

Órtese com impressão 3D para ombro: relato de caso

3D print orthosis for shoulder: case report

¹Danielle Aline Barata Assad, ²Valeria Meirelles Carril Elui, ³Vincent Wong, ⁴Carlos Alberto Fortulan

RESUMO

Subluxação do ombro é a complicação musculoesquelética mais comum das afecções do Sistema Nervoso Central e Periférico, que leva a diminuição do movimento, da função e aumento de dor. Órtese é um dos recursos auxiliares utilizados no tratamento desta patologia e visa corrigir deformidade, diminuir dor e proporcionar função ao membro acometido. **Objetivo:** Este trabalho propõe uma nova metodologia para projetar e fabricar órteses customizadas estabilizadoras de ombro utilizando as tecnologias de aquisição 3D por escaneamento e de fabricação por Impressão 3D, e assegurar melhor adaptabilidade e maior conforto para o usuário. **Método:** A metodologia utilizada neste estudo foi dividida em cinco fases: estudo de caso, escaneamento, modelagem e impressão em 3D; e acabamento. O estudo de caso do usuário com lesão de plexo braquial motivou o projeto de desenho original de órtese híbrida, personalizada e manufaturada em 3D, usando estrutura rígida e faixas de tração, com objetivo de estabilizar o ombro, diminuir a dor e permitir função. **Resultados:** Após escaneamento em 3D utilizou-se softwares especializados para processar a imagem tridimensional STL. Realizaram-se otimizações do projeto com geração de modelos e peças prototipadas em FDM; avaliada pelo usuário. O conceito desenvolvido foi: órtese personalizada, fácil de higienizar e vestir, resistente, articulada, veste nos dois braços com faixas de tração em tecido rígido acoplado à cintura. **Conclusão:** O teste com usuário corroborou com o conceito projetado e mostrou um protótipo preliminar com bom acoplamento ao tronco, tração satisfatória e possibilidade de realizar um maior número de AVD's com menos dor e/ou sensação de cansaço.

Palavras-chave: Extremidade Superior, Aparelhos Ortopédicos, Desenvolvimento Tecnológico, Impressão Tridimensional

ABSTRACT

Subluxation of the shoulder is the most common musculoskeletal complication of Central and Peripheral Nervous System disorders, which leads to decreased movement, function, and increased pain. **Objective:** Orthosis is one of the assistive devices used in the treatment of this pathology and it focuses in correcting deformity, decreasing pain and providing function to the affected member. This study proposes a new methodology for designing and manufacturing customized shoulder stabilization orthoses with 3D scan image acquisition and 3D printing technologies, for ensuring better adaptability and comfort for the user. **Method:** The methodology used in this study was divided into five phases: case study, scanning, modeling and 3D printing; and finishing. The case study included a user with brachial plexus injury that motivated the original design of hybrid orthosis, personalized and manufactured in 3D, with rigid structure and traction straps, for stabilizing the shoulder, reduce pain and allowing function. **Results:** After 3D scanning, we used specialized software to process the three-dimensional STL image. Optimization of the project with generation of models and prototyped parts in FDM based on the user evaluations was performed. The developed concept was: personalized orthosis, easy to clean and wear, resistant, articulated, for wearing in both arms with traction straps in rigid fabric coupled to the waist. **Conclusion:** The user test corroborated with the designed concept and showed a preliminary prototype with good trunk coupling, satisfactory traction and possibility of performing a greater number of ADLs with less pain and/or tiredness.

Keywords: Upper Extremity, Orthotic Devices, Technological Development, Printing, Three-Dimensional

¹ Doutoranda em Bioengenharia. Programa Interunidades em Bioengenharia FMRP/EESC/IQSC – USP, Terapeuta Ocupacional do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto - FMRP-USP.

² Livre-Docente, Curso de Terapia Ocupacional, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP.

³ Mestrando em Engenharia Mecânica. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.

⁴ Livre-Docente, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC-USP

Endereço para correspondência:
Centro de Reabilitação do Hospital das Clínicas – FMRP-USP

Serviço de Terapia Ocupacional / Danielle Aline Barata Assad
Av. Bandeirantes, 3900
Ribeirão Preto – SP
CEP 14040-900
E-mail: danielle.aline.barata@gmail.com

Trabalho submetido em 15/11/2017.
Trabalho aceito em 23/02/2018.

INTRODUÇÃO

Órteses, segundo a Organização de Normas Internacionais (International Standards Organization) é um dispositivo externo ao corpo e é usado para modificação de características funcionais e/ou estruturais do sistema neuromusculoesquelético. Em função da especificidade de cada indivíduo, este dispositivo poderá ter objetivos diversos, como estabilizar ou imobilizar, impedir ou corrigir deformidade, proteger contra lesão ou assistir a função.¹

De acordo com o sistema classificatório de órtese elaborado por Fess² ainda em uso corrente, as órteses são classificadas por três critérios: (1) as forças aplicadas de acordo com os planos espaciais que elas ocorrem; (2) o local anatômico que elas ocorrem (3) o objetivo cinemático principal da órtese.

Quanto à fabricação, as órteses podem ser classificadas em dois tipos: pré-fabricada que possui tamanho definido sendo fabricada em série e geralmente confeccionada em oficinas ortopédicas especializadas com material termomoldável de alta temperatura e outros materiais; e confeccionada sob medida que geralmente é confeccionada pelo terapeuta diretamente sobre a pele do paciente respeitando suas individualidades e sempre avaliando princípios anatômicos e as forças aplicadas para determinar sua eficácia, conforto e proteção adequada à articulação.^{3,4}

Existem vários modelos de órteses para a estabilização do ombro no mercado, como tipóias de um ou dois apoios, que acabam por imobilizar também o cotovelo. Dos modelos que não imobilizam o cotovelo o mais utilizado para o tratamento da subluxação do ombro, é o Suporte para Úmero, modelo fabricado pela Mercur[®], de neoprene. Na experiência clínica, nota-se associado aos relatos dos pacientes que o tecido é muito flexível, não sendo resistente o bastante para manter a correção, já que com o uso frequente, o tecido acaba por ceder e não realiza a tração necessária para posicionar o úmero na fossa glenóide.

Além disso, a estabilidade do ombro é de extrema importância para uma movimentação adequada das articulações mais distais e consequentemente possibilitar os movimentos necessários para o desempenho da função através do membro superior (MS) nas atividades cotidianas. O ombro é também importante na função de equilíbrio durante a marcha através do balanceio do MS, sendo assim um componente ativo na locomoção em cadeira de rodas e nas transferências.⁵

Assim, considerando a importância da manutenção da funcionalidade dos indivíduos com acometimento do ombro, em decorrência da redução da força, são necessários estudos com o objetivo de buscar novas alternativas que minimizem a dor e a consequente perda da funcionalidade destes indivíduos.

A impressão 3D (ou Manufatura Aditiva) é uma tecnologia cada vez mais empregada no desenvolvimento de produtos, visto o seu potencial de aplicação. O processo, de maneira geral, consiste na deposição de sucessivas camadas de material uma sobre a outra, partindo de uma geometria modelada em um sistema CAD 3D (Computer Aided Design). Dispositivos de Tecnologia Assistiva também são fabricados com a manufatura aditiva. No caso das órteses, por ser uma tecnologia emergente, há ainda poucas pesquisas científicas divulgadas referentes ao ombro, e há fortes indícios de que esta tecnologia pode favorecer o processo de desenvolvimento destes dispositivos. Um dos fatores indicativos é a velocidade de produção de peças únicas.^{6,7}

Sendo assim, a impressão 3D é uma tecnologia muito apropriada para agilizar a fabricação de órteses personalizadas, já que pode minimizar o tempo de manufatura, apesar dos problemas com imprecisão e desconforto.

OBJETIVO

Este trabalho objetiva apresentar uma nova metodologia para o desenvolvimento de órteses customizadas estabilizadoras de ombro utilizando tecnologias como o escaneamento e a Impressão 3D para assegurar uma melhor adaptabilidade e maior conforto para o usuário.

MÉTODO

A aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de produtos de saúde seguem as seguintes etapas: a) Estudo de caso, b) escaneamento em 3D, c) modelagem 3D, d) impressão em 3D e e) acabamento.⁸ Seguidos por um processo de avaliação do produto pelo usuário e pela terapeuta ocupacional.

O conceito da órtese desenvolvida foi baseado em pesquisa bibliográfica, de patentes e de mercado que resultou no esboço apresentado na Figura 1. As partes rígidas têm a função de melhor distribuir as tensões visando direcionar as cargas para as proeminências ósseas e a personalização visa distribuição de tensão pelo melhor acoplamento com o corpo também com conhecimento clínico se evita a concentração de tensão em pontos susceptíveis às lesões de pele e de causa de dor. A parte colorida em laranja mostra a peça estrutural, rígida, prototipada em ABS e a as partes em azuis são as cintas de tração (fita de cinto de segurança automotivo) unidas por velcro e fixadas na cintura. A tração será controlada pelas cintas transversais no braço e as cintas cruzadas nas costas têm o objetivo de melhor posicionar a escápula, para que esta não fique alada.

ESTUDO DE CASO

G.O., 26 anos, casado, destro, profissional da área de Ciências Contábeis assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido de acordo com o Processo HCRP no. 15916/2014 e seguindo a resolução Conselho Nacional de Saúde 466/12; que autoriza todas as etapas do desenvolvimento deste estudo. Ele sofreu

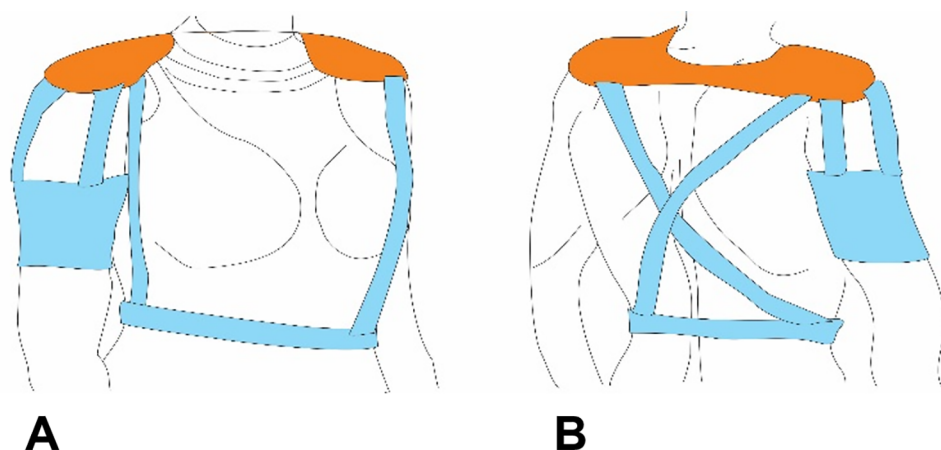


Figura 1. Esboço do conceito da órtese em desenvolvimento. (A) vista frontal; (B) vista posterior.

um acidente com motocicleta há 2 anos e apresenta, como seqüela, lesão de plexo braquial à esquerda

Após 1 mês da lesão foi encaminhado para a reabilitação uma vez por semana (60 min) e iniciou o uso de órtese posicionadora estática de punho e tipóia de 1 apoio por aproximadamente 6 meses, quando a terapeuta ocupacional indicou a órtese estabilizadora de neoprene.

ESCANEAMENTO EM 3D

Para aquisição digital da anatomia e estudo biomecânico do ombro do usuário foi realizada a digitalização em 3D do usuário utilizando o Scanner Sensue[®] da 3D System, com o terapeuta ocupacional posicionando o membro acometido de maneira a posicionar a cabeça do úmero na cavidade glenóide, corrigindo a subluxação do ombro.

Na Figura 2 (A-C) têm-se as vistas frontal, lateral e posterior do usuário sem a órtese e o desenho em 3D do usuário armazenado em STL (Stereo Lithography) conforme a Figura 2 (D-F); a imagem foi segmentada no volume de interesse e gerada uma superfície externa que foi convertida em CAD.

MODELAGEM EM 3D

Os métodos de geração de modelo foram desenvolvidos a partir do modelo do colete em CAD (Solid Edge ST9) com as dimensões superiores do indivíduo e conversão para o formato STL. No software Magics[®] 18.03 foi feita uma sobreposição do modelo com o scanner trabalhado do indivíduo seguido de operação booleana de subtração, foi realizada uma seleção da região de interesse da imagem 3D escaneada, o tronco superior e a cabeça foram removidos (Figura 3A) e restou o tronco (Figura 3B); considerando que entre o colete e o indivíduo há necessidade de ter uma distância de 5 mm para acolchoamento, opções foram feitas:

Opção 1: gerada sobre o tronco uma superfície (Tools-Making-Mark Surface) e com a operação Off Set Part é selecionada a espessura de 5 mm (Outside) (Figura 3C). A Figura 3D mostra o novo volume e a Figura 3E apenas para ilustrar a superioridade dimensional com relação à cabeça. O modelo do colete em CAD convertido em STL foi posicionado sobre o tronco com espessura excedente de 5 mm (Figura 3F) e realizado operação booleana de subtração e o resultado é mostrado pelas Figuras 3G e 3H.

Opção 2: O modelo do colete em CAD convertido transformado em formato STL e posicionado sobre o tronco espessurado e realizada operação booleana de subtração com a opção clearance de 5 mm.

Opção 3: Foi desenvolvida uma alternativa diretamente sobre o tronco superior e feita dupla espessurização de 5 mm cada, a espessurização intermediária foi removida para ser ocupada pelo acolchoamento e a superior trabalhada mediante operações booleanas de subtração diretamente no software Magics onde foram consideradas as áreas para apoio sobre o ombro e sobre a escápula bem como atenção aos graus de liberdades, certamente os graus de liberdade do lado acometido foi diferente do lado natural que requereu maior movimentação, conforme a Figura 3 (J-N):

Opção 4: O modelo foi desenvolvido diretamente sobre o tronco superior e trabalhado mediante operações booleanas de subtração diretamente no software Magics.

IMPRESSÃO EM 3D

Visando verificar se o processo utilizado para a impressão em 3D levou ao bom acoplamento, o modelo foi reduzido e fragmentado para as dimensões da máquina de prototipagem em tamanho reduzido. Foi dado um afastamento geral de 5 mm previsto para forração, já apresentando os orifícios retangulares para a passagem das tiras.

Após a impressão em 3D do modelo da órtese em tamanho reduzido foi percebida o completo acoplamento da órtese no protótipo do usuário em tamanho reduzido.

A órtese foi impressa em 3D em tamanho real, utilizando a Dimension Elite Stratasys[®] e para a confecção das peças a máquina Dimension Elite foi utilizado o termoplástico Stratasys[®] ABS plus. Segundo a fabricante, esse termoplástico é até 40% mais resistente que um ABS convencional e suas propriedades mecânicas o tornam ideal para a produção de protótipos e peças finais, já que oferece maior resistência mecânica e estabilidade dimensional.

A tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling) faz o uso de estruturas e materiais de suporte durante a impressão das peças, a fim de conferir maior estabilidade dimensional e de forma. O material utilizado para as estruturas de suporte é diferente do material utilizado para a confecção das peças, nesse caso o material utilizado foi o polímero SR30L, também da Stratasys[®].



Figura 2. Paciente G.O. (A) vista frontal; (B) vista lateral; (C) vista posterior. Digitalização em 3D do potencial usuário de órtese a ser desenvolvida. (D) vista frontal; (E) vista lateral; (F) vista posterior.

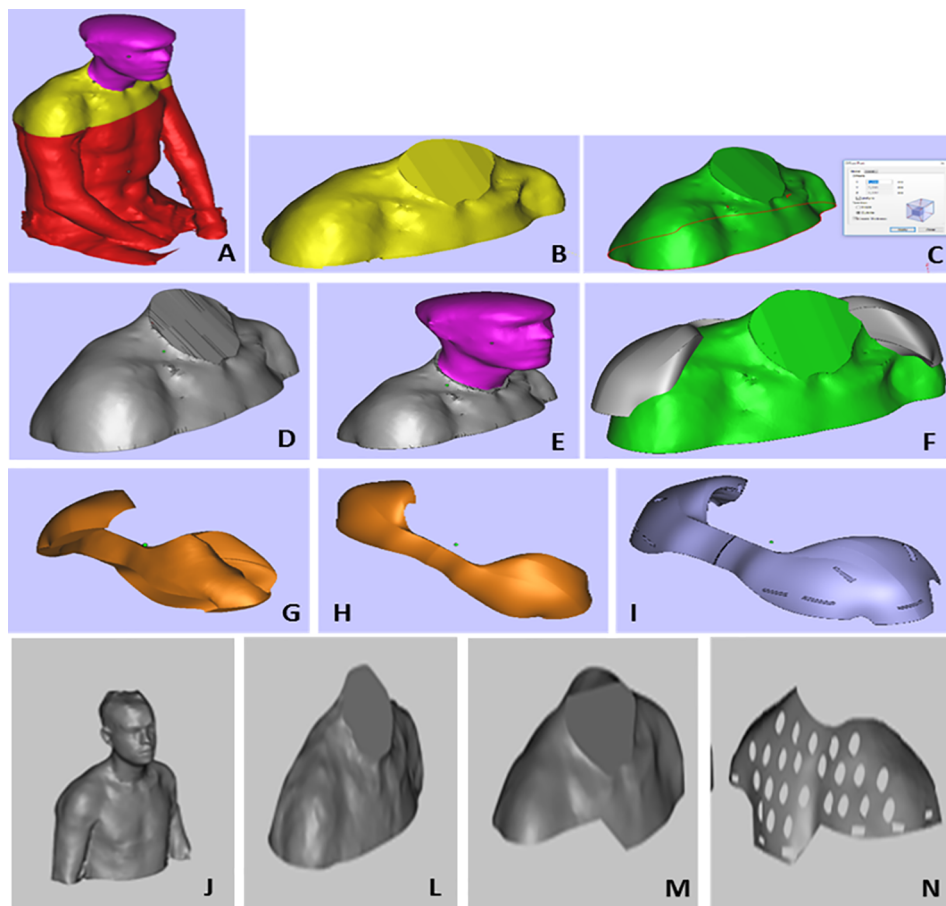


Figura 3. (A) – (I) Imagem em 3D do usuário e os cortes realizados para a opção 1, (J) – (N) Imagem em 3D do usuário e os cortes realizados para a opção 3.

Para realizar a comunicação entre PC e a máquina de AM utilizou-se o software específico CatalystEX. Esse software permite que os arquivos STL oriundos do software CAD sejam convertidos em trajetórias de impressão 3D, incluindo estruturas de suporte.

ACABAMENTO

Foram confeccionadas as cintas de tração (cinto automotivo) para transpassar cruzadas no tronco do usuário na vista posterior e paralelamente na vista anterior. Foi confeccionada a tira abdominal e tira para o braço em neoprene, especificamente na região do músculo Bíceps; nessa tira foram confeccionadas três tiras paralelas para intensificar a tração superior baseado nas três porções do músculo deltoide, que recobre o ombro: a porção anterior (clavicular) fixa-se ao terço lateral da clavícula; a parte média (acromial) prende-se à margem lateral do acrômio da escápula e a parte posterior

(espinal) origina-se na parte inferior da margem posterior da espinha da escápula.

RESULTADOS

Até o momento foram manufaturadas 3 versões da órtese e G.O. respondeu ao questionário de satisfação da órtese de cada versão. As respostas guiaram as modificações realizadas associando-se à expertise dos pesquisadores.

As questões abordaram aspectos como: dor, posicionamento, segurança, conforto do tecido, conforto térmico, higiene, facilidade para vestir, impacto na realização das atividades cotidianas e no andar, durabilidade, resistência do tecido e design (tipo de modelo de órtese). As opções de resposta eram escalonada (0 a 10) baseada na Escala de Likert, permitindo a pontuação do pior para o melhor em cada situação.

Os pesquisadores definiram que as notas abaixo de 5 (50%) deveriam ser levadas em

consideração e serem norteadoras das modificações no design.

G.O. respondeu ao questionário referente à órtese de neoprene, que já fazia uso, mas que referia não auxiliar na dor e na função de estabilizar o ombro, sentindo um grande peso e cansaço o que dificultava a realização das atividades cotidianas. Referiu como quesitos com notas abaixo de 5 (50%) na órtese de neoprene: dor, posicionamento, marcha, realização das AVD's e o material.

AVALIAÇÃO

Após ser impresso, G.O. realizou o teste com a primeira versão da órtese, que foi prototipado em duas peças seguindo o conceito apresentado anteriormente, unidas por parafuso no centro, com espessura de 10 mm.

No primeiro momento foi utilizada a órtese sem a forração, para facilitar a visualização das estruturas e seu acoplamento, o que acabou por gerar desconforto e hiperemia devido ao atrito excessivo na região do pescoço contrária a lesão, visto que foi manufaturada com 5 mm de folga, o que apontou para necessidade de adequação do design e da confecção de forração. Foi confeccionada a forração para a toda a região do colete (região do músculo trapézio bilateral) e a partir disso, G.O. respondeu ao questionário de avaliação da órtese; após o uso no setting terapêutico por 60 minutos, com simulação do alcance de objetos, e de treino de AVD's e AIVD's (alcance de objetos em armários, uso de computador, etc.).

G.O. elencou como quesitos com nota abaixo de 5 na primeira versão da órtese desenvolvida em 3D: dor (4); conforto térmico (3); facilidade para vestir (2); realização das atividades cotidianas (4). A partir desses apontamentos, o projeto do protótipo da órtese foi modificado.

A segunda versão de órtese foi impressa em duas partes e uma peça guia para fixação a partir de parafusos no centro, a espessura foi diminuída.

Baseados nos quesitos necessários de melhoria foram feitas as seguintes modificações no protótipo:

Dor: foi realizado novo escaneamento com alta resolução, a órtese foi impressa novamente e com espessura menor (5mm) para reduzir o peso da peça e aumentar o conforto do usuário foi inserida mais uma tração na parte posterior do lado não lesado e modificado o design da órtese com uma extensão na região da escápula.

Conforto térmico: a órtese foi confeccionada com mais espaços para diminuir a área

de contato com a pele (10 mm), sendo perfurada e assim permitindo a ampliação da respiração e diminuição da temperatura durante o uso, a forração utilizada também foi diminuída para somente as áreas de contato da órtese impressa;

Facilidade para vestir: a forração da órtese foi confeccionada no formato “camiseta” permitindo que o usuário vestisse sem a necessidade de auxílio de outra pessoa, e diminuíram-se as etapas para vestir as peças da órtese;

Realização das atividades cotidianas: para permitir o movimento livre e ativo do lado contralateral sadio (sem parésia), foram necessárias outras modificações no design da órtese, pois ainda neste segundo protótipo houve limitação do movimento do MSD provocando o deslizamento da órtese para o lado lesado.

O usuário testou a segunda versão do protótipo realizando as mesmas etapas do teste com a primeira versão do protótipo e elencou que os quesitos com nota abaixo de 5 do primeiro teste com a órtese melhoraram. O segundo protótipo atendeu em grande parte das necessidades de melhorias e com manutenção de alto grau de satisfação do usuário nos quesitos: posicionamento, segurança, conforto do tecido, andar e design (tipo de modelo de órtese). Ainda no quesito “Realização das atividades cotidianas”, notou-se como principal razão para a limitação do movimento do braço sadio sem lesão, e por isso modificou-se o design da órtese a partir de uma dobradiça na porção posterior do ombro.

O usuário testou a órtese com a terceira versão da órtese de ombro em setting terapêutico, executando as mesmas atividades que realizou com o primeiro protótipo e apresentou melhora na satisfação quanto à realização das atividades cotidianas, já que a dobradiça permitiu o movimento completo do ombro do braço sadio (Figura 4).

Algumas questões foram apontadas para melhoria, como a modificação da faixa da cintura para um cinto na calça ou utilizar faixas como nos equipamentos de segurança de escalada. Também de se estender o design a órtese rígida na região do ombro não lesado (região do deltóide) e inserir mais uma dobradiça na região do acrômio visando melhor acoplamento após estar com a tração, evitando assim possível deslocamento da órtese no sentido da tração.

Comparando a avaliação do usuário da primeira versão com a segunda versão e após a terceira versão, temos significativa melhora nos quesitos: design, realização das atividades

cotidianas, andar, facilidade para vestir, higiene e posicionamento (Figura 5).

Visando averiguar a correção da deformidade foi realizado exame de Raio-X com e sem a órtese, na vista anterior (AP) e lateral (perfil), conforme mostram a Figura 6.

Analisando os exames de Raio-X temos que atualmente, o usuário não apresenta subluxação estática (RX com vista lateral a medida não apresenta alteração com e sem a órtese), porém apresenta subluxação dinâmica (tem os sintomas da subluxação quando em movimento, ou seja durante a realização das atividades cotidianas e durante a marcha). A partir do relato do usuário a órtese minimi-

zou os sintomas da subluxação e promoveu melhora da funcionalidade. Em relação ao RX com vista anterior, nota-se que a órtese realiza uma tração, pois há modificação da postura do úmero na cavidade glenoide.

DISCUSSÃO

O modelo mais usado para descrever a Tecnologia Assistiva que inclui as órteses, atualmente, conhecido como Human Activity Assistive Technology Model (HAAT Model), define que, a integração entre o cliente, a atividade a ser realizada e o equipamento devem estar em harmonia, para que a atividade seja facilitada.



Figura 4. Teste com a terceira versão do protótipo da órtese de ombro. (A) Vista Anterior; (B) Vista Posterior; (C) Alcance maior que 90°; (D) Realização de Preensão de Objeto; (E) e (F) Alcance menor que 90°; (G) e (H) Utilização de computador.

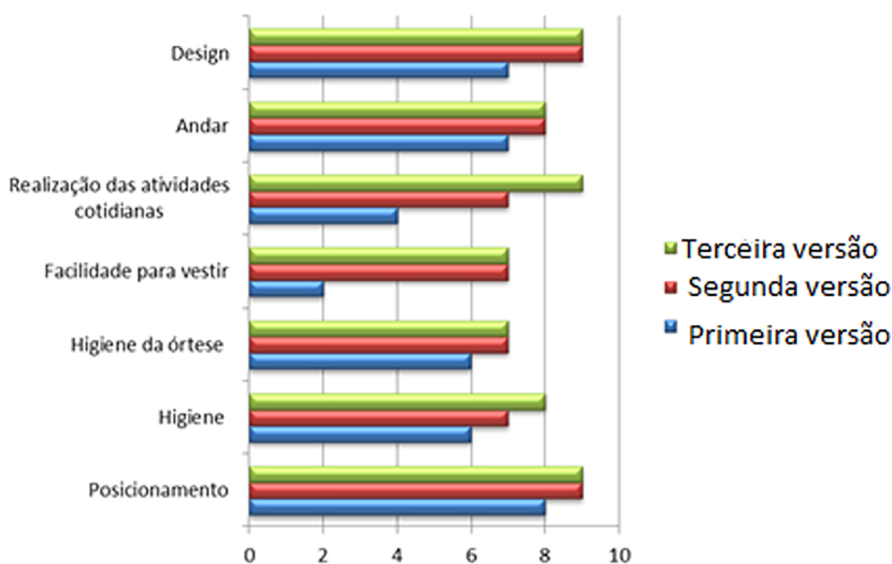


Figura 5. Comparação da avaliação do usuário dos protótipos da órtese de ombro.

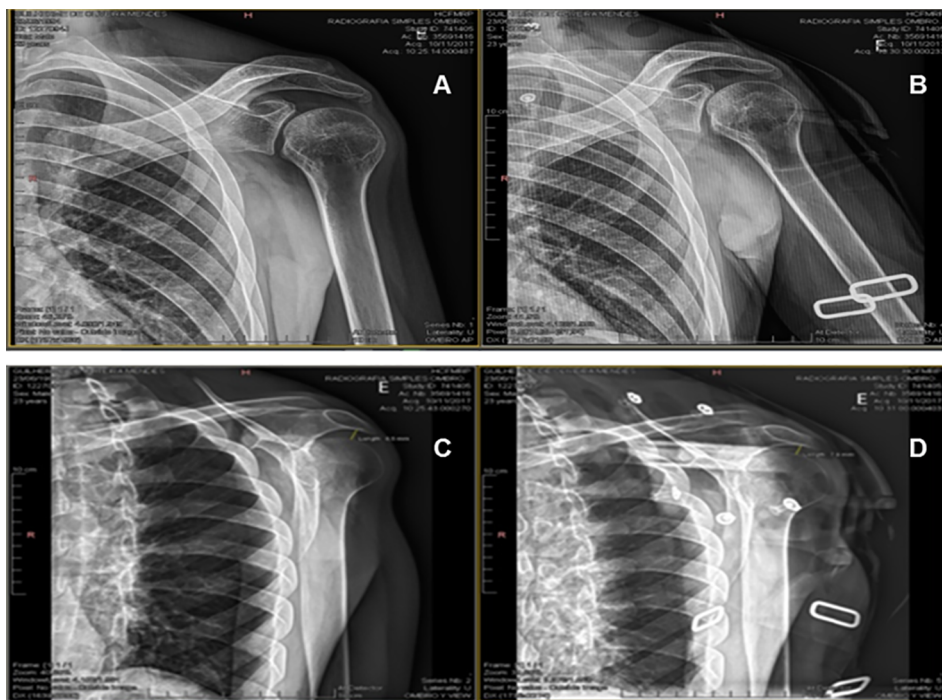


Figura 6. Exame de Raio-X, (A) vista anterior sem a órtese; (B) vista anterior com a órtese (C) vista lateral sem a órtese; (D) vista lateral com a órtese.

Outro ponto muito importante está em contemplar o “client-centered approach”, isto é, uma abordagem que seja centrada no cliente.⁹

Baseado neste modelo os produtos de Tecnologia Assistiva desenvolvidos sem consideração das necessidades humanas, contextuais, e as influências são facilmente susceptíveis de não satisfazer as necessidades do utilizador. Por esse motivo, defendem-se estudos preparatórios que investiguem estas necessidades antes de um produto ser projetado. Por isso, as experiências dos indivíduos com deficiências são partes críticas da pesquisa e desenvolvimento da TA, sendo esse processo necessário para apoiar a identificação da necessidade de um produto e avaliar o sucesso de cada interação de design para atender a essa necessidade.¹⁰

Fisk et al. distinguem a utilidade do dispositivo e a usabilidade. Considerando que a utilidade descreve o quão bem o dispositivo atende a sua função pretendida, a usabilidade descreve o quão bem ao usuário pode acessar a funcionalidade do dispositivo.¹¹

O processo de desenvolvimento do protótipo da órtese de ombro seguiu as duas principais perspectivas de análise de usabilidade. Em primeiro lugar, o objetivo foi identificar e corrigir

problemas que uma pessoa encontra ao usar o dispositivo e o segundo envolve a realização de várias tarefas com o dispositivo e análise do desempenho do usuário. Embora ambos forneçam informações úteis sobre problemas com o uso do dispositivo, o segundo tipo de análise fornece detalhes nas etapas necessárias para usar o dispositivo, bem como requisições cognitivas, comunicativas, sensoriais e físicas deste.¹¹

Assim, o desenvolvimento do protótipo e o teste com o usuário possibilitou a troca entre pesquisadores e usuários de informações importantes quanto ao uso, as necessidades de melhorias, adequação do posicionamento e modificações necessárias para manter a funcionalidade do usuário e dessa forma, foi possível projetar modificações para o projeto que possibilite a aceitabilidade do público.

CONCLUSÃO

A órtese teve uma avaliação favorável pelo usuário, já que apresentou efetividade quanto ao posicionamento e segurança, permitindo que o usuário realize as atividades de vida diária e instrumentais e a marcha independentemente. O design da órtese foi aprovado pelo

usuário, porém com necessidade de melhorias ainda nos quesitos de conforto do tecido e conforto térmico da faixa da cintura.

Assim, a preocupação de gerar um produto que atendesse todas as exigências físicas dos usuários e que também atendesse aos anseios e desejos dos consumidores orientaram o desenvolvimento do protótipo, e concentrou-se primordialmente em aspectos relacionados à funcionalidade do produto, os aspectos estéticos foram considerados secundários.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Reabilitação do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto por possibilitar a realização deste estudo e ao Laboratório de Tribologia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP pela parceria no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Rodrigues AVN, Souza ACA, Galvão C. Órtese e prótese. In: Souza ACA, Galvão C. Terapia Ocupacional: fundamentação & prática. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 435-50.
- Fess EE. Splints: mechanics versus convention. *J Hand Ther.* 1995;8(2):124-30. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0894-1130\(12\)80309-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0894-1130(12)80309-7)
- Teixeira E, Sauron FN, Santos LSB, Oliveira MC. Terapia ocupacional na reabilitação física. São Paulo: Roca; 2003.
- Elui VMC, Oliveira MHP, Santos CB. Órteses: um importante recurso no tratamento da mão em garra móvel de Hansenianos. *Hamen Int.* 2001;26(21):105-11.
- Correia AN. Estudo da biomecânica do ombro [Dissertação]. Porto: Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia; 2011.
- Volpato N. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher; 2007.
- Hopkinson N, Hague R, Dickens P. Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age. Chichester: Wiley; 2006.
- Palousek D, Rosicky J, Koutny D, Stoklásek P, Navrat T. Pilot study of the wrist orthosis design process. *Rapid Prototyping J.* 2014;20(1):27-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/RPJ-03-2012-0027>
- Allegretti AL. Um panorama sobre a tecnologia assistiva. *Cad Ter Ocup UFSCar.* 2013;21(1):1-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cto.2013.001>
- Cook AM, Polgar JM. Principles of assistive technology: introducing the human activity assistive technology model. In: Cook AM, Polgar JM. Assistive technologies - principles and practice. 4th ed. St. Louis: Elsevier; 2015. p.1-15.
- Fisk AD, Rogers WA, Charness N, Czaja SJ, Sharit J. Designing for older adults: principles and creative human factors approaches. Boca Raton: CRC Press; 2009.