satisfizeram os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Levene), os resultados da EGM, INC, EMG e escala subjetiva de agradabilidade para cada uma das caixas (A, B.1, B.2, B.3, C.1, C.2 e C.3) foram comparados através do teste de Kruskal-Wallis, com significância de 5% ($P \leq 0,05$) e post-hoc de Mann-Whitney com ajuste de Bonferroni (ajuste = α / número de comparações, ou seja; $0,05/21 = 0.002$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS 11.5.

7.4. RESULTADOS

7.4.1. ESCALA SUBJETIVA DE AGRADABILIDADE

Os valores médios e desvios-padrão (\pm DP) da escala subjetiva de agradabilidade em cada uma das alturas de manuseio avaliadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias e desvios-padrão (\pm DP) da escala subjetiva de agradabilidade para cada uma das caixas avaliadas em cada uma das alturas de manuseio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,05$). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão; SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o suporte ajustado na altura do trocanter maior do fêmur; SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o suporte ajustado na altura do acrômio direito.

	Escala Subjetiva de Agradabilidade		
	SF-SC	SF-TM	SF-A
A (1)	6,0 (\pm 2,0)	5,5 (\pm 1,8)	4,0 (\pm 2,2) ^{1/4}
B.1 (2)	5,4 (\pm 2,0)	6,1 (\pm 2,2)	4,5 (\pm 2,0)
B.2 (3)	5,5 (\pm 2,0)	6,5 (\pm 2,1)	5,4 (\pm 2,1)
B.3 (4)	5,3 (\pm 2,2)	6,4 (\pm 2,3)	5,8 (\pm 2,4) ^{1/4,4/5}
C.1 (5)	5,2 (\pm 1,9)	5,2 (\pm 2,0)	4,1 (\pm 2,0) ^{4/5}
C.2 (6)	6,1 (\pm 1,9)	5,7 (\pm 2,3)	4,6 (\pm 2,1)
C.3 (7)	5,9 (\pm 2,1)	5,8 (\pm 2,6)	5,0 (\pm 2,1)

Os valores da escala subjetiva de agradabilidade não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as caixas nas condições FS-SC e SF-TM. Em geral, os valores apontados pelos sujeitos foram próximos para todas as condições. Entretanto, a caixa B.3 apresentou valor médio de agradabilidade significativamente melhor do que

as caixas A e C.1, na condição SF-A. O teste post-hoc (Mann-Whitney) apontou diferenças entre as condições 1 x 4 (A x B.3) e 4 x 5 (B.3 x C.1).

Apesar da ausência de significância estatística, vale destacar que maiores valores médios para a percepção de agradabilidade foram encontrados nas condições: C.2 quando o manuseio ocorreu entre SF-SC, B.2 quando o manuseio ocorreu entre SF-TM e B.3 quando o manuseio ocorreu entre SF-A. Os menores valores foram encontrados para: C.1 quando o manuseio ocorreu entre SF-SC, C.1 quando o manuseio ocorreu entre SF-TM e A quando o manuseio ocorreu entre SF-A.

7.4.2. REGISTROS ELETROGONIOMÉTRICOS

Os percentis 10, 50 e 90 foram calculados para todas as variáveis. Porém, apenas os percentis que representavam maior risco (amplitudes mais distantes da postura neutra) para os movimentos do punho (percentil 10 para extensão, e 90 para desvio ulnar) e cotovelo (percentil 90 para flexão) foram apresentados na Tabela 4. As diferenças estatisticamente significativas também estão apontadas na Tabela 4.

Como esperado, para o movimento de flexão dos cotovelos (percentil 90, valores positivos), a inclinação das alças (0°, 15° e 30°) parece não ter influenciado a postura da articulação adotada pelos participantes. Não foram encontradas diferenças para a flexão do cotovelo entre as condições B.1, B.2 e B.3 e entre as condições C.1, C.2 e C.3. Na condição SF-A foram registradas as maiores amplitudes de flexão dos cotovelos. Maiores amplitudes também foram registradas para o cotovelo direito quando comparado ao esquerdo, em todas as condições avaliadas.

A caixa que apresentou amplitudes mais próximas às de vantagem biomecânica (80 a 120°) para a flexão dos cotovelos foi o protótipo B.3, em todas as alturas de

manuseio avaliadas. Menores amplitudes de flexão foram registradas durante o manuseio do protótipo C.1, para todas as alturas.

Para os movimentos de extensão do punho (percentil 10, valores negativos) ocorreu uma tendência ao aumento das amplitudes, com aumento da inclinação das alças (0°, 15° e 30°), exceto para a condição SF-A. Em geral, maiores amplitudes foram registradas para os movimentos do punho direito, exceto para a condição SF-SC em que as amplitudes do punho esquerdo foram maiores. Valores mais próximos à faixa de amplitude neutra para os movimentos de extensão do punho foram encontrados para a caixa comercial (A), entre as superfícies SF-SC e SF-A e para o protótipo C.1, entre as superfícies SF-TM. Maiores amplitudes de extensão do punho foram registrados durante o manuseio do protótipo C.3, para todas as superfícies de manuseio.

As amplitudes medianas (percentil 50), com poucas exceções, tenderam a amplitudes abaixo de 20° de extensão do punho, o percentil 90 mostrou amplitudes próximas à neutra para os movimentos de flexão, ou seja, praticamente nenhuma amplitude de flexão do punho ocorreu (resultados não apresentados).

Para os movimentos de desvio ulnar do punho (percentil 90, valores positivos) ocorreu uma tendência à redução do desvio ulnar com o aumento da inclinação da alça para os protótipos B e C em todas as condições avaliadas, exceto para o desvio do punho na condição SF-A. Em geral, maiores amplitudes de desvio ulnar do punho foram registrados para o antímero direito, embora em algumas condições esta situação tenha sido inversa, como para a caixa A para os manuseios entre SF-TM e SF-A e para a caixa C.1 para os manuseios entre SF-SC e SF-A. Os registros de movimento mais próximos às amplitudes neutras de desvio do punho foram encontrados durante o manuseio do protótipo C.3, entre as superfícies SF-SC e SF-TM e para o protótipo B.1, entre as superfícies de manuseio SF-A. Maiores amplitudes de movimento de desvio ulnar

foram registrados para o protótipo B.1 no manuseio entre as superfícies SF-SC e para o protótipo A para os manuseios entre as superfícies SF-SC e SF-A.

As amplitudes medianas (percentil 50), com poucas exceções, tenderam a amplitudes próximas à neutra enquanto que o percentil 10 apresentou amplitudes de desvio radial abaixo de 15° (resultados não apresentados).

Tabela 4. Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos percentis 90 e 10 para os antímeros (D) e esquerdo (E) dos registros da EGM do cotovelo (P90 flex cotovelo, +), movimento de extensão do punho (P10 extensão punho, -) e desvio ulnar do punho (P90 desv ulnar do punho, +). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de inclinação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de inclinação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocarter maior. SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrómio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os dados estão apresentados em graus (°).

	A (1)	B.1 (2)	B.2 (3)	B.3 (4)	C.1 (5)	C.2 (6)	C.3 (7)
P90 flex cotovelo (+)	D	76,4 ($\pm 10,4$)	74,0 ($\pm 10,7$)	76,7 ($\pm 11,7$)	77,8 ($\pm 10,9$) ^{4/6}	68,5 ($\pm 12,4$)	69,5 ($\pm 9,9$) ^{4/6}
	E	70,6 ($\pm 11,2$) ^{1/5}	68,3 ($\pm 10,8$)	69,7 ($\pm 9,8$) ^{3/5,3/7}	72,1 ($\pm 10,7$) ^{4/5,4/6,4/7}	61,2 ($\pm 10,5$) ^{1/5,3/5,4/5}	63,5 ($\pm 9,7$) ^{4/6}
P10 extensão punho (-)	D	-23,6 ($\pm 8,2$) ^{1/7}	-25,3 ($\pm 7,5$) ^{2/7}	-26,5 ($\pm 7,5$)	-29,0 ($\pm 7,7$)	-24,8 ($\pm 7,1$) ^{5/7}	-27,1 ($\pm 7,5$)
	E	-23,1 ($\pm 7,5$) ^{1/4,1/6,1/7}	-26,4 ($\pm 8,6$) ^{2/4,2/7}	-28,9 ($\pm 9,7$)	-32,3 ($\pm 7,6$) ^{1/4,2/4}	-27,2 ($\pm 7,0$)	-29,3 ($\pm 6,5$) ^{1/6}
P90 desv ulnar (+)	D	16,2 ($\pm 8,4$) ^{1/7}	16,2 ($\pm 9,00$) ^{2/7}	15,4 ($\pm 8,5$) ^{3/7}	12,0 ($\pm 9,3$) ^{4/7}	15,6 ($\pm 8,8$) ^{5/7}	11,8 ($\pm 8,7$)
	E	14,6 ($\pm 9,3$) ^{1/7}	16,3 ($\pm 7,8$) ^{2/7}	15,4 ($\pm 8,3$) ^{3/7}	11,3 ($\pm 8,1$) ^{4/7}	16,0 ($\pm 7,5$) ^{5/7}	11,4 ($\pm 7,1$) ^{6/7}
P90 flex cotovelo (+)	D	79,3 ($\pm 10,0$) ^{1/5}	78,1 ($\pm 10,8$)	78,6 ($\pm 11,0$)	82,0 ($\pm 9,1$) ^{4/5,4/6,4/7}	71,2 ($\pm 9,8$) ^{1/5,4/5}	73,1 ($\pm 9,3$) ^{4/6}
	E	72,4 ($\pm 11,5$)	71,6 ($\pm 10,7$)	72,0 ($\pm 10,5$)	74,6 ($\pm 10,9$) ^{4/5}	65,7 ($\pm 10,2$) ^{4/5}	66,8 ($\pm 10,4$)
P10 extensão punho (-)	D	-21,8 ($\pm 7,7$) ^{1/4,1/7}	-20,0 ($\pm 8,2$) ^{2/4,2/7}	-22,2 ($\pm 8,1$) ^{3/7}	-27,2 ($\pm 7,8$) ^{1/4,2/4,4/5}	-20,2 ($\pm 9,4$) ^{4/5,5/7}	-25,3 ($\pm 6,9$)
	E	-19,2 ($\pm 7,0$) ^{1/4,1/6,1/7}	-21,3 ($\pm 9,5$) ^{2/4,2/7}	-22,2 ($\pm 7,4$) ^{3/7}	-25,8 ($\pm 7,2$) ^{1/4,2/4,4/5}	-19,2 ($\pm 8,9$) ^{4/5,5/7}	-23,3 ($\pm 7,1$) ^{1/6,6/7}
P90 desv ulnar (+)	D	15,9 ($\pm 8,8$) ^{1/7}	14,0 ($\pm 12,9$) ^{2/7}	14,9 ($\pm 12,3$) ^{3/7}	12,5 ($\pm 8,6$) ^{4/7}	13,5 ($\pm 11,2$) ^{5/7}	11,8 ($\pm 10,3$) ^{6/7}
	E	16,2 ($\pm 9,2$) ^{1/7}	13,0 ($\pm 12,1$) ^{2/7}	13,1 ($\pm 10,6$) ^{3/7}	10,8 ($\pm 11,2$) ^{4/7}	12,2 ($\pm 12,9$) ^{5/7}	10,6 ($\pm 8,3$) ^{6/7}
P90 flex cotovelo (+)	D	80,1 ($\pm 12,3$)	79,0 ($\pm 12,4$)	79,3 ($\pm 11,0$)	80,9 ($\pm 10,9$)	72,6 ($\pm 11,5$)	75,1 ($\pm 11,5$)
	E	73,8 ($\pm 11,4$)	72,3 ($\pm 11,0$)	73,5 ($\pm 10,5$)	74,9 ($\pm 10,6$) ^{4/5}	66,0 ($\pm 10,5$) ^{4/5}	67,6 ($\pm 10,7$)
P10 extensão punho (-)	D	-22,5 ($\pm 8,0$) ^{1/2,1/4,1/7}	-31,0 ($\pm 11,3$) ^{1/2}	-30,0 ($\pm 12,2$)	-30,6 ($\pm 10,1$) ^{1/4}	-27,0 ($\pm 9,3$)	-27,5 ($\pm 9,4$)
	E	-21,1 ($\pm 6,8$) ^{1/2,1/3,1/4,1/7}	-28,6 ($\pm 11,9$) ^{1/2}	-29,4 ($\pm 9,8$) ^{1/3}	-30,6 ($\pm 7,8$) ^{1/4}	-25,6 ($\pm 10,4$)	-25,6 ($\pm 7,5$)
P90 desv ulnar (+)	D	17,6 ($\pm 9,2$)	12,0 ($\pm 10,7$)	13,8 ($\pm 10,2$)	13,9 ($\pm 9,5$)	15,8 ($\pm 9,8$)	17,6 ($\pm 8,7$)
	E	18,1 ($\pm 8,4$)	10,5 ($\pm 13,9$)	13,4 ($\pm 13,4$)	11,4 ($\pm 13,4$)	16,2 ($\pm 9,9$)	16,9 ($\pm 8,8$)

7.4.3. REGISTROS INCLINOMÉTRICOS

Os valores médios e desvios-padrão dos percentis 90 de elevação dos braços em cada altura de manuseio estão apresentados na Tabela 5. As diferenças estatisticamente significativas também estão apontadas na Tabela 5.

O aumento da angulação das alças (0°, 15° e 30°) proporcionou menores amplitudes de elevação do braço para as condições SF-SC e SF-TM. Na condição SF-A foram registradas as maiores amplitudes de elevação dos braços. Em geral, maiores amplitudes de elevação do braço esquerdo foram registradas, exceto para a condição SF-A.

Menores amplitudes de elevação dos braços foram encontradas durante o manuseio do protótipo C.3, para todas as alturas de manuseio avaliadas. Maiores amplitudes de elevação dos braços foram encontradas durante o manuseio da caixa comercial A.

Tabela 5. Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos registros da INC dos braços (P90 de elev braços) para os antímeros direito (D) e esquerdo (E). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B, 1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B, 2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B, 3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C, 1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C, 2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de inclinação; 7) caixa C, 3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de inclinação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocarter maior. SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrómio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os dados estão apresentados em graus (°).

	A (1)	B.1 (2)	B.2 (3)	B.3 (4)	C.1 (5)	C.2 (6)	C.3 (7)
SF-SC P90 elev braço	D	49,7 ($\pm 8,8$) ^{1/5,1/6,1/7}	51,4 ($\pm 9,5$) ^{2/5,2/6,2/7}	48,9 ($\pm 10,3$) ^{3/6,3/7}	46,4 ($\pm 6,7$) ^{4/7}	43,4 ($\pm 8,7$) ^{1/5,2/5}	41,7 ($\pm 7,1$) ^{1/6,2/6,3/6}
	E	52,6 ($\pm 14,2$) ^{1/5,1/6,1/7}	52,5 ($\pm 14,1$) ^{2/6,2/7}	49,0 ($\pm 14,4$) ^{3/6,3/7}	46,1 ($\pm 14,0$)	45,8 ($\pm 14,4$) ^{1/5}	42,1 ($\pm 14,1$) ^{1/6,2/6,3/6}
SF-TM P90 elev braço	D	49,0 ($\pm 8,1$) ^{1/4,1/5,1/6,1/7}	47,5 ($\pm 11,9$) ^{2/6,2/7}	44,5 ($\pm 9,9$) ^{3/6,3/7}	42,7 ($\pm 8,8$) ^{1/4}	39,4 ($\pm 7,3$) ^{1/5}	37,1 ($\pm 7,9$) ^{1/6,2/6,3/6}
	E	52,0 ($\pm 13,9$) ^{1/5,1/6,1/7}	50,1 ($\pm 14,1$) ^{2/5,2/6,2/7}	48,4 ($\pm 14,3$) ^{3/5,3/6,3/7}	46,2 ($\pm 14,3$) ^{4/7}	41,5 ($\pm 14,8$) ^{1/5,2/5,3/5}	41,8 ($\pm 14,7$) ^{1/6,2/6,3/6}
SF-A P90 elev braço	D	101,0 ($\pm 7,7$) ^{1/2,1/5,1/6,1/7}	94,8 ($\pm 6,5$) ^{1/2,2/5,2/6,2/7}	97,4 ($\pm 8,2$) ^{3/5,3/6,3/7}	97,4 ($\pm 7,7$) ^{4/5,4/6,4/7}	88,8 ($\pm 10,6$) ^{1/5,2/5,3/5,4/5}	88,9 ($\pm 9,7$) ^{1/6,2/6,3/6,4/6}
	E	101,5 ($\pm 11,9$) ^{1/2,1/5,1/6,1/7}	93,2 ($\pm 11,2$) ^{1/2}	95,4 ($\pm 12,1$)	96,2 ($\pm 10,9$) ^{4/6,4/7}	90,1 ($\pm 14,3$) ^{1/5}	88,6 ($\pm 13,4$) ^{1/6,4/6}

7.4.4. ELETROMIOGRAFIA

Na Tabela 6 estão apresentados os percentis que representaram os maiores valores percentuais de atividade elétrica dos músculos extensores do punho, bíceps braquial, e porção descendente do trapézio (percentis 90). Os valores médios e desvios-padrão dos percentis 90 da atividade elétrica muscular em cada altura de manuseio, e as diferenças estatisticamente significativas também estão apontadas na Tabela 6.

Maiores valores da atividade eletromiográfica foram registradas na condição SF-TM para o músculo bíceps, extensores do punho e porção descendente do trapézio (percentis 90). Menores valores percentuais da EMG para os músculos bíceps braquial e extensores dos punhos foram registrados durante os manuseios da caixa comercial (A), entre as superfícies de manuseio SF-SC e SF-TM. Para a porção descendente do trapézio, o manuseio dos protótipos C.3 e B.3, apresentaram menores amplitudes para as alturas de manuseio SF-SC e SF-TM. Para o manuseio entre as superfícies SF-A o protótipo C.3 apresentou as menores amplitudes para a porção descendente do trapézio.

Dados do percentil 90 da atividade elétrica muscular dos extensores do punho esquerdo de um indivíduo foram perdidos. Desta maneira, foram eliminadas da análise todas as variáveis da atividade eletromiográfica do referido grupo muscular deste sujeito.

Tabela 6: Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos percentis 90 para os antimeros (D) e esquerdo (E) dos registros da EMG dos músculos bíceps braquial (P90 bíceps), extensores do punho (P90 ext punho) e porção superior do trapézio (P90 porção sup trapézio). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de inclinação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de inclinação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocarter maior, SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrómio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os dados estão apresentados em valores percentuais da contração isométrica voluntária máxima (CIVM).

	A (1)	B.1 (2)	B.2 (3)	B.3 (4)	C.1 (5)	C.2 (6)	C.3 (7)
P90 bíceps	D	39,3 ($\pm 20,6$)	46,2 ($\pm 20,0$)	48,3 ($\pm 23,1$)	49,3 ($\pm 22,5$)	39,9 ($\pm 23,4$)	43,6 (\pm)
	E	39,3 ($\pm 16,6$)	48,5 ($\pm 19,6$)	48,2 ($\pm 18,9$)	51,1 ($\pm 21,3$)	42,9 ($\pm 19,2$)	48,1 (\pm)
P90 ext punho	D	28,3 ($\pm 14,0$)	36,5 ($\pm 16,3$)	35,9 ($\pm 19,0$)	37,0 ($\pm 18,2$)	35,5 ($\pm 18,2$)	38,7 (\pm)
	E	27,6 ($\pm 12,6$) ^{1/7}	36,5 ($\pm 17,7$)	36,9 ($\pm 15,9$)	38,0 ($\pm 14,6$)	34,3 ($\pm 15,2$)	40,6 (\pm)
P90 porção sup trapézio	D	35,5 ($\pm 13,7$)	43,1 ($\pm 26,2$)	37,6 ($\pm 16,3$)	36,8 ($\pm 21,7$)	34,3 ($\pm 14,0$)	31,6 (\pm)
	E	38,4 ($\pm 18,7$)	40,9 ($\pm 19,3$) ^{2/7}	37,6 ($\pm 18,4$)	32,6 ($\pm 16,5$)	33,9 ($\pm 15,7$)	31,7 (\pm)
P90 bíceps	D	52,2 ($\pm 30,6$)	62,1 ($\pm 37,6$)	59,8 ($\pm 34,8$)	55,8 ($\pm 30,6$)	59,1 ($\pm 32,3$)	55,0 ($\pm 27,9$)
	E	52,5 ($\pm 22,8$)	61,6 ($\pm 25,9$)	58,4 ($\pm 24,4$)	57,5 ($\pm 25,6$)	57,8 ($\pm 22,7$)	55,4 ($\pm 22,5$)
P90 ext punho	D	37,8 ($\pm 23,8$) ^{1/4}	43,7 ($\pm 28,5$)	50,7 ($\pm 33,0$)	53,6 ($\pm 25,3$) ^{1/4}	49,3 ($\pm 31,3$)	54,1 ($\pm 31,2$)
	E	37,7 ($\pm 18,0$)	41,2 ($\pm 23,1$)	45,4 ($\pm 19,7$)	44,3 ($\pm 17,7$)	46,2 ($\pm 25,3$)	46,6 ($\pm 20,0$)
P90 porção sup trapézio	D	79,4 ($\pm 26,7$)	74,2 ($\pm 28,6$)	75,7 ($\pm 25,1$)	74,0 ($\pm 24,7$)	77,8 ($\pm 33,4$)	78,0 ($\pm 34,4$)
	E	81,2 ($\pm 19,8$)	75,9 ($\pm 21,1$)	76,3 ($\pm 22,1$)	75,2 ($\pm 22,5$)	79,4 ($\pm 22,3$)	75,7 ($\pm 22,4$)
P90 bíceps	D	48,1 ($\pm 24,7$)	57 ($\pm 28,5$)	53,2 ($\pm 28,4$)	52,9 ($\pm 29,6$)	49,3 ($\pm 25,2$)	49,6 ($\pm 25,5$)
	E	41,3 ($\pm 16,8$)	51,9 ($\pm 19,4$)	47,6 ($\pm 18,4$)	48,3 ($\pm 17,0$)	47,9 ($\pm 18,8$)	47,5 ($\pm 17,3$)
P90 ext punho	D	22,3 ($\pm 13,4$) ^{1/4}	34,3 ($\pm 22,4$)	34,4 ($\pm 20,2$)	38,7 ($\pm 20,3$) ^{1/4}	32,6 ($\pm 19,1$)	34 ($\pm 18,5$)
	E	22,9 ($\pm 12,0$)	29,8 ($\pm 17,6$)	33,3 ($\pm 18,2$)	37,8 ($\pm 17,2$)	29,9 ($\pm 13,9$)	32,3 ($\pm 13,2$)
P90 porção sup trapézio	D	36,3 ($\pm 14,6$)	39,4 ($\pm 21,9$)	34,8 ($\pm 21,1$)	32,1 ($\pm 18,0$)	27,7 ($\pm 13,0$)	25,5 ($\pm 11,3$)
	E	41,2 ($\pm 19,4$)	39,9 ($\pm 22,1$)	37,1 ($\pm 21,2$)	34,2 ($\pm 18,2$)	30,7 ($\pm 16,9$)	28,2 ($\pm 13,7$)

7.5. DISCUSSÃO

Para os aspectos subjetivos de agradabilidade, o protótipo C.1 apresentou os menores valores médios, tanto para os manuseios entre SF-SC como para SF-TM. Nastasia et al, (2007) estudaram a relação entre os aspectos subjetivos de percepção e indicadores biomecânicos no manuseio de materiais e relataram que, embora os dados biomecânicos não possam ser substituídos por medidas de percepção, as medidas subjetivas se integram à análise do manuseio e auxiliam na interpretação dos resultados. Para condução de estudos epidemiológicos, Spielholz et al. (2001) recomendaram a combinação de métodos subjetivos e objetivos para entender melhor a exposição dos membros superiores aos fatores de risco ocupacionais. No presente estudo, os relatos de agradabilidade estão de acordo com os movimentos de flexão dos cotovelos e, para ambas as variáveis, a melhor condição avaliada foi o manuseio do protótipo B.3.

Durante os registros eletrogoniométricos de flexão dos cotovelos o protótipo B.3 apresentou as amplitudes de maior vantagem biomecânica (80° a 120°) (MURRAY et al., 1995), em todas as alturas de manuseio avaliadas. Este fato já era esperado, pois a posição superior das alças favorece o posicionamento em flexão dos cotovelos. Os protótipos B.3 e C.1 apresentaram diferença estatisticamente significativa para os percentis 90 de flexão do cotovelo.

Com relação à extensão do punho, o manuseio da caixa comercial A apresentou comparativamente amplitudes mais próximas à neutra para o manuseio entre as superfícies SF-SC e SF-A. Para o manuseio entre as superfícies SF-TM o protótipo C.1 foi o que resultou em amplitudes mais próximas à neutra. Movimentos de força e amplitudes extremas do punho estão associados ao aumento da sobrecarga e à

ocorrência de desordens musculoesqueléticas (ARMSTRONG et al., 1987; OSÓRIO et al., 1994; SANDE et al., 2001).

Desvios do punho da posição neutra (flexão/extensão e desvios ulnar/radial) provocam o aumento da pressão no túnel do carpo e diminuem o braço de alavanca dos músculos intrínsecos do punho, aumentando a sobrecarga e o risco destas desordens (SKIE et al., 1990; WELLS e KEIR, 1999).

Para os movimentos de desvio ulnar do punho, foi possível verificar que o manuseio do protótipo C.3 apresentou as amplitudes mais próximas à neutra entre as condições SF-SC e SF-TM. Já para os manuseios entre as superfícies SF-A, o protótipo B.1 apresentou os melhores resultados relativos aos movimentos de desvio. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Wang et al, (2000) e Chung e Wang (2001) que recomendaram inclinações de alças entre 30 e 45° com relação à horizontal.

Para os dados de elevação dos braços, o protótipo C.3 apresentou as menores amplitudes de movimento, para todas as alturas de manuseio testadas. Uma possível explicação para este fato é que o posicionamento inferior das alças diminui o alcance dos braços até as superfícies e favorece menores amplitudes de elevação dos braços.

Quando dados quantitativos diretos são obtidos em avaliações dos movimentos articulares, um dos questionamentos que surgem é o quanto as diferenças estatísticas observadas entre as condições (caixas), repercutem nas amplitudes de movimento do ponto de vista clínico ou preventivo. A partir deste questionamento, alguns parâmetros internacionais podem ser citados, como por exemplo, a consideração da Associação Médica Americana (AMA, 2005) de que 10% da amplitude de movimento seria considerada uma medida articular clinicamente relevante. Dentro deste parâmetro foram adotados os 10% da amplitude de movimento (valor máximo de amplitude – valor

mínimo de amplitude) média registrada para cada articulação, para considerar as diferenças entre as caixas, do ponto de vista clínico e preventivo.

Assim, segundo a AMA (2005), podemos afirmar que os movimentos de flexão dos cotovelos apresentaram diferenças clinicamente significativas entre as caixas. As diferenças de amplitude de movimento registradas para os protótipos B.3 e C.1 foram de 8° a 10° e as amplitudes médias registradas para a articulação foram em torno de 56° (diferença de 6° entre as condições). Da mesma maneira, para os movimentos de desvio ulnar do punho, diferenças significativas entre os protótipos B.1 e C.3 foram maiores que 3° e as amplitudes médias registradas foram em torno de 31° (diferença significativa de 3°). Para os movimentos de extensão, as amplitudes de movimento médias registradas foram de 38° (diferença significativa de 4°) e as diferenças entre as amplitudes durante os manuseios das caixas A e C.3 foram entre 7° a 10°. Com relação aos braços, as amplitudes médias registradas foram em torno de 50° e as diferenças entre os movimentos para as caixas A e C.3 foram entre 8° e 13°.

Para os registros de EMG do bíceps, a caixa comercial determinou os menores valores de atividade elétrica, para todas as alturas avaliadas. A caixa comercial também foi a melhor condição avaliada para os músculos extensores do punho no manuseio entre as superfícies SF-SC, SF-TM e SF-A. Com relação à porção descendente do músculo trapézio, o protótipo C.3 determinou a melhor condição de manuseio avaliada, entre as superfícies SF-SC e SF-A. O protótipo B.3 foi a melhor caixa avaliada para os manuseios entre SF-TM. Antony e Keir (2010) avaliaram a ativação dos músculos dos ombros durante movimentos isométricos e de preensão e verificaram um aumento da atividade elétrica do bíceps e trapézio em 2% e 6%, respectivamente, quando movimentos de preensão são realizados. Os autores afirmaram que mudanças nos padrões de ativação muscular repercutem na sobrecarga interna dos músculos, o que

exerce um papel fundamental na prevenção e tratamento das desordens musculoesqueléticas. Estes resultados também enfatizam a importância das avaliações dinâmicas de movimento, como foi realizado no presente estudo, para o melhor entendimento da sobrecarga envolvida durante a atividade de manuseio.

Os dados relativos aos movimentos de elevação dos braços corroboram os resultados da atividade elétrica muscular do músculo trapézio. Nielsen et al, (1998) ao avaliarem a atividade elétrica do músculo trapézio e dos eretores da espinha, verificaram que há uma mudança de sobrecarga da região da coluna para os ombros quando o manuseio é realizado de superfícies muito baixas (chão) para alturas próximas ao nível dos ombros. Os autores recomendaram que as caixas sejam manuseadas entre as alturas 72,5 a 126,8 cm acima do solo. As maiores amplitudes de atividade eletromiográfica do trapézio registradas durante o manuseio da caixa B (SF-SC e SF-A) ocorrem quando as articulações desenvolvem posturas extremas de movimento, o que dificulta a geração de torque (relação comprimento/tensão do músculo). Nestas posturas extremas, pode ocorrer o recrutamento adicional de unidades motoras e/ou aumento da frequência de disparo das unidades motoras já ativadas (MERLETTI e PARKER, 2004), o que explica o aumento da atividade eletromiográfica dos músculos avaliados.

Da mesma maneira que os dados de movimento, existem propostas para se classificar a atividade elétrica muscular, baseada em percentuais da contração voluntária máxima. Anton et al. (2003) propõem faixas específicas para se classificar a atividade elétrica muscular em baixa (0% a 15% da CIVM), moderada (3% a 15% da CIVM) e alta (maior que 31% da CIVM). Porém, praticamente em todas as condições de manuseio propostas no presente estudo, a atividade elétrica de todos os músculos avaliados estaria em apenas uma faixa (alta) e não seria possível atribuir diferenças significativas do ponto de vista clínico, entre as condições de manuseio testadas.

Os diferentes métodos de medida direta se mostraram complementares durante a avaliação dos membros superiores nas diferentes alturas. A combinação dos diferentes métodos de medida apontou aspectos positivos e negativos em cada uma das caixas avaliadas, enfatizando a importância da combinação destes métodos durante a avaliação dos fatores de risco em atividades de manuseio. A Tabela 7 mostra os pontos positivos (+) e negativos (-) das caixas avaliadas, de acordo com cada um dos instrumentos e variáveis utilizados. A ausência dos símbolos (+ e -) na tabela significa que não há influência da variável analisada.

Tabela 7: Aspectos positivos e negativos dos principais resultados encontrados para os manuseios das caixas plásticas considerando todas as alturas avaliadas.

		Caixas						
		A	B.1	B.2	B.3	C.1	C.2	C.3
Agradabilidade					+	-		
Movimento (EGM e INC)	P90 Cotovelo				+	-		
	P90 Desvio Ulnar do Punho		-					+
	P10 Extensão do Punho	+				+		-
	P90 Elevação do Braço	-						+
Atividade Eletromiográfica (EMG)	P90 Bíceps	+			-			
	P90 Extensores do Punho	+	+		-			-
	P90 Trapézio	-			+			+

A partir da Tabela 7 podemos afirmar que as caixas que reúnem maior número de aspectos positivos, comparados com os negativos, são as caixas B.3 e C.3. O protótipo B.3 seria o mais indicado para manuseios abaixo da altura da cintura e o

protótipo C.3 o mais indicado para manuseios acima do nível da cintura. A caixa comercial apresentou aspectos positivos no que diz respeito à extensão do punho e atividade elétrica nos músculos extensores e aspectos negativos com relação à elevação do braço e atividade elétrica do músculo trapézio. Os protótipos avaliados apresentaram boa durabilidade e custo-benefício, e podem ser utilizados em ambientes industriais, principalmente para o transporte interno.

Destacamos ainda que, para validação e contínuo aprimoramento dos novos protótipos, a participação de indivíduos experientes em atividades de manuseio deve ser considerada, utilizando métodos de medida diretos e objetivos, obtidos de maneira simultânea e sincronizada, como foi realizado no presente estudo. Para estudos futuros seria interessante considerar a coleta dos dados em ambiente real de trabalho, através do registro contínuo destas mesmas variáveis.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

.....

8, CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados e relatados nesta tese permitiram aumentar a compreensão sobre condições mais seguras e confortáveis de manuseio. Neste sentido, os protótipos avaliados promoveram pegas mais confortáveis, movimentos mais seguros e exigiram menor atividade elétrica muscular quando comparados às caixas comerciais.

Os achados mostraram que o melhor design de caixa a ser utilizado depende de condições como tipo de material transportado e das superfícies de manuseio presentes no ambiente de trabalho. Se as superfícies de manuseio puderem ser padronizadas no ambiente de trabalho, sugerimos pegas próximas às superfícies superiores da caixa para manuseios entre o solo a altura do trocanter maior do fêmur e, pegas próximas à superfície inferior da caixa (fundo) para manuseios entre o trocanter maior do fêmur e acrômio do trabalhador. Além disso, os protótipos avaliados apresentaram boa durabilidade e custo-benefício, e podem ser utilizados em ambientes industriais, principalmente para o transporte interno.

Apesar das avaliações positivas apresentadas pelos protótipos, para validação e contínuo aprimoramento dos novos designs, estudos futuros são necessários para ampliar os recursos de investigação aqui empregados, incluindo novas articulações e grupos musculares. Igualmente, seria interessante avaliar os movimentos e atividade elétrica muscular dos membros superiores de indivíduos experientes na atividade e em ambiente real de trabalho. Segundo Plamondon et al. (2010). sujeitos experientes em atividades de manuseio adotam diferentes estratégias que poderão aumentar a compreensão a cerca do manuseio, aprimorando os novos designs. Da mesma maneira, estudos longitudinais, mostrando o efeito da redução de sintomas musculoesqueléticos

através do uso dos novos protótipos, incluindo a avaliação de novas articulações e grupos musculares, também deverão ser analisados para mais completa compreensão dos movimentos e atividade elétrica muscular.

9. REFERÊNCIAS

.....

9. REFERÊNCIAS

ABRE. Associação Brasileira de Embalagens. **Dados de Mercado – 2010**. Disponível em: <http://www.abre.org.br/centro_dados_2010.php>. Acesso em 9 de abril de 2012.

AKESSON, I.; BALOGH, I.; HANSSON, G-A. Physical workload in neck, shoulders and wrists/hands in dental hygienists during a work-day. **Applied Ergonomics**, v. 43, p. 803-811, 2012.

AKESSON, I.; HANSSON, G-A.; BALOGH, I.; MORITZ, U.; SKERFVING, S. Quantifying work load in neck, shoulders and wrists in female dentists. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 69, n. 6, p. 461-474, 1997.

AMA (2005). American Medical Association. Guides to evaluation of permanent impairment. AMA, Chicago.

ANDO, S.; ONO, Y.; SHIMAOKA, M.; HIRUTA, S.; HATTORI, Y.; HORI, F.; IMAEDA, T.; TAKEUCHI, Y. Strength and perceived exertion in isometric and dynamic lifting with three different hand locations. **Journal of Occupational Health**, v. 42, n. 6, p. 315-320, 2000.

ANTON, D.; COOK, T. M.; ROSECRANCE, J. C.; MERLINO, L. A. Method for quantitatively assessing physical risk factors during variable noncyclic work. **Scandinavian Journal of Work and Environmental Health**, v. 29, n. 5, p. 354-362, 2003.

ANTONY, N.; KEIR, P. J. Effects of posture, movement and hand load on shoulder muscle activity. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 20, p. 191-198, 2010.

ARANGO, H. G. Bioestatística teórica e computacional. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. Segunda Edição, 2005.

ARNSTRONG, T. J.; FINE, L. J.; GOLDSTEIN, A. S.; LIFSHITZ, Y. R.; SILVERSTEIN, B. A. Ergonomics considerations in hand and wrist tendinitis. **Journal of Hand Surgery**, v. 12, n.5 Pt2, p. 830-837, 1987.

AUTHIER, M.; GAGNON, M.; LORTIE, M. Handling techniques: the influence of weight and height for experts and novices. **International Journal Occupational Safety and Ergonomics**, v. 1, n. 3, p. 262-275, 1995.

AUTHIER, M.; LORTIE, M.; GAGNON, M. Manual handling techniques: Comparing novices and experts. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 17, n. 5, p. 419-429, 1996.

BAO, S.; SILVERSTEIN, B. Estimation of hand force in ergonomic job evaluations. **Ergonomics**, v. 48, n. 3, p. 288-301, 2005.

BERNARD, B. P. Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors - A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the

Neck, Upper Extreity, and Low Back. DHHS (NIOSH), Cincinnati, USA, publication 97-141, 1997.

BIOMETRICS. **Goniometer and torsionmeter operating manual**. Gwent, 2007, 25 p.

CHEN, H-C.; CHANG, C-M.; LIU, Y-P.; CHEN, C-Y. Ergonomic risk factors for the Wrists of hairdressers. **Applied Ergonomics**, v. 41, n. 1, p. 98-105, 2010.

CHENG, T-S.; LEE, T-H. Maximum acceptable weight of manual load carriage for young Taiwanese males. **Industrial Health**, v. 44, n. 1, p. 200-206, 2006.

CHUNG, H-C.; WANG, M-J. The effects of container design and stair climbing on maximal acceptable lift weight, wrist posture, psychophysical, and physiological responses in wafer-handling tasks. **Applied Ergonomics**, v. 32, p. 593-598, 2001.

CIRIELLO, V. M. The effects of container size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting for female industrial workers. **Applied Ergonomics**, v. 38, p. 1-5, 2007.

CIRIELLO, V. M.; SNOOK, S, H.; HASHEMI, L.; COTNAM, J. Distributions of manual material handling task parameters. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 24, p. 379-388, 1999.

CIRIELLO, V. M.; SNOOK, S, H.; HUGHES, G. H. Further studies of psychophysically determined maximum acceptable weights and forces. **Human Factors**, v. 35, p. 175-186, 1993.

COLOMBINI, D.; OCCHIPINTI, E.; FANTI, M. As principais alterações atribuíveis à atividade ocupacional: definições, colocação e dimensão do problema, In: _____, **Método OCRA**: para análise e a prevenção do risco por movimentos repetitivos, Manual para a Avaliação e a gestão do risco, 1, ed, São Paulo: Editora LTr, 2008, p. 18-27.

Confederation of Paper Industries UK Ltd, 2011. **Cardboard boxes and cartons**, Disponível em <<http://www.wastebook.org/boxes.htm>>. Acesso em 5 de setembro de 2011.

COURY, B. G.; DRURY, C. G. Optimum handle positions in a box-holding task. **Ergonomics**, v. 25, n. 7, p. 645-662, 1982.

COURY, H. J. C. G.; KUMAR, S.; NARAYAN, Y. An electromyographic study of upper limb adduction force with varying shoulder and elbow postures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 8, n. 3, p. 157-168, 1998b.

COURY, H. J. C. G.; KUMAR, S.; RODGHER, S.; NARAYAN, Y. Measurements of shoulder adduction strength in different postures. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 22, n. 3, p. 195-206, 1998a.

DE WILLIAMS, M.; STUTZMAN, L. Strength variation through the range of joint motion. **Physical Therapy Review**, v. 39, n. 3, p. 145-52, 1959.

DEEB, J. M.; DRURY, C. G.; MCDONNELL, B. Evaluation of a curved handle and handle positions for manual materials handling. **Ergonomics**, v. 29, n. 12, p. 1609-1622, 1986.

DELISLE, A.; GAGNON, M.; DESJARDINS, P. Kinematic analysis of footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 23, n. 5-6, p. 451-460, 1999.

DEMPSEY, P. G.; HASHEMI, L. Analysis of workers' compensation claims associated with manual material handling. **Ergonomics**, v. 42, n. 1, p. 183-195, 1999.

DOWNIE, W. W.; LEATHAM, P. A.; RHIND, V. M.; PICKUP, M. E.; WRIGHT, V. The visual analogue scale in the assessment of grip strength. **Annals of Rheumatic Diseases**. v. 37, n.4, 382-384, 1978.

DRURY, C. G. Handles for manual materials handling. **Applied Ergonomics**, v. 11, n. 1, p. 35-42, 1980.

DRURY, C. G.; DEEB, J. M.; HARTMAN, B. Symmetric and asymmetric manual materials handling, Part 1: physiology and psychophysics. **Ergonomics**, v. 32, n. 5, p. 467-489, 1989.

DRURY, C. G.; LAW, C. H.; PAWENSKY, C. S. A survey of industrial box handling. **Human Factors**, v. 24, n. 5, p. 553-565, 1982.

FABER, G. S.; KINGMA, I.; KUIJER, P. P. F. M.; VAN DER MOLEN, H. F.; HOOZEMANS, M. J. M.; FRINGS-DRESEN, M. H. W.; VAN DIEEN, J. H. Working height, block mass and one- vs two-handed block handling: the contribution to low back and shoulder loading during masonry work. **Ergonomics**, v. 52, n. 9, 1104-1118, 2009.

FAGARASANU, M.; KUMAR, S. Hand strength, In: Shrawan Kumar, **Muscle Strength**, University of North Texas: CRC Press, 2004, p. 177-212.

FOLTRAN, F. A.; SILVA, L. C. C. B.; SATO, T. O.; GIL COURY, H. J. C. Qual modelo de eletrogoniômetro é mais adequado para avaliar movimentos do punho? **Revista Fisioterapia em Movimento**, v. 24, n. 2, p. 357-366, 2011.

FRERIKS, B.; HERMENS, H. J. 1999. SENIAM 9: European recommendations for surface electromyography [CD-room]. Roessingh Research and Development.

GAGNON, M.; DELISLE, A.; DESJARDINS, P. Biomechanical differences between best and worst performances in repeated free asymmetrical lifts. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 29, n. 2, p. 73-83, 2002.

GARG, A.; SAXENA, U. Container characteristics and maximum acceptable weight of lift. **Human Factors**, v. 22, n. 4, p. 487-495, 1980.

HAGG, G. M.; LUTTMANN, A.; JAGER, M. Methodologies for evaluating electromyographic field data in ergonomics. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 10, n. 5, p. 301-312, 2000.

HANSSON, G. A.; ARVIDSSON, I.; OHLSSON, K.; NORDANDER, C.; MATHIASSEN, S. E.; SKERFVING, S.; BALOGH, I. Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling, Part II: Inclinometry of head, upper back, neck and upper arms. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.16, n. 2, p. 125–136, 2006.

HANSSON, G. A.; ASTERLAND, P.; HOLMER, N-G.; SKERFVING, S. Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis. **Medical and Biological Engineering and Computing**, v. 39, n. 4, p. 405–413, 2001.

HANSSON, G. A.; BALOGH, I.; OHLSSON, K.; GRANQVIST, L.; NORDANDER, C.; ARVIDSSON, AKESSON, I.; UNGE, J.; RITTNER, R.; STROMBERG, U.; SKERFVING, S. Physical workload in various types of work: Part II. Neck, shoulder and upper arm. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 40, p. 267-281, 2010.

HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Modernização das embalagens da mandioquinha-salsa e sua comercialização no atacado paulista. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 815-820, 2004.

IBGE. **Séries estatísticas & históricas**, 2009. Brazil. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PD292&sv=19&t=grupos-deidade>>. Acesso em 7 de março de 2012.

JONSSON, B. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constrained work. **Journal of Human Ergology**, v. 11, n. 1, p. 73-88, 1982.

JUNG, H. S.; JUNG, H. S. A survey of the optimal handle position for boxes with different sizes and manual handling positions. **Applied Ergonomics**, v. 41, n. 1, p. 115-122, 2010.

JUNG, H. S.; JUNG, H. -S. Design of liquid container handles in accordance with user preferences. **Ergonomics**, v. 51, n. 3, p. 247-260, 2008.

JUNG, H. S.; JUNG, H. S. Development and ergonomic evaluation of polypropylene laminated bags with carrying handles. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 31, n. 4, p. 223-234, 2003.

KAPANDJI, A. I. Fisiologia Articular esquemas comentados de mecânica humana. Vol 1, Edição 5. Editora Médica Panamericana. São Paulo, Brasil, 2000.

KATTEL, B. P.; FREDERICKS, T. K.; FERNANDEZ, J. E.; LEE, D. C. The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 18, n. 5-6, p. 423-429, 1996.

KUIJT-EVERS, L. F. M.; GROENESTEIJN, L.; DE LOOZE, M. P.; VINK, P. Identifying factors of comfort in using hand tools. **Applied Ergonomics**, v. 35, p. 453-458, 2004.

KUIJT-EVERS, L. F. M.; TWISK, J.; GROENESTEIJN, L.; DE LOOZE, M. P.; VINK, P. Identifying predictors of comfort and discomfort in using hand tools. **Ergonomics**, v. 48, n. 6, p. 692-702, 2005.

LASTAYO, P.; CHIDGEY, L.; MILLER, G. Quantification of the relationship between dynamic grip strength and forearm rotation: a preliminary study. **Annals of Plastic Surgery**, v. 35, n. 2, p. 191-196, 1995.

LIN, C. J.; WANG, S. J.; CHEN, H. J. A field evaluation method for assessing whole body biomechanical joint stress in manual lifting tasks. **Industrial Health**, v. 44, n. 4, p. 604-612, 2006.

LORTIE, M.; BARIL-GINGRAS, G. Box handling in the loading and unloading of vans, **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 4, n. 1, p. 3-18, 1998.

MARRAS, W. S. Occupational low back disorder causation and control. **Ergonomics**, v. 43, n. 7, p. 880-902, 2000.

MATHIASSEN, S. E.; WINKEL, J.; HAGG, G. M. Normalization of Surface EMG Amplitude from the Upper Trapezius Muscle in Ergonomic Studies – A Review. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 5, n. 4, p. 197-2261, 1995.

MAYER, J.; KRAUS, T.; OCHSMANN, E. Longitudinal evidence for the association between work-related physical exposures and neck and/or shoulder complaints: a

Systematic review. **International Archives of Occupational Environmental Health**, v. 29, 2011.

MERLETTI, R.; PARKER, P. A. *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2004.

Michaelis: Dicionário da Língua Portuguesa. Disponível em:<<http://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 07 out. 2012.

MURRAY, W. M.; DELP, S. L.; BUCHANAN, T. S. Variation of muscle moment arms with elbow and forearm position. **Journal of Biomechanics**, v. 28, n. 5, p. 513-525, 1995.

NASTASIA, I.; LORTIE, M.; DELISLE, A.; GAGNON, M. Perception and biomechanics data in a manual handling task: a comparative study. **Ergonomics**, v. 50, n. 12, p. 2059–2081, 2007.

NIELSEN, P, K.; ANDERSEN, L.; JORGENSEN, K. The muscular load on the lower back and shoulders due to lifting at different lifting heights and frequencies. **Applied Ergonomics**, v. 29, n. 6, p. 445-450, 1998.

OLIVEIRA, A. B.; SILVA, L. C. C, B.; PALINKÁS, E. S. L.; PADULA, R. S.; GIL COURY, H. J. C. G. How is a box handled when all surfaces can be freely held? **Ergonomics**, v. 55, n. 1, 78–86, 2012.

OLIVEIRA, A. B.; SILVA, L. C.; COURY, H. J. How do low/high height and weight variation affect upper limb movements during manual material handling of industrial boxes? **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 15, n. 6, p. 494-502, 2011.

OLIVEIRA, A. B.; SILVA, L. C.; PÁLINKÁS, E. S.; PADULA, R. S.; COURY, H. J. How is a box handled when all surfaces can be freely held? **Ergonomics**, v. 55, n. 1, p. 78-86, 2012.

OSÓRIO, A. M.; AMES, R. G.; JONES, J.; CASTORINA, J.; REMPEL, D.; ESTRIN, W.; TOMPSON, D. Carpal tunnel syndrome among grocery store workers. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 25, n. 2, p. 229-245, 1994.

PADULA, R. S.; SOUZA, V. C.; GIL COURY, H. J. C. Types of grip and wrist movements during load handling activities. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 10, n. 1, p. 29-34, 2006.

PADULA, R. S.; GIL COURY, H. J. C. An electrogoniometric study of trunk movements during lifting activities. In: EUROPE CHAPTER OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY, 2002, Dortmund, Human Factors in the Age of Virtual Reality, **Proceedings**, Netherlands: Shaker Publishing BV, 2003b, p. 279-282.

PADULA, R. S.; GIL COURY, H. J. C. Sagittal trunk movements during load carrying activities: a pilot study. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 32, n. 3, p. 181-188, 2003a.

PASCHOARELLI, L. C.; OLIVEIRA, A. B.; GIL COURY, H. J. C. Assessment of the ergonomic design of diagnostic ultrasound transducers through wrist movements and subjective evaluation. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 38, n. 11-12, p. 999-1006, 2008.

PLAMONDON, A.; DENIS, D.; DELISLE, A.; LARIVIÈRE, C.; SALAZAR, E.; IRSST MMH RESEARCH GROUP. Biomechanical differences between expert and novice workers in a manual material handling task. **Ergonomics**, v. 53, n. 10, p. 1239-1253, 2010.

PRYCE, J. C. The wrist positioning between neutral and ulnar deviation that facilitates the maximum power grip strength. **Journal of Biomechanics**, v. 13, n. 6, p. 505-511, 1980.

PUNNETT, L.; WEGMAN, D. H. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 14, p. 13-23, 2004.

RICHARDS, L. G. Posture effects on grip strength. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v, 78, n, 10, p, 1154-1156, 1997.

SANDE, L. P.; COURY, H. J. C. G.; OISHI, J.; KUMAR, S. Effect of musculoskeletal disorders on pretensions strength. **Applied Ergonomics**, v. 32, n. 6, p. 609-616, 2001.

SHIH, Y-C.; WANG, M-J. Psychophysical evaluation of diameter and angle of container handles. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 19, n. 6, p. 437-444, 1997.

SHIRATSU, A.; COURY, H. J. C. G. Reability and accuracy of different sensors of a flexible electrogoniometer. **Clinical Biomechanics**, v. 18, n. 7, p. 682-684, 2003.

SILVA, L. C. C. B.; OLIVEIRA, A. B.; ALEM, M. E. R.; PASCHOARELLI, L. C.; COURY, H. J. C. G. Are Cutout Handles Used When Available in Real Occupational Settings? Description of Grips and Upper Extremities Movements during Industrial Box Handling. **Work**, v. 41, p. 4808-4812, 2012.

SKIE, M.; ZEISS, J.; EBRAHEIM, N. A.; SACKSON, W. T. Carpal tunnel changes and median nerve compression during wrist flexion and extension seen by magnetic resonance imaging. **Journal of Hand Surgery**, v. 15, n. 6, p. 934-939, 1990.

SMITH, D. R.; WEI, N.; ZHAO, L.; WANG, R. S. Musculoskeletal complaints and psychosocial risk factors among Chinese hospital nurses. **Occupational Medicine**, v. 54, n. 8, p. 579-582, 2004.

SNOOK, S. H. Work-related low back pain: secondary intervention. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 14, p. 153-160, 2004.

Social Security Ministry. 2011, Brazil. Disponível em: <<http://mpas.gov.br>>. Acesso em: 26 de agosto de 2011.

SOGAARD, K.; LAURSEN, B.; JENSEN, B. R.; SJOGAARD, G. Dynamic loads on the upper extremities during two different floor cleaning methods. **Clinical Biomechanics**, v. 16, n. 10, p. 866-879, 2001.

SPIELHOLZ, P.; SILVERSTEIN, B.; MORGAN, M.; CHECKOWAY, H.; KAUFMAN, J.; Comparison of self-report, video observation and direct measurement methods for upper extremity musculoskeletal disorder physical risk factors. **Ergonomics**, v. 44, n. 6, p. 588-613, 2001.

SPLITTSTOESSER, R. E.; YANG, G.; KNAPIK, G. G.; TRIPPANY, D. R.; HOYLE, J. A.; LAHOTI, P.; KORKMAZ, S. V.; SOMMERICH, C. M.; LAVENDER, S. A.; MARRAS, W. S. Spinal loading during manual materials handling in a kneeling posture. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 17, p. 25-34, 2007.

STAL, M.; HANSSON, G. A.; ULRICH, M. Upper extremity muscular load during machine milking. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 26, n. 1, p. 9-17, 2000.

STALHAMMAR, H. R.; TROUP, J. D. G.; LESKINEN, T. P. J. Rating of acceptable loads: lifting with and without handles. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 3, n. 3, p. 229-234, 1989.

STRAKER, L. M. An overview of manual handling injury statistics in Western Australia. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 24, n. 4, p. 357-364, 1999.

Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs (TREND Statement). Disponível em: <<http://www.cdc.gov/trendstatement/>>. Acesso em: 9 de dezembro de 2011.

WANG, M-J. J.; CHUNG, H-C.; CHEN, H-C. The effect of handle angle on MAWL, wrist posture, RPE, and heart rate. **Human Factors**, v. 42, n. 4, p. 553-565, 2000.

WANG, M-J.; CHUNG, H-C.; WU, H-C. Evaluating the 300 mm wafer-handling task in semiconductor industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 34, n. 6, p. 459-466, 2004.

WELLS, R.; KEIR, P. Work and Activity-related Musculoskeletal Disorders of the Upper Extremity, In: _____, **Biomechanics in Ergonomics**, London: Ed by S Kumar, Taylor & Francis, 1999.

WINTER, D. A. Biomechanics and motor control of human movement. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1990.

YEUNG, S. S.; GENAIDY, A.; DEDDENS, J.; ALHEMOOD, A.; LEUNG, P. C. Prevalence of musculoskeletal symptoms in single and multiple body regions and effects of perceived risk of injury among manual handling workers, **Spine (Phila Pa 1976)**, v. 27, n. 19, p. 2166-2171, 2002.

10. ANEXOS



10.1. PRIMEIRO ESTUDO

(versão em inglês)



Are cutout handles used when available in real occupational settings? Description of grips and upper extremities movements during industrial box handling

Luciana C. C. B. Silva^{a,*}, Ana B. Oliveira^a, Michele E. R. Alem^a, Luis C. Paschoarelli^b and Helenice J. C. G. Coury^a.

^aDepartment of Physical Therapy, Federal University of São Carlos, Rodovia Washington Luis km 235, Monjolinho, 13565-905, São Carlos, SP, Brazil

^bDepartment of Industrial Design, Faculty of Architecture, Arts and Communication, São Paulo State University, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 17033-360 Bauru, SP, Brazil

Abstract. In order to achieve better postures and decrease musculoskeletal risks adequate design of hand/box couplings for manual materials handling (MMH) are still needed. No studies evaluating upper limb movement thorough direct measurements during box handling in workplace were identified in the literature. In this study we describe the types of grip and movements adopted by ten workers when handling redesigned boxes with cutout handles between different heights on industrial pallets. The new handles were used by 90% of the workers through different types of grip. Electrogoniometric measurements showed relatively safe forearm and wrist movements, although elbow inadequate range of movement was recorded. Despite the good acceptance of the cutout by workers, the new design requires extra internal space in the boxes reducing applications for this alternative of box.

Keywords: industrial handling, movement recording, electrogoniometer, work related musculoskeletal disorders, wrist

1. Introduction

Despite the intense mechanization and rapid technological advances, manual materials handling (MMH) is still common in occupational environments and represents a major occupational safety concern in industry [8]. Studies have evaluated the lower back during MMH extensively whilst upper limbs, which are the second body part most affected by musculoskeletal disorders during this task [5], remain under evaluated so far. Forceful movements and large wrist amplitudes have been associated with workload and musculoskeletal disorders [12]. Wrist deviations from the neutral position may increase the pressure in the carpal tunnel and decrease the lever

arm for intrinsic muscles, increasing musculoskeletal load and the risk of these disorders [14].

In this context, the use of box handles has been accepted as a means of improving the hand/box coupling, in order to avoid extreme range of movements and increase the maximum acceptable weight of carriage [4]. However, very few boxes have handles and, when available, they were not always used [6]. Thus, it can be hypothesized that if handles were designed following ergonomic principles and supported by participative approach, the results could be different.

Cardboards boxes with cutout handles, designed after a participative intervention in an industrial packing and stoking sector, were evaluated in this study. The design of the handles was suggested by

* Corresponding author. E-mail: lucianaccbs@yahoo.com.br.

workers, and after the analysis of its viability, one of the designs was adopted by the company for inside transportation of materials. It was expected that the handles would be used by the workers and promote safer upper extremities movements. Thus, the objective of this study were to: 1) describe types of grip adopted while handling the new boxes with cutout handles and; 2) evaluate the amplitudes of upper limb movements (wrist flexion/extension, ulnar/radial deviations, forearm pronation and supination and elbow flexion), recorded by electrogoniometers when workers performed palletizing and depalletizing tasks in a real industrial setting using the redesigned boxes.

2. Methods

Ten male right handed subjects (mean age 38.2 ± 8.3 years, mean weight 78.3 ± 13.2 kg and mean height 1.7 ± 0.05 m) took part in the study. These subjects had at least one year of previous experience on pallet tasks. The workers were non-symptomatic for work related musculoskeletal disorders during the period of data collection. The study was approved by the local ethics committee (CAAE 0054.0.135.000-07).

The boxes were used for inside transportation of empty packaging from the printing division (in which empty packing, blisters etc were manufactured) to the production lines (where the empty packagings were filled in with products). The handling task consisted of piling up cardboard boxes on a pallet. The workers could fold the flaps either before or after each handling. The pallet was then mechanically moved to another sector where the depalletizing task occurred. The complete palletizing and depalletizing tasks involved piling up and down 16 boxes, distributed in four layers, totalizing 16 MMHs. The cardboard boxes dimensions were 53 cm long, 47 cm wide and 27 cm high and the lateral cutouts consisted of oval orifices of dimensions 9 x 4 cm. The box was designed big enough to provide some extra clearance for the workers fingers to be inserted in the holes (cutouts) of the box. The structure of cardboard was stronger to allow for several reutilizations of box, potentializing its use. The box weight ranged from 7 to 20 kg. The workers were familiarized with the redesigned box as it had been used for six months before the data collection.

Bilateral upper limb movements were recorded using an electrogoniometers sensors (model XM65 for wrist: flexion-extension and radial-ulnar deviation;

XM110 for elbows: flexion-extension; and Z110 for forearms: pronation-supination) and a DataLog acquisition unit [3]. These electrogoniometers had previously been evaluated and considered to be reliable and accurate [13]. The sampling frequency was set at 100 Hz.

3. Procedures

Electrogoniometers were attached to the subjects using double-side tape. The electrogoniometers were mounted and calibrated in accordance with the manufacturer's instructions [3]. Subjects were instructed to perform their routine work naturally.

Data were recorded throughout the whole tasks. Besides the handling tasks the workers were responsible for controlling the packing machine. For identifying the MMH period, the whole work cycle was filmed and the video was synchronized with the electrogoniometer recording. This procedure allowed for the precise identification of the handling tasks. As the boxes handling were performed in between the same heights, results from both tasks (palletizing/depalletizing) were analyzed altogether.

4. Data Analysis

The types of grip adopted during the handling activities were evaluated descriptively. The electrogoniometer data were reduced through a MatLab (7.0.1, The Mathworks Inc., Natick, MA, USA) routine. The data were low-pass filtered at 5 Hz using a second-order zero-lag Butterworth filter. The cut-off frequency was determined from a residual analysis. The 10th, 50th and 90th percentiles of the ROMs for each of the handling tasks were calculated for each subject.

The presence of upper limb postural risks was evaluated according to safe ROM described in previous reviews available in the literature [11,9]. Wrist movements within $\pm 15^\circ$ of flexion (+)/extension (-) and 10° radial (-)/ 15° ulnar (+) deviation and amplitudes of up to 45° for pronation/supination movements were considered to be safe as these ranges present biomechanical advantage [11]. For the elbow joint, the flexion range from 80° to 120° was considered adequate, since this includes the ROM of greatest biomechanical advantage for the main muscles involved in elbow flexion [9].

5. Results

Five different types of grip were observed during the handling tasks (Figure 1 – left side). The grips were described in terms of whether the cutout handles of the box were used or not: Grip A – both handles were used; Grip B.1 – only one hand (the right) was inserted at the cutout, while the other (left hand) was on the lower edge of the contralateral flap of the box (not illustrated); Grip B.2 – the opposite of the preceding situation: only one hand (the left) was inserted at the cutout, while the other (right hand) was on the lower edge of the contralateral flap of the box; Grip C – left hand inserted at the cutout and the right hand at the bottom of the box; Grip D – cutouts were

not used, the edges of the sides of the box were used to hold it during the handling task.

The majority of the workers (90%) used the cutouts, either symmetrically or asymmetrically (Figure 1 – A, B.1, B.2 and C). Different types of the grips were adopted by the workers, however, the grip chosen for each one of them tended to be kept constant during the whole handling task. Only one of the subjects presented two types of grip (Grips A and B.2). The number of workers adopting each type of grip was: Grip A – 4 workers; Grip B.1 – 1 worker; Grip B.2 – 2 workers; Grip C – 1 worker; Grip D – 1 worker; and 1 worker for the combination of two grips (Grips A and B.2). Regarding symmetry, about 50% of the workers grips can be considered symmetrical (Grip A and D).

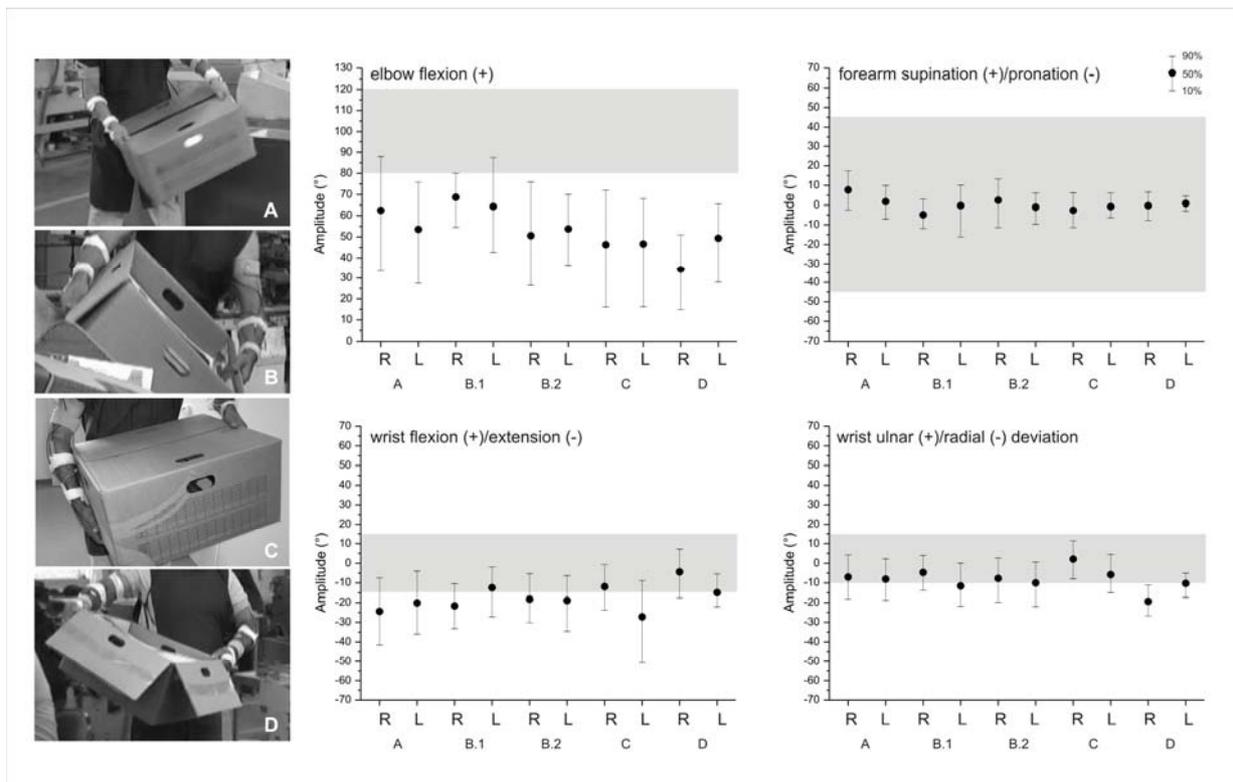


Figure 1: Left side: Grip types adopted - A: both hands using the handles of the box; B: one hand using the handle and the other the flaps of the box; C: left hand using the handle and the right at the bottom of the box and; D: both hands gripping the upper edges of the box. Right side: The mean values of 10th percentile (○), 50th percentile (●) and 90th percentile (—) of each type of grip for, respectively, the right (R) and left (L) elbow flexion-extension, forearm pronation-supination, wrist flexion-extension, and wrist radial-ulnar deviation. The grey band represents the safe ROM for each movement.

The mean values of 10th, 50th and 90th percentiles of the arm movements during the handling tasks are presented in Figure 1 (right side) for each grip type described previously. The wide range between 10th and 90th percentile values indicates high variability between subjects for all conditions, but particularly for elbow and wrist movements.

The 50th percentile values for elbow ROM were outside of the safe range for all grip types (Figure 1-elbow flexion). The 50th percentile value that was furthest from the safe range was identified for the right elbow during grip D. All 50th percentile values of the pronation/supination movement were recorded within the safe ROM (Figure 1-forearm supination/pronation).

6. Discussion

The most frequent movements recorded for both the right and the left limbs were extension and radial deviation (Figure 1-wrist flexion/extension and wrist ulnar/radial deviation). The 50th percentiles values of wrist flexion/extension were outside of safe limit for most of the grip types. The 50th percentile value furthest from the safe range was identified for the left wrist with grip C (Figure 1-wrist flexion/extension). For most of the grips, the 50th percentile values of radial/ulnar deviations remained at the lower limit of the safe range (Figure 1-wrist ulnar/radial deviation). The furthest 50th percentile value from the safe range was found for the right wrist with grip D.

If the handles were used symmetrically more homogenous movements among workers could have been achieved. Nevertheless, results showed a high variability of grip types, and a low variability within workers. In this sense, the variation within individual can be considered very low, as the majority of the workers (90%) have adopted a unique type of grip during the whole tasks.

The worker preference for one type of grip can be explained by their long experience on the job, i.e., at least one year of previous experience on pallet tasks. Experienced workers tend to develop individual strategies that can improve the balance and permit better control during load transferring [2]. These strategies, not always symmetrical, are developed by each work to enhance the biomechanical advantage of the handling. In the present study, observation of the video recording of the tasks indicated that the box tended to be laterally tilted. In three types of grips (grips B.1, B.2 and C) the box was also held by its

bottom. The use of the bottom surface for hand coupling was reported mainly when heavier boxes (10 kg) were handled [10]. In similar way, the preference for upper grip were showed when the box evaluated were lighter (4.2 kg) [7]. Choosing to handle heavier boxes from its bottom allows for the box center of mass being brought closer to the worker's body. Moreover, the weight distribution of the box between fingers and palm enhances more control over the handling. Altogether, these different strategies seem to minimize the stress at upper limb joints and low back during handling and should be considered when new boxes are designed.

Despite the differences in types of grip adopted in the present study, the number of workers using the cutout was high, particularly considering that they did not have any training for using it. The fact that most of the workers were still using the cutouts after months that they were introduced seems to be a clear indicative of the acceptance of this alternative. The fact that the design was proposed after a participative intervention might also have played a role in these results. Despite that, a problem in this design was also observed. The use of cutouts requires some clearance for the fingers to be inserted in the box, and as a consequence, the box is a bit larger than the necessary space for accommodating the materials. Considering that this extra space can have effect in the products to be transported and also requires more room in the stoking areas, this can be a considerable disadvantage. Thus, this design can be useful only for particular box applications, such as, inside transportation. On the other hand, the boxes can be reutilized and become a substitute for plastic boxes with ecological advantage.

No previous study has objectively compared box with and without cutouts in real occupational situations through direct measurements. In a laboratory study, Ando *et al.* [1] have compared strength and perceived exertion in three conditions of box lifting (grasping the box from its bottom, from upper and lower corners of the box obliquely, and through a rectangular cutout near the upper edges of the box). The results showed that the cutout conditions was considered to be the best one among the three possibilities evaluated. In the present study the wrist and elbow movements were objectively evaluated in real occupational setting, however, no data is available from the older boxes (without cutouts) used in the company to compare boxes with and without cutout. Regarding general types of handles, it has long been recognized that the use of handles is advantageous to reduce extreme range of movements and increase the

maximum acceptable weight of handling [4], suggesting that cutout boxes would also be comparatively favorable in comparison with boxes without handles.

Although the sample size of the study can be considered relatively small, it has comprised the whole team of employees who performed MMH activities in the packing and stocking sector of an industrial company. Furthermore, these workers were submitted to the same conditions and work requirements which make the sample and conditions less influenced by other sources of variation.

Considering the lack of studies evaluating upper limbs during manual handling tasks in real situations, and the fact that the present study has identified limitations for the box design evaluated here, new studies should be performed in order to evaluate alternative box designs in occupational situations. Moreover, the recording of other joints, such as, shoulders and back should be associated with the evaluation of upper extremities in order to improve the understanding on exposure, thereby enabling safer postures for the hands and arms during MMH tasks

This study was partially supported by CNPq and Fapesp.

References

- [1] S. Ando, Y. Ono, M. Shimaoka, S. Hiruta, Y. Hattori, F. Hori, T. Imaeda, Y. Takeuchi, Strength and perceived exertion in isometric and dynamic lifting with three different hand locations, *Journal of Occupational Health* 42 (2000), 315-20.
- [2] M. Authier, M. Lortie, M. Gagnon, Manual handling techniques: Comparing novices and experts, *International Journal of Industrial Ergonomics* 17 (1996), 419-29.
- [3] Biometrics, Goniometer and torsionmeter operating manual. Gwent, United Kingdom, 2007.
- [4] T-S. Cheng, T-H. Lee, Maximum acceptable weight of manual load carriage for young Taiwanese males, *Industrial Health* 44 (2006), 200-06.
- [5] P.G. Dempsey, L. Hashemi, Analysis of workers' compensation claims associated with manual material handling, *Ergonomics* 42 (1999), 183-95.
- [6] C.G. Drury, C.H. Law, C.S. Pawensky, A survey of industrial box handling, *Human Factors* 24 (1982), 553-65.
- [7] H-S. Jung, H-S. Jung, A survey of the optimal handle position for boxes with different sizes and manual handling positions, *Applied Ergonomics* 41 (2010), 115-22.
- [8] C. J. Lin, S.J. Wang, H.J. Chen, A field evaluation method for assessing whole body biomechanical joint stress in manual lifting tasks, *Industrial Health* 44 (2006), 604-12.
- [9] W.M. Murray, S.L. Delp, T.S. Buchanan, Variation of muscle moment arms with elbow and forearm position, *Journal of Biomechanics* 28 (1995), 513-25.
- [10] R.S. Padula, V.C. Souza, H.J.C. Gil Coury, Types of grip and wrist movements during load handling activities, *Brazilian Journal of Physical Therapy* 10 (2006), 29-34.
- [11] L.C. Paschoarelli, A.B. Oliveira, H.J.C. Gil Coury, Assessment of the ergonomic design of diagnostic ultrasound transducers through wrist movements and subjective evaluation, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 (2008), 999-1006.
- [12] L.P. Sande, H.J.C.G. Coury, J. Oishi, S. Kumar, Effect of musculoskeletal disorders on pretensions strength, *Applied Ergonomics* 32 (2001), 609-16.
- [13] A. Shiratsu, H.J.C.G. Coury, Reability and accuracy of different sensors of a flexible eletrogoniometer, *Clinical Biomechanics* 8 (2003), 682-84.
- [14] R. Wells, P. Keir, *Work and Activity-related Musculoskeletal Disorders of the Upper Extremity in Biomechanics in Ergonomics*, Ed by S Kumar, Taylor & Francis, London, 1998.

10.2. ESCALA DE DOR



Anexo II

Data: __/__/__

Nome: _____

Nos últimos 12 meses, você teve algum problema (como dor, formigamento/dormência) em alguma parte do corpo (ilustradas abaixo), que tenha ocorrido 3 vezes ou mais, ou durado três dias seguidos ou mais?

Sim () Não ()

Pescoço (0)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Região entre pescoço e ombros (1)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Coluna alta (2)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

LADO ESQUERDO

Ombro esquerdo (5)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Braço/cotovelo esquerdo (6)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Antebraço esquerdo (7)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Punho/mão esquerdo (8)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

TRONCO

Coluna baixa (3)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nádegas (4)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

LADO DIREITO

Ombro direito (9)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Braço/cotovelo direito (10)

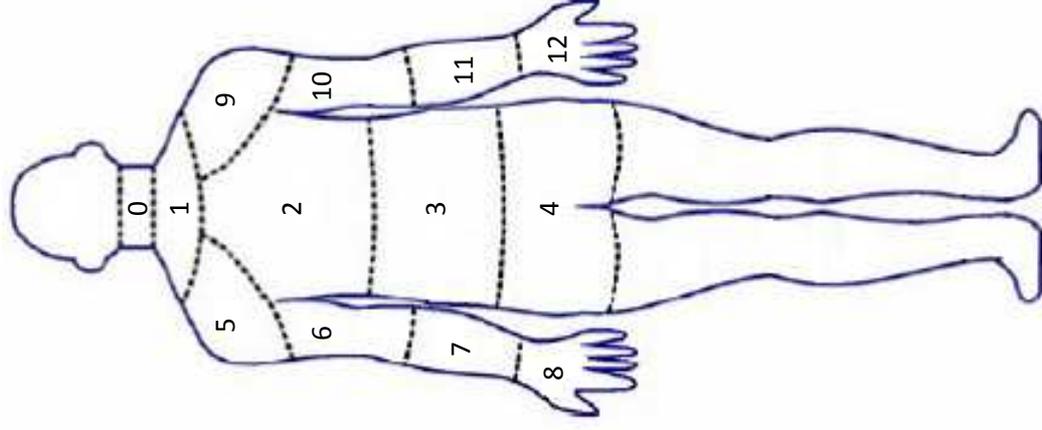
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Antebraço direito (11)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Punho/mão direito (12)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



10.3. PROTOCOLO COMITÊ DE ÉTICA



Andamento do projeto - CAAE - 0054.0.135.000-07				
Título do Projeto de Pesquisa				
Avaliação da atividade de manuseio de peso em ambiente simulado e em situação real de trabalho.				
Situação	Data Inicial no CEP	Data Final no CEP	Data Inicial na CONEP	Data Final na CONEP
Aprovado no CEP	12/06/2007 16:04:31	19/12/2007 16:28:05		
Descrição	Data	Documento	Nº do Doc	Origem
1 - Envio da Folha de Rosto pela Internet	22/05/2007 08:50:39	Folha de Rosto	FR138116	Pesquisador
2 - Recebimento de Protocolo pelo CEP (Check-List)	12/06/2007 16:04:31	Folha de Rosto	0054.0.135.000-07	CEP
3 - Protocolo Aprovado no CEP	19/12/2007 16:28:03	Folha de Rosto	163/2007	CEP

[Voltar](#)

10.4. SEGUNDO ESTUDO

(versão em inglês)





Luciana Silva <lucianafisio02@gmail.com>

Fw: A manuscript number has been assigned IJIE-12-76

Luciana Silva <lucianafisio02@gmail.com>
Para: Luciana Silva <lucianafisio02@gmail.com>

11 de junho de 2012 13:53

From: "International Journal of Industrial Ergonomics" <agramop@ces.clemson.edu>
Sent: Wednesday, April 11, 2012 1:12 PM
To: <helenice@ufscar.br>
Subject: A manuscript number has been assigned IJIE-12-76

Ms. Ref. No.: IJIE-12-76
Title: Evaluation of reusable cardboard box designs: biomechanical and perceptual aspects
International Journal of Industrial Ergonomics

Dear Professor Helenice Jane Cote Gil Coury,

Your submission entitled "Evaluation of reusable cardboard box designs: biomechanical and perceptual aspects" has been assigned the following manuscript number: IJIE-12-76.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/ergon/>.

Your username is: hcoury

If you need to retrieve password details, please go to:
http://ees.elsevier.com/ergon/automail_query.asp

Thank you for submitting your work to this journal.

For further assistance, please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

Kind regards,

Subhash Rakheja, Ph.D., FASME
Editor
International Journal of Industrial Ergonomics

Evaluation of reusable cardboard box designs: biomechanical and perceptual aspects

International Journal of Industrial Ergonomics

CORRESPONDING AUTHOR: Helenice Jane Cote Gil Coury

Federal University of Sao Carlos, Physiotherapy Department

E-mail: helenice@ufscar.br; hcoury@terra.com.br

Telephone: +55 16 3351 8634 Fax: +55 16 3361 2081

AUTHORS:

Luciana Cristina da Cunha Bueno SILVA¹ E-mail: lucianaccbs@yahoo.com.br

Ana Beatriz de OLIVEIRA¹ E-mail: biaoliveira@gmail.com

Danilo Correa SILVA² E-mail: danilo@idemdesign.net

Luis Carlos PASCHOARELLI² E-mail: paschoarelli@faac.unesp.br

Helenice Jane Cote Gil COURY¹ E-mail: helenice@ufscar.br

¹ Federal University of São Carlos, Department of Physical Therapy

Address: Rodovia Washington Luis, KM 235, Monjolinho, CEP 13565-905 São Carlos, SP, Brazil. Telephone: +55 16 3351 8634; Fax: +55 16 3361 2081

² São Paulo State University, Department of Industrial Design, Faculty of Architecture, Arts and Communication

Address: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, CEP 14-01 17033-360 Bauru, SP, Brazil.

Telephone: +55 14 3103 6062; Fax: +55 14 3103 6057

Acknowledgements: This study was partially supported by CNPq Proc.N.301772/2010-0 and Proc.N.142408/2009-3

Evaluation of reusable cardboard box designs: biomechanical and perceptual aspects

Abstract

Reusable cardboard boxes can be ergonomically designed for internal transportation of dry products in industrial settings. In this study we compared the effects of handling a regular commercial box and two cardboard prototypes on upper limb postures through the evaluation of movements, myoelectrical activity, perceived grip acceptability and capacity for reuse. The ergonomic designs provided a more acceptable grip, safer wrist and elbow movements and lower wrist extensors and biceps activity. Biomechanical disadvantages were observed only for one of the prototypes when handling to high surface. The prototypes were **durable** and suitable for extensive reuse (more than 2000 handlings) in internal industrial transportation. **Despite being slightly more expensive than regular cardboard, the prototypes showed good cost-benefit considering their high durability.**

Relevance to industry

Cardboard boxes can be efficiently redesigned for allowing safer upper limb movements and lower muscle workload in manual materials handling. New designs can also be extensively reused for internal industrial transportation with good cost-benefit.

Highlights

Reusable cardboard boxes were ergonomically improved by redesign.

The redesigned cardboard boxes were resistant for extensive industrial reuse.

Grip preferences are affected by height box position.

Keywords: ergonomic design; usability; electrogoniometry, electromyography; grip perception.

Abbreviations

MMH Manual material handling

ROM Ranges of movement

MVE Maximal voluntary electromyographyc activity

EGM Electrogoniometer

INC Inclinometer

EMG Electromyographic activity

APDF Amplitude probability distribution function

1. Introduction

Despite the intense mechanization and rapid technological advances that have taken place over recent years, manual materials handling (MMH) is still common in occupational environments, particularly in industrial settings and distribution centers (Marras, 2000). As a matter of consequence, it is not surprising that low back and upper limbs musculoskeletal disorders account for over 70% of MMH claims and costs due to musculoskeletal disorders reported by one of few papers analyzing workers' claims associated with handling (Dempsey and Hashemi, 1999).

Ergonomic design can increase the biomechanical advantage of movements during MMH and decrease the risks of work-related musculoskeletal disorders (WRMDs) (Paschoarelli et al., 2008). Considering the prevalence of upper limb disorders in many countries (Punnett, 2004; Social Security Ministry, 2011), there is an obvious need for control measures that reduce musculoskeletal workload, mainly at upper limbs and low back (Padula et al., 2006). For Shih and Wang (1997), one potentially hazardous element in MMH tasks is the large wrist deviation while holding a heavy box. In this sense, it would be expected a reduction in acute injuries in to the upper limb extremities fingers if with the boxes could be griped in more neutral positions.

The use of box handles has been accepted as a means of improving the hand/box coupling in order to avoid harmful ranges of movement (ROM) and increase the maximum acceptable weight of carriage (Stalhammar et al., 1989; Jung and Jung, 2003; Cheng and Lee, 2006). However, very few boxes have handles and, when available, they were not always used (Drury et al., 1982).

According to our previous studies, the use of the bottom surface for hand coupling was recorded in different circumstances, such as, when heavier boxes were handled (Padula et al., 2006); when measuring movements, muscle activity and pressure

applied on the surfaces of a box/device that allowed for grasping the load from any face, including the bottom (Oliveira et al., 2011 and 2012); and in a study in which the use of cutout handles was evaluated in real occupational settings (Silva et al., 2012). In all these occasions the subject's or worker's preference for grasping the bottom of the box have promoted either, more symmetrical handling and better-distributed hand forces or safer wrist postures. In all cases, greater biomechanical advantage was observed.

In the same direction, Jung and Jung (2010), that evaluated handles at three different levels on the lateral of a box (upper, middle and lower), recommended middle or lower handles for lifting/lowering boxes above waist level. However, grasping a box from the bottom face is not a natural option in commercially available boxes.

Considering the results reported on the advantages of grasping a box from its bottom surface, it is justifiable to evaluate a box specially designed for allowing this condition, comparatively, to more traditional or alternative designs, such as the one presenting cutout handles.

It is worth to consider that, more sophisticated designs would increase the final cost of the product. That suggests the need for more durable products. In this sense, recycling and reuse can significantly improve product sustainability. Traditionally, cardboard boxes have been seen as easier to recycle than to reuse. On the other hand, the Confederation of Paper Industries Ltd. (2011) in the UK recognizes the complexity of the issue, and states that reuse could be a more economic and efficient approach. A more ergonomic and durable cardboard box design could increase their reuse in certain applications, such as the internal transportation of dry products in industrial settings, i.e., either between sectors or between production lines or cells of the same sector. Thus, the redesign of industrial cardboard box could be intended to provide both durable and safer boxes.

In this context, the objective of this study was to evaluate comparatively a regular commercial cardboard box with prototype cardboard boxes designed for alternative bottom and handles grasplings. The effects of two prototypes (bottom grasping access and cutout handles) on upper limb posture and movement, muscular activity, and perceived grip acceptability during handling, as well as reusability, were compared with those of a commercial box.

2. Methods

2.1. Subjects

Thirty-seven male university students (mean age 23.85 ± 3.97 years; mean height 1.71 ± 0.03 m and mean weight 73.95 ± 10.35 kg) without load-handling training were recruited to participate in the study. The age range of the sample comprises the largest percentage on the economically active population of Brazil in 2009 (IBGE, 2009). **Inexperienced subjects were chosen as they have no previous training on handling or motor strategies adopted for reducing workload (Delisle et al., 1999).**

The inclusion criteria were being male, right-handedness and, having height between 1.65 and 1.75 m, and a body mass index up to 29.9 kg/m^2 . The exclusion criteria were the presence of musculoskeletal symptoms, intolerance to palpation, skin lesions, general illnesses, and balance problems. **The group of subjects was intended to be homogenous and without any previous load-handling training, habits or preferences, in order to assure that the handling task would be performed as intuitively and naturally as possible.** The sample size was calculated using ENE (v. 2.0). Shoulder abduction movement was chosen as the main outcome. The results showed a minimum sample size of 34 subjects.

All subjects signed an informed consent statement that had been previously approved by the local ethics committee (CAAE 0054.0.135.000-07).

No activities to increase compliance of the subjects were performed.

Recommendations from the Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs (2011) were followed whenever possible.

2.2. Prototypes and commercial cardboard boxes

A prototype cardboard box (44 x 31 x 31.5 cm) was designed (Figure 1–A1, top view) with a recess in each side of the bottom face (Figure 1–A2, bottom view of the prototype), allowing the fingers to be inserted under the box surface. A regular commercial box (Figure 1-B) and a commercial box with cutouts were also used (Figure 1–C). A second prototype (Figure 1–D) similar to Figure A, but with two bilateral cutouts (12 x 4 cm, 5 cm below the upper edges) was also prepared. The boxes were filled with a 15 kg load and had the same total weight. **The weights of the boxes were 1.0 kg and 1.3 kg, respectively, for the commercial and prototypes.** The total weight of the box was chosen after observing MMH tasks in a medium-sized industry (1800 workers) (Oliveira et al., 2011). Seventy percent of the observed tasks were performed involving boxes weighting from 7 to 15 kg.

Insert Figure 1 about here

2.3. Tasks

The four above-mentioned boxes were moved between surfaces of different heights. Each subject carried out two sets of two movements with each box. One set involved movements between a fixed support (Fixed Surface=FS) 102.5 cm high (i.e.,

the mean distance between the height of the subjects' greater trochanter and the ground) and ground level (Ground Surface = GS), and back. The other set of movements was from the FS up to a stand adjusted to each subject's acromion level (Adjustable Surface = AS), and back again. The fixed and adjustable supports were positioned perpendicularly to each other. The height of the surface was adjusted at the acromion level of each subject. The movements between these different surfaces and the order of boxes to be used were randomized.

Before each handling task, the subject was provided with information about the initial and final positions of the box and when to begin. For each trial, synchronized electrogoniometer (EGM), inclinometer (INC) and electromyographic activity (EMG) recordings were collected. An event marker was used to indicate the initial and final moment of each task. At the end of each task, the subject rated grip **comfort** on a subjective scale (Paschoarelli et al., 2008). All tests were videotaped to better monitor the tasks.

The data collection was performed in the Laboratory of Ergonomics and WRMDs Prevention at UFSCar, Brazil. The whole period of tests was performed in two hours and no incentives were provided to the subjects to increase the adherence to the tests. **The volunteers freely chose the pace to perform each handling task.**

2.4. Perceived comfort and grip preference

The subjective comfort scale consisted of a 100 mm long horizontal line in which its extreme left point represents 'lack of comfort', and its extreme right point the 'maximum comfort' perceived (Paschoarelli et al., 2008). The term "comfort" was related here to the perception of positive attributes of the grip, such as, the feeling of helping, easy, padded, pleasurable and supportive contact. The types of grip chosen by

the subjects (preference) were also recorded and described in percentage of observed occurrences.

2.5. Electrogoniometry recordings

Bilateral wrist and elbow movements were recorded using electrogoniometers and a DataLog acquisition unit (Biometrics[®], Gwent, UK). An SG65 goniometer was used for wrist flexion-extension and an SG110 was used for elbow flexion-extension. The electrogoniometers were attached to the subjects using double-sided tape and mounted according to the manufacturer's instructions (Biometrics[®], Gwent, UK). These types of electrogoniometers were previously evaluated and considered reliable and accurate (Shiratsu and Coury, 2003). The sampling frequency was set at 20 Hz.

Two reference positions were established as follows: 1) the subject was standing with his elbows flexed at 90 degrees, his forearms pronated and his hands in a neutral position and lying on a flat surface; 2) with his elbows fully extended and beside his body. These two static positions were recorded for one minute each as reference positions for analysis of SG65 and SG110 data, respectively.

2.6. Incliniometry recordings

Inclinometers based on triaxial accelerometers (Logger Teknologi HB, Akarp, Sweden) were used to measure bilateral humeral elevation angles relative to the line of gravity. The inclinometers have an accuracy of 1.3° and a reproducibility of 0.2° (Hansson et al., 2001). Data were recorded at 20 Hz.

The inclinometers were attached to plastic plates that were fixed below the deltoid muscle insertion, after which the reference and direction positions were registered. The reference position was obtained while the subject sat with his arms

hanging perpendicular to the floor and holding a 2 kg dumbbell. The forward direction position for the upper arms was set at 90° of elevation in the scapular plane (Hansson et al., 2006).

2.7. Electromyography

Surface EMG was recorded bilaterally from the descendent part of the trapezius, biceps brachii and wrist extensors muscles. Active single differential surface electrodes (Model #DE-2.3, DelSys[®], Boston, USA) were attached to the skin using a double-sided interface (DelSys[®]). The electrode had a detection surface consisting of two parallel silver bars (1 mm² x 1 cm) separated by 1 cm; CMRR > 92 dB; input impedance >1015Ω in parallel, with 0.2 pF; preamplifier gain 10 V/V ± 1%; and an input-referred noise of 1.5 μV (RMS). The signals were conditioned by the main amplifier (Myomonitor Wireless EMG System, DelSys[®]), which provided a gain of 1000 V/V, a bandwidth 20–450 Hz and an input-referred noise of ≤ 1.2 μV (RMS). The data were sampled at a rate of 1000 Hz using a PC workstation and EMGworks[®] software (version 4.0.1, DelSys[®]).

Before attaching the electrodes, the skin was shaved and rubbed with alcohol on the appropriate areas. For descendent part of the trapezius muscle, the electrodes were placed 2 cm lateral to the mid-point of an imaginary line between C7 and the acromion (Mathiassen et al., 1995). For the biceps brachii, the electrodes were placed on a line between the medial acromion and the fossa cubit 1/3 of the distance from the fossa cubit (Freriks and Hermens, 1999). They were placed over the muscle belly of the wrist extensors (muscles extensor carpi radialis longus and brevis), at a distance of one-third of the forearm length from the elbow. The location was identified by palpation during voluntary contraction when the forearm was pronated (Stal et al., 2000; Nordander et

al., 2004). A self-adhesive disposable reference electrode (DeISys[®], 5 x 5 cm) was placed on flexor surface of the right wrist. This electrode did not interfere with wrist movement. A baseline recording of 30 seconds was obtained when the subjects were standing relaxed in an orthostatic position.

The muscular load was normalized according to maximal voluntary electromyographic activity (MVE). Two maximal voluntary muscle contractions of 5s were performed bilaterally. The MVE of the trapezius was recorded during isometric arm abduction in the scapular plane while the subject stood and exerted force against an adjustable strap around the distal extremity of the upper arm (Akesson et al., 1997). The MVE of the biceps was recorded while the subject was seated with his elbow flexed at a right angle (90°), his forearm in supination resting on a table (Freriks and Hermens, 1999) and with the adjustable strap placed around the hand. For the extensor muscles of the forearm, the MVE was recorded with the subject seated and with elbow flexed, the forearm in a pronated position resting on a table and the hand unsupported with the wrist in neutral position. The adjustable strap was placed around the hand between 10 and 20 mm distal to the metacarpophalangeal joint of the third finger (Akesson et al., 1997).

2.8. Data analysis

Electrogoniometry, Incliniometry and EMG signals were synchronized and recorded throughout the test. Each manual handling task was identified by means of an event marker activated when the subject lifted or replaced the box on the surfaces. Initially, INC data was processed following Hansson et al. (2001) for identification of reference positions and to obtain humeral elevation angles. EGM, INC and EMG data were then reduced through MatLab[®] (version 7.0.1, MathWorks Inc., Natick, USA)

routines. All signals were filtered using a zero-lag Butterworth filter. The EGM and INC data were low-pass filtered using a second-order filter at 5 and 3 Hz, respectively. The cut-off frequencies were determined from a residual analysis. The EMG data were band-pass filtered using a fourth-order filter at 20-450 Hz, and the root mean square (RMS) was obtained through the windowing technique (duration of 25 ms and 50% of overlap). The EMG recorded during the tasks was then normalized by the maximum RMS identified in the mid-section of the MVE of each muscle. The mean RMS of the 30-second baseline was subtracted from each signal in order to correct potential noise.

An amplitude probability distribution function (APDF) analysis was performed for both the EMG and the movement data. According to Jonsson (1982), probability levels of 10, 50 and 90% represent the static, median, and peak muscular load, respectively. **The Amplitude Probability Distribution Function (APDF) can provide a statistical quantitative measure of observational occurrences for i.e. muscle activity, angular values, for a period of time. The APDF method is a widely applied procedure for describing occupational load (Hagg et al., 2000; Sogaard et al., 2001) for both EMG and movement recordings (Chen et al., 2010). It has been shown that using a reduced acquisition window it is possible to properly estimate the APDF, including the estimate of uncertainty (Lourenço et al., 2007).**

As the results did not satisfy the basic assumptions of normality and homogeneity of variance, the EGM, INC, EMG and subjective rating results were compared between boxes A, B and C by means of the Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$) and Mann-Whitney ($P \leq 0.016$) tests and Bonferroni adjustment using SPSS 11.5 software. Prototype D was evaluated descriptively only.

All boxes (A, B, C e D) were also evaluated according to general and subjective aspects. The general aspects evaluated were: weight of the box, cost for commercial

production, durability and extra space required inside the box. The subjective aspects evaluated were perceived comfort and grip preference (already described in item 2.4).

3. Results

3.1. Perceived comfort and grip preference

Percentage of the grip preferences (%) and comfort (mean and standard deviation) during handlings using the prototype D (A + C) are presented in Figure 2.

Insert Figure 2 about here

When allowed a free choice of grip, individuals preferred the recessed grip when prototype D was lifted (FS-AS) and the cutout grip when the prototype was lowered (FS-GS).

The mean values and standard deviation for comfort when handling the commercial box (B) were 3.3 (2.1) when the box was lifted (FS-AS) and 3.2 (2.0) when the box was lowered (FS-GS – not illustrated). The Kruskal-Wallis test showed significant differences ($P \leq 0.05$) between the mean comfort values of the three grip types: prototype D with recessed grip, prototype D with handles (cutout grip), and commercial box B at both height levels. The test also revealed differences between the recessed grip and the commercial box and between the cutout grip and the commercial box for FS-GS. The *post-hoc* test revealed a statistically significant difference in comfort between the commercial box (B) and the recess prototype grip for FS-AS. In all cases, the commercial box (B) presented the lowest comfort values.

3.2. Electrogoniometry recordings

The angular values for flexion and extension movements of the right and left wrists are presented in Table 1. Extreme postures occurred for the wrist extension movement (10th percentile). In general, higher extension amplitudes occurred when the boxes were lowered from the high surface to the intermediate surface (AS-FS).

Insert Table 1 about here

Regarding amplitudes, greater extension values were associated with the commercial boxes in all tasks. During the AS-FS task, the commercial box amplitudes for the right and left wrist were 49.9% and 49.5% higher, respectively, than the prototypes. The right and left wrist amplitudes were relatively similar for all boxes, with variations influenced by the direction of the movement.

Statistically significant differences were identified in both the Kruskal-Wallis test and the Mann-Whitney test (with Bonferroni correction) between the boxes (A, B and C) within the same percentiles of amplitude and handling heights. Differences between conditions are identified in the Table 1.

The mean amplitudes (50th), with few exceptions, tended to be below 20° of wrist extension, whereas the 90th percentile showed amplitudes close to neutral between the flexion/extension positions. Practically no wrist flexion amplitudes occurred (result not shown).

The least biomechanically advantageous elbow postures were found in the 10th percentile and the most advantageous were in the 90th percentile (Table 1). **The most biomechanical advantageous elbow posture is generated within the range of movement from 80° to 120° of flexion (Murray et al., 1995), since in this range the muscles are able to produce higher forces.** The most biomechanically advantageous movement

amplitudes among the tested boxes occurred for prototype C. Statistically significant differences (described in the Table 1) were identified in the tests within the same amplitude percentiles and handling heights. Slightly lower movement amplitudes occurred in the left elbow for all conditions.

3.3. Inclinometry recordings

The inclinometers registered greater **humeral** elevation amplitudes (90th) when the boxes were moved to the high surface (FS-AS). In this more critical condition, higher amplitudes were identified with box C (Table 1) than with box B.

Statistically significant differences were identified in the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests between different boxes for the same percentile and handling height (Table 1).

3.4. Electromyography

The 90th percentile of maximum electrical activity for the bilateral wrist extensor, the brachial biceps, and descendent part of the trapezius muscles are presented in Table 2. Higher EMG percentage values for the descendent part of the trapezius muscle were registered for prototype C. Lower amplitudes occurred with prototype A and especially with box B.

The highest EMG values for the brachial bicep muscles were for the commercial box (B), particularly when lifting it from the ground (GS-FS) and lowering it from the high to the intermediate surface (AS-FS). The lowest EMG values occurred with prototype C. Slightly higher values occurred for right side EMG activity.

Higher wrist extensor EMG values occurred with box B. Approximately 45% lower values occurred with prototype C than with box B for some conditions

(dislocation GS-FS, left wrist).

Statistically significant differences were found between boxes for the same percentile and handling height and are identified by the respective box letters in Table 2.

Insert Table 2 about here

4. Discussion

The acceptability and perception of grip comfort were higher for the two prototypes than the commercial box. The higher grip (prototype C) was preferred when the box was moved to and from ground level, and the lower grip (prototype A) was preferred when the box was moved to and from the high surface. These results could be expected since in both conditions the grip is closer to the body and the wrists can be kept in a more neutral position.

Comfort and preferences during handling can be affected by different factors, from the aesthetics appearance of the object to be handled (Kuijt-Evers et al., 2005) to the grip shapes and positions (Deeb et al., 1986). Handle position on the box surfaces has long been evaluated and recognized as factor of influence on comfort (Coury and Drury, 1982). The influence of handling height and hand position was also investigated by Jung and Jung (2010) who recommended that grips should be positioned below the center of mass when the load is moved to surfaces above the waist line. No study regarding grip preference for moving loads to low surfaces was found in the literature.

Safer upper limb movements occur during frequent manual materials handling under the following conditions: more neutral wrist movements (Richards, 1997); more biomechanically advantageous elbow flexions, i.e., movements near 90° of flexion (De

Williams and Stutzman, 1959); and smaller amplitudes of **humeral** elevation (Coury et al., 1998a).

Extension (10th percentile) was prevalent in the wrist movements. Greater extension movements occurred when the box was lowered from the high to the intermediate surface (AS-FS). Amplitudes were higher for the commercial box during all tasks, reaching more than 40° during AS-FS movement. It has been recognized that more extreme wrist movements led to a decreased ability to generate strength, which can quicken the onset of fatigue and the occurrence of symptoms (Lastayo et al., 1995; Kattel et al., 1996; Fagarasanu and Kumar, 2004). According to Pryce (1980), the greatest grip strength can be reached when extension range from 0 to 10°. Thus, according to this recommendation, the mean amplitudes were high for all boxes, with the commercial box presenting the highest values. Amplitudes from prototypes A and C showed similar values, with slightly lower figures for prototype A.

The highest recorded values for extensor muscle activity were from commercial box B, which reached 128% of prototype C values. The combination of high muscle activity levels with more extreme extension movements might be due to the commercial box's lack of handles, and flat surfaces require extra strength to grip (Coury et al., 1998a).

Elbow amplitudes were generally lower than those recommended for efficient torque, which has been established at approximately 90 degrees (De Williams and Stutzman, 1959). Estimates of an advantageous range of movement for occupational purposes vary from 80° to 120° depending on the author (Murray et al., 1995). Of the values recorded in the present study, only prototype C's amplitudes were near the safe range, and then only for the 90th percentile. Since the boxes had to be moved to both high and low surfaces, some elbow extension was expected, particularly for the low

surfaces. Similar results were reported by Deeb et al. (1986).

Consistent with the elbow amplitude results, biceps brachii activity was also lower for prototype C. The highest recorded biceps values were for commercial box B. Due to the biarticular action of the biceps, some degree of elbow flexion associated with adduction contraction occurs when handling boxes with a poor coupling (Coury et al., 1998b).

Higher amplitudes of **humeral** movement (90th percentile) were observed when moving boxes to and from the high surface. The highest values were recorded for prototype C. Relatively similar values were recorded for box B and prototype A, with the latter having a slight advantage (lower values). In accordance with these results, higher trapezius muscle activity values were also recorded for prototype C.

The arm elevation necessary to reach the handle cut in the upper lateral faces of prototype C could account for the higher values. Moreover, extra elevation of the **humeral** and scapula may have also occurred in order to grip this higher point during movements to and from the high surface, which could have contributed to the high activity recorded for the trapezius. The effect of working height on shoulder was also investigated by Faber et al. (2009), who have used a 3-D linked segment model to calculate the low back and shoulder loads, and reported increased shoulder compression forces when handling was performed at shoulder level. In the same direction, Wang et al. (2004) indicated that the high handling position (90 cm/125 cm) have induced greater strength loading at shoulder joint.

The participants' lower acceptability rating for prototype D (high grip) when moving it to high surfaces and the fact that high movement amplitudes were recorded for this box during this task demonstrate that subjective ratings corroborated objective

measurements. The relationship between the subjective perception of tasks and biomechanical indicators in manual materials handling was investigated by Nastasia et al. (2007). These authors report that although biomechanical data cannot be replaced by measurements of perception, subjective evaluation can integrate extra signals and help interpret their meaning.

The prototypes were made of double wall corrugated cardboard, which increases the costs approximately in 30% comparatively with the commercial box made of single wall corrugated cardboard. On the other hand, boxes made of this material can be stiffer and stronger, yet still lightweight. The evaluation of box durability revealed that after having been handled approximately 360 times, the edges of prototype D's cutout handles frayed and needed reinforcement. An internal patch of thick card stock was attached to the upper third of the box. Subsequently, the box was handled 2500 times with a 15 kg load and, finding no further problems, the testes were interrupted.

Considering all the results discussed, it is noticeable that the evaluation of the different boxes have presented positive and negative outcomes. In Table 3 the main results from upper limb movements (Table 1) and muscle activity (Table 2) for each box were summarized considering all handlings performed.

Insert Table 3 about here

All conditions considered, the box D (A + C) has presented comparatively better results than the ones presented by the A, B and C boxes. The advantage of the box D reported here seems to be a novel result, as no study evaluating quantitative and qualitative ergonomic parameters in cardboard box with similar features was found in the available literature.

A limitation of both prototypes is the extra space required, by the recesses in prototype A and the bilateral cutouts in prototype C (both in D), which is necessary for gripping the boxes from the bottom face. This limitation, however, is attenuated by the fact that the boxes are intended to internal industrial transportation only, thus no extra space is required for stocking the boxes. The need for internal transportation occurs in several circumstances in industry, for instance, when pieces of products, packing or wrapping are moved between sectors or even between cells in the same sector.

Although the boxes tested here are not produced commercially at large scale, based on the prototypes built for the present study, an additional cost of about 30% can be added to the price of commercial box. Also, extra volume (4 X 31.5 X 31cm per box) should be provided in the stocking areas to allow for space for the box recesses. Despite being more expensive than regular boxes, the prototypes show good cost-benefit due to their high durability.

Besides evaluating the effect of new designs in upper limbs, further studies should also consider evaluating the effects on back posture, back muscle activity, and load moment, particularly due to the rates of low back injuries already reported (Dempsey and Hashemi, 1999). This would be also interesting as these different body regions work in an integrate way to cope with the workload presented by manual material handlings.

In conclusion, the prototypes were resistant and suitable for extensive reuse in the internal transportation of relatively heavy (15kg) dry materials in industrial settings. According to participant ratings, their ergonomic designs provided more comfortable grips than the commercial box, promoted safer wrist and elbow movements and required lower muscle activity from extensors and biceps. Biomechanical disadvantages were observed only for prototype C when a high surface was involved.

References

Akesson, I., Hansson, G-A., Balogh, I., Moritz, U., Skerfving, S., 1997. Quantifying work load in neck, shoulders and wrists in female dentists. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 69, 461-474.

Biometrics. Goniometer and torsionmeter operating manual. Gwent, 2007. 25 p.

Chen, H-C., Chang, C-M., Liu, Y-P., Chen, C-Y., 2010. Ergonomic risk factors for the wrists of hairdressers. *Appl. Ergon.* 41, 98-105.

Cheng, T.S., Lee, T.H., 2006. Maximum acceptable weight of manual load carriage for young Taiwanese males. *Ind. Health.* 44,200-6.

Confederation of Paper Industries Ltd, 2011. Cardboard boxes and cartons [online]. UK. Available from: <http://www.wastebook.org/boxes.htm> [accessed in 05 September 2011].

Coury, B.G., Drury, C.G., 1982. Optimum handle positions in a box-holding task. *Ergonomics.* 25, 645-662.

Coury, H.J.C.G., Kumar, S., Rodgher, S., Narayan, Y., 1998a. Measurements of shoulder adduction strength in different postures. *Int. J. Ind. Ergon.* 22, 195-206.

Coury, H.J.C.G., Kumar, S., Narayan, Y. 1998b. An electromyographic study of upper limb adduction force with varying shoulder and elbow postures. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 8, 157-168.

Deeb, J.M., Drury, C.G., McDonnel, B., 1986. Evaluation of a curved handle and handle positions for manual materials handling. *Ergonomics.* 29, 1609-1622.

Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., 1999. Kinematic analysis of footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering tasks. *Int. J. Ind. Ergon.* 23, 451–460.

Dempsey, P.G., Hashemi, L., 1999. Analysis of worker's compensation claims associated with manual materials handling. *Ergonomics.* 42, 183-95.

De Williams, M., Stutzman, L., 1959. Strength variation through the range of joint motion. *Phys. Ther. Rev.* 39, 145-52.

Drury, C.G., Law, C-H., Pawenski., 1982. A Survey of Industrial Box Handling. *Hum. Factors.* 24, 553-565.

Faber, G.S., Kingma, I., Kuijer, P.P.F.M., van der Molen, H.F., Hoozemans, M.J.M., Frings-Dresen, M.H.W., van Dieen, J.H., 2009. Working height, block mass and one- vs two-handed block handling: the contribution to low back and shoulder loading during masonry work. *Ergonomics.* 52, 1104-1118.

Fagarasanu, M., Kumar, S., 2004. Hand strength. *In: Shrawan Kumar. Muscle*

Strength. University of North Texas: CRC Press, 177-212.

Freriks, B., Hermens, H.J., 1999. SENIAM 9: European recommendations for surface electromyography [CD-room]. Roessingh Research and Development.

Hagg, G.M., Luttmann, A., Jager, M., 2000. Methodologies for evaluating electromyographic field data in ergonomics. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 10, 301-12.

Hansson, G.A., Asterland, P., Holmer, N-G., Skerfving, S., 2001. Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis. *Med. Biol. Eng.* 39, 405–413.

Hansson, G.A., Arvidsson, I., Ohlsson, K., Nordander, C., Mathiassen, S.E., Skerfving, S., Balogh, I., 2006. Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling. Part II: Inclinometry of head, upper back, neck and upper arms. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 16, 125–136.

IBGE. Historic & Statistical Series, 2009 [online]. Brazil. Available at:

<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PD292&sv=19&t=grupos-de-idade> [accessed in 07 March 2012].

Jonsson, B., 1982. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constrained work. *J. Hum. Ergol.* 11, 73-88.

Jung, H.S., Jung, H.S., 2003. Development and ergonomic evaluation of polypropylene laminated bags with carrying handles. *Int. J. Ind. Ergon.* 31, 223–234.

Jung, H.S., Jung, H.S., 2010. A survey of the optimal handle position for boxes with different sizes and manual handling positions. *Appl. Ergon.* 41,115-22.

Kattel, B. P., Fredericks, T. K., Fernandez, J. E., Lee, D. C., 1996. The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. *Int. J. Ind. Ergon.* 18, 423-429.

Kuijt-Evers, L.F.M., Twisk, J., Groenesteijn, L., De Looze, M.P., Vink, P., 2005. Identifying predictors of comfort and discomfort in using hand tools. *Ergonomics.* 48, 692-702.

Lastayo, P., Chidgey, L., Miller, G., 1995. Quantification of the relationship between dynamic grip strength and forearm rotation: a preliminary study. *Ann. Plast. Surg.* 35, 191-196.

Lourenço, A., Fred, A., Veloso, A., Carnide, F., 2007 "Optimization of observation time for obtaining the profile of muscular load using the APDF function". *Proceedings of Conference on Telecommunications* [online]. Portugal. Available at: http://www.deetc.isel.ipl.pt/alourenco/pdfs/EMG_confstel.pdf

Marras, W.S., 2000. Occupational low back disorder casusation and control. *Ergonomics.* 43, 880-902.

Mathiassen, S.E., Winkel, J., Hagg, G.M., 1995. Normalization of Surface EMG Amplitude from the Upper Trapezius Muscle in Ergonomic Studies – A Review. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 5, 197-2261.

Murray, W. M., Delp, S. L., Buchanan, T. S., 1995. Variation of muscle moment arms with elbow and forearm position. *J. Biomech.* 28, 513-525.

Nastasia, I., Lortie, M., Delisle, A., Gagnon, M., 2007. Perception and biomechanics data in a manual handling task: a comparative study. *Ergonomics.* 50, 2059–2081.

Nordander, C., Balogh, I., Mathiassen, S.E., Ohlsson, K., Unge, J., Skerfving S., 2004. Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling. Part I: Surface electromyography of m. trapezius, m. infraspinatus and the forearm extensors. *J Electromiogr Kinesiol*, 14, 443-454.

Oliveira, A.B., Silva, L.C., Coury, H.J., 2011. How do low/high height and weight variation affect upper limb movements during manual material handling of industrial boxes? *Rev. Bras. Fisioter.* 15, 494-502.

Oliveira, A.B., Silva, L.C.C.B., Pálinkás, E.S., Padula, R.S., Coury, H.J., 2011. How is a box handled when all surfaces can be freely held? *Ergonomics.* 55(1), 78-86.

Padula, R.S., Souza, V.C., Gil Coury, H.J.C., 2006. Types of grip and wrist movements during load handling activities . *Rev. Bras. Fisioter.* 10, 29-34. (in Portuguese).

Paschoarelli, L.C., Oliveira, A.B., Coury, H.J.C.G., 2008. Assessment of the ergonomic design of diagnostic ultrasound transducers through wrist movements and subjective evaluation. *Int. J. Ind. Ergon.* 38, 999-1006.

Pryce, J. C., 1980. The wrist positioning between neutral and ulnar deviation that facilitates the maximum power grip strength. *J. Biomech.* 13, 505-511.

Punnett, L., Wegman, D.H., 2004. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 14, 13–23.

Richards, L.G., 1997. Posture effects on grip strength. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 78, 1154-1156.

Shih, Y-C., Wang, M-J., 1997. Psychophysical evaluation of diameter and angle of container handles. *Int. J. Ind. Ergon.* 19, 437-444.

Shiratsu, A., Coury, H.J.C.G., 2003. Reliability and accuracy of different sensors of flexible electrogoniometer. *Clin. Biomech.* 18, 682-684.

Silva, L.C.C.B., Oliveira, A.B., Alem, M.E.R., Paschoarelli, L.C., Coury, H.J.C.G., 2012. Are Cutout Handles Used When Available in Real Occupational Settings? Description of Grips and Upper Extremities Movements during Industrial Box Handling. *Work.* 41, 4808-4812.

Social Security Ministry, 2011 [online]. Brazil. Available from: <http://mpas.gov.br>

[accessed in 26 August 2011].

Sogaard, K., Laursen, B., Jensen, B.R., Sjogaard, G., 2001. Dynamic loads on the upper extremities during two different floor cleaning methods. *Clin. Biomech* 16, 866-879.

Stal, M., Hansson, G.A., Ulrich, M., 2000. Upper extremity muscular load during machine milking. *Int. J. Ind. Ergon.* 26, 9-17.

Stalhammar, H.R., Troup, J.D.G., Leskinen, T,P.J., 1989. Rating of acceptable loads: lifting with and without handles. *Int. J. Ind. Ergon.* 3, 22 9-234.

Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs (TREND Statement). Available from: <http://www.cdc.gov/trendstatement/> [accessed in 09 December 2011].

Wang,M-J., Chung, H-C., Wu, H-C., 2004. Evaluating the 300mm wafer-handling task in semiconductor industry. *Int. J. Ind. Ergon.* 34, 459-466.

FIGURE AND TABLE LEGENDS

Figure 1 - The boxes used: the upper (A1) and bottom (A2) faces of the prototype cardboard box A, a commercial regular box (B); a commercial box with bilateral cutouts (C) and; the prototype with bilateral cutouts D.

Figure 2 - Acceptability (%) and comfort ($M \pm SD$) when lifting (FS-AS) and lowering (FS-GS) prototype D.

Table 1. Mean and standard-deviation (SD) for percents 10 for the right and left wrist extension(-), 90 for the right and left elbow flexion(+) and 90 for the right and left humeral elevation(+). FS-AS/AS-FS: handling between fixed and adjusted support. FS-GS/GS-FS: handling between fixed support and ground. Lift = lifting; low = lowering. Superscript letters stand for statistical significance between the respective boxes.

Table 2. Mean and standard-deviation (SD) of percent 90 for right and left EMG of the upper trapezius descendens, biceps brachii and wrist extensors. FS-AS/AS-FS handling between fixed and adjusted support. FS-GS/GS-FS handling between fixed support and ground. Lift = lifting; low = lowering. Superscript letters stand for statistical significance between the respective boxes.

Table 3: Summary of the main outcomes for the cardboard boxes A, B, C and D considering all handlings performed to different surfaces.

Figure 1
[Click here to download high resolution image](#)

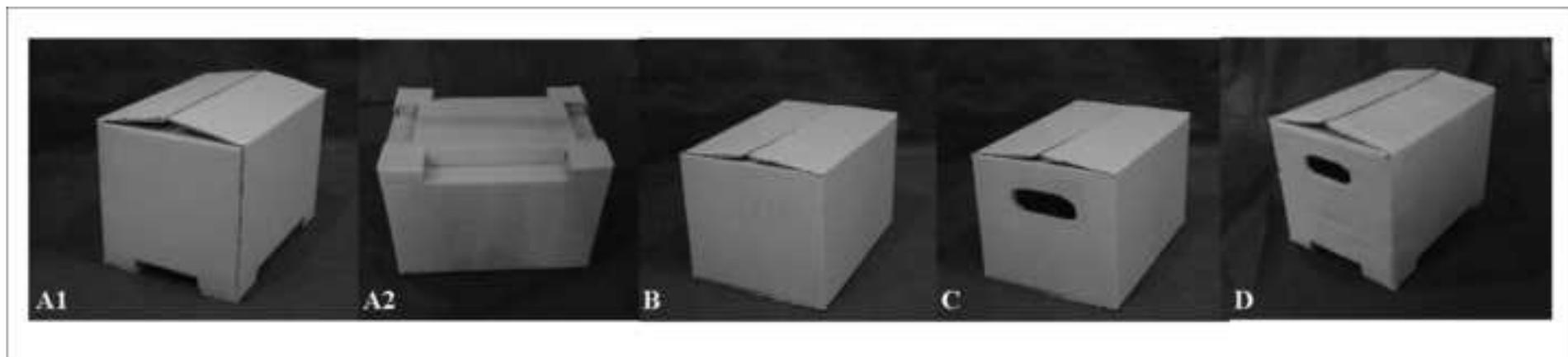


Figure 2
[Click here to download high resolution image](#)

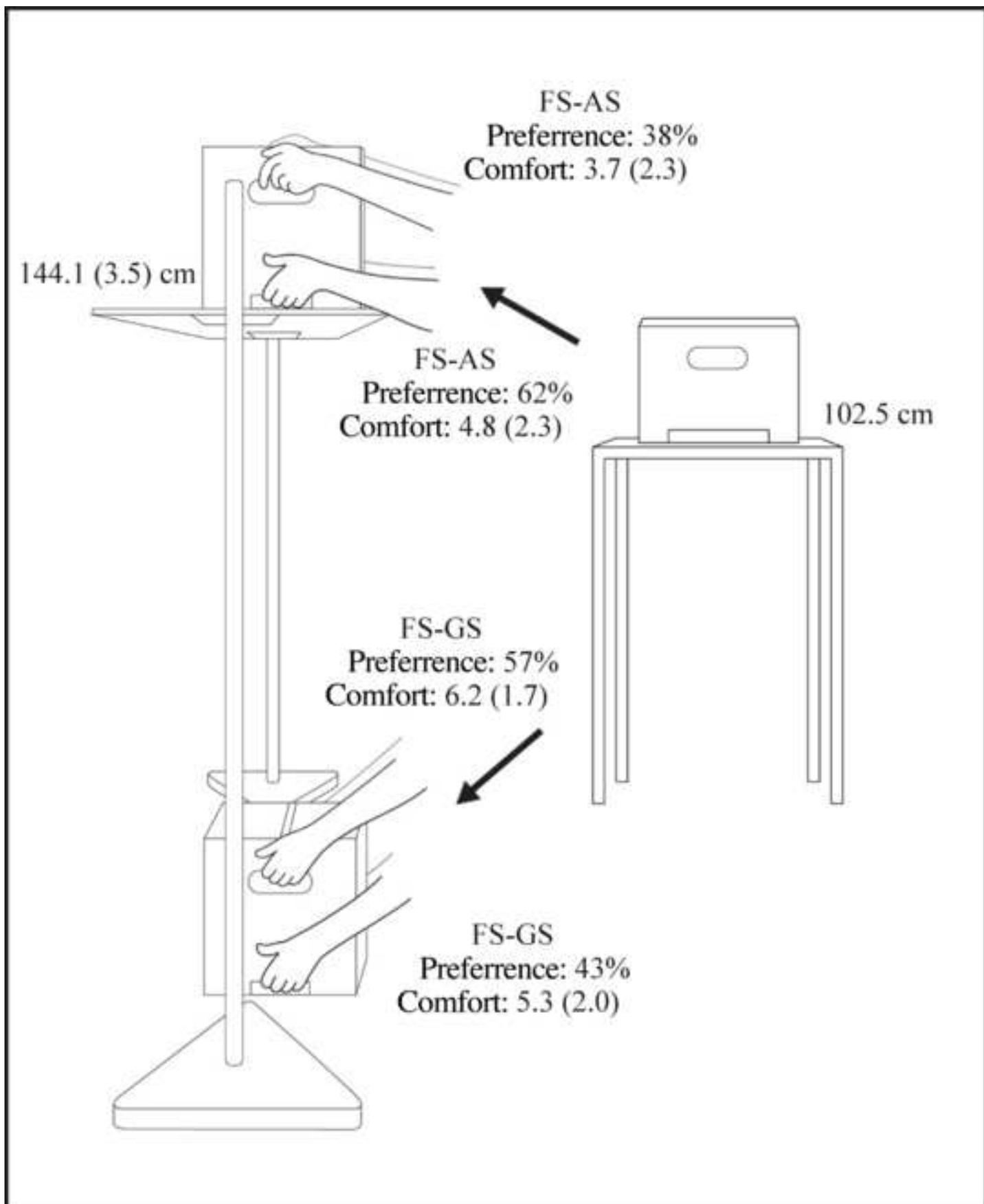


Table 1

Table 1. Mean and standard-deviation (SD) for percents 10 for the right and left wrist extension(-), 90 for the right and left elbow flexion(+) and 90 for the right and left humeral elevation(+). FS-AS/AS-FS: handling between fixed and adjusted support. FS-GS/GS-FS: handling between fixed support and ground. Lift = lifting; low = lowering. Superscript letters stand for statistical significance between the respective boxes.

			Wrist Extension			Elbow Flexion			Humeral Elevation		
			10 th			90 th			90 th		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
Right	Lift	FS-AS	-26.6(10.3)	-32.0(11.6)	-26.9(8.3)	76.4(10.4)	75.0(13.1)	82.2(10.8)	87.8(9.8) ^{ac}	83.6(11.7) ^{bc}	101.9(8.5) ^{ac,bc}
		GS-FS	-22.2(8.3) ^{ab}	-31.7(15.1) ^{ab}	-24.4(7.4)	66.1(13.0) ^{ac}	68.2(10.2) ^{bc}	80.5(10.4) ^{ac,bc}	38.5(7.0) ^{ac}	40.5(13.9)	44.5(8.5) ^{ac}
	Low	AS-FS	-27.9(9.1) ^{ab}	-40.6(12.9) ^{ab,bc}	-26.3(9.3) ^{bc}	74.5(10.4)	75.7(13.4)	79.7(11.2)	79.6(17.0) ^{ac}	78.4(14.5) ^{bc}	93.3(10.6) ^{ac,bc}
		FS-GS	-21.4(8.5)	-21.8(7.5)	-25.9(7.8)	67.6(11.4) ^{ac}	64.4(11.3) ^{bc}	80.1(10.5) ^{ac,bc}	34.6(7.6) ^{ac}	38.6(16.1) ^{bc}	47.9(8.6) ^{ac,bc}
Left	Lift	FS-AS	-22.7(8.8) ^{ab}	-31.0(10.7) ^{ab}	-25.1(7.6)	68.1(10.3) ^{ac}	69.9(10.2)	77.0(10.8) ^{ac}	87.3(12.6) ^{ac}	79.7(14.4) ^{bc}	101.3(12.6) ^{ac,bc}
		GS-FS	-23.9(9.5)	-32.0(16.0)	-27.9(8.0)	60.4(11.3) ^{ac}	63.4(11.0) ^{bc}	75.4(10.1) ^{ac,bc}	40.0(14.7) ^{ac}	40.7(19.1) ^{bc}	47.1(15.2) ^{ac,bc}
	Low	AS-FS	-27.8(7.4) ^{ab}	-42.3(16.0) ^{ab,bc}	-28.8(9.6) ^{bc}	71.7(13.1)	74.8(12.4)	76.7(11.3)	80.6(17.5) ^{ac}	74.8(17.2) ^{bc}	93.9(15.2) ^{ac,bc}
		FS-GS	-20.5(7.4) ^{ac}	-25.3(8.9)	-27.3(8.3) ^{ac}	60.0(10.2) ^{ac}	59.7(8.8) ^{bc}	74.3(10.3) ^{ac,bc}	37.8(15.1) ^{ac}	37.2(19.9) ^{bc}	49.9(14.9) ^{ac,bc}

Table 2

Table 2. Mean and standard-deviation (SD) of percent 90 for right and left EMG of the upper trapezius descendens, biceps brachii and wrist extensors. FS-AS/AS-FS handling between fixed and adjusted support. FS-GS/GS-FS handling between fixed support and ground. Lift = lifting; low = lowering. Superscript letters stand for statistical significance between the respective boxes.

			Wrist Extensors			Biceps Brachii			Upper Trapezius Descendens		
			90 th			90 th			90 th		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
Right	Lift	FS-AS	55.9(27.5) ^{ac}	61.8(27.3) ^{bc}	37.1(31.8) ^{ac,bc}	71.9(58.7)	82.3(71.6)	56.4(47.4)	78.5(30.8)	65.3(29.8)	80.8(29.6)
		GS-FS	49.3(24.6) ^{ac}	55.3(24.3) ^{bc}	31.2(20.0) ^{ac,bc}	64.4(53.7) ^{ab}	97.5(77.7) ^{ab}	65.0(52.2)	44.2(27.1)	43.0(26.5)	46.5(29.0)
	Low	AS-FS	51.2(29.2) ^{ac}	61.4(28.9) ^{bc}	31.9(18.8) ^{ac,bc}	67.9(57.2)	88.8(75.6)	65.1(64.3)	56.7(22.1)	47.3(21.9) ^{bc}	66.3(24.7) ^{bc}
		FS-GS	32.2(14.0)	46.8(26.5) ^{bc}	26.3(14.7) ^{bc}	58.9(58.4)	71.2(60.7)	48.4(43.7)	30.2(17.2)	31.7(23.6)	35.5(20.1)
Left	Lift	FS-AS	47.9(23.2) ^{ac}	62.8(35.6) ^{bc}	33.2(14.3) ^{ac,bc}	64.1(31.1)	70.5(33.5)	55.1(39.5)	82.1(26.5)	72.0(26.6)	77.2(21.1)
		GS-FS	50.4(30.4) ^{ac}	70.2(41.2) ^{bc}	30.7(13.1) ^{ac,bc}	63.6(37.6) ^{ab}	93.1(49.0) ^{ab,bc}	58.7(37.3) ^{bc}	46.3(24.7)	41.9(24.7)	44.2(20.2)
	Low	AS-FS	48.4(25.4)	66.4(34.2) ^{bc}	34.5(14.7) ^{bc}	57.0(32.1)	72.3(48.7)	56.8(33.7)	62.8(21.0)	48.8(18.8) ^{bc}	70.2(23.4) ^{bc}
		FS-GS	41.5(19.8)	52.0(22.9) ^{bc}	29.7(12.2) ^{bc}	60.4(36.7)	71.7(36.3) ^{bc}	44.2(29.4) ^{bc}	30.4(16.2)	32.4(26.5)	34.1(16.8)

Table 3: Summary of the main outcomes for the cardboard boxes A, B, C and D considering all handlings performed to different surfaces.

		Cardboard Boxes			
		A	B	C	D
Subjective/General Aspects	Weight	-	+	+	-
	Cost	-	+	+	-
	Durability	+	-	-	+
	Extra espace	-	+	-	-
	Confort	+	-	+	+
Movements (Electrogoniometry and inclinometry)	Wrist extension	+	-		+
	Elbow flexion	-		+	+
	Humeral elevation		+	-	-
Electromiography (EMG)	Wrist extensors		-	+	+
	Biceps brachii		-	+	+
	Upper trapezius		+	-	-

10.5. FICHA DE AVALIAÇÃO INICIAL



Anexo V

Avaliação Inicial

Data ____/____/____

IDENTIFICAÇÃO

Nome: _____

Presença de lesões musculoesqueléticas MMSS, MMII ou tronco: S () N ()

Intolerância à palpação: S () N ()

Presença de lesões dérmicas, escoriações ou hipersensibilidade: S () N ()

Presença de dor: S () N ()

Descrever: _____,

Presença de alguma doença ou alterações relacionadas ao equilíbrio:

S () N ()

Possui tontura: S () N ()

Resultado da Avaliação: Apto a participar () Não apto ()

Observações:

10.6. ESCALA DE AGRADABILIDADE



ANEXO VI: Escala de Avaliação da Agradabilidade

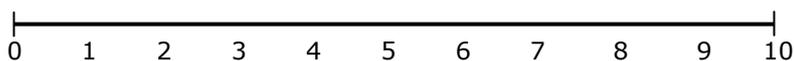
Data ____/____/____

IDENTIFICAÇÃO

Nome: _____

Caixa utilizada: _____

Considerando os aspectos positivos da caixa utilizada, Observe a escala de agradabilidade apresentada abaixo, O lado esquerdo da escala você encontra a indicação de **“Ausência de Agradabilidade”** (0) e do lado direito da escala você encontra a indicação de **“Máxima Agradabilidade”** (10), Associe o lado direito da escala com a presença de máxima agradabilidade ao manusear objetos em toda em toda sua vida, pensando na melhor sensação percebida em termos de formato e posição da mão durante a pega, Dentro dessa perspectiva, procure pensar na pega da caixa que acabou de manusear e marque com um traço vertical na escala, o nível de agradabilidade que possa ter sentido, Se não percebeu nenhuma agradabilidade, marque o extremo esquerdo da escala,



Ausência de Agradabilidade

Máxima Agradabilidade

10.7. TERCEIRO ESTUDO

.....

São Carlos, 04 de Setembro de 2012.

Prezados(as) Senhores(as)

Informamos V.Sas. que o manuscrito nº Sci-1446 (137/2012), título “**Movimentos e atividade mioelétrica dos membros superiores, e preferência dos usuários durante o manuseio de caixas plásticas comerciais padrão e com diferentes empunhaduras**” de *Luciana Cristina da Cunha Bueno Silva, Ana Beatriz de Oliveira, Danilo Correa Silva, Luis Carlos Paschoarelli e Helenice Jane Cote Gil Coury* foi aceito para publicação na Revista Brasileira de Fisioterapia em 29/08/2012.

Atenciosamente

Débora Bevilaqua Grossi
Revista Brasileira de Fisioterapia
Editor

MOVIMENTOS E ATIVIDADE MIOELÉTRICA DOS MEMBROS SUPERIORES, E
PREFERÊNCIA DOS USUÁRIOS DURANTE O MANUSEIO DE CAIXAS
PLÁSTICAS COMERCIAIS PADRÃO E COM DIFRENTES EMPUNHADURAS

UPPER LIMBS MOVEMENTS, ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY AND
USERS PREFERENCE DURING HANDLING OF COMMERCIAL PLASTIC
BOXES AND NEW GRIP DESIGNS

LUCIANA CRISTINA DA CUNHA BUENO SILVA¹

ANA BEATRIZ DE OLIVEIRA¹

DANILO CORREA SILVA²

LUIS CARLOS PASCHOARELLI²

HELENICE JANE COTE GIL COURY¹

1 Departamento de Fisioterapia/ Universidade Federal de São Carlos/São Carlos/ São
Paulo/Brasil

2 Departamento de Desenho Industrial, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
/Universidade Estadual Paulista/Bauru/São Paulo/Brasil

Autor Correspondente: Helenice Jane Cote Gil Coury, Departamento de Fisioterapia,
Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luiz, km 235. CEP: 13565-
905, São Carlos, Brasil, tel: +55 16 3351 8634
e-mail: helenice@ufscar.br

Short title: Avaliação de caixas plásticas comerciais e protótipos/Evaluation of
commercial plastic boxes and the prototypes

Palavras-chave: **desenho** ergonômico, usabilidade, eletrogoniometria, eletromiografia,
preferência do usuário, fisioterapia.

Key-words: ergonomic design, usability, electrogoniometer, electromyography, grip
perception, **physiotherapy.**

RESUMO

Contextualização: O manuseio de materiais está presente nos setores industriais e está associado à lesões **nos membros superiores**. A inserção de alças em caixas industriais é uma forma de reduzir os riscos relacionados à tarefa, porém a posição e angulação das alças é um fator importante para o conforto e segurança durante o manuseio. **Objetivos:** Comparar o manuseio de uma caixa comercial e de protótipos com alças, e avaliar seus efeitos na postura, atividade elétrica muscular **dos membros superiores e preferência do usuário** durante atividade de manuseio entre diferentes alturas. **Métodos:** 37 voluntários saudáveis participaram do estudo. As alças dos protótipos possibilitavam mudança nas posições (superior e inferior) e angulações (0°, 15° e 30). Os movimentos dos punhos, cotovelos e ombros foram avaliados através da eletrogoniometria e inclinometria. A atividade elétrica muscular dos **extensores do punho, bíceps braquial e porção superior do trapézio** foi avaliada por um eletromiógrafo portátil. Os registros de movimento e atividade elétrica muscular foram sincronizados. Aspectos subjetivos de agradabilidade foram avaliados através de uma escala visual analógica. **Resultados:** Os protótipos com alças inclinadas em 30° apresentaram as melhores avaliações de agradabilidade, posturas mais neutras de punho, menores níveis de atividade eletromiográfica do trapézio superior e menores ângulos de elevação dos braços. **Conclusões:** Os diferentes métodos de medida se mostraram complementares para a avaliação dos membros superiores durante as tarefas de manuseio. Além disso, os protótipos apresentaram boa durabilidade e custo-benefício, e podem ser utilizados em ambientes industriais, principalmente para o transporte interno.

ABSTRACT

Background: Manual handling is a common task in industrial sectors and it was associated with injuries **at upper limbs**. The use of handles is a way to reduce the occupational risks factors related to the task, but the position and angle of the handles is an important factor for comfort and safety during handling activity. **Objectives:** To compare the manual handlings with a commercial plastic box and prototypes with handles, and evaluate their effects on posture, muscle electrical activity **of upper limbs and users preference** during handlings between different heights. **Methods:** 37 healthy volunteers took part in this study. The handles of the prototypes allowed change in the positions (top and bottom) and angles (0 °, 15 and 30). The movements of the wrists, elbows and shoulders were evaluated through electrogoniometers and inclinometers. The electrical activity of the wrist **extensors, biceps brachii and upper trapezius muscles** was assessed by a portable electromyography. The records of movement and muscle electrical activity are synchronized. Subjective aspects of pleasantness were assessed using a visual analog scale. **Results:** The prototype handles at 30° inclined had the best ratings for pleasantness, more neutral wrist posture, lower levels of electromyography activity of the upper trapezius and lower elevation angles of the arms. **Conclusions:** The different measurement methods were complementary for the evaluation of the upper limbs during the tasks of handling proposals. Moreover, the prototypes showed good durability and cost-effective, and can be used in internal industrial environments.

INTRODUÇÃO

O manuseio de materiais está presente em setores industriais e atividades da vida diária, constituindo-se na atividade mais frequente no ambiente ocupacional¹. Esta condição envolve risco musculoesquelético, lesões frequentes que requerem tratamento fisioterapêutico e grandes perdas e custos relativos à saúde².

Estudos de caráter preventivo têm mostrado que os membros superiores são a segunda região corporal mais afetada por distúrbios musculoesqueléticos durante o desempenho da atividade, porém o tema ainda foi pouco estudado^{3,4,5}.

A inserção de alças nas caixas é uma forma de reduzir os riscos ocupacionais e aumentar a segurança durante o manuseio⁶. As alças proporcionam maior conforto e eficiência^{7,8} e, quando adequadas, podem contribuir para aumentar o peso máximo aceitável durante o manuseio⁹, porém a posição das alças é um fator de fundamental importância, pois apresenta grande influência nas variáveis citadas⁷.

Drury et al.¹⁰ avaliaram a utilização de alças em atividades de manuseio reais e observaram que a inserção de alças laterais próximas às superfícies superiores e inferiores das caixas resultaram em menores índices de desconforto, especialmente para cargas pesadas (13 kg). Chung e Wang¹¹ avaliaram dois modelos de caixas com alças e encontraram que a alça com 0° de inclinação horizontal ocasionou um grande desvio ulnar do punho, enquanto que a caixa com alças a 90° de inclinação resultou em um grande desvio radial. Os autores sugeriram que as alças das caixas apresentassem uma inclinação entre 30° e 45° para que os punhos permaneçam em uma posição mais neutra durante os manuseios. Da mesma maneira, Wang et al.¹² avaliaram o efeito dos ângulos de inclinação das alças em relação ao peso máximo aceitável para o manuseio e desvio do punho, e também sugerem angulações entre 30 e 45° para favorecer o melhor acoplamento das mãos às alças.

Para avaliar os benefícios de uma intervenção ergonômica, o uso de medidas quantitativas objetivas, obtidas de forma simultânea e sincronizada, são necessárias para quantificar a sobrecarga de trabalho imposta durante a realização de atividades ocupacionais¹³. Embora os estudos tenham avaliado a posição e angulação das alças em caixas industriais^{7,11}, apenas os movimentos de desvio do punho foram quantificados de maneira direta, revelando a necessidade da avaliação das outras articulações dos

membros superiores como os cotovelos e ombros, obtidos de maneira simultânea e sincronizados.

Tendo em vista a carência de estudos que abordem a sobrecarga dos membros superiores durante o manuseio e da necessidade de novos **desenhos** de caixa e alças que favoreçam o melhor acoplamento das mãos, o objetivo do presente estudo foi comparar o manuseio de uma caixa comercial e de protótipos, ambos confeccionados em material plástico, e avaliar seus efeitos na postura, atividade elétrica muscular **dos membros superiores** e **preferência do usuário** durante atividades de manuseio simulado entre diferentes alturas. **Este modelo de caixa foi escolhido porque é amplamente comercializado e utilizado em muitos setores industriais e de distribuição, como na comercialização de hortaliças¹⁴.**

MÉTODOS

SUJEITOS

Participaram do estudo 37 estudantes universitários do gênero masculino (idade média de $23,85 \pm 3,97$ anos, estatura média de $1,71 \pm 0,03$ m e massa média de $73,95 \pm 10,35$ kg). Os sujeitos não apresentavam experiência em tarefas de manuseio. **O recrutamento dos sujeitos teve como intenção a obtenção de uma amostra homogênea e sem treinamento prévio na atividade, hábitos ou preferências, para que tarefa de manuseio fosse realizada de maneira intuitiva e da forma mais natural possível. A idade média da amostra compreende a idade média da maior porcentagem de indivíduos economicamente ativos no Brasil em 2009¹⁵.**

Os critérios de inclusão foram: ser destro, possuir estatura entre 1,65 e 1,75 m, e índice de massa corporal até $29,9 \text{ kg/m}^2$. Os critérios de exclusão foram: presença de sintomas musculoesqueléticos, intolerância à palpação, lesões cutâneas, doenças em geral, e problemas de equilíbrio. **O nível de atividade física foi avaliado e os indivíduos esportistas foram excluídos da análise.**

O cálculo da amostra foi realizado através do programa ENE (v.2.0). O movimento de abdução do ombro foi escolhido como o principal desfecho e o resultado apontou uma amostra suficiente de 34 sujeitos (poder estatístico de 80%, desvio-padrão máximo do conjunto de 14,50 e diferença entre os grupos de 10°). Todos os sujeitos

foram informados a respeito dos procedimentos da coleta e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aprovado pelo comitê de ética da **Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos – SP, pelo protocolo número CAAE: 0054.0.135.000-07.**

PROTÓTIPOS E CAIXAS DE PLÁSTICO COMERCIAIS

Uma caixa protótipo em plástico (55,5 x 36 x 31 cm) foi desenhada e construída para este estudo (Figura 1 – B.1 e C.1). O protótipo possuía alças (13 x 4,5 cm) que possibilitavam a mudança das posições das pegas (superior e inferior) em cada um dos lados e permitiam inclinações com relação à horizontal (0°, 15° e 30°), totalizando sete diferentes condições de caixas: 1) A: caixa regular comercial; 2) B.1: protótipo com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. As inclinações das alças foram realizadas no sentido do desvio radial do punho.

Todas as caixas possuíam massa total de 15 kg, determinada por estudos prévios¹⁶. **As alças/pegas foram desenvolvidas utilizando-se compósitos de resina poliéster com carbonato de cálcio.**

INSERIR FIGURA 1

ATIVIDADE DE MANUSEIO

As caixas eram movidas entre três superfícies de altura diferentes. O manuseio de cada caixa foi realizado pelo sujeito apenas uma vez. Uma das alturas de manuseio consistia em mover a caixa de um suporte fixo (SF) de 102,5 cm de altura para o chão (Superfície Chão = SC). As outras alturas de manuseio consistiam no carregamento das caixas de SF para uma superfície de altura ajustável (SA). Esta superfície ajustável foi posicionada na altura do trocânter maior do fêmur direito (SF-TM) e na altura do acrômio direito de cada um dos sujeitos (SF-A).

Os suportes fixo e ajustável foram posicionados perpendicularmente entre si. A ordem dos manuseios de cada uma das caixas para cada uma das alturas de superfície foram aleatorizados.

Para cada tentativa, os registros de eletrogoniometria, inclinometria e eletromiografia foram coletados de maneira sincronizada. Um marcador de eventos indicou os períodos inicial e final de cada manuseio. Ao final dos manuseios de cada uma das caixas, o sujeito respondia uma escala subjetiva de agradabilidade¹⁷. Todos os testes foram filmados para o melhor controle das tarefas.

ESCALA SUBJETIVA DE AGRADABILIDADE

A escala subjetiva de agradabilidade é constituída por uma linha horizontal de 100 mm de comprimento que indica em seu extremo esquerdo “ausência de agradabilidade” e em seu extremo direito “máxima agradabilidade”¹⁷. O termo agradabilidade está relacionado aos aspectos positivos percebidos durante a pega de cada caixa, à sensação de relaxamento e bem-estar, estar à vontade e calma.

REGISTROS ELETROGONIOMÉTRICOS

Registros dos movimentos do punho e cotovelo foram realizados bilateralmente utilizando sensores eletrogoniométricos (EGM) (modelo SG65 para os punhos: flexão(+)/extensão(-) e desvios ulnar(+)/radial(-); modelo SG110 para os cotovelos: flexão(+)) e a unidade de aquisição DataLog (Biometrics[®], Gwent, UK).

Os eletrogoniômetros foram acoplados aos sujeitos com auxílio de fitas dupliface e posicionados de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante (Biometrics[®], Gwent, UK). Os sensores foram previamente testados e o erro máximo mensurado estava de acordo com as recomendações do fabricante¹⁸. A taxa de amostragem dos dados foi de 20 Hz.

Duas posições de referência foram estabelecidas: 1) sujeito na posição em pé com os cotovelos fletidos a 90°, os antebraços apoiados sobre uma superfície plana, na posição pronada, e as mãos em posição neutra; 2) com os cotovelos em completa extensão e ao lado do corpo, com as palmas das mãos voltadas para o corpo. Estas duas

posições estáticas foram registradas pelo período de um minuto e foram utilizadas para as análises dos sensores de punho (SG65) e cotovelo (SG110), respectivamente.

As posturas serão analisadas considerando-se valores preventivos de referências descritos na literatura¹⁷.

REGISTROS INCLINOMÉTRICOS

Sensores inclinométricos (INC) (Logger Teknologi HB, Akarp, Sweden) foram utilizados para a coleta dos movimentos de elevação dos braços, registrados em valores angulares, relativos à linha da gravidade. Os inclinômetros utilizados apresentam acurácia de 1.3° e confiabilidade de 0.2° ¹⁹. Os dados foram coletados com frequência de amostragem de 20 Hz.

Os inclinômetros foram acoplados a placas de plástico que foram fixadas abaixo da inserção do músculo deltoide médio e, depois, foram registradas as posições de referência e direção do movimento²⁰.

ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia de superfície (EMG) foi registrada na porção descendente do trapézio, bíceps braquial e extensores do punho, bilateralmente.

Sensores de superfície ativos simples diferencial (Modelo #DE-2.3, DelSys[®], Boston, USA) foram acoplados à pele com auxílio de um adesivo dupla-face (DelSys[®]). Os eletrodos possuíam uma superfície de detecção constituída de duas barras de prata paralelas ($1 \text{ mm}^2 \times 1 \text{ cm}$) separadas por 1 cm, CMRR > 92 dB; impedância de entrada >1015 Ω em paralelo, com 0.2 pF; ganho de voltagem 10 V/V \pm 1%; e ruído de 1.5 μ V (RMS). Os sinais foram condicionados por um amplificador principal (Myomonitor Wireless EMG System, DelSys[®]), o qual fornece um ganho de 1000 V/V, uma banda de frequência de 20–450 Hz e um ruído de $\leq 1.2 \mu$ V (RMS). A frequência de aquisição dos dados foi de 1000 Hz utilizando um computador e o software EMGworks[®] (versão 4.0.1, DelSys[®]).

Antes do acoplamento dos eletrodos, a pele foi tricotomizada e realizada leve abrasão com álcool nas áreas apropriadas. Para a porção descendente do músculo trapézio, os eletrodos foram acoplados 2 cm laterais do ponto médio da linha entre o

processo espinhoso da sétima vértebra cervical e o acrômio²¹. Para o bíceps braquial, os eletrodos foram acoplados em uma linha entre o ponto médio do acrômio e a fossa cubital, a 1/3 de distância da fossa cubital²². Os eletrodos foram acoplados sobre os ventres musculares dos extensores do punho localizados por palpação durante a contração voluntária com o antebraço na posição pronada²³.

Um eletrodo de referência adesivo (5 x 5 cm) foi colado no punho direito (face flexora). Uma linha de base de 30 segundos foi obtida através do registro eletromiográfico dos referidos músculos com o sujeito na posição em pé e membros superiores relaxados.

A EMG foi normalizada de acordo com a atividade eletromiográfica durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM). Duas CIVMs de 5 segundos foram realizadas bilateralmente. A CIVM do músculo trapézio, bíceps braquial e extensores do antebraço foram registradas de acordo com AKESSON et al.²⁴, FRERIKS e HERMENS²² e AKESSON et al.²⁴, respectivamente. Para cada uma das CIVM, o avaliador forneceu feedback verbal, incentivando o sujeito a exercer sua força isométrica voluntária máxima.

ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente os dados de inclinometria foram processados¹⁹, para a identificação das posições de referência e para obtenção dos ângulos de elevação dos ombros. Os dados de EGM, INC e EMG foram reduzidos através de rotinas desenvolvidas em MatLab[®] (versão 7.0.1, MathWorks Inc., Natick, USA). Todos os sinais foram filtrados utilizando o filtro Butterworth, com atraso de fase zero. Os dados de EGM e INC foram filtrados através de filtro passa-baixo, de segunda ordem, com frequência de corte de 5 e 3 Hz, respectivamente. A frequência de corte foi determinada por análise residual. Os dados de EMG foram filtrados através de filtro passa-banda de 20-450 Hz, de quarta ordem, e o RMS (root mean square) foi obtido através da técnica de janelamento (com duração de 25 ms e 50% de sobreposição). Os registros de EMG foram então normalizados pelo máximo valor de RMS identificado na porção média da CIVM de cada músculo. A média do RMS dos 30 segundos de linha de base foi subtraída do sinal para correção de possíveis ruídos.

A análise da Amplitude de Função de Probabilidade de Distribuição (Amplitude Probability Distribution Function - APDF) foi calculada para os dados de EMG e de movimento. O método da APDF é amplamente aplicado para a descrição da sobrecarga ocupacional²⁵ e para os registros de EMG e de movimento²⁶. A APDF foi considerada mais adequada devido à pequena duração de cada manuseio.

Como os resultados não satisfizeram os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Levene), os resultados da EGM, INC, EMG e escala subjetiva de agradabilidade para cada uma das caixas foram comparados através do teste de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$) e post-hoc de Mann-Whitney **com ajuste de Bonferroni** ($P \leq 0.002$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS 11.5.

RESULTADOS

PREFERÊNCIA DO USUÁRIO

Os valores médios e desvios-padrão da escala de agradabilidade em cada uma das alturas de manuseio avaliadas estão apresentados na Tabela 1.

INSERIR TABELA 1

Os valores da escala subjetiva de agradabilidade não apresentaram diferenças estaticamente significantes entre as caixas nas condições FS-SC e SF-TM. Entretanto, a caixa B.3 apresentou valor médio de agradabilidade significativamente melhor do que as caixas A e C.1, na condição SF-A. O teste post-hoc apontou diferenças entre as condições 1 x 4 (A x B.3) e 4 x 5 (B.3 x C.1).

Maiores valores médios para a **preferência do usuário** foram encontrados para as condições: C.2 quando o manuseio ocorreu entre SF-SC, B.2 quando o manuseio ocorreu entre SF-TM e B.3 quando o manuseio ocorreu entre SF-A. Os menores valores foram encontrados para: C.1 quando o manuseio ocorreu entre SF-SC e SF-TM, e para A quando o manuseio ocorreu entre SF-A.

REGISTROS ELETROGONIOMÉTRICOS

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios e desvios-padrão dos movimentos de extensão (percentil 10) e desvio ulnar (percentil 90) do punho e os movimentos de flexão do cotovelo (percentil 90). As diferenças estatisticamente significativas também estão apontadas na Tabela 2.

A caixa que apresentou amplitudes mais próximas às de vantagem biomecânica (80 a 120°) para a flexão dos cotovelos foi o protótipo B.3, em todas as alturas de manuseio avaliadas. Menores amplitudes de flexão foram registradas durante o manuseio do protótipo C.1, para todas as alturas.

Valores mais próximos à faixa de amplitude neutra para os movimentos de extensão do punho foram encontrados para a caixa comercial (A), entre as superfícies SF-SC e SF-A e para o protótipo B.1, entre as superfícies SF-TM. Maiores amplitudes de extensão do punho foram registrados durante o manuseio do protótipo C.3, para todas as superfícies de manuseio.

As amplitudes medianas (percentil 50), com poucas exceções, tenderam a amplitudes abaixo de 20° de extensão o punho, o percentil 90 mostrou amplitudes próximas à neutra para os movimentos de flexão, ou seja, praticamente nenhuma amplitude de flexão do punho ocorreu (resultados não apresentados).

Os registros de movimento de desvio ulnar do punho mais próximos às amplitudes neutras foram encontrados durante o manuseio do protótipo C.3, entre as superfícies SF-SC e SF-TM e para o protótipo B.1, entre as superfícies de manuseio SF-A. Maiores amplitudes de movimento de desvio ulnar foram registrados para o protótipo B.1 no manuseio entre as superfícies SF-SC e para o protótipo A para os manuseios entre as superfícies SF-SC e SF-A.

As amplitudes medianas (percentil 50), com poucas exceções, tenderam a amplitudes próximas à neutra enquanto que o percentil 10 apresentou amplitudes de desvio radial abaixo de 15° (resultados não apresentados).

INSERIR TABELA 2

REGISTROS INCLINOMÉTRICOS

Os valores médios e desvios-padrão dos percentis 90 de elevação dos braços em cada altura de manuseio estão apresentados na Tabela 3. As diferenças estatisticamente significativas também estão apontadas na Tabela 3.

Menores amplitudes de elevação dos braços foram encontradas durante o manuseio do protótipo C.3, para todas as alturas de manuseio avaliadas. Maiores amplitudes de elevação dos ombros foram encontradas durante o manuseio da caixa comercial A.

INSERIR TABELA 3

ELETROMIOGRAFIA

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios e desvios-padrão dos percentis que representaram os maiores valores de atividade elétrica dos músculos extensores do punho, bíceps braquiais, e porção descendente do trapézio (percentis 90). As diferenças estatisticamente significativas também estão apontadas na Tabela 4.

Maiores valores da atividade eletromiográfica foram registradas na condição SF-TM para o músculo bíceps, extensores do punho e porção descendente do trapézio (percentis 90). Menores valores percentuais da EMG para os músculos bíceps braquial e extensores dos punhos foram registrados durante os manuseios da caixa comercial (A), entre as superfícies de manuseio SF-SC e SF-TM. Para a porção descendente do trapézio, o manuseio dos protótipos C.3 e B.3, apresentaram menores amplitudes para as alturas de manuseio SF-SC e SF-TM, e SF-A, respectivamente.

Dados do percentil 90 da atividade elétrica muscular dos extensores do punho esquerdo de um indivíduo foram perdidos. Desta maneira, foram eliminadas da análise todas as variáveis da atividade eletromiográfica do referido grupo muscular deste sujeito.

INSERIR TABELA 4

DISCUSSÃO

O protótipo C.1 apresentou os menores valores médios de agradabilidade (**indicativo de piores resultados**), tanto para os manuseios entre SF-SC como para SF-TM. Os relatos de agradabilidade estão de acordo com os movimentos de flexão dos cotovelos sendo que, para ambas as variáveis, a melhor condição avaliada foi o manuseio do protótipo B.3.

Durante os registros eletrogoniométricos de flexão dos cotovelos o protótipo B.3 apresentou as amplitudes de maior vantagem biomecânica (80° a 120°)²⁷, em todas as alturas de manuseio avaliadas. Este fato já era esperado, pois a posição superior das alças favorece o posicionamento em flexão dos cotovelos.

Com relação à extensão do punho, o manuseio da caixa comercial (A) apresentou amplitudes mais próximas à neutra para o manuseio entre as superfícies SF-SC e SF-A. Para o manuseio entre as superfícies SF-TM o protótipo C.1 foi o que resultou em amplitudes mais próximas à neutra. Desvios do punho da posição neutra provocam o aumento da pressão no túnel do carpo e diminui o braço de alavanca dos músculos intrínsecos do punho²⁸. Os movimentos de força e amplitudes extremas do punho devem ser evitados, pois estão associados ao aumento da sobrecarga e à ocorrência de desordens musculoesqueléticas²⁹.

Para os movimentos de desvio ulnar do punho, foi possível verificar que o manuseio do protótipo C.3 apresentou as amplitudes mais próximas à neutra entre as condições SF-SC e SF-TM. Já para os manuseios entre as superfícies SF-A, o protótipo B.1 apresentou os melhores resultados relativos aos movimentos de desvio. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por estudos prévios^{11,12} que recomendaram inclinações de alças entre 30° e 45° com relação à horizontal.

Para os dados de elevação dos braços, o protótipo C.3 apresentou as menores amplitudes de movimento, para todas as alturas de manuseio testadas. Uma possível explicação para este fato é que o posicionamento inferior das alças diminui o alcance dos braços até as superfícies e favorece menores amplitudes de elevação dos ombros.

Quando dados quantitativos diretos são obtidos em avaliações de movimento, uns dos questionamentos que surgem é o quanto as diferenças estatísticas observadas entre as condições (caixas) repercutem nas amplitudes de movimento do ponto de vista clínico ou preventivo. No presente estudo, foram considerados 10% da amplitude de

movimento (valor máximo de amplitude – valor mínimo de amplitude) média registrada para cada articulação, como uma medida relevante para se considerar a diferença entre cada uma das caixas avaliadas³⁰. Dentro deste parâmetro, podemos afirmar que as diferenças estatisticamente significativas, encontradas entre as caixas avaliadas, para os movimentos de flexão dos cotovelos, extensão e desvio ulnar dos punhos e elevação dos braços são clinicamente relevantes. As amplitudes de movimento médias registradas para cada articulação foram de: 56° para os cotovelos (diferença de 6° entre as condições), 38° para extensão do punho (diferença de 4° entre as condições), 31° para desvio ulnar do punho (diferença de 3° entre as condições) e 50° de elevação dos ombros (diferença de 5° entre as condições).

Para os registros de EMG do bíceps, a caixa comercial determinou os menores valores de atividade elétrica, para todas as alturas avaliadas. A caixa comercial também foi a melhor condição avaliada para os músculos extensores do punho no manuseio entre as superfícies SF-SC e SF-TM. O manuseio do protótipo B.1 entre as superfícies SF-A resultou nos menores valores de atividade elétrica dos extensores do punho. Com relação à porção descendente do músculo trapézio, o protótipo C.3 determinou a melhor condição de manuseio avaliada, entre as superfícies SF-SC e SF-TM. O protótipo B.3 foi a melhor caixa avaliada para os manuseios entre SF-A. Antony e Keir³¹ avaliaram a ativação dos músculos dos ombros durante movimentos isométricos e de preensão e verificaram um aumento da atividade elétrica do bíceps e trapézio em 2% e 6%, respectivamente, quando movimentos de preensão são realizados. Os autores afirmaram que mudanças nos padrões de ativação muscular repercutem na sobrecarga interna dos músculos, o que exerce um papel fundamental na prevenção e tratamento das desordens musculoesqueléticas.

Os dados relativos aos movimentos de elevação dos ombros corroboram os resultados da atividade elétrica do músculo trapézio. Nielsen et al.³² ao avaliarem a atividade elétrica do músculo trapézio e dos eretores da espinha, verificaram que há uma mudança de sobrecarga da região da coluna para os ombros quando o manuseio é realizado de superfícies muito baixas (chão) para alturas próximas ao nível dos ombros. Os autores recomendaram que as caixas sejam manuseadas entre as alturas 72,5 a 126,8 cm acima do solo. As maiores amplitudes de atividade eletromiográfica do trapézio registradas durante o manuseio da caixa C ocorrem quando as articulações desenvolvem posturas extremas de movimento o que dificulta a geração de torque (relação

comprimento/tensão do músculo). Nestas posturas extremas, pode ocorrer o recrutamento adicional de unidades motoras e/ou aumento da frequência de disparo das unidades motoras já ativadas³³, o que explica o aumento da atividade eletromiográfica dos músculos avaliados.

De maneira geral, podemos dizer que as caixas B.3 e C.3 reúnem maior número de aspectos positivos, quando comparados aos negativos, no que diz respeito à preferência do usuário, posturas adotadas e atividade elétrica muscular produzida na atividade. O protótipo B.3 seria o mais indicado para manuseios abaixo da altura da cintura e o protótipo C.3 o mais indicado para manuseios acima do nível da cintura. A inclusão de programas de treinamento para orientar dos usuários para realizem os ajustes necessários na caixa em função das alturas utilizadas é altamente recomendável, de maneira adequada.

Para validação e contínuo aprimoramento dos novos protótipos, seria necessário que estudos futuros incluíssem a participação de trabalhadores experientes em tarefas de manuseio em ambientes reais. Embora a participação de inexperientes tenha atendido ao requisito de homogeneização da amostra, isso pode ferir a validade externa dos resultados para trabalhadores. As futuras coletas de dados deveriam utilizar métodos de medida direta, obtidos de maneira simultânea e sincronizada, como foi realizado no presente estudo, e incluir o registro de outros segmentos corporais para avaliar de maneira mais global a sobrecarga no sistema. Seria igualmente interessante que a coleta do sinal elétrico dos músculos antagonistas dos movimentos dos membros superiores fosse também efetuada em estudos futuros coletas, a fim de verificar possível estabilização articular durante o manuseio. Além disso, são necessários estudos prospectivos a fim de verificar se os ajustes dos novos desenhos das empunhaduras resultam na redução de sintomas musculoesqueléticos dentre usuários reais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Proc. N. 142408/2009-3 e Proc. 301772/2010-0). Os autores declaram não haver conflito de interesse na condução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. LIN CJ, WANG SJ, CHEN HJ. A field evaluation method for assessing whole body biomechanical joint stress in manual lifting tasks, *Ind Health*. 2006; 44; 04-612.
2. CIRIELLO VM. The effects of container size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting for female industrial workers. *Appl Ergon*. 2007;38:1-5.
3. SPLITTSTOESSER RE, YANG G, KNAPIK GG, TRIPPANY DR, HOYLE JA, LAHOTI P, KORKMAZ SV, SOMMERICH CM, LAVENDER SA, MARRAS WS. Spinal loading during manual materials handling in a kneeling posture. *J Electromyogr Kinesiol*. 2007; 17:25-34.
4. PADULA RS, SOUZA VC, GIL COURY HJC. Tipos de preensão e movimentos do punho durante atividade de manuseio de carga. *Rev Bras Fisioter*. 2006;10(1):29-34.
5. DEMPSEY PG, HASHEMI L. Analysis of workers' compensation claims associated with manual material handling. *Ergonomics*. 1999;42(1):183-195.
6. LORTIE M, BARIL-GINGRAS G. Box handling in the loading and unloading of vans. *Int J Occup Saf Ergon*. 1998;4(1):3-18.
7. JUNG HS, JUNG HS. A survey of the optimal handle position for boxes with different sizes and manual handling positions. *Appl Ergon*. 2010;41(1):115-122.
8. DRURY C. G. Handles for manual materials handling. *Appl Ergon*. 1980;11(1):35-42.

9. CIRIELLO VM, SNOOK SH, HUGHES GH. Further studies of psychophysically determined maximum acceptable weights and forces. *Hum Factors*. 1993;35:175-186.
10. DRURY CG, DEEB JM, HARTMAN B. Symmetric and asymmetric manual materials handling Part 1: physiology and psychophysics. *Ergonomics*. 1989;32(5):467-489.
11. CHUNG H-C, WANG M-J. The effects of container design and stair climbing on maximal acceptable lift weight wrist posture psychophysical and physiological responses in wafer-handling tasks. *Appl Ergon*. 2001;32:593-598.
12. WANG M-J. J, CHUNG H-C, CHEN H-C. The effect of handle angle on MAWL wrist posture RPE and heart rate. *Hum Factors*. 2000;42(4):553-565.
13. AKESSON I, BALOGH I, HANSSON G-A. Physical workload in neck shoulders and wrists/hands in dental hygienists during a work-day. *Appl Ergon*. 2012;43:803-811.
14. HENZ GP, REIFSCHNEIDER FJB. Modernização das embalagens da mandioquinha-salsa e sua comercialização no atacado paulista. *Horticultura Brasileira*. 2004;22(4):815-820.
15. IBGE. **Séries estatísticas & históricas**, 2009. Brazil. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PD292&sv=19&t=grupos-deidade>>. Acesso em 7 de março de 2012.
16. OLIVEIRA AB, SILVA LC, COURY HJ. How do low/high height and weight variation affect upper limb movements during manual material handling of industrial boxes? *Rev Bras Fisioter*. 2011;15(6):494-502.

17. PASCHOARELLI LC, OLIVEIRA AB, GIL COURY HJC. Assessment of the ergonomic design of diagnostic ultrasound transducers through wrist movements and subjective evaluation. *Int J Ind Ergon.* 2008;38(11-12):999-1006.
18. BIOMETRICS. Goniometer and torsionmeter operating manual. Gwent 2007 25 p.
19. HANSSON G. A, ASTERLAND P, HOLMER N-G, SKERFVING S. Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis. *Med Biol Eng Comput.* 2001;39(4):405-413.
20. HANSSON GA, ARVIDSSON I, OHLSSON K, NORDANDER C, MATHIASSEN SE, SKERFVING S, BALOGH I. Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling Part II: Inclinometry of head upper back neck and upper arms. *J Electromyogr Kinesiol.* 2006;16(2):125–136.
21. MATHIASSEN S. E, WINKEL J, HAGG G. M. Normalization of Surface EMG Amplitude from the Upper Trapezius Muscle in Ergonomic Studies – A Review. *J Electromyogr Kinesiol.* 1995;5(4):197-261.
22. FRERIKS B, HERMENS HJ. 1999. SENIAM 9: European recommendations for surface electromyography [CD-room]. Roessingh Research and Development.
23. STAL M, HANSSON GA, ULRICH M. Upper extremity muscular load during machine milking. *Int J Ind Ergon.* 2000;26(1):9-17.
24. AKESSON I, HANSSON G-A, BALOGH I, MORITZ U, SKERFVING S. Quantifying work load in neck shoulders and wrists in female dentists. *Int Arch Occup and Environ Health.* 1997;69(6):461-474.
25. SOGAARD K, LAURSEN B, JENSEN BR, SJOGAARD G. Dynamic loads on the upper extremities during two different floor cleaning methods. *Clin Biomech.* 2001;16(10):866-879.

26. CHEN H-C, CHANG C-M, LIU Y-P, CHEN C-Y. Ergonomic risk factors for the Wrists of hairdressers. *Appl Ergon.* 2010;41(1):98-105.
27. MURRAY W. M, DELP S. L, BUCHANAN T. S. Variation of muscle moment arms with elbow and forearm position. *J Biomech.* 1995;28(5):513-525.
28. WELLS R, KEIR P. Work and Activity-related Musculoskeletal Disorders of the Upper Extremity In: _____ *Biomechanics in Ergonomics* London: Ed by S Kumar Taylor & Francis 1999.
29. SANDE L. P, COURY H. J. C. G, OISHI J, KUMAR S. Effect of musculoskeletal disorders on pretensions strength. *Appl Ergon.* 2001;32(6):609-616.
30. AMA (2005). American Medical Association. Guides to evaluation of permanent impairment. AMA Chicago.
31. ANTONY N, KEIR P. J. Effects of posture movement and hand load on shoulder muscle activity. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20:191-198.
32. NIELSEN P K, ANDERSEN L, JORGENSEN K. The muscular load on the lower back and shoulders due to lifting at different lifting heights and frequencies. *Appl Ergon.* 1998;29(6):445-450.
33. MERLETTI R, PARKER P. A. *Electromyography: Physiology Engineering and Noninvasive Applications.* John Wiley & Sons Inc. Hoboken New Jersey. 2004.

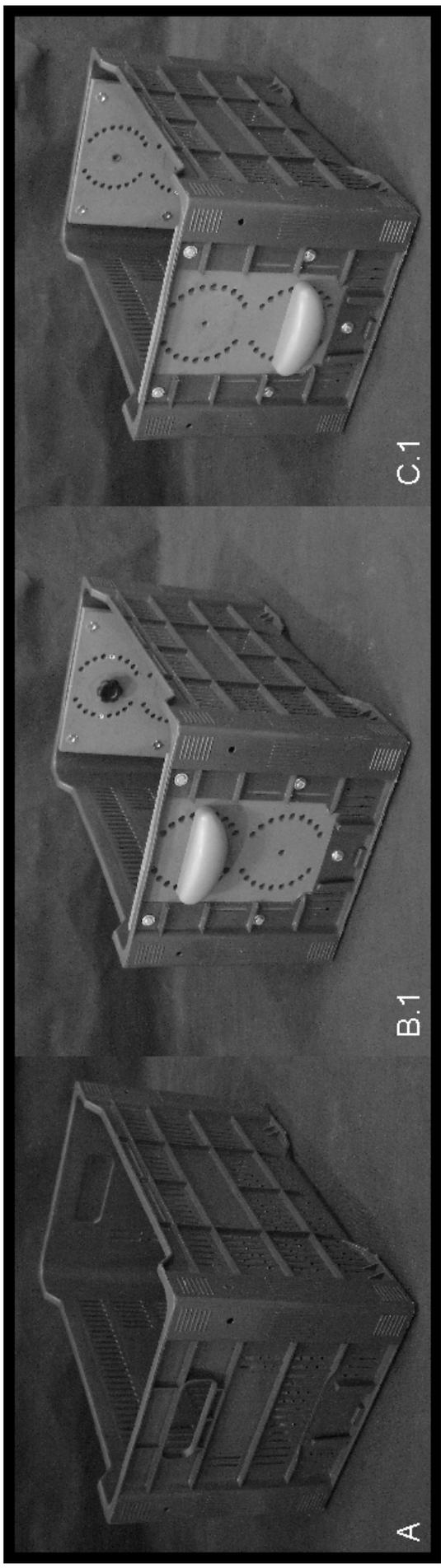


Figura 1: Caixas utilizadas para a coleta dos dados: A = caixa plástica comercial, B.1 = protótipo com alças na posição superior e 0° de inclinação com relação à horizontal; C.1 = protótipo com alças na inferior e 0° de inclinação com relação à horizontal.

Tabela 1. Médias e desvios-padrão (\pm DP) da escala subjetiva de agradabilidade para cada uma das caixas avaliadas (1 a 7) em cada uma das alturas de manuseio (FS-SC, SF-TM, SF-A). Os números sobrescritos mostram as diferenças estatisticamente significativas entre as respectivas caixas ($P \leq 0,05$). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão; SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o suporte ajustado na altura do trocanter maior do fêmur; SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o suporte ajustado na altura do acrômio direito.

	Escala Subjetiva de Agradabilidade		
	SF-SC	SF-TM	SF-A
A (1)	6,0 ($\pm 2,0$)	5,5 ($\pm 1,8$)	4,0 ($\pm 2,2$) ^{1/4}
B.1 (2)	5,4 ($\pm 2,0$)	6,1 ($\pm 2,2$)	4,5 ($\pm 2,0$)
B.2 (3)	5,5 ($\pm 2,0$)	6,5 ($\pm 2,1$)	5,4 ($\pm 2,1$)
B.3 (4)	5,3 ($\pm 2,2$)	6,4 ($\pm 2,3$)	5,8 ($\pm 2,4$) ^{1/4,4/5}
C.1 (5)	5,2 ($\pm 1,9$)	5,2 ($\pm 2,0$)	4,1 ($\pm 2,0$) ^{4/5}
C.2 (6)	6,1 ($\pm 1,9$)	5,7 ($\pm 2,3$)	4,6 ($\pm 2,1$)
C.3 (7)	5,9 ($\pm 2,1$)	5,8 ($\pm 2,6$)	5,0 ($\pm 2,1$)

Tabela 2. Médias e desvios-padrão (\pm SD) dos percentis 90 e 10 para os antímeros (D) e esquerdo (E) dos registros da EGM do cotovelo (P90 flex cotovelo, +), movimento de extensão do punho (P10 extensão punho, -) e desvio ulnar do punho (P90 desv ulnar do punho, +). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de inclinação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de inclinação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocarter maior. SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrómio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os valores de movimento estão apresentados em graus (°).

	A (1)	B.1 (2)	B.2 (3)	B.3 (4)	C.1 (5)	C.2 (6)	C.3 (7)	
P90 flex cotovelo (+)	D	76,4 ($\pm 10,4$)	74,0 ($\pm 10,7$)	76,7 ($\pm 11,7$)	77,8 ($\pm 10,9$) ^{4/6}	68,5 ($\pm 12,4$)	69,5 ($\pm 9,9$) ^{4/6}	
	E	70,6 ($\pm 11,2$) ^{1/5}	68,3 ($\pm 10,8$)	69,7 ($\pm 9,8$) ^{3/5,3/7}	72,1 ($\pm 10,7$) ^{4/5,4/6,4/7}	61,2 ($\pm 10,5$) ^{1/5,3/5,4/5}	63,5 ($\pm 9,7$) ^{4/6}	63,0 ($\pm 8,8$) ^{3/7,4/7}
P10 extensão punho (-)	D	-23,6 ($\pm 8,2$) ^{1/7}	-25,3 ($\pm 7,5$) ^{2/7}	-26,5 ($\pm 7,5$)	-29,0 ($\pm 7,7$)	-24,8 ($\pm 7,1$) ^{5/7}	-27,1 ($\pm 7,5$)	-31,4 ($\pm 6,8$) ^{1/7,2/7,5/7}
	E	-23,1 ($\pm 7,5$) ^{1/4,1/6,1/7}	-26,4 ($\pm 8,6$) ^{2/4,2/7}	-28,9 ($\pm 9,7$)	-32,3 ($\pm 7,6$) ^{1/4,2/4}	-27,2 ($\pm 7,0$)	-29,3 ($\pm 6,5$) ^{1/6}	-32,5 ($\pm 7,0$) ^{1/7,2/7}
P90 desv ulnar (+)	D	16,2 ($\pm 8,4$) ^{1/7}	16,2 ($\pm 9,0$) ^{2/7}	15,4 ($\pm 8,5$) ^{3/7}	12,0 ($\pm 9,3$) ^{4/7}	15,6 ($\pm 8,8$) ^{5/7}	11,8 ($\pm 8,7$)	6,4 ($\pm 8,4$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7,5/7}
	E	14,6 ($\pm 9,3$) ^{1/7}	16,3 ($\pm 7,8$) ^{2/7}	15,4 ($\pm 8,3$) ^{3/7}	11,3 ($\pm 8,1$) ^{4/7}	16,0 ($\pm 7,5$) ^{5/7}	11,4 ($\pm 7,1$) ^{6/7}	4,6 ($\pm 7,4$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7,5/7,6/7}
P90 flex cotovelo (+)	D	79,3 ($\pm 10,0$) ^{1/5}	78,1 ($\pm 10,8$)	78,6 ($\pm 11,0$)	82,0 ($\pm 9,1$) ^{4/5,4/6,4/7}	71,2 ($\pm 9,8$) ^{1/5,4/5}	73,1 ($\pm 9,3$) ^{4/6}	72,2 ($\pm 9,2$) ^{4/7}
	E	72,4 ($\pm 11,5$)	71,6 ($\pm 10,7$)	72,0 ($\pm 10,5$)	74,6 ($\pm 10,9$) ^{4/5}	65,7 ($\pm 10,2$) ^{4/5}	66,8 ($\pm 10,4$)	67,7 ($\pm 9,9$)
P10 extensão punho (-)	D	-21,8 ($\pm 7,7$) ^{1/4,1/7}	-20,0 ($\pm 8,2$) ^{2/4,2/7}	-22,2 ($\pm 8,1$) ^{3/7}	-27,2 ($\pm 7,8$) ^{1/4,2/4,4/5}	-20,2 ($\pm 9,4$) ^{4/5,5/7}	-25,3 ($\pm 6,9$)	-30,3 ($\pm 8,6$) ^{1/7,2/7,3/7,5/7}
	E	-19,2 ($\pm 7,0$) ^{1/4,1/6,1/7}	-21,3 ($\pm 9,5$) ^{2/4,2/7}	-22,2 ($\pm 7,4$) ^{3/7}	-25,8 ($\pm 7,2$) ^{1/4,2/4,4/5}	-19,2 ($\pm 8,9$) ^{4/5,5/7}	-23,3 ($\pm 7,1$) ^{1/6,6/7}	-28,9 ($\pm 7,6$) ^{1/7,2/7,3/7,5/7,6/7}
P90 desv ulnar (+)	D	15,9 ($\pm 8,8$) ^{1/7}	14,0 ($\pm 12,9$) ^{2/7}	14,9 ($\pm 12,3$) ^{3/7}	12,5 ($\pm 8,6$) ^{4/7}	13,5 ($\pm 11,2$) ^{5/7}	11,8 ($\pm 10,3$) ^{6/7}	4,7 ($\pm 9,0$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7,5/7,6/7}
	E	16,2 ($\pm 9,2$) ^{1/7}	13,0 ($\pm 12,1$) ^{2/7}	13,1 ($\pm 10,6$) ^{3/7}	10,8 ($\pm 11,2$) ^{4/7}	12,2 ($\pm 12,9$) ^{5/7}	10,6 ($\pm 8,3$) ^{6/7}	4,3 ($\pm 6,7$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7,5/7,6/7}
P90 flex cotovelo (+)	D	80,1 ($\pm 12,3$)	79,0 ($\pm 12,4$)	79,3 ($\pm 11,0$)	80,9 ($\pm 10,9$)	72,6 ($\pm 11,5$)	75,1 ($\pm 11,5$)	74,7 ($\pm 10,7$)
	E	73,8 ($\pm 11,4$)	72,3 ($\pm 11,0$)	73,5 ($\pm 10,5$)	74,9 ($\pm 10,6$) ^{4/5}	66,0 ($\pm 10,5$) ^{4/5}	67,6 ($\pm 10,7$)	68,1 ($\pm 10,2$)
P10 extensão punho (-)	D	-22,5 ($\pm 8,0$) ^{1/2,1/4,1/7}	-31,0 ($\pm 11,3$) ^{1/2}	-30,0 ($\pm 12,2$)	-30,6 ($\pm 10,1$) ^{1/4}	-27,0 ($\pm 9,3$)	-27,5 ($\pm 9,4$)	-30,6 ($\pm 7,9$) ^{1/7}
	E	-21,1 ($\pm 6,8$) ^{1/2,1/3,1/4,1/7}	-28,6 ($\pm 11,9$) ^{1/2}	-29,4 ($\pm 9,8$) ^{1/3}	-30,6 ($\pm 7,8$) ^{1/4}	-25,6 ($\pm 10,4$)	-25,6 ($\pm 7,5$)	-29,5 ($\pm 6,1$) ^{1/7}
P90 desv ulnar (+)	D	17,6 ($\pm 9,2$)	12,0 ($\pm 10,7$)	13,8 ($\pm 10,2$)	13,9 ($\pm 9,5$)	15,8 ($\pm 9,8$)	17,6 ($\pm 8,7$)	15,5 ($\pm 8,3$)
	E	18,1 ($\pm 8,4$)	10,5 ($\pm 13,9$)	13,4 ($\pm 13,4$)	11,4 ($\pm 13,4$)	16,2 ($\pm 9,9$)	16,9 ($\pm 8,8$)	14,2 ($\pm 11,4$)

Tabela 3. Médias e desvios-padrão (\pm DP) dos percentis 90 dos registros da INC dos ombros (P90 de elev ombro) para os antímeros direito (D) e esquerdo (E). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B, 1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B, 2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B, 3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C, 1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C, 2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de inclinação; 7) caixa C, 3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de inclinação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocarter maior. SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrómio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$). Os valores de movimento estão apresentados em graus (°).

	A (1)	B.1 (2)	B.2 (3)	B.3 (4)	C.1 (5)	C.2 (6)	C.3 (7)
SF-SC							
P90 elev ombro	D 49,7 ($\pm 8,8$) ^{1/5,1/6,1/7}	51,4 ($\pm 9,5$) ^{2/5,2/6,2/7}	48,9 ($\pm 10,3$) ^{3/6,3/7}	46,4 ($\pm 6,7$) ^{4/7}	43,4 ($\pm 8,7$) ^{1/5,2/5}	41,7 ($\pm 7,1$) ^{1/6,2/6,3/6}	41,0 ($\pm 6,0$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7}
	E 52,6 ($\pm 14,2$) ^{1/5,1/6,1/7}	52,5 ($\pm 14,1$) ^{2/6,2/7}	49,0 ($\pm 14,4$) ^{3/6,3/7}	46,1 ($\pm 14,0$)	45,8 ($\pm 14,4$) ^{1/5}	42,1 ($\pm 14,1$) ^{1/6,2/6,3/6}	42,1 ($\pm 14,0$) ^{1/7,2/7,3/7}
SF-TM							
P90 elev ombro	D 49,0 ($\pm 8,1$) ^{1/4,1/5,1/6,1/7}	47,5 ($\pm 11,9$) ^{2/6,2/7}	44,5 ($\pm 9,9$) ^{3/6,3/7}	42,7 ($\pm 8,8$) ^{1/4}	39,4 ($\pm 7,3$) ^{1/5}	37,1 ($\pm 7,9$) ^{1/6,2/6,3/6}	37,1 ($\pm 7,6$) ^{1/7,2/7,3/7}
	E 52,0 ($\pm 13,9$) ^{1/5,1/6,1/7}	50,1 ($\pm 14,1$) ^{2/5,2/6,2/7}	48,4 ($\pm 14,3$) ^{3/5,3/6,3/7}	46,2 ($\pm 14,3$) ^{4/7}	41,5 ($\pm 14,8$) ^{1/5,2/5,3/5}	41,8 ($\pm 14,7$) ^{1/6,2/6,3/6}	39,5 ($\pm 14,8$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7}
SF-A							
P90 elev ombro	D 101,0 ($\pm 7,7$) ^{1/2,1/5,1/6,1/7}	94,8 ($\pm 6,5$) ^{1/2,2/5,2/6,2/7}	97,4 ($\pm 8,2$) ^{3/5,3/6,3/7}	97,4 ($\pm 7,7$) ^{4/5,4/6,4/7}	88,8 ($\pm 10,6$) ^{1/5,2/5,3/5,4/5}	88,9 ($\pm 9,7$) ^{1/6,2/6,3/6,4/6}	87,7 ($\pm 6,6$) ^{1/7,2/7,3/7,4/7}
	E 101,5 ($\pm 11,9$) ^{1/2,1/5,1/6,1/7}	93,2 ($\pm 11,2$) ^{1/2}	95,4 ($\pm 12,1$)	96,2 ($\pm 10,9$) ^{4/6,4/7}	90,1 ($\pm 14,3$) ^{1/5}	88,6 ($\pm 13,4$) ^{1/6,4/6}	88,0 ($\pm 11,4$) ^{1/7,4/7}

Tabela 4: Médias e desvios-padrão (\pm SD) dos percentis 90 para os antímeros (D) e esquerdo (E) dos registros da EMG dos músculos bíceps braquial (P90 bíceps), extensores do punho (P90 ext punho) e porção superior do trapézio (P90 porção sup trapézio). 1) caixa A: caixa regular comercial; 2) caixa B.1: protótipos com alças na posição superior e 0° de inclinação; 3) caixa B.2: protótipo com alças na posição superior e 15° de inclinação; 4) caixa B.3: protótipo com alças na posição superior e 30° de inclinação; 5) caixa C.1: protótipo com alças na posição inferior e 0° de inclinação; 6) caixa C.2: protótipo com alças na posição inferior e 15° de angulação; 7) caixa C.3: protótipo com alças na posição inferior e 30° de angulação. SF-SC: manuseio entre o suporte fixo e o chão. SF-TM: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do trocater maior, SF-A: manuseio entre o suporte fixo e o ajustável na altura do acrômio. Os números sobrescritos mostram as diferenças estatísticas entre as respectivas caixas (1 a 7) ($P \leq 0,002$).

Os valores estão apresentados em valores percentuais da contração voluntária máxima.

	A (1)	B.1 (2)	B.2 (3)	B.3 (4)	C.1 (5)	C.2 (6)	C.3 (7)
P90 bíceps	D	39,3 (\pm 20,6)	46,2 (\pm 20,0)	48,3 (\pm 23,1)	49,3 (\pm 22,5)	39,9 (\pm 23,4)	43,6 (\pm)
	E	39,3 (\pm 16,6)	48,5 (\pm 19,6)	48,2 (\pm 18,9)	51,1 (\pm 21,3)	42,9 (\pm 19,2)	48,1 (\pm)
P90 ext punho	D	28,3 (\pm 14,0)	36,5 (\pm 16,3)	35,9 (\pm 19,0)	37,0 (\pm 18,2)	35,5 (\pm 18,2)	38,4 (\pm 18,8)
	E	27,6 (\pm 12,6) ^{1/7}	36,5 (\pm 17,7)	36,9 (\pm 15,9)	38,0 (\pm 14,6)	34,3 (\pm 15,2)	40,6 (\pm)
P90 porção sup trapézio	D	35,5 (\pm 13,7)	43,1 (\pm 26,2)	37,6 (\pm 16,3)	36,8 (\pm 21,7)	34,3 (\pm 14,0)	31,6 (\pm)
	E	38,4 (\pm 18,7)	40,9 (\pm 19,3) ^{2/7}	37,6 (\pm 18,4)	32,6 (\pm 16,5)	33,9 (\pm 15,7)	31,7 (\pm)
P90 bíceps	D	52,2 (\pm 30,6)	62,1 (\pm 37,6)	59,8 (\pm 34,8)	55,8 (\pm 30,6)	59,1 (\pm 32,3)	55,0 (\pm 27,9)
	E	52,5 (\pm 22,8)	61,6 (\pm 25,9)	58,4 (\pm 24,4)	57,5 (\pm 25,6)	57,8 (\pm 22,7)	55,4 (\pm 22,5)
P90 ext punho	D	37,8 (\pm 23,8) ^{1/4}	43,7 (\pm 28,5)	50,7 (\pm 33,0)	53,6 (\pm 25,3) ^{1/4}	49,3 (\pm 31,3)	54,1 (\pm 31,2)
	E	37,7 (\pm 18,0)	41,2 (\pm 23,1)	45,4 (\pm 19,7)	44,3 (\pm 17,7)	46,2 (\pm 25,3)	46,6 (\pm 20,0)
P90 porção sup trapézio	D	79,4 (\pm 26,7)	74,2 (\pm 28,6)	75,7 (\pm 25,1)	74,0 (\pm 24,7)	77,8 (\pm 33,4)	78,0 (\pm 34,4)
	E	81,2 (\pm 19,8)	75,9 (\pm 21,1)	76,3 (\pm 22,1)	75,2 (\pm 22,5)	79,4 (\pm 22,3)	75,7 (\pm 22,4)
P90 bíceps	D	48,1 (\pm 24,7)	57 (\pm 28,5)	53,2 (\pm 28,4)	52,9 (\pm 29,6)	49,3 (\pm 25,2)	49,6 (\pm 25,5)
	E	41,3 (\pm 16,8)	51,9 (\pm 19,4)	47,6 (\pm 18,4)	48,3 (\pm 17,0)	47,9 (\pm 18,8)	47,5 (\pm 17,3)
P90 ext punho	D	22,3 (\pm 13,4) ^{1/4}	34,3 (\pm 22,4)	34,4 (\pm 20,2)	38,7 (\pm 20,3) ^{1/4}	32,6 (\pm 19,1)	34 (\pm 18,5)
	E	22,9 (\pm 12,0)	29,8 (\pm 17,6)	33,3 (\pm 18,2)	37,8 (\pm 17,2)	29,9 (\pm 13,9)	32,3 (\pm 13,2)
P90 porção sup trapézio	D	36,3 (\pm 14,6)	39,4 (\pm 21,9)	34,8 (\pm 21,1)	32,1 (\pm 18,0)	27,7 (\pm 13,0)	25,5 (\pm 11,3)
	E	41,2 (\pm 19,4)	39,9 (\pm 22,1)	37,1 (\pm 21,2)	34,2 (\pm 18,2)	30,7 (\pm 16,9)	28,2 (\pm 13,7)