

N. CLASS. M 620.7
CUTTER P 615 P
ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS UNIS

ENGENHARIA MECANICA

GEREMIAS DA SILVA PIERANGELI

**PROTESES – MATERIAIS DE BAIXO CUSTO, INOVAÇÕES E ATUAÇÕES DO
ENGENHEIRO MECÂNICO NA MEDICINA**

Varginha

2015

GEREMIAS DA SILVA PIERANGELI

**PROTESES – MATERIAIS DE BAIXO CUSTO, INOVAÇÕES E ATUAÇÕES DO
ENGENHEIRO MECÂNICO NA MEDICINA**

Projeto de pesquisa apresentado a disciplina trabalho de conclusão de curso1, sob orientação do Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2015

GEREMIAS DA SILVA PIERANGELI

**PROTESES – MATERIAIS DE BAIXO CUSTO, INOVAÇÕES E ATUAÇÕES DO
ENGENHEIRO MECÂNICO NA MEDICINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul Minas-UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em ____/____/____

Prof.

Prof.

Prof.

Obs.:

Dedico este trabalho a todos os professores
que se empenharam na realização da minha
carreira acadêmica ao longo de todo período
do curso.

Agradeço a Deus, meus pais, professores e orientadores por sempre me direcionar dividindo experiências profissionais e particulares, além de sempre me apoiarem motivando a não desistir deste sonho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo promover uma discussão sobre qual a melhor prótese humana de nível femoral entre a prótese de madeira e a prótese convencional de fibra de carbono, e também demonstrar novas tecnologias e áreas de atuação do engenheiro mecânico no ramo da bioengenharia e da medicina ajudando na melhor qualidade de vida com o desenvolvimento de um produto de qualidade dentro de parâmetros técnicos mecânicos e ortopédicos de acordo com o CONEP (Comissão Nacional de Ética em Pesquisa) para pessoas que tiveram partes do corpo submetido a amputações devido a situações distintas ou anomalias genética, através do desenvolvimento de prótese que ofereça um grau elevado de liberdade e confiança dos movimentos, baixo custo, redução de material, peso reduzido e que ofereça as mesmas características físicas e mecânicas dos elementos. Escolha de materiais leves, com alta durabilidade e conforto para o usuário, a fim de reduzir custos de fabricação e material para que todos possam ter acesso as mais modernas e sofisticadas próteses já fabricadas, ou ligas que podem resultar deste trabalho de pesquisa, com o fornecimento de informações de áreas ainda desconhecidas pelos novos engenheiros mecânicos onde muitos podem atuar e desenvolver não só próteses mas também equipamentos de diagnósticos precoce de micro lesões entre outros equipamentos laboratoriais. Através deste trabalho de pesquisa descobrir parâmetros para uma comparação justa e significativa para uma discussão entre os dois modelos de próteses citadas e verificar cada vantagem e desvantagem do mesmo, como dimensionamento, vida útil do material, fonte de abastecimento de matéria prima, tecnologia de fabricação e desenvolvimento entre outros que apareceram ao longo da pesquisa deste trabalho. Com principal objetivo de divulgar não só o resultado desta comparação para futuras discussões, mas também identificar as áreas de atuação do engenheiro mecânico na área de saúde.

Palavras chave: bioengenharia, medicina, prótese de madeira.

ABSTRACT

This paper aims to promote a discussion about the best femoral level of human prosthesis between conventional wooden prosthesis and the prosthesis of carbon fiber, and also demonstrate new technologies and Mechanical Engineer practice areas in bioengineering industry and medicine helping to better quality of life through the development of a quality product within mechanical and orthopedic technical parameters according to the CONEP (National Committee for Ethics in Research) for people who have had body parts subjected to amputations due to different situations or anomalies genetics, through the development of prosthesis that provides a high degree of freedom and confidence movements, low cost, reduction of material, lightweight and affording the same physical and mechanical properties of the elements. Choice of lightweight materials with high durability and comfort for the user, in order to reduce manufacturing and material cost for everyone to have access to the most modern and sophisticated prostheses already manufactured, or alloys that may result from this research work, with the providing areas of information still unknown to many new mechanical engineers which can act and develop not only implants but also early diagnosis equipment micro injuries and other laboratory equipment. Through this research work to find out parameters for a fair and meaningful comparison to an argument between the two models of Scythians prostheses and check each advantage and disadvantage of it, such as scaling, life of the material, source of supply of raw materials, technology manufacturing and development among others that appeared during the research of this work. With the main objective to promote not only the result of this comparison for future discussions but also, identify the Mechanical Engineer practice areas in healthcare.

Key words: bioengineering, medicine, wooden prosthesis.

SUMARIO

1 – INTRODUÇÃO	10
2 – OBJETIVOS	11
2.1 - Objetivo geral	11
2.2 - Objetivos específicos	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 PROTESES	13
4.1 História e surgimento das próteses	13
4.2 Evoluções e melhorias	19
5 DINÂMICA DE CONSTRUÇÃO DAS PRÓTESES HUMANAS DE ALTA PRECISÃO	20
5.1 Características necessárias para que um material possa ser usado na fabricação de prótese humana	23
6 MATÉRIAS DISPONÍVEIS ATUALMENTE E AS TENDÊNCIAS	25
7 AREA DE ATUAÇÃO DE ENGENHEIRO MECÂNICO NA MEDICINA	30
8 CONCLUSÃO	32
9 REFERENCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo uma pesquisa sobre a confiabilidade das informações oferecidas sobre as próteses de carbono e madeira, oferecendo uma comparação de ambas para promover futuras discussões e desenvolvimento de novas tecnologias, além de divulgar as áreas de atuação do engenheiro mecânico aos novos formandos de engenharia que até então desconhecem a bioengenharia por traz desde trabalhos da área da saúde e medicina.

Escolha de materiais leves, com alta durabilidade e conforto para o usuário, a fim de reduzir custos de fabricação e material para que todos possam ter acesso as mais modernas e sofisticadas próteses já fabricadas, ou ligas que podem resultar deste trabalho de pesquisa, são algumas das informações contidas neste projeto de pesquisa.

Através deste trabalho de pesquisa descobrir quais são as tecnologias utilizadas na fabricação de prótese nos dias de hoje, relatar sobre os meios mais modernos, como as próteses fabricadas em fibra de carbono e também as desenvolvidas em materiais secundários como madeira e silicone.

Com estes estudos avaliar através de comparação o desgaste, tempo de vida útil do material, disponibilidade do material encontrado na natureza, carga máxima de compressão suportada pela estrutura, e realizar a comparação entre as características das próteses em relação a custo benefício de cada uma.

Quais os materiais abundantes na natureza que contribuem na redução de custo de próteses humanas garantindo a mesma durabilidade e conforto em relação a próteses de fibra de carbono, levando em consideração a comparação de custo e benefícios de cada uma. Esta é uma situação que nos deparamos ao desenvolver não só próteses, mas qualquer projeto que demande um material em quantidade que nos ofereçam as mesmas características desejadas em projeto e que esteja em grande quantidade disponível.

Avaliar os materiais que contribuem para redução de custo de próteses como materiais alternativos (madeira e silicone), e fazendo um comparativo com as características técnicas de cada tipo de material que pode ser utilizado na fabricação de uma prótese humana para futuras pesquisas e desenvolvimento de técnicas mais sofisticadas de fabricação.

Difundir as áreas de atuação do engenheiro mecânico em um projeto de fabricação de próteses humanas, como por exemplo o dimensionamento de um simples pino de fixação entre um pé e a perna (tornozelo), pode parecer simples para uma pessoa leiga no assunto, mas sem o devido conhecimento de engenharia ou de medicina o simples pode se tornar algo impossível ou complicado de se produzir.

2 OBJETIVOS

Este projeto de pesquisa tem com finalidade compara uma prótese de fibra de carbono com uma feita em madeira e obter resultados que possibilitam a utilização de prótese de madeira como material alternativo devido seu custo ser relativamente baixo e demonstrar as áreas de atuação do engenheiro mecânico na área da medicina e tecnologia.

2.1 Objetivo geral

Com o objetivo de apresentar parâmetros confiáveis de comparação entre as próteses garantindo a mesma durabilidade e conforto com menor custo, fazer uma correlação entre as características técnicas utilizadas no passado e visualizando o que de melhor já foi inventado para se projetar e desenvolver novas próteses (inovações do mercado de próteses) e identificar as áreas de atuação do engenheiro mecânico neste ramo de atividades.

Divulgar através de trabalho de pesquisa como a área da medicina precisa de bons profissionais na área da bioengenharia devido o conhecimento específico do engenheiro e a facilidade do mesmo em trabalhar com materiais ferroso e não ferroso. Com este projeto vamos conhecer as novas tecnologias desenvolvidas na área da engenharia computacional que facilitam as funções do engenheiro mecânico responsável pelo modelamento e análise de estresse do protótipo (uma das funções do engenheiro mecânico no projeto de fabricação de próteses).

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever a história e evolução das próteses;
- Apresentar a dinâmica do funcionamento de próteses humanas;
- Descrever as características das próteses de fibra de carbono;
- Discutir as características necessárias para que um material possa ser usado na fabricação de prótese humana;
- Apresentar os materiais disponíveis atualmente;
- Tendências e atuação do Engenheiro Mecânico;

3 JUSTIFICATIVA

Com o grande desenvolvimento tecnológico na área de engenharia de materiais, equipamentos na área de engenharia da medicina cada vez mais robustos e sofisticados e a necessidade de novos métodos de fabricação de próteses por causa da escassez de materiais e alto custo de processamento, surge a necessidade de se desenvolver novos produtos com custos inferiores, materiais alternativos e com o mesmo desempenho dos utilizados hoje.

O engenheiro atua fortemente no desenvolvimento de novas soluções na área de prótese, desenvolvendo produtos com materiais alternativos, novos processos de produção e desenvolvimento de ligas para aprimorar e suprir a necessidade de atendimento à população de baixa renda além do desenvolvimento de novos equipamentos que ajudam a diagnosticar a anomalia e produção de componentes mais confiáveis com novas tecnologias de fabricação mais precisas. Com as técnicas que um engenheiro possui fica cada vez mais fácil o desenvolvimento dos projetos de prótese, esta é uma área pouco difundida no ramo da engenharia, uma vez que o mesmo só se preocupam em projetos de estrutura metálica, mas com este trabalho de pesquisa será possível enxergar como esta área necessita de bons profissionais na área de bioengenharia devido seu conhecimento específico com materiais ferrosos e não ferros.

Com o conhecimento técnico e específico de engenharia, o profissional contribui como o desenvolvimento técnico de novas tendências na fabricação de próteses, onde o mesmo se atenta na elaboração de produtos com material alternativo que tenha as mesmas características que os materiais mais sofisticados utilizados na fabricação das atuais como, por exemplo, durabilidade, conforto anatômico, liberdade de movimento, suporte de sobrecargas, marcha de passo, entre outros requisitos que devem ser levados em consideração na fabricação das próteses.

4 PROTESES

De acordo com o dicionário (Izabel Cristina, 2012), prótese significa: Cirurgia de substituição onde uma parte do corpo por uma peça artificial. Constitui um ramo da medicina, particularmente em cirurgia ou odontologia, que neste trabalho abordaremos apenas as próteses de membro inferior. As próteses se dividem em dois tipos, as mecânicas e cognitivas, onde a segunda também pode ser conhecida como prótese movida pelo pensamento, algum que na verdade não existe pois são sensores posicionados nos músculos que emitem pulsos enviados direto ao cérebro que responde estes pulsos através dos músculos afetados e que são impulsionados nos sensores do equipamento que realizam algum tipo de movimento pré-determinado.

As próteses mecânicas são subdivididas em internas e externas (exoesquelética), cujo as internas são conhecidas como próteses de apoio ou substitutivas de órgãos, e as externas por substitutivas de membros devido seu objetivo ser ajudar o funcionamento de um órgão ou de fato fazer o trabalho de um órgão que não faz parte do corpo ou não está funcionando corretamente (Prof. Dr. Luiz Sérgio Marcelino Gomes, 2011).

4.1 História e surgimento das próteses

O aumento da esperança média de vida, a procura de conforto e a necessidade de uma boa estética e aparência, promovem a necessidade de desenvolvimento e produção de próteses à medida do paciente de modo a que este se sinta cómodo, confiante, seguro e confortável consigo mesmo, encarando o dia-a-dia com o mesmo entusiasmo que teria antes de padecer de tal patologia.

Das antigas pirâmides para Primeira Guerra Mundial, o campo protésico transformou-se num exemplo sofisticado da determinação do homem em fazer cada vez melhor, para atender diversas necessidades, e deixar seus usuários com uma melhor alta estima e disponibilidade para realizar tarefas que para pessoas com determinadas limitações tornam-se difíceis e desanimadoras (NUNO, 2011).

O caminho para a produção de uma perna computadorizada começou aproximadamente em 1500 a.C. Relativamente às primeiras pernas de cavilha (espécie de madeira) e ganchos de mão que conduziram ao ajustamento altamente individualizado de maneira rústica aprimorada futuramente nos dispositivos de hoje. Para se ter um ponto de

partida de onde evoluiu e de onde veio o campo das próteses, temos que recuar até ao tempo dos antigos Egípcios, grandes idealizadores se tratando de próteses.

Os egípcios foram pioneiros na tecnologia de próteses, suas rudimentares próteses dos membros eram feitas de fibra e retalhos de panos, acreditava-se que eram usadas mais num sentido de preencher o vazio do que a nível funcional, onde apenas soldado ferido em batalha tinha acesso a este tipo de solicitação, como uma espécie de gratificação pelos trabalhos prestados ao faraó (NUNO, 2011).

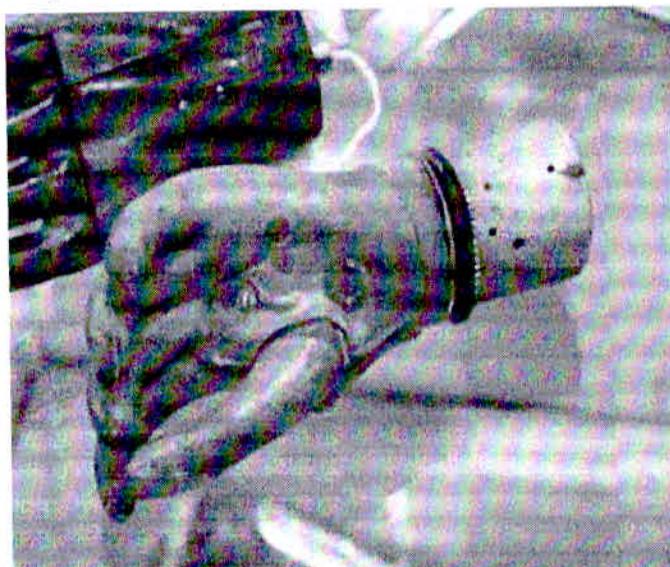
Recentemente, os cientistas descobriram o que se diz ter sido a primeira prótese de dedo do pé do mundo numa múmia egípcia e parece ter sido extremamente funcional, pois estudos levam a crer que o equilíbrio de uma pessoa vem do seu membro inferior, precisamente pelo dedo do pé, onde possivelmente esta múmia encontrada teve seu equilíbrio afetado por esta anomalia (Helder Hermeni, 2011).

Uma perna artificial que data de aproximadamente 300 a.C. foi revelada em *Cápua, Itália*, em 1858, era feita de bronze e ferro, com um macho de madeira, aparentemente para um amputado do joelho para baixo. Em 424 a.C., *Herodotus* escreveu uma história de um vidente Persa que foi condenado à morte, mas que se libertou após ter amputando o seu próprio pé e fazendo um apoio de madeira para caminhar durante cerca 16Km até à cidade mais próxima.

O estudante romano *Pliny* “O Ancião” (23-79 a.C.) escreveu sobre um general romano que durante a Segunda Guerra Púnica (218-210 a.C.) tinha o braço direito amputado. Ele tinha uma mão de ferro, desenvolvida de modo a possibilitar segurar seu escudo e poder ser ativamente capaz de combater seus inimigos no campo de batalha (NUNO, 2011).

O relato mais antigo data de 2300a.C., quando os arqueólogos russos descobriram o esqueleto de uma mulher com pé esquerdo artificial. A prótese era composta por um pé-de-cabra adaptado ao coto mediante um encaixe feito pela própria pele dissecada do animal. Essa notícia foi publicada em 26 de janeiro de 1971 num artigo da agência France Presse que relatava a tese de Fajal (NUNO, 2011).

Fig. 02 – Prótese de mão do século XVI.



Fonte: NUNO, 2011.

Por volta do ano de 1512, um cirurgião italiano que viajava pela Ásia observou um amputado dos membros superiores que pôde tirar o seu chapéu, abrir a bolsa e até mesmo assinar o seu nome segurando uma caneta com uma destreza impecável como se tivesse uma mão humana. Outra história surgiu sobre um braço prateado que foi feito para o Almirante *Barbarossa* que combateu os espanhóis em *Bougie*, Argélia. No fim do século XVI, cirurgião/barbeiro do Exército francês, *Ambroise Paré*, que é considerado por muitos o pai da cirurgia de amputação moderna e design de próteses, introduziu os procedimentos de amputação modernos (1529) à comunidade médica e fez próteses (1536) para amputações de membros superiores e inferiores. Inventou também um dispositivo para amputação acima do joelho, que consistia numa perna articulada com prótese do pé, tendo esta última uma posição fixa, correias ajustáveis, controle de bloqueio do joelho e outras características em nível de engenharia que são utilizadas nos dispositivos de hoje em dia (*The Biomedical Engineering Handbook*, second Edition. Ed. J. D. Bronzino. CRC Press, Boca Raton USA, 2000).

O seu trabalho mostrou a primeira verdadeira compreensão de como uma prótese deveria funcionar. Um colega de *Paré*, *Lorrain*, um serralheiro francês, ofereceu uma das mais importantes contribuições ao campo das próteses, quando usou couro, papel e cola em substituição de ferro pesado no fabrico de uma prótese.

Figura 03 – Prótese para amputações abaixo do joelho criada no século XVI.



Fonte: Bronzino, 2000.

Esta prótese ficou conhecida como prótese de “marcha”, por se tratar de apenas uma perna mecânica desenvolvida apenas para que o usuário pudesse se locomover vagarosamente e por um curto espaço de tempo devido seu peso elevado, considerando que sua fabricação foi desenvolvida por aço, couro, madeira e pedaços de lã para acomodar-se no membro do usuário.

Em 1696, *Pieter Verduyn* desenvolveu a primeira prótese não fixa para amputações abaixo do joelho que se tornaria o projeto de partida para as juntas nos dispositivos atuais. Em 1800, um londrino, *James Potts*, projetou uma prótese feita de uma parcela de madeira, uma junta de joelho em aço e um pé articulado que era controlado através de tendões de corda que seguiam do joelho para o tornozelo conhecida como a “Perna de *Anglesey*”, depois do Marquês de *Anglesey* ter perdido a perna na Batalha de *Waterloo*. *William Selpho* trouxe posteriormente a perna para os Estados Unidos da América em 1839 onde ficou conhecida como a “Perna de *Selpho*” (NUNO, 2011).

Em 1843, *Sir James Syme* descobriu um novo método de amputação do tornozelo que não envolvia amputação na coxa. Isto era bem-vindo entre a comunidade de amputados porque significava que havia uma possibilidade de caminhar novamente com uma prótese de pé ao invés de uma prótese de perna da qual poderia ter um melhor ajuste e possibilitava que o usuário tivesse mais conforto, pois este tipo de prótese por ser menor que a convencional na época possuía uma massa mais leve que ajudava o usuário se locomover com mais naturalidade e por caminhadas mais longas devido a se cansar menos com o esforço da caminhada.

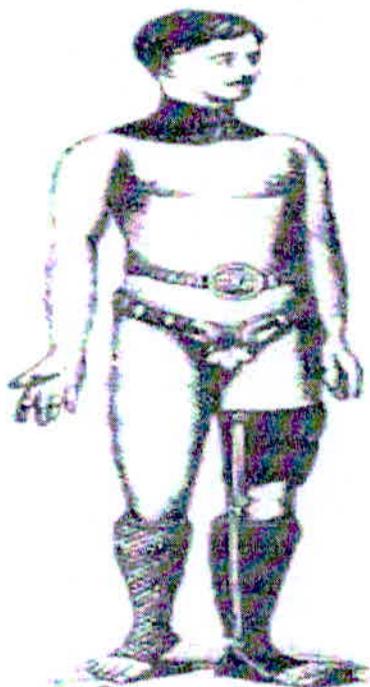
Em 1846, *Benjamim Palmer* não viu nenhuma razão para os amputados de perna ter vários componentes pouco apresentáveis e fez um *upgrade* na perna de *Selpho* adicionando

uma aparência lisa e tendões escondidos para simular um movimento/observação natural, onde mais uma vez tivemos redução de material e implementação de um novo conceito de estética que não erra vista anteriormente pelos profissionais desta área.

Douglas Bly inventou e patenteou a perna anatômica do Doutor *Bly* em 1858, à qual se referiu como “a invenção mais completa e próspera atingida em membros artificiais” (Bronzino.2000).

Em 1863, *Dubois Parmlee* inventou uma prótese avançada para a época com uma cova de sucção, joelho policêntrico e pé multi-articulado que propiciava ao usuário uma maior confiança e postura relativamente normal. Depois, *Gustav Hermann* sugeriu em 1868 o uso de alumínio em vez de aço para fazer membros artificiais mais leves e mais funcionais. Porém, o dispositivo mais leve teria que esperar até 1912, quando *Marcel Desoutter*, um famoso aviador inglês, perdeu a perna num acidente de avião e fez a primeira prótese de alumínio com ajuda do irmão *Charles*, um engenheiro.

Fig. 04 – Perna de Selpho



Fonte: NUNO, 2011.

4.2 Evoluções e melhorias

Ao longo dos anos devido as técnicas, equipamentos e matérias terem evoluídos, nos deparamos com um aumento significativo no campo de prótese, com cada vez mais parecidas com o corpo humano. Com o avanço tecnológico da medicina principalmente na área de engenharia de biomaterial e equipamentos cada vez mais sofisticadas capazes de desenvolver próteses mais confiáveis e adaptadas para cada indivíduo em particular, melhorando significativamente o conforto, marcha de passo, que são os requisitos mais importantes para o desenvolvimento de uma boa prótese.

Nos últimos anos tem se pensado muito em redução de custo e de escolha de matérias de mais fácil acesso as pessoas de baixa renda, por este motivo foram desenvolvidas novamente próteses a partir da madeira, mas com os avanços tecnológico de novos softwares e de estudos de engenharia foi possível chegar em próteses que possuem a mesmas características de uma prótese de fibra de carbono, mas com um benefício muito superior em relação ao custo, pois este tipo de prótese pode chegar em até 10% do valor de uma prótese convencional de fibra de carbono.

Com a criação das impressoras 3D temos uma infinidade de possibilidades de se produzir não apenas próteses, mas como qualquer objeto tridimensional a partir da prototipagem. Volpato 2007, afirma que a prototipagem rápida tem como tecnologia 3D, não é algo novo, ela começou a ser desenvolvida a partir da topografia e a foto escultura. Existe 3 tipos baseadas em líquido, sólido e em pó, e sua principal característica é a construção de objetos por adição ou remoção de material. Uma de suas vantagens é a independência de complexidade, uma vez que o objeto à ser fabricado é feito camada por camadas, logo ela pode reproduzir um objeto que descreva uma complexidade geométrica que para processos de usinagem seriam impossíveis.

Segundo Ulbrich (2013) “Ela consiste na construção de um objeto tridimensional, formado por camadas sucessivas de material”, ainda afirma Ulbrich (2013) essa tecnologia tem amplo campo de utilização inclusiva nas indústrias. Esta tecnologia ajudou a alavancar ainda mais o campo das próteses, pois hoje temos a possibilidade de produzir componentes que seriam impossíveis de se fabricar no processo de usinagem convencional. Com este avanço poderíamos fabricar como por exemplo um osso femoral que foi afetado por um acidente e substituir diretamente no corpo humano, mas ainda dependemos do avanço dos materiais, pois nosso corpo não se adaptou com os materiais existentes no mercado de próteses.

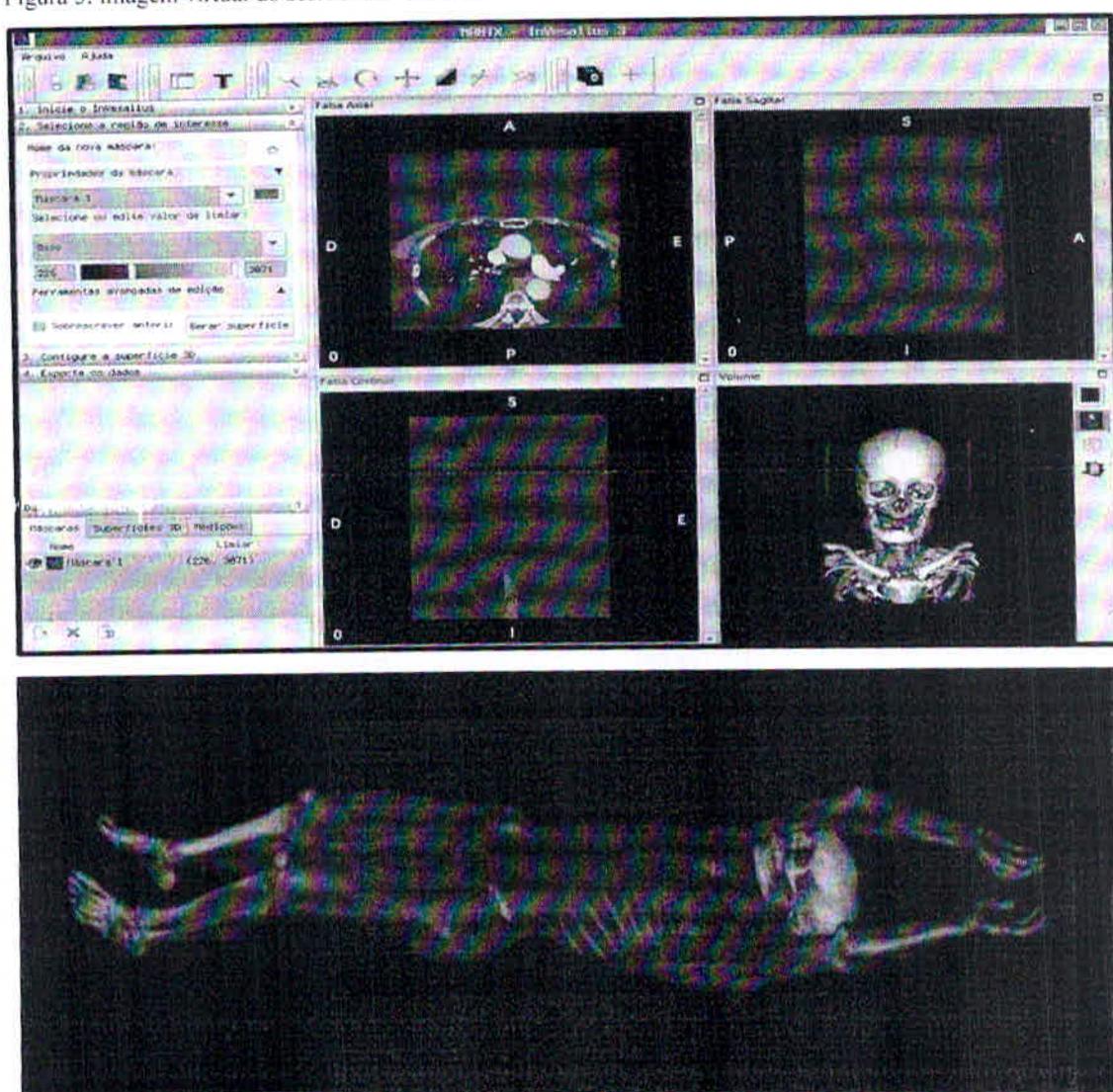
5 DINÂMICA DE CONSTRUÇÃO DAS PRÓTESES HUMANAS DE ALTA PRECISÃO

A primeira etapa de estudos clínicos onde a equipe de pesquisa avalie todo o processo de fabricação e modelamento da prótese e avalia a situação clínica do paciente, pois normalmente o mesmo já realizou vários exames para ajudar a estabilizar a anomalia ou tentar esconder a situação, desde a fabricação da peça até a fase pós-cirúrgica, verificando, por exemplo, a biocompatibilidade do material escolhido se não há processo de rejeição e outros complicadores eventuais nesse tipo de reconstrução. Os pacientes são acompanhados durante o processo de fabricação, cirurgia e principalmente a pós-cirurgia para ter a eficiência dos resultados obtidos e garantir que o paciente não teve nenhum tipo de rejeição do material implantado (Alessandro Silva, 2013).

Com o grande desenvolvimento tecnológico na área da computação, tornou-se mais fácil de projetar próteses cada vez mais articuladas e confiáveis, com designer cada vez mais moderno a fim de atender não só a deficiência do paciente, mas também a estética. Um dos softwares (gratuito) utilizado no mercado de fabricação de próteses é O *InVesalius* é um software público para a área de saúde que visa auxiliar o diagnóstico e o planejamento cirúrgico. Tendo como ponto de partida imagens em duas dimensões (2D) obtidas através de equipamentos de tomografia computadorizada ou ressonância magnética, o programa permite criar modelos virtuais em três dimensões (3D) correspondentes às estruturas anatómicas dos pacientes em acompanhamento médico (Helder Hermeni, 2011).

Criado em 2001, o *Invesalius* é um software *open-source* e já está em sua terceira versão, traduzindo, seu código de programação é aberto e autoriza modificações feitas pelos usuários. Distribuído em 98 países, o programa já foi baixado 4312 vezes, 186 só na França. O nome é uma homenagem ao célebre cientista belga Andrea Vesalius, nascido no século 16 e considerado o pai da anatomia moderna (Helder Hermeni, 2011).

Graças a essa tecnologia, que reproduz com precisão os órgãos humanos, os cirurgiões podem realizar intervenções complexas e arriscadas em diferentes especialidades, antecipando possíveis complicações e sendo uma forma mais complexa e de fácil acesso para se chegar em um modelamento mais fiel da prótese pois o modelamento é feito a partir das imagens geradas pelo software *InVesalius* e logo após os médicos chegarem em uma decisão clínica o engenheiro assume o projeto e faz o modelamento da prótese com software de desenho no formato CAD/ CAN . O engenheiro químico Jorge Vicente Lopes da Silva coordena o CTI e

Figura 5: imagem virtual do software *InVesalius*

Fonte: o autor.

Depois da impressão 3D, o próximo passo agora, explica o coordenador do CTI, é a chamada bioimpressão de órgãos. É um futuro ainda distante, mas em vez de imprimir uma peça metálica ou um pedaço de plástico, você imprime um órgão, um tecido, um osso, para uma pessoa que precisa de um transplante. Isso ainda está distante, mas é um futuro promissor. O mundo está acordando para isso e equipes em vários países da Europa e dos Estados Unidos estão trabalhando em projetos do tipo. É a parte de engenharia tecidual utilizando impressão 3D (Helder Hermeni, 2011).

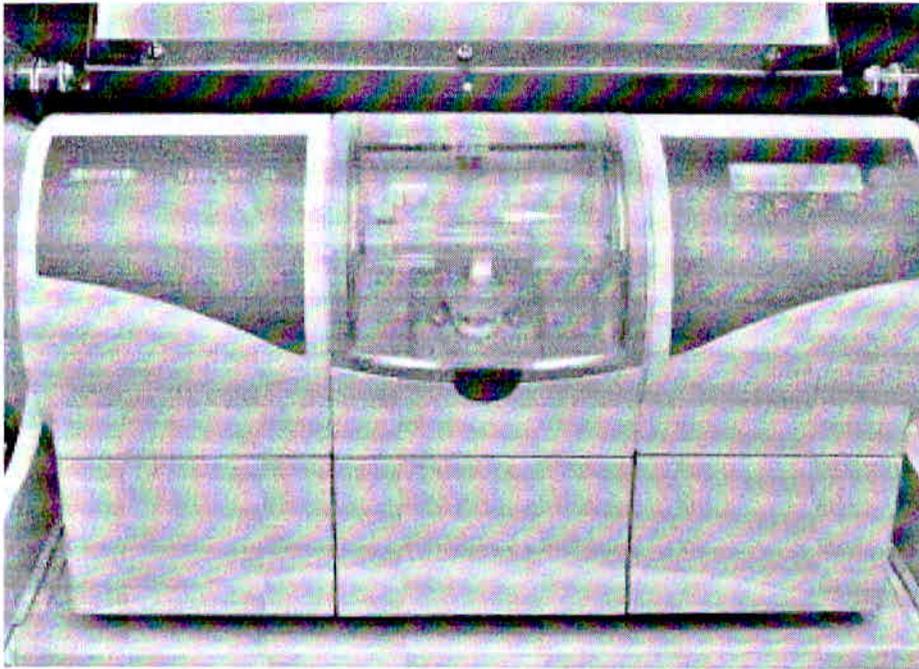
Impressão em 3D que hoje já é muito utilizada na indústria de brinquedos e automobilística para se produzir peças de alta complexidade e que levaria horas de trabalho para serem produzidas com métodos convencionais. Através desta nova tecnologia podemos

realiza peças com alta precisão de acordo com o desenho de projeto em poucas horas de trabalho.

Após a verificação e modelamento 3D do material de interesse passamos para o processo de Prototipagem Rápida que tem demonstrado ser uma ferramenta muito importante, pois permite a verificação da funcionalidade de componentes em montagens, avaliação de forma e função, avaliação da manufatura, fabrico de pré-séries, redução do tempo de projeto, análise de estresse, parâmetros de fabricação e detalhamento do projeto, entre outras.

Na área Médico- Odontológica esta tecnologia foi introduzida progressivamente como uma importante etapa, pois o uso de protótipos, que reproduzem com boa precisão a anatomia da região de interesse, permite melhorar bastante a visualização facilitando o planejamento cirúrgico, diminuindo o tempo de cirurgia e diminuindo a hipótese de erros. Em termos numéricos até 2004 foram instaladas cerca de 11170 máquinas de prototipagem rápida em todo o mundo, sendo que nos dias esse número já aumentou substancialmente. (Taíssa Stivanin,2005).

Figura 6: Impressora 3D para prótese dentária



Fon.e: Taíssa Stivanin,2005

Este é um dos métodos mais utilizados na fabricação de todos os tipos de prótese, pois a partir de uma imagem computadorizada do paciente, o engenheiro projetista usa de recursos computacionais como softwares de desenho técnico, por exemplo, CAD, INVENTOR, CATIA, e SOLIDWORKS, para fazer o modelamento e posteriormente a prototipagem do projeto, sendo

Este é um dos métodos mais utilizados na fabricação de todos os tipos de prótese, pois a partir de uma imagem computadorizada do paciente, o engenheiro projetista usa de recursos computacionais como softwares de desenho técnico, por exemplo, CAD, INVENTOR, CATIA, e SOLIDWORKS, para fazer o modelamento e posteriormente a prototipagem do projeto, sendo assim uma maneira de se evitar perda de tempo e diminuir as falhas de projeto, melhorando não só as técnicas de fabricação das prótese mas aproximando ainda mais a máquina do corpo humano.

5.1 Características necessárias para que um material possa ser usado na fabricação de prótese humana

Atualmente, próteses sob medida, do tipo pesquisado pelo laboratório da UNICAMP em S.P., são produzidas apenas no exterior e com alto custo. Outras, construídas com diferente material como metacrilato, cerâmica que no Brasil, podem custar mais de R\$ 100 mil. O conceito de “biofabricação” consiste em utilizar técnicas de engenharia e biomateriais para a construção de estruturas tridimensionais, fabricação e confecção de substitutos biológicos que atuarão no tratamento, restauração e estruturação de órgãos e tecidos humanos (Alessandro Silva, 2013).

Os materiais são escolhidos de acordo com a capacidade que o corpo humano tem de se adaptar com algum “corpo estranho” dentro do organismo, materiais que não são porosos e de fácil absorção do corpo humano, ligas que são desenvolvidas para terem o menor teor de contaminação possível chegando a ser quase pura devido os teores de impurezas serem muito baixas. Os matérias comuns são metacrilato, titânio, em alguns casos liga de titânio e zinco revestido, em casos especiais cerâmicas, materiais que possuem uma grande absorção pelo corpo humano e agridem de maneira esperada, pois nenhum material pode ser absorvido por completo, cabe ao médico especialista avaliar os efeitos colaterais e os riscos da qual o paciente deve estar ciente, explica o médico Paulo Kharmandayan, professor e coordenador da área de Cirurgia Plástica do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas (FCM) da Unicamp (Alessandro Silva, 2013).

Escoamento e Limite de Escoamento a maioria das estruturas são projetada para assegurar que resulta em apenas uma deformação elástica quando da aplicação de uma determinada tensão. Torna-se então desejável conhecer o nível de tensão onde a deformação plástica tem seu início, ou onde ocorre o fenômeno escoamento para se determinar qual tipo de material será o mais indicado para fabricação de um prótese a nível exterior, como por

exemplo, uma perna que foi amputada. Para metais que experimentam essa transição gradual de deformação elástica para deformação plástica (transição elastoplástica), o ponto de escoamento pode ser determinado como sendo o ponto onde ocorre o afastamento inicial da linearidade na curva tensão deformação; este é algumas vezes chamado de limite de proporcionalidade. Fator que deve ser levado em consideração durante a elaboração do projeto para estimar a massa corporal do indivíduo que irá utilizar a prótese (Willian, 2005).

Entre tantos outros fatores como, peso do material, dimensões geométricas, amortecimento, vida útil do material, se o dispositivo está livre de vibrações, torções, qual é a finalidade do equipamento (se é apenas estético funcional ou para prática de atividades físicas), abundância e facilidade de se encontrar o material, tipo de apoio e o sentido do movimento articulado e principalmente o custo com matéria prima e fabricação, são os principais fatores para se escolher o tipo de material para um projeto de prótese exterior, pois nos casos de próteses interiores ou de substituição devemos levar em consideração a toxicidade do material em relação a absorção do corpo humano com o material.

6 MATÉRIAS DISPONÍVEIS ATUALMENTE E AS TENDÊNCIAS

Hoje o material mais utilizado na fabricação das próteses humanas de nível exterior, é a fibra de carbono por ser um material mais leve e de fácil manuseio devido as geometrias irregulares de acoplamento no corpo humano. Com o passar do tempo e da evolução tecnológica dos últimos anos, tem-se pensado muito em relação a este tipo de projeto, pois devido ao alto custo e de difícil destinação para o material quando não se pode mais trabalhar com o mesmo, pesquisadores da área da medicina, bioengenharia entre outros da área tecnológica estão procurando promover inovações nestes projetos tanto na redução de custo (próteses de material alternativo), quanto a nível tecnológico (nanotecnologia e proteases de efeito cognitivo).

Materiais como a madeira, quando feito os devidos tratamentos químicos necessários, são ótimos materiais para o projeto de uma prótese de nível exterior, pois podem chegar a uma redução de até 90% do valor de uma prótese convencional confeccionada em fibra de carbono, com as mesmas características funcionais e mecânicas prevista no desenvolvimento do projeto, (Portal G1, 2014).

Figura 7: Prótese de madeira produzida em Manaus.



Fonte: Portal G1, 2014

O primeiro protótipo de prótese em madeira laminada e colada foi apresentado em Manaus e desenvolvida pela universidade do estado do Amazonas (UEA). O modelo propõe uma prótese mais confortável para pacientes amputados que segundo a coordenadora do projeto, a engenheira mecânica Marlene Araújo, o membro artificial tem uma durabilidade equivalente e um custo 90% menor às próteses produzidas em fibra de carbono, mesmo considerando as mais modernas no ramo atualmente, suportando em todos os pontos a sua demanda de esforços e sendo que seu conforto é muitas vezes melhor que a convencional devido seu fator de amortecimento ser maior que o da fibra de carbono e seu peso relativamente menor.

O projeto teve início há quase dez anos e a primeira fase do projeto foi 100% científica, onde a primeira fase foi de dimensionamento da prótese, que envolve a definição do material composto (qual seria o tipo ideal de madeira para iniciar este tipo de projeto), que foi madeira laminada e colada, além de ensaios com carga estática e cíclica para ver como a prótese se comportava em diferentes situações da qual pudessem ser examinados os fatores mecânicos do material que por definição de testes resolveu-se aderir a madeira amazônica como Roxinho, Pau-D'arco e Cumaru. (Portal GI, 2014).

Os mesmos testes foram feitos em próteses de fibra de carbono para a comparação com o aparelho sustentável, analisando os requisitos de marcha e conforto, para se ter uma ideia de como o projeto seria no corpo humano e também os resultados obtidos na prótese de fibra de carbono eram os pontos de partida, pois não seria viável produzir um protótipo que tivesse resultados inferiores com os que já existia no mercado. Para o protótipo foram utilizadas madeiras das espécies Roxinho, Pau-D'arco e Cumaru, encontradas na região amazônica, o critério utilizado para a escolha dessas espécies foi a elasticidade das mesmas, o que contribui para qualidade da marcha e no conforto, outra vantagem em usar madeiras da região é o fato de que no futuro essa prótese pode se tornar um produto nosso, gerando emprego e renda no campo da agricultura, pesquisa e desenvolvimento de próteses nacionais em nível de fabricação em serie para atender não só para pessoas em particular mas a rede pública de saúde.

Hoje com o avanço tecnológico e evolução dos materiais, o que tem de mais sofisticado e tecnológico são as próteses biônicas onde são equipamentos que se assemelham cada vez mais com o nosso corpo humano. Estas são próteses cognitivas onde seus movimentos são ordenados de acordo com pulsos nervosos enviados do cérebro para os

músculos afetados, onde sensores feitos de nanotecnologia são acionados para realizar diversas tarefas desde as mais simples a mais complexas.

O primeiro passo deste projeto foi a detecção dos movimentos sensoriais afetados no paciente, pois todas as próteses mesmas as que se movimentam-se pelo pensamento tem falas em reproduzir sensações que enviam algum tipo de pulso para o cérebro, onde assim estes nervos periféricos e músculos foram interligados a prótese biônica para que pudessem ser reproduzidas alguns tipos de sensações para estimular o cérebro do paciente e conseqüentemente os músculos e nervos afetados (Oskar Aszmann, 2014).

Neste novo modelo os sensores de nanotecnologia enviam estímulos produzidos pelos músculos do paciente e os envia para a ponta dos dedos metálicos que recebem estes impulsos e realiza os movimentos da mão biônica, que ao mesmo tempo envia estímulos dos dedos metálicos direto para o cérebro graças aos elétrodos posicionados logo acima do local da amputação.

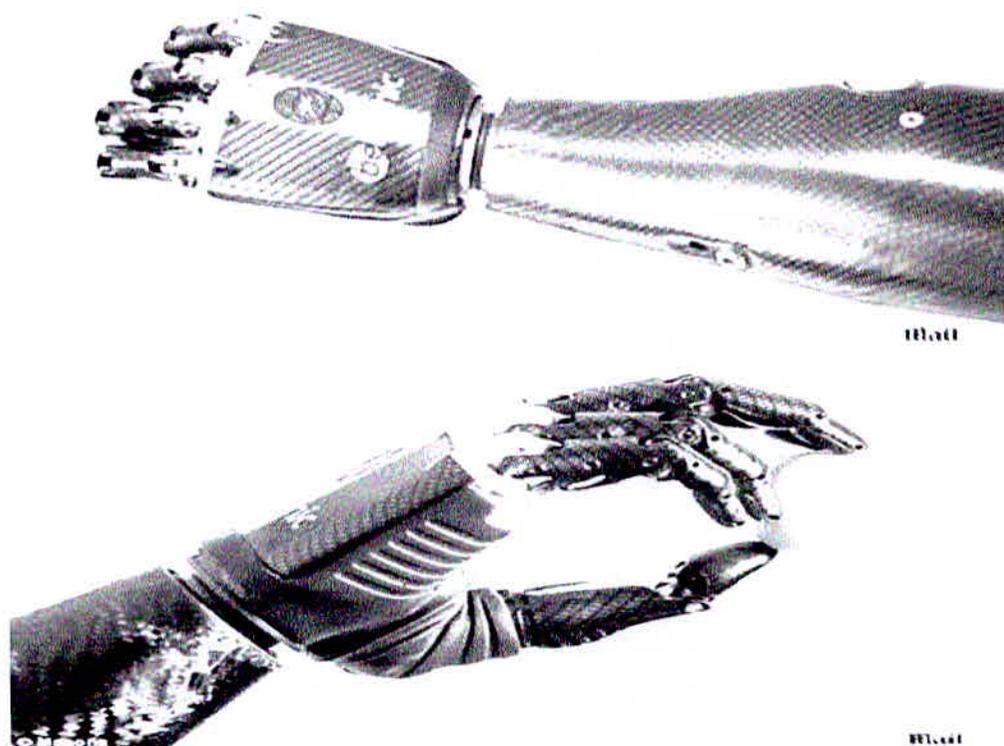
Nos projetos mais recentes foram utilizados pedaços de madeira, plásticos e tecidos, além da fibra de carbono, mas ainda existe algumas limitações que estão sendo caso de estudos para melhorar ainda mais este sofisticado equipamento pois é possível apenas distinguir formato de objetos e se ele é macio ou rígido, isso sem contar a enorme quantidade de fios na parte interna do equipamento. Mesmo com inúmeras dificuldades e limitações a velocidade de resposta e as altas taxas de acerto deixam pesquisadores e pacientes com um sentimento que estamos no caminho certo para o desenvolvimento de prótese de nível de reposição (Oskar Aszmann, 2014).

A aliança entre computação, medicina, engenharias e com o desenvolvimento de materiais ligados a fabricação de prótese humanas, são os responsáveis por pesquisas como essa. Na área de neurologia, Miguel Nicolelis, ligado ao Instituto Internacional de Neurociências e à Universidade de Duke, na Carolina do Norte (EUA), divulgaram um trabalho na revista *Neurosurgery* em que sinaliza que o homem, a exemplo do que foi demonstrado concretamente em macacos na sua pesquisa, também pode, em tese, controlar robôs e próteses por meio da atividade elétrica de seus neurônios (Marta Kanashiro, 2005).

Laboratórios nos Estados Unidos e na Europa já fabricam próteses de alta tecnologia semelhantes às da Mão de São Carlos. Um exemplo é o novo modelo de prótese de mão criado na Universidade Southampton (Inglaterra), pela equipe de Chappell, modelo recentemente divulgado utiliza seis motores e um sistema de engrenagens que permite a movimentação independente dos dedos, proporcionada por estímulos mioelétricos, ou seja, estímulos elétricos gerados quando o músculo se contrai, sendo assim que pacientes com

membros de amputação total possam realizar movimentos complexos do corpo humano a partir de sensores elétricos instalados em próteses cognitivas (Marta Kanashiro, 2005).

Figura 8: Braço biônico feito em fibra de carbono.



Fonte: Dieter Nagl/AFP

Com vários tipos de prótese disponíveis no mercado, temos que ter o bom senso e disponibilidade para fazer a melhor escolha, por este motivo foi escolhido dois modelos de próteses semelhantes porém uma fabricada em madeira e outra em fibra de carbono. Temos que deixar claro que se tratando de tecnologia e sofisticação sempre uma prótese de fibra de carbono será superior devido a infinidade de possibilidade tecnológica do material em relação a componentes elétricos e sensoriais.

A tabela abaixo faz uma comparação entre duas próteses de joelho onde são necessários alguns pontos decisivos para escolha da prótese, como por exemplo, tipo de apoio, ângulo máximo de deflexão do equipamento, e tipo de atividade do paciente (normal, moderado ou atleta). O nível normal refere-se a pacientes que utilizam o equipamento apenas em algumas ocasiões do dia, onde o mesmo apenas se locomove quando há necessidade e em poucas distancias, o nível moderado são os pacientes que utilizam constantemente o equipamento, ficam sobre o uso do mesmo por várias horas do dia em longas caminhadas

(somadas por intervalos), já o nível atleta são prótese que o paciente utiliza apenas na pratica de esportes seja profissional ou apenas atividade física (o modelo que utilizamos não é utilizado para atletas nem mesmo os atletas que praticam atividade física moderada).

Tabela 1: comparação prótese de carbono x prótese de madeira.

Fibra de carbono x madeira		
	carbono	madeira
peso	1,8kg	700g
vida útil (media)	5 anos	5 anos
carga máxima	110kg	175kg
preço (médio em reais)	70.000,00	7.500,00
ângulo de deflexão joelho	140°	160°
tipo de encaixe*	soquete / sensorial	soquete
articulação	pino deslizante / rolamentos	pinos deslizante / rolamento
nível de amputação	total	ate 1/3 da perna (devido encaixe)
apoio	acoplamento muscular	acoplamento muscular
nível atividade	media	media
quantidade material	1,4kg carbono	500g madeira
dimensionamento	ilimitado	limitado

*" tipo de encaixe necessitam de fita de sílica ou silicone para melhor conforto no paciente.

Estas comparações foram feitas a partir de artigos e/ou informações disponíveis pelos fabricantes dos dispositivos, onde foram colocadas em um mesmo parâmetro para realização da comparação (modelo, tipo de atividade, e tipo de amputação), fatores para torna a comparação justa e significativa.

Figura 9: Protese de fibra de carbono utilizada para comparação.



Fonte: Catalogo Conforpés, 2015.

7 AREA DE ATUAÇÃO DE ENGENHEIRO MECÂNICO NA MEDICINA

O engenheiro mecânico é o profissional responsável pelo projeto, execução, manutenção e também por colocar em funcionamento qualquer tipo de equipamento que produz, transmite ou utiliza energia, como motores e máquinas em geral. Cuida sempre da segurança, qualidade e eficiência operacional e financeira, além da certificação e documentação técnica dos sistemas mecânicos. Para tal, efetua cálculos, elabora modelos matemáticos, simulações e testes, para que tudo saia perfeito e pronto para o uso do cliente.

A engenharia mecânica é relacionada à engenharia de materiais, térmica e industrial, pois durante a concepção de qualquer produto, o engenheiro precisa definir qual o material será utilizado com as propriedades mais adequadas e menor custo para aquela aplicação de um sistema, atuações em que as diversas engenharias se integram. Esse profissional pode atuar em todos os setores industriais com ênfase na área mecânica, tais como montadoras de automóveis e autopeças, indústrias de construção de máquinas e equipamentos dos mais variados tipos e indústria naval, aeronáutica, petroquímica e de informática.

Uma área do mercado de trabalho que está bastante em alta é aquela em que esse tipo de profissional auxilia com seus conhecimentos em materiais, a fabricação de próteses, onde o mesmo atua com dimensionamento estrutural, escolha de materiais, executa cálculos de esforços, e principalmente a construção de novos equipamentos que possibilitam não só a fabricação, mas também a diagnosticar com mais rapidez uma anomalia.

Um exemplo mais visível de como a engenharia mecânica atua diretamente no are a saúde, está relacionada com a prototipagem em 3D, cujo a tecnologia ajuda os médicos a anteciparem técnicas de cirurgia, sendo possível uma pré-visualização do que ele irá encontrar na cirurgia real no paciente de verdade, reduzindo material em excesso, tempo de cirurgia, tempo com anestesista, entre outros fatores devido já terem se preparado para realizar a cirurgia.

Com o avanço na bioengenharia, hoje podemos utilizar matérias com um poder nocivo e colateral no corpo humano cada vez menor, devido as propriedades dos materiais estarem em constante evolução devido as novas ligas que surgem a cada etapa do processo de fabricação dos materiais. Com o avanço da nanotecnologia na área de prótese, o engenheiro mecânico é cada vez mais solicitado devido sua capacidade de trabalhar com materiais composto por carbono, uma vez que suas ligas são especiais devido o auto desempenho em movimento, gral de liberdade, e condutividade.

No ramo de equipamentos usados em laboratórios de medicina em geral, o engenheiro atua na fabricação e manutenção dos equipamentos que são cada vez mais robustos e sofisticados com capacidades de detecção e medição cada vez mais avançados. Equipamentos que auxiliam os médicos a projetar próteses com geometrias irregulares que seriam impossíveis de serem fabricadas nos sistemas de coordenadas convencionais.

Abaixo está uma lista com as áreas que um engenheiro mecânico pode atuar com louvor na área da medicina, lembrando que um engenheiro sozinho será incapaz de produzir uma boa prótese devido sua falta de conhecimento em cirurgias, corpo humano, entre outras situações que cabe ao médico especialista decidir.

- Desenvolvimento de projetos utilizando software de dimensionamento como CAD, CATIA, INVENTOR, entre outros que possibilitam gerar os desenhos técnicos utilizados na fabricação das próteses.
- Cálculos de esforços (tensão, tração, momento, elasticidade, rigidez, massa);
- Calculo de vida útil do material;
- Escolha de materiais;
- Dimensionamento do material;
- Tipos de comando (rolamento, pinos),
- Espessura do material (índice de esbeltes);
- Fator de amortecimento;
- Análise de vibrações;
- Análise de estresse do material;
- Fabricação de equipamentos de laboratório como por exemplo, máquina de raio X, ressonância magnética, entre outros tipos de máquinas utilizadas para a verificação de anomalias no corpo humano;
- Desenvolvimento e participação em fabricação de próteses em geral;
- Pesquisa de novos materiais (ligas);
- Desenvolvimento de máquinas para o processo de fabricação das próteses (impressoras 3D);
- Manutenção dos equipamentos em geral,

Entre tanto estas são apenas algumas das habilidades do engenheiro mecânico que auxiliam os médicos a salvar vidas e também a amenizar a falta de partes do corpo que não funcionam muito bem o tiveram que ser removidas por algum motivo. O engenheiro mecânico é um profissional indispensável a elaboração de prótese.

8 CONCLUSÃO

O material proposto como alternativo para a fabricação de prótese mostrou-se muito mais econômico financeiramente, atendendo todos os requisitos de uma prótese convencional de fibra de carbono, desde seu dimensionamento até aos esforços exigidos (marcha de passo e peso), reduzindo custo de fabricação, tempo e aumento da capacidade produtiva também são fatores positivo relacionado a prótese de madeira.

Os resultados obtidos na comparação entre os dois modelos de prótese foram muito significativos, mas a falta de desenvolvimento e pesquisas relacionadas com a madeira ainda estão muito atrasadas em relação a bioengenharia. Fatores como incentivo ao plantio de arvores de madeiras consideradas “madeiras de lei”, dificultam a produção e pesquisas não só na área de prótese, mas também em vários setores com por exemplo a construção civil, pois este tipo de material não é de fácil acesso.

Mesmo obtendo resultados superiores com a prótese de madeira e um valor muitas vezes inferior chegando na margem de 10% do valor de uma prótese convencional, não podemos deixar de falar sobre as próteses de fibra de carbono, pois mesmo ela tendo valores superiores, este tipo de equipamento não pode deixar de ser produzido, as novas tecnologias tanto de fabricação e desenvolvimento de próteses existentes hoje, fazem com que este tipo de equipamento possibilitam os pacientes a terem uma vida mais próxima do normal devido aos avanços tecnológicos que aproximam a máquina ao corpo humano.

Podemos dizer que a área da engenharia é muito vasta, mas com os conceitos de engenharia bem formados, este profissional pode atuar em diversas áreas, como por exemplo a medicina. Com mais esta área de atuação fica a critério de cada profissional escolher qual área ele se identifica e quer investir.

Na área da medicina os engenheiros atuam fortemente, mas precisam de qualificação e de escolas capacitadas em oferecer cursos e treinamentos de especialização, pois só assim teremos um ciclo completo de bons profissionais e qualificação técnica especializada, podendo obter resultados ainda mais complexos dos que já temos hoje.

REFERENCIAS

- SILVA, Alessandro, Próteses e seus materiais, **Jornal UNICAMP**, Campinas S.P, agosto a setembro, 2013.
- BRONZINO, J.D., The Biomedical Engineering Handbook, Ed. B. D. Ratner, 2 edição, Boca Raton USA, 2000.
- CRISTINA, Izabel de melo, Língua Portuguesa – dicionários 1, Ed. Saraiva, São Paulo S.P., Julho, 2012.
- GOMES, Luiz Sérgio Marcelino, Artroplastia de Quadril: O que você precisa saber antes da cirurgia, **Medicina no ato**, Rio de Janeiro R.J., agosto, 2011.
- HERMINI, Helder, Próteses, **Revista Ciência e Tecnologia UNIP**, São Paulo S.P., dezembro, 2011.
- KANASHIRO, Marta, Revista ComCiência, reportagem “Próteses aproxima homem de robô”, 2005, <http://www.comciencia.br/reportagens/2005/10/03.shtml>, acessado em setembro de 2015.
- NUNO, EMANUEL, Relatório de Projeto final de Mestrado, INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), Cidade do Porto, Portugal, Fevereiro, 2011.
- OSHIDA, Y. *Bioscience and bioengineering of titanium materials*, ed. Elsevier, Ohaio Canada, Setembro, 2007.
- ASZMANN, Oskar, Inovações no mundo das próteses, **Revista médica “The Lancet”**, Viena, Áustria maio, 2014, Universidade de Viena.
- STIVANIN, Taíssa, Invesalius, o software brasileiro de impressão 3D que revoluciona a Medicina, **CTI (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer)**, São Paulo, S.P., abril, 2005.
- UFMG, L.d.U.A, *CAD/CAM: Sistemas Integrados de Produção Visando Prototipagem Rápida*; (<http://www.demec.ufmg.br/Grupos/Usinagem/CADCAM.htm>), acessado em abril de 2015.
- ULBRICH, C. B. L. Tecnologia também é cultura. *Máquina e Metais*, Aranda ditora, p 567, abril, 2013.
- VOLPATO, N. et al. Prototipagem rápida - tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- CALLISTER Jr, Willian D., *Materiais Fundamentos e Engenharia dos Materiais -*, 2 edições, abril, 2005.