

CO-DESIGN E PROTÓTIPO FUNCIONAL DE UM EQUIPAMENTO DIRECIONADO A MOVIMENTAÇÃO DE MEMBROS SUPERIORES

Barbosa, I. M., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, ismael.barbosa@usp.br
Cavalcanti, A., Departamento de Terapia Ocupacional, Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM, alessandra@to.uftm.edu.br
Silveira, Z.C., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, silveira@sc.usp.br

Resumo. O objetivo desse trabalho é apresentar parte do processo de co-design no desenvolvimento do projeto conceitual e do protótipo funcional de um equipamento, classificado como órtese na área de Tecnologia Assistiva. Principalmente no Brasil, há uma baixíssima oferta de órteses destinadas a terapia ocupacional de movimentação de membros superiores, considerando indivíduos com total restrição de movimentos decorrentes de acidentes e doenças neuro-degenerativas. O desenvolvimento de um produto é um dos elementos que integram as possibilidades de incremento do campo de tecnologia assistiva. A tecnologia assistiva como área do conhecimento é responsável por prescrever processos, produtos e recomendações que permitam mobilidade, em seus diferentes graus, de forma a promover a inclusão do indivíduo na sociedade. Diferentes patologias (doenças neuro-degenerativas, microcefalia), acidentes que restrinjam completa ou temporariamente os movimentos e o próprio envelhecimento da sociedade em escala mundial são demandas urgentes e atuais para a tecnologia assistiva, e áreas correlatas, nesse trabalho, a engenharia mecânica, com ênfase em projeto de sistemas mecânicos. Para que esse objetivo fosse alcançado, houve um processo de inicial de avaliação da viabilidade técnica, no qual foi definido uma lacuna técnica. Nas etapas, de cunho conceitual e de avaliação de desempenho, o usuário selecionado foi uma amostra de terapeutas ocupacionais, que nessa primeira etapa do projeto prescreve o uso da órtese ao usuário final (paciente e/ou familiar). Nessa fase, de processos iterativos e iterativos foram definidos os requisitos do usuário, convertidos em características técnicas, que classificadas por nível de importância na escala de Likert indicaram os pontos técnicos com maior valor para o usuário, e para a equipe técnica dentro da filosofia de co-projeto. Na fase conceitual, as soluções conceituais e técnicas foram conduzidas de forma a fechar o ciclo de um projeto com grau de personalização. Em comparação com uma busca sistemática de soluções comerciais e patentes, o protótipo funcional apresenta características diferenciadas em sua estrutura e possibilidade de uso, tais como: dimensões que permite ser utilizado com diferentes mobiliários (cama hospitalar, mesas, consultório, centros de reabilitação); abertura latero-lateral de cada membro superior entre 0 e 90° no plano frontal, de forma deslizante e contínua; estabilidade estrutural previamente delimitada e uso bilateral.

Palavras-chave: tecnologia assistiva; órtese; metodologia de projeto; projeto conceitual; projeto personalizado.

1. INTRODUÇÃO

Devido aos constantes avanços médicos-tecnológicos das últimas décadas, a expectativa de vida da população mundial tem aumentado de forma significativa em diversos países, incluindo no Brasil. Esta longevidade pode ser uma conquista da humanidade, mas reflete também em um prejuízo devido ao próprio envelhecimento natural, podendo causar limitações físicas e psicológicas em pessoas mais idosas. Segundo Kalache *et al.* (1987): “Envelhecer mantendo todas as funções não significa problema quer para o indivíduo ou para a comunidade, quando as suas funções começam a deteriorar é que os problemas começam a surgir”. Além do envelhecimento populacional, há outras condições que limitam a qualidade de vida e a inclusão social de indivíduos, em diferentes faixas etárias. Acidentes diversos, doenças neurológicas adquiridas durante a gestação ou em outras etapas da vida são exemplos de condições que também limitam a execução de tarefas cotidianas, que envolve, por exemplo, alimentação, vestuário e higiene. Sendo assim, limitam a sua autonomia em ambiente social. Para estas pessoas, a execução de atividades rotineiras se torna prejudicada ou de extrema dificuldade ao enfrentamento de diversas restrições de toda ordem. Neste cenário, entende-se a importância da Tecnologia Assistiva (TA), termo utilizado para referenciar produtos, recursos, práticas e serviços, estratégias e metodologias que objetiva fomentar e restaurar a funcionalidade de pessoas com deficiência, incapacidade ou mobilidade reduzida (CGEE, 2012).

Dentre as classificações da TA, o desenvolvimento de órteses frente às limitações de soluções técnicas nacionais é uma classe de produto, na qual o desenvolvimento do projeto de engenharia, principalmente em suas duas primeiras fases: informacional e conceitual, pode incorporar valor a partir do uso de técnicas e ferramentas sistemáticas de projeto, que promovam a participação dos diferentes usuários envolvidos no uso do produto. As soluções técnicas para as diferentes classes de produto de TA, normalmente são produtos personalizados, aqueles que por definição são definidos pelo valor diferenciado (Hu, 2013) e, que insere os usuários de interesse, nas tomadas de decisões técnicas ao longo das fases iniciais do projeto. No conjunto de usuários dos produtos (*stakeholders*) de TA são incluídos: pacientes ou os usuários finais; os profissionais da área de saúde, como os terapeutas ocupacionais que prescrevem produtos, processos ou técnicas; pais e cuidadores. Nesse trabalho, o projeto do equipamento proposto foi direcionado a um grupo de usuários com disfunção neuromuscular ou musculoesquelética que conduz a incapacidade funcional para a realização de movimentos do membro superior, existe a indicação de aparelho de tecnologia de reabilitação, sendo uma órtese que auxilia o terapeuta ocupacional na sustentação do(s) segmento(s) de uma pessoa com deficiência contra a ação da força gravitacional, permitindo a manutenção de movimento para envolvimento em atividades que demandam função manual (Souza, 2016). Como premissa terapêutica, este equipamento deve assistir o usuário nos exercícios de manutenção do movimento residual, nos exercícios para ganho de amplitude de movimento e em atividades de treino funcional voltados

para as patologias que afetem a musculatura dos braços e da cintura escapular. Assim como em qualquer outro tipo de equipamento de tecnologia assistiva, existe a indicação para uso em mais de uma patologia, desde que o comprometimento funcional seja similar nas estruturas e funções, além de levar em consideração parâmetros antropométricos que atenda a variedade demográfica dos usuários de forma ergonômica. Nos casos de lesão medular, acidente vascular encefálico, esclerose lateral amiotrófica, lesão do plexo braquial e distrofia muscular são patologias que conduzem o indivíduo a um quadro de incapacidade funcional da movimentação do membro superior, podendo envolver ombro, cotovelo, antebraço, punho e/ou mão. Abbruzzese *et al.* (2011) comentam que estes pacientes podem recuperar o uso significativo do seu braço através da realização de exercícios repetitivos de motricidade: “pacientes com distrofia muscular dever utilizar a terapia física para evitar o atrofiamento e manter a função muscular”.

Em uma revisão realizada por Loureiro *et al.* (2011), os autores apontam diversas soluções de aparelhos voltados para reabilitação dos membros superiores e sugerem uma classificação que envolve o agrupamento de dois grupos: os sistemas “*End-effector*” e “*Exoskeleton-based*”. Sistemas “*End-effector*” refere-se a sistemas que interagem com o paciente usando um único ponto de fixação distal sobre o antebraço, por meio de uma órtese, sendo utilizada uma movimentação ativa, ou seja, por meio de um sistema atuado de forma motorizada. Sistemas “*Exoskeleton-based*”, por outro lado, envolvem o braço no mecanismo, proporcionando a oportunidade de controlar a orientação do membro onde os graus de liberdades estão ativos, podendo ser um aparelho ativamente ou passivamente atuado. Outra revisão feita por Van Der Heide *et al.* (2014), tendo como foco “apoios de braços dinâmicos”, os autores propõem outra divisão: (a) aparelhos não-acionados, (b) passivamente atuados e (c) ativamente atuados. Nesta classificação, todos os equipamentos movimentam o braço no plano horizontal, sendo a diferença primordial a possibilidade de movimentação do membro no plano sagital, feita de forma passiva pelo item (b), ou seja, através de molas e contrapesos, e de forma ativa pelo item (c), com o auxílio de um motor. Com base nas necessidades deste presente estudo, o aparelho a ser desenvolvido foi baseado nos sistemas “*Exoskeleton-based*”, pois permite uma solução mais simples, sendo passivamente atuado, e proporciona um range de movimentos autônomos por parte do paciente.

Dentre os estes aparelhos, existe uma classe denominada *sling*, o qual é definida por Souza (2016) como uma estrutura composta de um pedestal verticalizado com suportes horizontais, que ultrapassam a altura do usuário e sustentam alças de apoio que evoluem, normalmente, o punho e o cotovelo, e permitem a movimentação do membro superior no plano horizontal. A sustentação do membro se faz a partir de um sistema de molas ou contrapesos e possibilitam ao usuário a movimentação passiva no plano transversal, o que envolve as atividades de abdução, adução e rotação do ombro e extensão e flexão do cotovelo. Ao realizar tais movimento, o usuário consegue ter um certo nível de autonomia em atividades de alimentação ou tarefas de comunicação, como a escrita. No Brasil, Souza (2016) apresenta a única solução comercial pesquisada e ressalta algumas dificuldades de uso: a estrutura vertical é de difícil encaixe com sua base; a estrutura é projetada com o seu centro de gravidade deslocado para fora da base de sustentação, a qual é pequena e torna o equipamento instável; uso restrito a um tipo de mobiliário; alças de apoio dos braços pouco confortáveis e não permitem grande mobilidade do membro superior, principalmente no apoio do punho. Este equipamento é ilustrado na Figura 1. Vislumbrando esta lacuna no cenário nacional, e procurando atender as necessidades no setor público brasileiro, este artigo apresenta um processo de co-design durante as duas fases iniciais de projeto definidas por Pahl *et al.* (2007) como: estudo da viabilidade técnica (ou informacional) e projeto conceitual. O usuário escolhido para essa fase foi uma amostra de terapeutas ocupacionais, uma vez que prescrevem o uso de produtos.

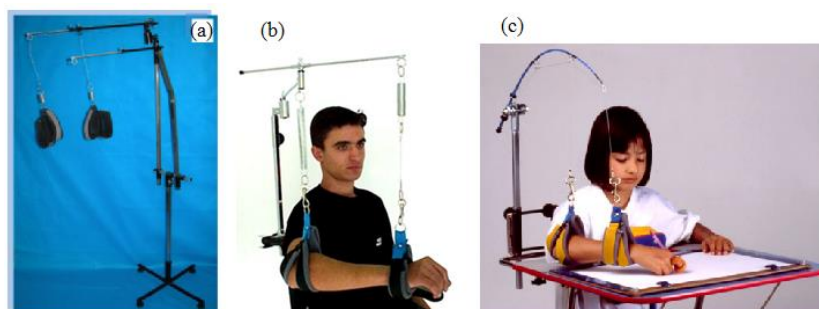


Figura 1: Modelo brasileiro do sling (a) Modelo do estudo de Souza (2016); Marca Levitar de Braços (b) modelo biarticulado e (c) modelo articulado, Levitar (2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do processo do projeto foram baseadas em Pahl *et al.* (2007), divididas em: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Para a fase informacional utilizou-se a matriz da qualidade de projeto, a primeira matriz da metodologia QFD (*Quality Function Deployment*), dentro de um processo iterativo e iterativo da área técnica junto ao grupo da área de saúde do Clínica de Reabilitação da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM-MG). Para a elaboração do processo de conversão entre requisitos do usuário em características técnicas, houve a elaboração de um questionário, refinado em dois momentos de forma a conter de fato, requisitos relevantes para

o usuário. Esse processo é descrito no item 3. Com os processos de conversão, correlação e extração obtém-se as características técnicas de maiores relevâncias, geradas pela interface do grupo da saúde e da engenharia. A etapa seguinte, conceituação de possíveis configurações de projeto consiste em desenvolver diagramas lógicos, árvores hierárquicas, análise morfológica com funções neutras de projeto de forma a permitir grau de inovação nas soluções propostas. No item 4 é apresentado, a partir desse estudo sistemático e centrado no usuário, algumas verificações simuladas estruturais da solução proposta. O trabalho de pesquisa está amparado pelo projeto Núm. 689.103 do Comitê de Ética realizado no dia 25/06/2014.

3. ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO EM CO-DESIGN

Souza (2016) em sua pesquisa elencou e listou limitações dos equipamentos para fins terapêuticos no Brasil e algumas soluções internacionais. Assim, essa etapa se iniciou com o uso de um cartão com itens que expressavam as principais características presentes em um produto destinado à sustentação e movimentação dos membros superior, apresentados na Tabela 1. Esta lista foi entregue a dez terapeutas ocupacionais. Cada entrevistado teve que pontuar a lista em uma escala numérica que diferenciava os itens como muito importante, importante, pouco importante ou nulo. Além desta atividade, foi estimulada uma conversa livre e individual para descobrir quais eram as necessidades e desejos do grupo em relação ao produto. Nessa fase, de processos interativos e iterativos foram definidos os requisitos do usuário, convertidos em características técnicas, que classificadas por nível de importância na escala de Likert indicaram os pontos técnicos com maior valor para o usuário, e para a equipe técnica dentro da filosofia de co-projeto. Assim gerou-se um conjunto de Requisitos do Usuários, que foram traduzidos ou convertidos em Características Técnicas. Os Requisitos mais importante foram: ser bilateral, ser flexível, montar rapidamente, resistência da estrutura, regulagem da altura, armazenamento e preço) para serem relacionados com as características técnicas (simetria, geometria, usabilidade, resistência mecânica, aspectos de ergonomia, transportabilidade.).

Tabela 1. Descrição das necessidades (Requisitos dos Usuários). Souza (2016).

Item	Descrição das características
Bilateral	Sustentação e movimentação de um ou dos dois membros
Flexibilidade	Uso do equipamento junto a diferentes mobiliários (ex: leito hospitalar e cadeira de rodas)
Montagem rápida	Facilidade de encaixar as partes do equipamento para proceder ao uso
Peso paciente	Capacidade de sustentar o(s) membro(s) do paciente sem danificar o equipamento
Resistência do material	Capacidade de manter a originalidade do material, sem deformações das partes
Conforto	Proteção, aconchego durante o uso do equipamento
Higienização	Possibilidade de limpeza das partes do equipamento
Apoio do antebraço	Desenho do componente que está em contato com o braço para suspensão
Estabilização da mão	Desenho do componente que está em contato com a mão em suspensão
Regulagem de altura	Possibilidade de ajuste de altura do dispositivo à demanda do usuário
Facilidade de guardar	Facilidade para armazenar, acondicionar
Facilidade de desmontar	Facilidade de separar as partes
Preço	Valor para aquisição em loja

Após realizar o processo de correlação obteve-se em ordem de importância, as características técnicas: flexibilidade (21,3%), armazenamento (21,3%) e regulagem de altura (17,1%) para os requisitos do usuário e geometria (21,6%), ergonomia (21,4%) e transportabilidade (20,1%) para as características técnicas. A fase do projeto conceitual tem o intuito de gerar soluções para cada função do projeto e, com base no projeto informacional, escolher uma configuração para iniciar o pré-dimensionamento. Inicialmente foi aplicada a ferramenta da análise funcional, que busca entender as funções básicas de projeto. Estas funções são escritas de forma semântica, pois torna a função livre de qualquer solução técnica já existente. A Figura 2 apresenta o desdobramento funcional do aparelho *sling*.

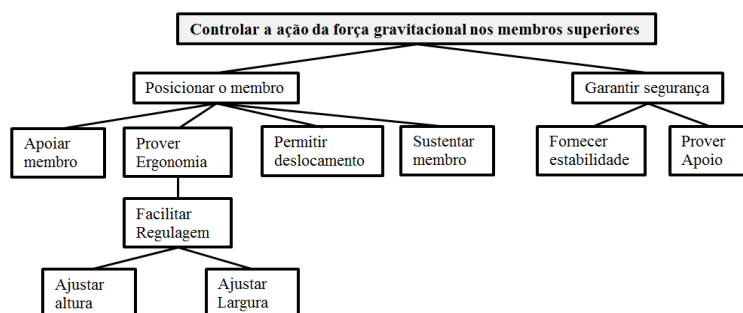


Figura 2: Estrutura funcional para o sistema *sling*.

Na etapa seguinte foi realizada uma análise morfológica, que teve como objetivo sugerir soluções para as principais funções de projetos e depois eleger o conjunto de soluções que mais se adequa ao resultado do projeto informacional. As funções que tiveram enfoque nesta etapa foram: (1) prover deslocamento; (2) prover apoio da estrutura; (3) regular a altura; (4) regular a largura; (5) sustentar o membro; e (6) apoiar o membro. Vale a pena salientar que o projeto deve se adaptar para ser utilizado junto à cadeira de rodas e camas hospitalares, além de possuir um perfil mais harmonioso para as terapeutas, e ter uma configuração mais compacta para facilitar seu armazenamento, dados exigidos pelos terapeutas ocupacionais, além serem características com grau de inovação. As Fig. 3 (a); (b); (c) apresentam a evolução do modelo geométrico até a solução proposta.

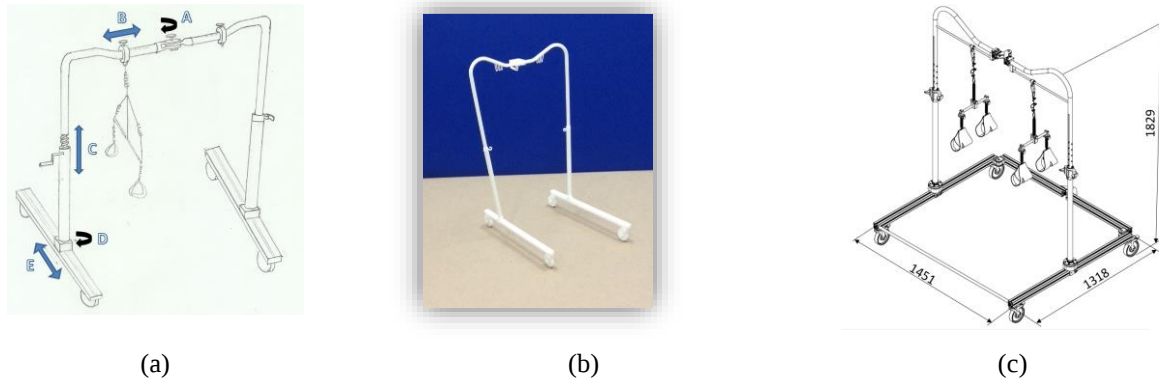


Figura 3. Desenvolvimento do projeto *sling*: (a) Esboço obtido ao final do projeto conceitual; (b) *Mock-up* conceitual gerado por manufatura aditiva e; (c) conjunto final do *sling* em vista isométrica com dimensão em milímetros.

Para cada função foram levantadas quatro possíveis soluções de projeto, descritas em Barbosa (2016), resultando em alguns conjuntos de soluções. Estes conjuntos foram avaliados por duas terapeutas ocupacionais que indicaram a solução indicada na Fig. 3(a), que teve como soluções das respectivas funções de projetos: (1) rodas giratórias com trava; (2) base com barras paralelas e ajuste regulável; (3) parafuso de potência para o ajuste de altura; (4) junta deslizante com trava para o ajuste de largura; (5) mosquetão, cabo de aço e molas para suspender o braço; (6) modelo em “V” para acomodar o braço. Além destes itens, pensou-se em incluir duas barras removíveis que fizessem à conexão entre as bases, garantindo assim a estabilidade do sistema e permitindo ainda que seja possível a inclusão de uma cadeira de rodas ou uma cama hospitalar no vão da estrutura. Os itens letrados mostram as movimentações que deveriam ocorrer no projeto para possibilitar a regulação de altura, a troca de posição de unilateral para bilateral (o que também facilitaria o armazenamento) e a movimentação do braço no plano vertical. A Figura 3 (b) é a foto do *mock-up* feito para facilitar a visualização do aparelho e permitir um melhor entendimento das soluções de projetos para o grupo de terapeutas ocupacionais, possibilitando sua avaliação. Como resultado desta primeira avaliação, o projeto passou por algumas mudanças, como exemplo a inclusão de um sistema de pino com molas para o ajuste de altura, devido à facilidade de encontrar este sistema pronto no mercado, o que reduziu o custo do protótipo. Além disso, a inclusão de perfis estruturais de alumínio na base do *sling* facilitou o sistema de encaixe com os outros componentes, permitiu a movimentação indicada e a fácil inclusão e remoção da barra que liga as duas bases, devido às suas ranhuras. Outro ponto inovador deste projeto é indicado pela letra B da Figura 3(a), que permite do deslizamento do braço no plano horizontal com extrema facilidade devido ao mancal de deslizamento que foi incluso sobre uma barra pertencente ao pórtico horizontal do *sling*. A Figura 3 (c) ilustra a configuração final do projeto que foi apresentada para o início do pré-dimensionamento.

4. PRÉ-DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO FUNCIONAL

Para iniciar o pré-dimensionamento, se fez necessário o conhecimento dos espaços do ambiente e dos objetos que o projeto se adaptará: dimensões dos vãos de portas, espaços internos de edifícios e casas bem como as dimensões de cadeiras de rodas e camas hospitalares junto a uma pessoa. Para estes dados, primeiramente utilizou-se da Norma ABNT NBR 9050 (2004) que define dimensões de equipamentos e espaços urbanos. O *Sling* apresenta duas configurações: aberta, que possui as dimensões apropriadas para envolver em seu vão uma pessoa em uma cadeira de rodas ou em uma cama hospitalar; fechada, que possui dimensões apropriadas para o transporte do equipamento dentro de edifícios ou casas além de ser mais compacto possível para auxiliar no seu armazenamento. A estrutura do *sling* teve os principais componentes, como as hastes verticais inferior e superior, projetadas para serem tubos de alumínio 6061-T6 ($E=68,9$ GPa e $\nu=0,33$ de acordo com a Matweb, 2018). A escolha do perfil tubular foi devido à possibilidade de realizar a dobra para permitir a suavização da estrutura e também pelo fato de possibilitar o encaixe de dois tubos de diferentes diâmetros, tornando possível o ajuste de altura do aparelho através do pino com molas. Sendo assim, toda estrutura passou por uma análise linear estática realizada no Ansys® Workbench™ V.15 para identificar suas tensões e deformações, considerando

o material isotrópico, a utilização do equipamento na sua posição da altura mais elevada e simulando que cada braço aplique uma carga de 25 kgf. A Figura 4 mostra os principais resultados desta análise. Observou-se nesta análise que a parte superior do conjunto foi a mais solicitada, tendo em sua articulação central uma tensão em torno de 257 Mpa (CS=1,07), sendo que no restante da estrutura a tensão máxima foi de 200 MPa (CS=1,38). A deformação total máxima ocorreu no eixo guia do mancal de deslizamento axial, com deformação aproximada de 9,60 mm. Esta deformação acontece basicamente no eixo vertical e relacionando-a com altura do conjunto, mostrada na Figura 3(c), ela representa apenas 0,525% no total da estrutura.

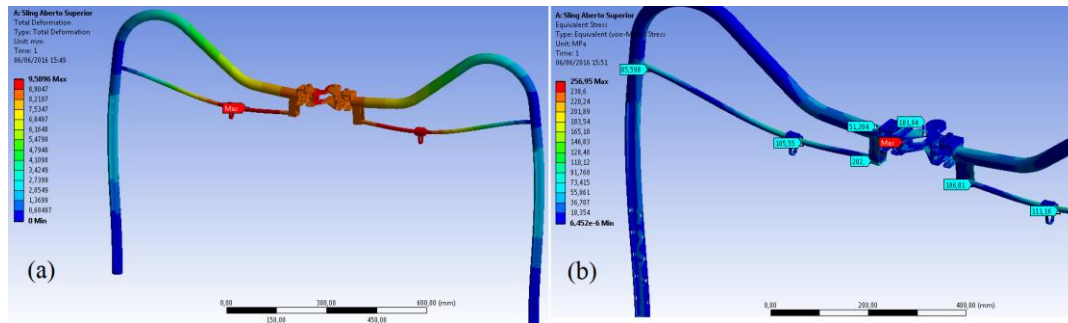


Figura 4. Análise da (a) deformação total e (b) tensão de Von-Mises para a parte superior do *sling* realizada no Ansys® Workbench™ V.15.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o término da análise da estrutura, um protótipo funcional do *sling* foi confeccionado, indicado na Figura 5 (a). Este protótipo serviu para uma nova avaliação junto ao grupo de terapeutas ocupacionais para conferir se o aparelho supriu os requisitos desejados. Entre os itens comentados, o protótipo teve uma avaliação positiva a respeito da fácil movimentação dos braços no plano horizontal, a possibilidade de realizar diversos ajustes de forma ergonômica para o paciente e para o terapeuta ocupacional, como a regulagem de altura e o uso bilateral, que também auxilia no armazenamento do equipamento de forma compacta. Em comparação com uma busca sistemática de soluções comerciais e patentes, o protótipo funcional apresentou características diferenciadas em sua estrutura e possibilidade de uso, tais como: dimensões que permite ser utilizado com diferentes mobiliários (cama hospitalar, mesas, consultório, centros de reabilitação), abertura latero-lateral de cada membro superior entre 0 e 90° no plano frontal de forma deslizante e contínua, estabilidade estrutural previamente delimitada e uso bilateral. Este protótipo passou por algumas sessões junto a um paciente tetraplégico na Clínica de Reabilitação da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM-MG), ilustrado na Figura (5b). Segundo os terapeutas ocupacionais que acompanharam as sessões, o aparelho teve um bom desempenho e se mostrou de suma importância para auxiliar o paciente na melhora do tônus muscular, mesmo sendo utilizado em poucas seções. O protótipo também recebeu algumas sugestões de melhorias, com respeito do peso de sua estrutura, que dificultava o ajuste de altura, e a limitação do movimento do antebraço no plano sagital, o qual permitiria que o paciente levasse a mão na boca. Portanto, este aparelho ainda deve ser adequado para estas necessidades.

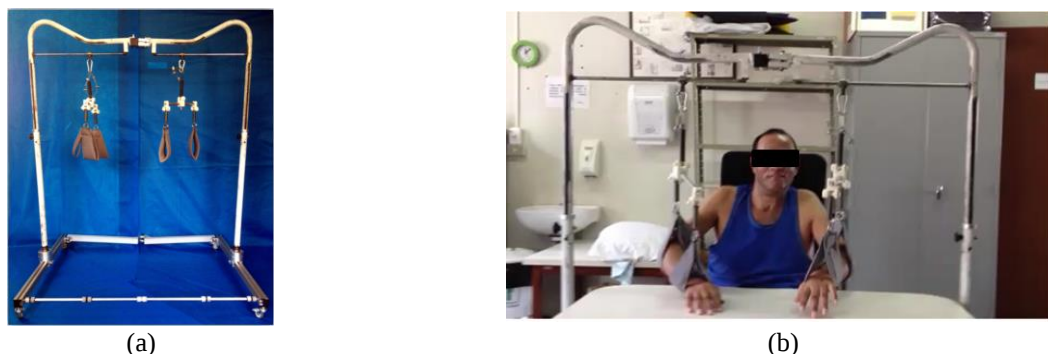


Figura 5. (a) Protótipo funcional; (b) e este protótipo sendo utilizado por um paciente, o qual permitiu a divulgação desta imagem.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou uma proposta de co-design de um dispositivo destinado ao exercício para fortalecimento com fins terapêuticos, propondo a sustentação de membros superiores no plano sagital. O objetivo do

aparelho proposto foi de melhorar a força muscular para os movimentos de flexão e extensão do braço e assim motivar uma reabilitação, tal que o paciente consiga desempenhar funções perdidas como, por exemplo, a ação de desenhar, alimentar-se, sustentar e trocar páginas de um livro. Este dispositivo é indicado para pessoas que se apresentam na fase inicial de recuperação de sua enfermidade (como exemplo: lesão medular, acidente vascular encefálico, esclerose lateral amiotrófica, distrofia muscular, dentre outros) com significativa perda de movimento e força muscular no ombro, cotovelo, antebraço, punho e mão.

A utilização de ferramentas sistemáticas de projeto nas fases iniciais do processo do projeto permitiu vivenciar o co-design, contemplando a interação durante três anos entre grupo projetista multidisciplinar e os usuários, os quais foram terapeutas ocupacionais e pacientes da rede de saúde pública brasileira. Entendendo as necessidades que estes usuários vislumbram para este aparelho, foi possível desenvolvê-lo voltado para a realidade das clínicas de reabilitação, além de agregar novos valores ao produto com grau inventivo, possibilitando o depósito de uma patente. O primeiro aspecto inventivo foi a modularidade do sistema, permitindo o sistema ser fixado a uma mesa ou ser utilizado diretamente no chão, junto a uma base móvel que é compatível a uma cadeira de rodas e uma cama hospitalar, além de ser possível sua utilização uni ou bilateral, ou seja, para um ou para os dois braços, o que também facilita seu armazenamento, pois é possível deixá-lo de uma forma compacta devido a estes ajustes. Outro aspecto inventivo foi o sistema de deslizamento do subconjunto de sustentação dos braços, que favorece mecanismos de compensação e correção da perda de movimentos e da força muscular. As alças de apoio das articulações do punho e cotovelo foram confeccionadas para serem alavancas de primeira classe e com design que permite liberdade de movimentação de dedos e polegar simultânea ao posicionamento do punho. Ao final da fase de criação do conceito do projeto, o dispositivo foi confeccionado e testado junto aos usuários que relataram um bom desempenho do mesmo o qual atingiu seu objetivo, porém novas sugestões para a melhoria do produto foram apontadas. Tendo em vista estas novas indicações, este aparelho passará novamente por uma reformulação conceitual, com o objetivo de sanar eventuais problemas de uso relatados, principalmente em relação restrição de movimentos dos membros superiores. Ao abranger uma maior movimentação do braço, em todos os planos, o aparelho irá possibilitar o trabalho de forma mais completa dos grupos musculares no intuito da reabilitação mais eficiente do paciente.

7. REFERÊNCIAS

- ABBRUZZESE, K. *et al.* An innovative design for Assistive Arm Orthosis for stroke and muscle dystrophy. **Bioengineering Conference (NEBC)**, IEEE 37th Annual Northeast, pp. 1-2, 2011.
- ABNT, N. 9050. Acessibilidade e edificações, mobiliário, espaços e edificações. 2004.
- BARBOSA, I. M. **Equipamento de autoajuda: projeto e validação de um protótipo funcional para sustentação e movimentação de membros superiores**. 175 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- CGEE. Relatório Final, **Mapeamento de Competências em Tecnologia Assistiva**, Brasília, 2012.
- FAWLER, C. Disponível em <<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-698830866-cama-fawler-hospitalar-manual-c-elevaco-de-leito-JM>> Acesso em: 06 nov. 2017.
- HU, S.J. Evolving paradigms of manufacturing: from mass production to mass customization and personalization. Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems. **Procedia CIRP**, v.7, p.3-8, 2013.
- KALACHE, A., VERAS, R. P., RAMOS, L. R., O envelhecimento da população mundial: um desafio novo. **Revista Saúde Pública**, v. 21, n. 3, p. 200-10, 1987.
- LEVITAR. Disponível em <<https://expansao.com/site/produtos/levitar>> Acesso em: 06 nov. 2017.
- LOUREIRO, R. C. V., *et al.* Advances in upper limb stroke rehabilitation: a technology push. **Medical & biological engineering & computing**, v. 49, n. 10, p. 1103, 2011.
- MATWEB, Disponível em <<http://www.matweb.com/index.aspx>> Acesso em: 13 mar. 2018.
- PAHL, G., BEITZ, W., **Engineering design: a systematic approach**, Springer Science & Business Media, 2007.
- SOUZA, A. C. A., **Avaliação de dispositivos destinados ao uso de sustentação e movimentação de membros superiores e proposta de melhoria do projeto baseada na integração QFD e Análise Funcional**, 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Biomecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- VAN DER HEIDE, L. A., *et al.* An overview and categorization of dynamic arm supports for people with decrease arm function. **Prosthetics and orthotics international**, v. 38, n. 4, p. 287-302, 2014.

8. AGRADECIMENTOS

A Profa. Valéria Elui Meirelles da FMRP-USP, a Divisão de Tecnologias Tridimensionais (CTI), à Oficina mecânica da EESC-USP, ao Projeto de Pesquisa em Tecnologia Assistiva do CNPq, Processo Núm.442109/2016-4.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.