

## ÓRTESE DINÂMICA PARA REABILITAÇÃO DE MEMBRO SUPERIOR

Flavio Marcel Mendes de Queiroz, MSc. Michele Sales Schünemann, Rafael Henrique de Oliveira Costa

UNIVERSIDADE POSITIVO, Curitiba, Brasil

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ, Curitiba, Brasil

UNIVERSIDADE POSITIVO, Curitiba, Brasil

e-mail: [mendesdequeiroz@gmail.com](mailto:mendesdequeiroz@gmail.com), [micheleschunemann@gmail.com](mailto:micheleschunemann@gmail.com), [rhocosta@gmail.com](mailto:rhocosta@gmail.com)

**Resumo:** A intenção deste trabalho é desenvolver uma órtese dinâmica para uso na reabilitação do membro superior de pacientes com sequelas resultantes de lesões dos nervos periféricos, lesões medulares e do plexo braquial, por exemplo. O projeto fornece uma solução biomecânica para movimentos de extensão da mão, trazendo funcionalidade ao membro em processo de reabilitação. Usam-se tecnologias de manufatura aditiva com impressão 3D com matéria-prima polimérica. Ao final do trabalho, chega-se a um projeto que apresenta vantagens se comparado aos equipamentos existentes no mercado, em especial pelo baixo custo do material empregado e do processo de Prototipagem Rápida.

**Palavras-chave:** órtese dinâmica, impressora 3D, FDM, prototipagem rápida.

**Abstract:** *The intention of this work is to develop a dynamic orthosis for use in upper limb rehabilitation of patients with sequelae resulting from injuries of peripheral nerves, spinal cord injury and brachial plexus injury, for example. This project provides a biomechanical solution for the hand extension movements, bringing functionality to the member in rehabilitation process. It uses additive manufacturing technologies with 3D printing with polymer raw material. At the end of this work, was developed a project, presenting many advantages when compared to existing equipment in the market, especially the low cost of the material used and the process of Rapid Prototyping.*

**Keywords:** *dynamics orthosis, 3D printing, FDM, rapid prototyping*

### Introdução

A mão apresenta capacidade sensorial, de discriminação, de apreensão (segurar objetos), de movimentação complexa e delicada, sendo clara sua importância funcional. Lesões traumáticas dos membros superiores podem acarretar sequelas tais como deficiências motoras ou sensitivas, muitas das quais permanentes e que afetam tanto as atividades funcionais do dia-a-dia, bem como as atividades profissionais antes exercidas [7].

A terapia da mão é o tratamento que consiste na avaliação e aplicação de técnicas para prevenir disfunção, restabelecer a função ou impedir a evolução

de doenças que levem a pessoa à incapacidade de usar adequadamente o membro superior nas atividades diárias [5].

Há indicação de tratamento com uso de órteses em indivíduos que apresentam alterações neurológicas como auxílio ao tratamento já realizado. Elas controlam, preservam, modificam e aumentam a mobilidade com o objetivo de corrigir desvios e contraturas articulares, retrações tendinosas e, dessa maneira, proporcionar tratamentos menos dolorosos, inegavelmente mais modernos e que propiciam períodos de recuperação muitas vezes mais curtos [1].

Possibilita ainda estabilizar ou promover o repouso das articulações, tendões, ligamentos e músculos; manter um determinado alinhamento ósseo; evitar deformidades e contraturas em posição viciosa; evitar movimentos indesejados; reduzir gradativamente contraturas, à fim de aumentar a amplitude de movimento articular; promover o alongamento muscular e das partes moles; substituir a função muscular perdida ou debilitada; manter as melhoras conseguidas através de manipulações cirúrgicas corretivas ou outros processos reconstrutivos; aliviar a dor; simular resultados cirúrgicos e restaurar a função [6].

Segundo Ferrigno [5], o principal objetivo dos dispositivos ortopédicos é promover o equilíbrio biomecânico por meio da aplicação de forças de contenção externa ao segmento comprometido, auxiliando, assim, na recuperação funcional.

A órtese dinâmica em estudo visa a utilização de tecnologias de prototipagem rápida com impressão 3D, em impressora do tipo *Fused Deposition Modeling* (FDM), utilizando matéria-prima polimérica de baixo custo e facilmente encontrada no mercado, como o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), material plástico muito comum, com resultados muito positivos.

### Materiais e métodos

A partir dos modelos avaliados, aplica-se a metodologia de *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) a fim de obter uma solução otimizada do produto, ou seja, busca-se um produto que atenda todas as especificações vistas nos concorrentes, acrescentando melhorias relacionadas às condições de uso, fabricação e montagem da órtese, tendo como consequência maior valor agregado.

**DFMA – Design for Manufacturing and Assembly** – A metodologia DFMA, sigla em inglês correspondente a Projeto para Manufatura e Montagem, é geralmente separada em duas: o projeto para manufatura (DFM) e o projeto para montagem (DFA). Segundo Rozenfeld [10], o DFM (Design for Manufacturing) é uma abordagem que enfatiza aspectos da manufatura ao longo do processo de desenvolvimento do produto com vistas a reduzir custo sem perder qualidade. Já o DFA (Design for Assembly), está ligado à montagem do produto e visa obter informações sobre as várias alternativas de projeto ponderando-se características como o número total de componentes, a dificuldade de manipulação e inserção e o tempo de montagem.


A partir da análise de DFMA define-se que o produto proposto atenderia as seguintes condições de melhoria:

- Eliminação de componentes metálicos.
- Fabricação da estrutura principal em uma única peça, eliminando montagens e elementos de fixação.
- Possibilitar a manutenção e substituição de peças móveis e elementos de tração de forma simples e segura.

Definido o perfil do projeto, volta-se o estudo para a identificação do método a ser empregado na fabricação do produto proposto. Nesta fase é definida também a matéria-prima que será utilizada.

O levantamento dos dados antropométricos do voluntário é realizado utilizando um Paquímetro Digital de 150mm/6”, Resolução 0,01mm/.0005”, Exatidão ±0,02mm, modelo Absolute, marca Mitutoyo e estão apresentados na Tabela 1. A força de prensão da mão foi obtida utilizando-se um dinamômetro hidráulico Jamar® com graduação de 0 a 90 kgf. O valor de 25 kgf foi utilizado nas Análises por Elementos Finitos (FEA) por ter sido o pico nos testes realizados. Foi utilizada a mão esquerda do voluntário, um homem de 31 anos, 1,73m de altura, 72kg, com perda de extensão dos dedos devido à lesão traumática dos nervos periféricos.

Tabela 1: Antropometria do Voluntário.

Mão Esquerda	Posição	Valor (mm)
	DM01	48
	DM02	50
	DM03	50
	DM04	55
	DM05	50
	DM06	55
	DM07	43
	DM08	43
	DM09	29
	DM10	80
	DM11	77
	DM12	72
	DM13	55

O protótipo da órtese é desenvolvido para um paciente específico visto que o modelo tridimensional da órtese é baseado nos dados apresentados. Este modelo será utilizado na concepção do produto através de impressão 3D.

Análises por elementos finitos são geradas a fim de garantir que o produto resista aos esforços aos quais deverá ser submetido durante sua utilização.

O próximo passo compreende a fabricação do protótipo estabelecido. Realiza-se um estudo de FMEA com o objetivo de evitar falhas no produto final.

**Processos e Tecnologia** – Diversos métodos estão sendo apresentados e desenvolvidos sobre a prototipagem rápida ou impressão 3D. Nos dias atuais os centros de investigação e pesquisa de universidades, como de Austin/Texas nos EUA, e da Loughborough University no Reino Unido, apresentam resultados do *state-of-art* da Fabricação Rápida. Há divulgação dos resultados através da publicação de artigos científicos, até para que a indústria tome conhecimentos e aumente sua compreensão das capacidades e oportunidades proporcionadas pela tecnologia. Novos métodos, cada vez mais direcionados à prototipagem rápida, inovam e indicam soluções construtivas melhores e mais baratas. [4].

Existem dezenas de tecnologias de impressão 3D e diversas outras ainda em desenvolvimento, sendo mais comum a técnica que executa diversos fatiamentos do objeto ou figura, habitualmente na horizontal, com o intuito de se ter uma fina camada da figura que depois é impressa pelo processo de deposição de materiais, uma camada sobre a outra, até se obter o objeto desejado. Este material a ser depositado comumente é um plástico. Dentre os plásticos de engenharia utilizados geralmente, cita-se o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e o Ácido Poliático (PLA), mas há diversos outros [12].

Neste trabalho é proposta a utilização de impressora 3D direcionada ao processo de FDM, ou deposição de material fundido, utilizando como matéria prima do processo o ABS.

Atualmente há também fabricação de peças definitivas, o que é conhecido como Manufatura Digital Direta. Ocorre que, para manufatura de baixo volume, torna-se mais rentável e mais simples a impressão 3D direta do que ter que pagar e esperar pela usinagem ou ferramental. Assim também é permitida eventual alterações de design *on-the-fly* e possibilitando inventário *just-in-time* [12].

**PROJETO 3D** – Baseando-se na antropometria do voluntário é iniciada a construção do modelo tridimensional com auxílio de software de projetos (SolidWorks®, Solidworks Corporation, Concord, MA). Cria-se então o modelo representado na Figura 1, onde seus componentes estão listados na Tabela 2. As análises por elementos finitos são simuladas no mesmo software, assim como o arquivo com extensão “.stl”.

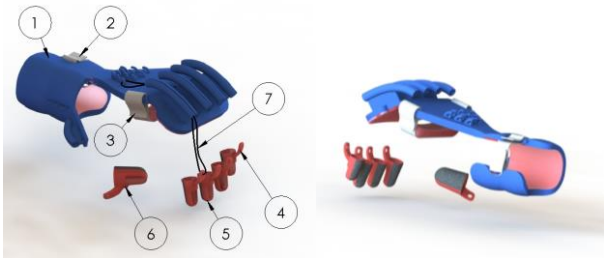


Figura 1: Modelo 3D da órtese dinâmica.

Tabela 2: Lista dos materiais.

Peça	Descrição	Material	Quantidade
01	Estrutura	ABS	01
02	Fixador Punho	Velcro	01
03	Fixador Mão	ABS	01
04	Órtese de Dedo P	ABS	01
05	Órtese de Dedo M	ABS	03
06	Órtese de Dedo G	ABS	01
07	Bandas de Borracha	Latex	05

**FEA – Finit Element Analysis** – A partir do modelo obtido tridimensionalmente, pode-se realizar algumas análises prévias que permitem definir melhorias a serem implementadas nas próximas etapas do projeto. Além das análises dimensionais, a Análise de Elementos Finitos (FEA) é de fundamental importância para buscarmos um protótipo seguro minimizando a quantidade de recursos utilizada.

Para a Análise de Elementos Finitos, gera-se uma malha de alta qualidade, contando com 37562 nós, para posterior definição dos critérios de material, as superfícies de engaste e as superfícies de aplicação de força.

Um estudo prévio de deformação quanto à deflexão máxima no ponto aplicação da carga pode ser observado na Figura 2.

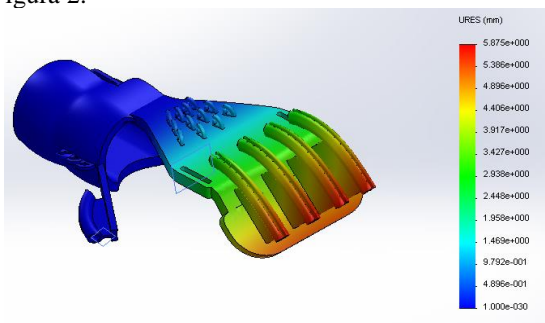


Figura 2: Análise de deflexão máxima.

### FMEA – Failure Mode and Effect Analysis –

Segundo ensina Puente et al [9] o FMEA tem sua origem na década de 1969 durante o projeto Apollo, da NASA (National Aeronautics and Space Administration), em que se idealizava método capaz de identificar sistematicamente possíveis falhas em todo o processo ou mesmo serviços. Interessava saber causas e efeitos destas falhas, já que assim seria possível eliminar ou ao menos reduzir o risco associado a elas associados.

Fundamentado nestes conceitos nascia a Análise de Modos e Efeitos de Falha, amplamente conhecido e

utilizado atualmente, na medida em que havendo conhecimento das potenciais causas de falhas, torna-se possível implementar ações para combatê-las e consequentemente reduzir-se o risco do produto ou processo [9].

Simões [11] indica a utilidade do FMEA no tocante à documentação organizada dos modos e os efeitos de falhas de componentes quando devidamente analisados, de forma que se investiga profundamente o componente levantando elementos, ações inadequadas com possibilidade de promover a interrupção ou degradação do seu funcionamento e até mesmo do sistema ao qual o componente faça parte.

Brocka [2] coloca que a utilização do método FMEA no desenvolvimento de algum produto hipotético necessita da formação de um grupo de trabalho, que definirá as funções e/ou características do produto, com estudo e listagem dos tipos de falhas que possam vir a ocorrer. Em seguida, deve-se indicar e analisar pormenorizadamente as possíveis causas e efeitos de cada tipo de falha listada, com as respectivas medidas de detecção e prevenção destas. Por fim, há que se atribuir índices de avaliação dos riscos com vistas a indicar medidas de melhorias.

Para Maddox [8], reconhecidamente o FMEA é uma das metodologias de análise de risco mais utilizadas no campo da engenharia de produto. A técnica possibilita conhecer-se a criticidade das possíveis falhas sobre outros componentes e sobre o sistema, ajudando na definição dos pontos críticos do projeto.

Estorilio et al [3] ao analisarem a aplicação do FMEA sobre um brinquedo, indicam que primeiramente há que se identificar todos os pontos passíveis de falhas e seus modos, efeitos e causas, os quais devem ser listados de acordo com a experiência da equipe para a determinação dos índices de Ocorrência (O), Gravidade (G), Detecção (D) e, consequentemente, Risco (R).

Seguindo no procedimento, há que se mensurar os índices, sendo que “O” varia de 1 para ocorrência remota a 10 para muito alta. Da mesma forma feito com o índice “G”, variando de 1 para gravidade mínima a 10 para muito alta. Continua-se com o índice “D”, que pode oscilar de 1 para detecção muito fácil a 10 para muito difícil. Multiplicando-se os três índices anteriores chega-se ao índice “R”. Este resultado para “R” deve ser comparado com valor previamente indicado como patamar, de forma que números acima deste corresponderiam a uma ação a ser tomada a fim de reduzir o risco.

### Resultados

Considera-se satisfatório o projeto em estudo que objetiva desenvolver um modelo de órtese dinâmica para uso na reabilitação de pacientes com sequelas no membro superior resultantes de lesões dos nervos periféricos, visto que a deflexão máxima apresentada em análise por elementos finitos, após a aplicação de 25 kgf, foi de 5,85mm, sem apresentar tensões que indiquem a ruptura do material.

## Discussão

Entende-se que o projeto desenvolvido apresenta o potencial a ser explorado com o uso de manufatura aditiva para a personalização de órteses dinâmicas destinadas a indivíduos em reabilitação. O crescente acesso às novas tecnologias nos leva a crer que seu uso na área de reabilitação tende a ganhar cada vez mais espaço, trazendo benefícios aos seus usuários.

## Conclusão

As sequelas em membros superiores impactam significativamente o cotidiano do paciente ao restringir de forma severa a funcionalidade do membro. A utilização de órteses se mostra extremamente eficiente ao atuar na correção e prevenção de deformidades bem como na reabilitação do membro, ao oferecer, no caso das órteses dinâmicas, o estímulo necessário para que a funcionalidade do membro seja reestabelecida, mesmo que parcialmente.

A solução apresentada para o tratamento de reabilitação do membro superior acometido de sequelas resultantes de neuropatias diversas, através de uma órtese dinâmica confeccionada por meio de manufatura aditiva em Impressão 3D por FDM se mostrou viável do ponto de vista técnico, visto que os custos empregados neste processo são mais baixos do que qualquer outro meio de manufatura convencional que pudesse vir a ser utilizado, e com potencial de criar conforto emocional ao paciente devido à possibilidade de personalização e consequente aspecto visual mais agradável. O potencial estímulo emocional à que se refere, é de extrema importância para avaliação do resultado final deste projeto, pois busca-se o conforto do paciente em reabilitação, aliado ao tratamento. Do ponto de vista estrutural, pode-se afirmar que o perfil proposto, definido através de ferramenta DFMA, aliado às escolhas de materiais a serem empregados na confecção, permitem a execução de um projeto seguro, capaz de empregar as cargas necessárias para que o objetivo de reestabelecer a funcionalidade do membro fosse alcançado, tendo sido submetido à análise de FMEA para avaliação de forma objetiva do potencial de falha de cada componente.

A obtenção da antropometria manual utilizando-se de métodos analógicos tende a ser substituído por métodos mais precisos de captação de imagens para a obtenção dos modelos, como tomografia computadorizada ou processos de *scanner* 3D.

## Agradecimentos

Agradecemos à nossa orientadora MSc. Michele Sales Schunemann pelo suporte durante essa pesquisa e pelo conhecimento compartilhado.

## Referências

- [1] BARROSO, P. N., Nova órtese de extensão de punho e abdução de polegar para crianças com paralisia cerebral: avaliação de suas contribuições para o incremento da funcionalidade manual, 2010.
- [2] BROCKA B.; BROCKA, M. S. Gerenciamento da Qualidade, São Paulo, Makron Books, 1994.
- [3] ESTORILIO, C. C. A.; LEITE, D. C.; SOUZA, G. C. B.; SANTOS, K. C. P. Melhoria do projeto de uma caminhonete de brinquedo com aplicação das técnicas de análise de valor, DFMA e FMEA. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro/RJ, 13-16 de outubro de 2008.
- [4] FELICIO, F. J. S.; Fabricação rápida no design. Uma abordagem na concepção de produto. Tese de Mestrado na Faculdade de Belas Artes, UNIVERSIDADE DE LISBOA, 2012.
- [5] FERRIGNO, I. S. V., Terapia da mão: fundamentos para a prática clínica. São Paulo: Santos Editora. Cap. 10, p. 123-137; 2007.
- [6] FESS, E. E. Principles and methods of splinting for mobilization of joints. In: HUNTER, J. M.; SCHNEIDER, L. H.; MACKIN, E. J.; CAHAN, A. D. Rehabilitation of the hand: surgery and therapy. St. Louis: Mosby, Cap.95, p.1589-1598, 1995.
- [7] FONSECA, M. C. R., Mazzer N, Barbieri CH; Elui VMC. Traumas da mão: estudo retrospectivo. Ver Bras Ortop; 41(5): 181-6, 2006.
- [8] MADDOX, M. E. Error apparent. Industrial Engineer, v.37, n.5, p. 40-44, 2005.
- [9] PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P., FOUENTE, D. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 19 n. 2, p. 378-397, 2002.
- [10] ROZENFELD, H. et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- [11] SIMÕES, S. F. Aplicação de FMEA e FMCA na Tecnologia Submarina. In: CENPES/PDP/TS PETROBRAS, São Paulo, 2004.
- [12] TAKAGAKI, L. K. CAPITULO 3. TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n.2, p.28-40, jul./dez., 2012.