

PRÓTESES MECÂNICAS PARA AMPUTADOS DE MEMBROS INFERIORES COM ÊNFASE NO PÉ

Reinaldo Batista Júnior¹, Giuseppe Mirlisena², Fábio Raia³

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie /Mecânica, Rua da Consolação 930, reinaldinho.batista@gmail.com

²Universidade Presbiteriana Mackenzie /Mecânica, Rua da Consolação 930, giu.eng@terra.com.br

³Universidade Presbiteriana Mackenzie /Mecânica, Rua da Consolação 930, raia@mackenzie.com.br

Resumo - O presente trabalho tem como objetivo principal verificar por meio de simulações numéricas qual comportamento, ao carregamento estático, em um modelo comercial de uma prótese para membros inferiores. Vários materiais foram ensaiados no sentido de produzir uma melhor adaptação às normas vigentes, bem como compatibilizar uma relação custo benefício adequada para esse tipo de seqüela. O trabalho também expõe de forma indireta, a necessidade de uma interação mais próxima entre teoria e prática no que se refere às simulações numéricas com o aquele do conteúdo programático apresentado nas escolas de nível superior.

Palavras-chave: Prótese, simulação numérica, elementos finitos.

Área do Conhecimento: Engenharias

Introdução

A perda de um membro ou parte dele representa uma mudança profunda nas atividades físicas e no bem estar psicológico do ser humano, bem como influencia em todas as atividades de lazer e profissional. Uma forma de amenizar e recolocar o indivíduo dentro dos afazeres cotidianos é a colocação de próteses no local do membro amputado. Por outro, lado existe a necessidade de se preparar, desenvolver, próteses para aquilo que é classificado como anomalia congênita, enfermidades que geralmente costumam acompanhar pacientes desde os seus primeiros dias de vida e que também podem ser denominadas "amputações congênitas". Podendo ser anomalias transversais ou anomalias longitudinais, sendo que as transversais utilizam próteses com encaixes e as longitudinais possuem função de órteses e próteses ao mesmo tempo (BLOHMKE, 2002).

A dificuldade encontrada na confecção de uma prótese reside na escolha do melhor material, que seja compatível e que disponibilize conveniência técnica observando a otimização do custo benefício. Outro fator a ser observado é a estética a qual, entre vários fatores deve obedecer a teoria da resistência dos materiais e estar afinado para evitar posterior desagrado ao amputado (PAVÓN,1975). A atenção aos métodos de fixação e carregamentos prescritos em norma (ABNT, 2002a), uma prótese de mercado, cedida especialmente para esse trabalho, foi utilizada no sentido de compartilhar testes com a resposta obtida pela utilização de diferentes materiais e suas particularidades. Isso visa fornecer subsídios para facilitar estudos posteriores de

desenvolvimento de novos materiais em próteses do mesmo modelo estudado.

As próteses para membros inferiores são comumente utilizadas para amputado total ou parcial podendo esta substituir desde uma perna toda, sendo, portanto adaptada ao coto, ou então substituir uma parte, por exemplo, o pé. Este por sua vez é composto por três partes básicas: adaptador modular, mola interna ou núcleo e revestimento. Cada parte tem como função básica realizar a união naquilo que se denomina de componente funcional (pé, articulação de joelho, articulação de quadril e encaixe) das próteses modulares e resistir à massa do usuário, bem como e, simultaneamente, absorver a energia e dissipá-la de volta para auxiliar o paciente em sua caminhada. Os materiais mais comumente utilizados na confecção das próteses mecânicas são: titânio, liga cobalto-cromo-molibdênio, aço inoxidável e fibra de carbono.

Materiais e Métodos

O modelo desenvolvido e testado, assemelhou-se a um sistema massa-mola, devido ao movimento oscilatório que surge no ato de caminhar e das forças restauradoras que tendem a trazer ou manter o sistema em determinado estado ou posição. Estas forças são elásticas e fazem parte e podem ser descritas através de um movimento harmônico simples (NUSSENZVEIG, 2007).

O desenvolvimento do modelo iniciou-se com o dimensionamento do pé mecânico físico existente, cedido para a realização deste trabalho pela Orthogen Técnica Ortopédica Ltda., para que se pudesse desenvolver o modelo virtual, o qual foi realizado software SolidWorks™. A partir das

dimensões foi desenhado um *sketch* em duas dimensões, obtendo-se um modelo que posteriormente foi utilizado para criar uma visão em três dimensões e foi a base dos estudos. Com a modelagem principal, partiu-se para o projeto do salto do pé mecânico, que em a função de apoio quando o portador encontra-se parado. A figura 1 mostra o modelo executado com as respectivas dimensões em comparação com o modelo final, figura 2 com o modelo comercial.

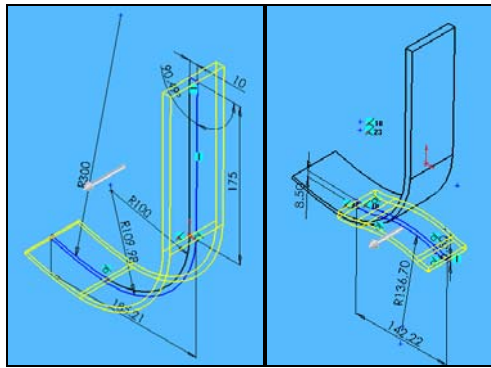


Figura 1. Aspecto do pé mecânico utilizado para modelamento.

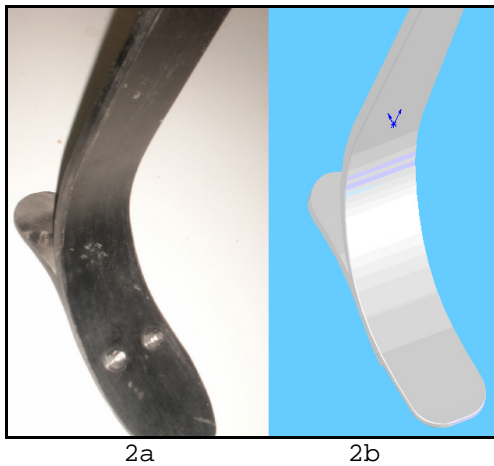


Figura 2. Pé mecânico comercial (a) e o pé mecânico modelado para estudos (b).

A adequação do modelo ao método dos elementos finitos (MEF) para a realização do estudo de caso, foi iniciado pelas vinculações que poderiam inseridas fixando-as no movimento em um ou dois eixos de deslocamento do ponto de intersecção da malha do modelo virtual disposto, sendo que poderia haver vinculação nos três eixos de deslocamentos (u , v e w). Nesse estudo foi reservada uma área na extensão vertical do pé, para ser vinculado de maneira a simular a existência de um engastamento, o qual devolve uma resposta próxima à realidade, quando submetido à ação da força a ser carregada na face solo do modelo. Para a obtenção de uma resposta aos ensaios virtuais executados no modelo, as vinculações, no caso a força de cada teste, foi

disposta numa localidade próxima da posição real, encontrada diariamente pelo amputado quando da utilização da prótese em teste.

Uma forma encontrada para tornar real a disposição da força, foi implementação em um local próximo ao centro da planta do pé como preconiza a NBR ISO 10328 ((ABNT, 2002b).

A figura 3 mostra o ponto de aplicação na planta do pé na situação indicada pela norma e na situação indicada pelo modelo.

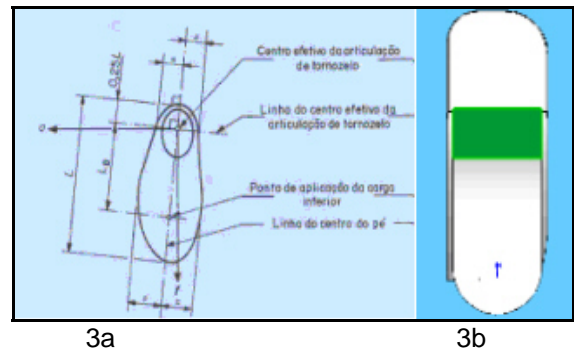


Figura 3. Indicação do engastamento na situação da norma fig.3a e no modelo fig.3b.

Os testes foram realizados baseando-se em alguns dos princípios da norma NBR ISO 10328 (ABNT, 2002c, ABNT, 2002d). isso porque, não há uma norma específica para a análise virtual e, na medida do possível, os parâmetros existentes foram adequados. A maioria dos ensaios foram feitos para duas condições de carga: uma mais amena e outra crítica. Os ensaios realizados, conforme a norma, foram:

- ensaio do dispositivo de fixação;
- ensaio estático de comprovação;
- ensaio estático de falha;
- ensaio cíclico.

Resultados

Todos os resultados foram obtidos através do software CosmosXpress™, para cada ensaio e para cada condição de carga imposta pelos respectivos ensaios a figura 4 deverá ser observada.

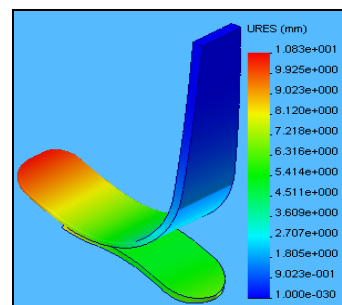


Figura 4. Indicação da deformação devido a imposição dos carregamentos.

Ensaio do dispositivo de fixação.

Os resultados obtidos nos testes do ensaio do dispositivo de fixação são demonstrados parcialmente na tabela 1. Vale ressaltar que para este ensaio a NBR ISO 10328 no item 5.4.3, para testes físicos, determina que haja um máximo D1 = 2 mm e que o máximo D2 = 0,5 mm, mediante a aplicação da seqüência de forças 944 N; 828 N; 50 N; 3717,6 N; 3260,4 N; e 50 N. Os D1 e D2 máximos encontrados estão explícitos na coluna à direita da tabela.

Tabela 1. Valores de D1 e D2

Material	D1 máx	D2
Titânio	72,2 mm	0,0 mm
Aço Inoxidável	42,3 mm	0,0 mm
Fibra de Carbono	34,5 mm	0,0 mm

Os valores de D1 máx são obtidos subtraindo o modulo do deslocamento máximo encontrado quando se excita o modelo com a força máxima 3717,6 N do valor encontrado no deslocamento final encontrado com carga de 50 N. Para encontrar D2, se subtrai o valor de deslocamento encontrado logo após a aplicação da primeira força de 50 N do valor de deslocamento encontrado logo após a aplicação da força final de 50 N.

Ensaio estático de comprovação.

A seqüência de testes e resultados obtidos no ensaio estático de comprovação seguem na tabela 3. O resultado esperado segundo a norma é que D3 não exceda 15mm, para teste físico. A norma indica que, para se chegar a D3: excita-se o modelo com 50 N para encontrar o deslocamento d1; na seqüência excita-se com uma força de 2065 N para encontrar deslocamento; na seqüência uma força de 1811 N deve ser colocada para atuar no modelo e, a deformação será outra; por fim, volta-se a excitar o modelo com 50 N para encontrar um deslocamento d2. O D3 procurado é determinado subtraindo-se d2 de d1. A tabela 3 mostra os resultados.

Tabela 3. valores de deformação no ensaio de comprovação

Material	D3
Titânio	0,0 mm
Aço Inoxidável	0,0 mm
Fibra de Carbono	0,0 mm

Ensaio estático de falha

O ensaio estático de falha foi realizado com a aplicação de dois diferentes carregamentos para cada material. Os resultados podem ser vistos na tabela 4. A norma indica que, para validação dos testes, deve-se excitar o modelo com 3098 N e medir o deslocamento; retirando a força e, na seqüência, excita-se o modelo com 2717 N, anotando também os deslocamentos.

Tabela 4. Seqüência do ensaio estático de falhas e respectivas respostas

Força	Material	Deslocamento
3098 N	Titânio	61,01 mm
2717 N		53,50 mm
3098 N	Aço Inoxidável	35,53 mm
2717 N		31,16 mm
3098 N	Fibra de Carbono	29,18 mm
2717 N		25,59 mm

Ensaio cíclico

Na norma existe uma seqüência estabelecida de forças para validar o teste. Esta seqüência é: excitar o material inicialmente com 1230 N, aliviar a excitação e voltar a colocar 1085 N para atuar no modelo. Após aliviar o trabalho desta nova força no protótipo, atuá-lo então com 50 N, retirar a atuação e, para que se finalize o teste, deve excitá-lo com 1180 N, retirar tal excitação e finalizar os testes de ensaio cíclico com a ação de 1035 N e posterior remoção de ação. No trabalho esta seqüência foi obedecida para os três materiais estudados: Titânio, aço inoxidável e fibra de carbono; para que se pudesse observar as respostas de cada material às excitações.

Na tabela 5, simplificada, mostra os resultados obtidos com o material titânio.

Tabela 5. Deslocamentos relativos às forças aplicadas no ensaio cíclico

Força	Deslocamento
1230,0	24,220 mm
1085,0	21,370 mm
50,0	0,9850 mm
1180,0	23,240 mm
1035,0	20,380 mm

Discussão

Os ensaios realizados virtualmente, segundo as normas indicaram uma consonância dos valores impostos para os valores obtidos. A situação mais discordante foi referente ao ensaio do dispositivo de fixação, cujos valores sobrepujaram a norma. Nos outros testes os resultados concordaram com a norma. A validação em testes práticos deve ser realizada para efetiva comprovação dos resultados. Porém, o impedimento é devido a grande dificuldade na construção de máquinas de testes. Devido as

dificuldades técnicas e alto custo de construção e operação.

Conclusão

Dentre as respostas encontradas nos testes, houve uma constância nas deformações em cada material, após atuação de cada carregamento; mas houve sim um material que se saiu melhor e que trouxe respostas mais próxima à realidade. Apesar de também ter extrapolado o limite de deformação D1 no teste de ensaio dos dispositivos de fixação, a fibra de carbono foi o material que melhor respondeu às solicitações. Mesmo nenhum material atendendo ao limite de D1, vale ressaltar que não houve problema nem necessidade de interrupção dos testes neste ensaio dos dispositivos de fixação, pois vale relembrar que: a norma foi utilizada como um auxílio quanto a carregamentos e forças, mas não com o objetivo de se confrontar detalhadamente a resposta obtida à ideal, da NBR ISO 10328 (ABNT, 2002d, ABNT, 2002e, ABNT 2002f)

O titânio e o aço inoxidável testados, também mantiveram uma coerência, quanto às respostas, uma vez que: conforme se aumentava os carregamentos nos modelos, aumentavam também as deformações, deflexões, encontradas; mas, estas acabaram retornando deformações muito significativas o que, para o usuário, se traduz em cansaço quando da utilização da prótese. Outro fator importante é que, apesar do software não demonstrar quebras, uma demonstração de deformação excessiva é subentendida como uma quebra por quem opera o programa, uma vez que, materiais como o titânio, o aço inoxidável e a fibra de carbono, quando ultrapassam certo limite de deformação, têm suas interligações estruturais rompidas e entregam ao usuário a quebra da prótese.

Por isso, apesar de com a fibra de carbono haver também grandes deformações, estas são bem menos significativas que às dos demais materiais e quando agindo sobre tal material, entregam uma garantia melhor de elasticidade; com isso este, através deste estudo, foi considerado o material mais indicado para a utilização em próteses de pé, nas circunstâncias do modelo testado.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10328-1: Próteses – Ensaio Estrutural para Próteses de Membro Inferior: configurações de ensaio. Rio de Janeiro, 2002a.

- NBR ISO 10328-2: Corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2002b.

- NBR ISO 10328-3: Ensaios Estruturais Principais. Rio de Janeiro, 2002c.

- NBR ISO 10328-4: Parâmetros de Carga dos Ensaios Estruturais Principais. Rio de Janeiro, 2002d.

- NBR ISO 10328-5: Ensaios Estruturais Suplementares. Rio de Janeiro, 2002e.

- NBR ISO 10328-6: Parâmetros Estruturais dos Ensaios Estruturais Suplementares. Rio de Janeiro, 2002f.

- BLOHMKE, Fritz. Compêndio Otto Bock :Próteses Para o Membro Inferior. 2ª Edição, Schiek&Schön GmhB, Berlim. 2002.

- NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de Física Básica Vol. 2. São Paulo, 1998: Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2007.

- PAVÓN, Salvador J. Implantes em Ortopedia y Traumatologia. Editorial Médica Panamericana S.A., 1975.