

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta Dissertação será disponibilizado somente a partir de 17/02/2020.



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - FAAC

Programa de Pós-Graduação em Design

JOÃO VICTOR GOMES DOS SANTOS

**DESIGN DE PRÓTESE TRANSTIBIAL DE BAIXO CUSTO
CONSTITUÍDA POR BIOCOMPÓSITOS: DESENVOLVIMENTO E
AVALIAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BAURU – 2018



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - FAAC

Programa de Pós-Graduação em Design

JOÃO VICTOR GOMES DOS SANTOS

**DESIGN DE PRÓTESE TRANSTIBIAL DE BAIXO CUSTO
CONSTITUÍDA POR BIOCOMPÓSITOS: DESENVOLVIMENTO E
AVALIAÇÃO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, linha de pesquisa de Planejamento de Produto, sob orientação do Prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira.

BAURU – 2018

Santos, João Victor Gomes.

Design de prótese transtibial de baixo custo constituída por biocompósitos: desenvolvimento e avaliação / João Victor Gomes dos Santos. Bauru, 2018.

99 f. : il.

Orientador: Marco Antônio dos Reis Pereira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2018.

1. Design. 2. Prótese. 3. Biocompósitos. 4. Bambu.
I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Bauru
Orientador

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação
(Membro Titular)

Prof. Dr. Cesar Foschinni
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Bauru
(Membro Titular)

Bauru, 2018

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOÃO VICTOR GOMES DOS SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 17 dias do mês de agosto do ano de 2018, às 09:00 horas, no(a) Sala , reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MARCO ANTONIO DOS REIS PEREIRA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - UNESP/ Campus de Bauru, Prof. Dr. CESAR RENATO FOSCHINI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOÃO VICTOR GOMES DOS SANTOS, intitulada **DESIGN DE PRÓTESE TRANSTIBIAL DE BAIXO CUSTO CONSTITUÍDA POR BIOCAMPÓSITOS: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. MARCO ANTONIO DOS REIS PEREIRA

Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI

Prof. Dr. CESAR RENATO FOSCHINI

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha família e amigos pelo apoio e estímulo em toda minha caminhada acadêmica, em especial:

- Ao meu pai e amigo;
- À minha mãe e conselheira;
- À minha irmã e companheira;
- Ao meu irmão e protetor;
- Ao meu avô e exemplo.

Agradeço às pessoas que estiveram envolvidas direta ou indiretamente com este trabalho e contribuíram para sua concretização, em especial:

- Ao meu orientador, Prof. Dr. Marco dos Reis Pereira, pela parceria e contribuição;
- Aos parceiros Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli, Prof. Dr. César Renato Foschini e Prof. Dr. Tomas Queiroz Barata, pelas contribuições em suas respectivas áreas de atuação;
- Aos técnicos Paulo, Hélio e José Maria pela contribuição nas oficinas;
- Ao protesista da APAE Erickson pela contribuição técnica;
- Ao Prof. Flávio Boaventura, pelos conhecimentos compartilhados;
- Ao Prof. Sílvio Verdério, pelos conhecimentos compartilhados;

Agradeço às entidades apoiadoras do projeto, em especial:

- Ao Programa de Pós-Graduação em Design da Unesp de Bauru e à Capes pela concessão da bolsa e apoio técnico para o desenvolvimento da pesquisa;
- À FEB, FAAC, LDMP e CADEP pela disponibilização de suas infraestruturas;
- Ao laboratório CENIC de São Carlos pela parceria e contribuição técnica;
- À Kehi[®] Indústria e Comércio Ltda pelo fornecimento dos materiais e apoio técnico;
- À Agência Unesp de Inovação pelo financiamento tecnológico e contribuição técnica;
- À APAE de Bauru pela recepção e contribuição técnica;

RESUMO

SANTOS, João Victor Gomes. **Design de prótese transtibial de baixo custo constituída por biocompósitos: desenvolvimento e avaliação.** 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru, 2018.

Os elevados investimentos em tecnologia e materiais de alto desempenho no mercado de produtos assistivos vêm resultando em equipamentos de alta sofisticação, porém de custo elevado, o que inviabiliza sua aquisição pela população de baixa renda. No Brasil, apesar de o Sistema Público de Saúde (SUS) possibilitar a obtenção gratuita dessas próteses, o serviço é caracterizado por falhas e longos períodos de espera. Dessa maneira, buscando atender essa demanda existente no Brasil por próteses de preço acessível para população de baixa renda, este presente estudo propõe o desenvolvimento de um produto alternativo aos convencionais através do desenvolvimento e a avaliação experimental de um protótipo de prótese transtibial fabricado com materiais sustentáveis de baixo custo. Por serem provenientes de fonte renovável, o emprego destes biocompósitos resultantes da junção de bambu e resina poliuretana à base de óleo de mamona, contribuiu para a redução do impacto ambiental e também para a redução do preço final do produto. Para as etapas de Projeto do Produto, foram adotadas metodologias específicas do design de produtos centrado no usuário, bem como metodologias para processamento de materiais e avaliação de protótipos. A adoção dessas metodologias e o emprego de softwares CAD e CAE durante toda a fase de projeto contribuiu para um desenvolvimento eficiente das etapas, auxiliando na prevenção de falhas e redução no tempo de produção. A qualidade dos compósitos e dos produtos resultantes da metodologia proposta pode ser notada nos resultados dos ensaios mecânicos que, mesmo preliminares, confirmaram a viabilidade de aplicação dos compósitos naturais na fabricação de próteses.

Palavras-chave: Design. Prótese. Bambu. Sustentabilidade. Protótipo.

ABSTRACT

SANTOS, João Victor Gomes. Design of transtibial prosthesis of low cost constituted by biocompósitos: development and evaluation. 2018. 99 f. Dissertation (Master in Design) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru, 2018.

The high investments in technology and high-performance materials in the assistive products market have resulted in highly sophisticated equipment, but also with a high cost, which makes it unfeasible for the low income population. In Brazil, although the Public Health System (SUS) makes it possible to obtain these prostheses free of charge, the service is characterized by failures and long waiting periods. Therefore, the present study proposes the design of an alternative product to the conventional ones through the development and the experimental evaluation of a prototype of transtibial prosthesis manufactured with low cost sustainable materials. The use of these biocomposites, resulted from the joining of bamboo and polyurethane resin based on castor oil, contributed to the reduction of the environmental impact and also to the reduction of the final product price. For the Product Design stages, specific user-centered product design methodologies were adopted, as well as methodologies for processing materials and evaluating prototypes. The adoption of these methodologies and the use of CAD and CAE software throughout the design phase contributed to an efficient development of the steps, helping to prevent failures and reduce production time. The quality of the composites and the products resulting from the proposed methodology can be noticed in the results of the mechanical tests that, even preliminary, confirmed the feasibility of applying the natural composites in the manufacture of prostheses.

Keywords: Design. Prosthesis. Biocomposites. Bamboo. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de amputações de membros superiores e inferiores. Fonte: Santos et al. (2018).....	5
Figura 2 - Representação de uma prótese transtibial endoesquelética. Fonte: Santos et al. (2018).....	7
Figura 3 - Tipos de próteses transtibiais (endoesqueléticas e exoesqueléticas) e sistemas de encaixe (KBM, PTS e PTB) com destaque (em vermelho) para o componente Soquete. Fonte: do autor.	8
Figura 4 - Componentes modulares de uma prótese transtibial endoesquelética e suas descrições. Fonte: do autor.	10
Figura 5 - Pé protético do modelo Vari-Flex® da össur®. Fonte: www.ossur.com.br.....	11
Figura 6 - Pé protético do modelo Triton Low Profile da Ottobock®. Fonte: www.ottobock.com.br.....	12
Figura 7 - Pé protético modelo Pé Epirus da Conforpés. www.conforpes.com.br.	12
Figura 8 - Problemas decorrentes da má utilização ou ajuste incorreto da prótese ou órtese. Fonte: Santos et al. (2018).	13
Figura 9 – Representação do membro residual com destaque e das áreas sensíveis e tolerantes à pressão. Fonte: (LEE, ZHANG e MAK, 2005).	14
Figura 10 – Etapas de confecção de um soquete. A - Dimensionamento do Coto; B - Destaque das Áreas de Carga e Descarga; C - Confecção do Molde Negativo; E - Confecção do Molde Positivo;	15
Figura 11 - Próteses transtibiais de modelo simples (esq) e sofisticado (dir). Fonte: do Autor.	16
Figura 12 - Fases da Marcha com e sem prótese. Fonte: baseado em HAIDEIRI, 2005.	19
Figura 13 - Fluxograma do PDP proposto por Rozenfeld et al. (2006).....	22
Figura 14 - Componentes básicos da AEF de uma prótese. Fonte: do autor.	25
Figura 15 - Fluxograma da metodologia adotada para AEF. Adaptado de Bathe (2006).	26
Figura 16 – Metodologias do Design Sustentável com inclusão do Tripé da Sustentabilidade. Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018).	28
Figura 17 - Etapas e fluxos propostos pelo Life Cycle Design (Adaptado de Manzini; Vezzoli, 2008).	29
Figura 18 - Principais tipos de fibras de acordo com a sua procedência. Adaptado de Chowdary (2014).	35
Figura 19 - Classificação de compósitos de acordo com sua composição e orientação. Adaptado de Matthews e Rawlings (1999).	37
Figura 20 – Representações de orientação de fibras: (a) fibras descontínuas aleatórias, (b) fibras descontínuas unidirecionais, (c) fibras contínuas unidirecionais, d) fibras contínuas aleatórias e, e) bidirecionais.	38
Figura 21 - Morfologia do Bambu. Touceira, folhas, galhos, brotos, rizomas, folhas caulinares, colmos, internós, nós, raízes e diafragma.	42
Figura 22 - Materiais provenientes do bambu. Adaptado de Pereira e Beraldo (2016). ..	44
Figura 23 - Corte transversal de um colmo de bambu com as fibras aparentes (pontos mais escuros). Fonte: www.bamboogarden.com	45
Figura 24 - Tensões de cisalhamento por diferentes autores. Fonte: Adaptado de Lapo e Beraldo (2007).	47
Figura 25 - Comparação entre tensões de ruptura em compressão obtidas por diferentes autores. Fonte: Lapo e Beraldo (2007).	47

Figura 26 - Comparação entre os MOE obtidos pelos diferentes autores. Fonte: Lapo e Beraldo (2008).....	48
Figura 27 - Comparação dos valores de MOR obtidos por diferentes autores utilizando diferentes tipos de adesivo (Cascophen, Cascorez e PU à base de óleo de mamona). Fonte: Lapo e Beraldo (2008).....	49
Figura 28 - Fluxograma com as etapas metodológicas. Fonte: do autor.	51
Figura 29 – Conteúdo estudado para elaboração de diretrizes e embasamento técnico da pesquisa. Fonte: do autor.	53
Figura 30 - Esboços das alternativas com destaque para alternativa inicial selecionada. Fonte: do autor.	58
Figura 31 - Interface do software utilizado para modelagem das alternativas iniciais. Fonte: do autor.	58
Figura 32 Distâncias entre os planos e dimensões dos gabaritos com destaque para o eixo de carga resultante e preenchimento do soquete (em azul). Fonte: do autor. .	60
Figura 33 - Interface do software utilizado para AEF com destaque para a Malha gerada, as regiões de Carga e Fixação e visualização de uma das restrições entre componentes. Fonte: do autor.....	62
Figura 34 - - Interface do software durante adição da textura do BLaC na biblioteca e animação das simulações. Fonte: do autor.	63
Figura 35 - Fluxograma das etapas da macro fase de Produção. Fonte: do autor.	64
Figura 36 - Etapas do processamento das lâminas de bambu. Fonte: do autor.....	65
Figura 37 - Processo de obtenção das fibras do bambu com Trituração dos resíduos no moinho de martelos e granulometria das fibras com destaque para a peneira vibratória utilizada. Fonte: do autor.	66
Figura 38 - Dimensões do soquete padrão para ensaios mecânicos. Fonte: Adaptado de Campbel et al. (2012)	67
Figura 39 - Processo de produção do molde positivo do soquete. Fonte: do autor.....	67
Figura 40 - Materiais e ferramentas utilizadas para a confecção do sistema de aquecimento dos moldes para o BLaC. Fonte: do autor.....	68
Figura 41 - Produção dos moldes Macho e Fêmea com fixação dos gabaritos e corte com tupa. Fonte: do autor.	69
Figura 42 - Processo de instalação das chapas de alumínio aos moldes. Fonte: do autor.....	69
Figura 43 - Processo de adaptação dos quatro Sargentos Barra T. Fonte: do autor.	69
Figura 44 - Confecção do dispositivo de controle de temperatura do sistema de aquecimento com destaque para a configuração do circuito. Fonte: do autor.....	70
Figura 45 - Instalação dos moldes e preparação para prensagem da Quilha e Calcanhar. Fonte: do autor.	70
Figura 46 - Aplicação da resina nas ripas seguida da introdução do conjunto no molde e prensagem com torquímetro. Fonte: do autor.	71
Figura 47 – Corte e lixamento lateral, superior e inferior das peças de BLaC produzidas para confecção do pé protético. Fonte: do autor.	71
Figura 48 – Processos de colagem da Quilha ao Calcanhar, furação e laminação da sola de BFB com posterior desbaste e acabamento do pé protético. Fonte: do autor.	72
Figura 49 - Procedimento de prensagem, torneamento e acabamento do cilindro de BLaC da prótese. Fonte: do autor.	73
Figura 50 - Preparação do molde positivo e laminação das camadas de acabamento interno, estrutura e acabamento externo. Fonte: do autor.	74

Figura 51 - Usinagem do Adaptador Angular em Alumínio e pesagem do componente. Fonte: do autor.	74
Figura 52 - Dispositivos fabricados conforme norma 10328:2016 para instalação da prótese nas máquinas. Fonte: do autor.....	75
Figura 53 - Configuração dos ensaios estáticos e do ensaio cíclico. Fonte: do autor. ...	77
Figura 54 - Visualização em escala logarítmica da Tensão de Von Mises do ensaio com destaque para as regiões com maior concentração de estresse. Fonte: do autor.....	79
Figura 55 – Da esquerda para a direita: Visualização do deslocamento, Visualização em Escala Logarítmica da Tensão Elástica, Detalhe em corte e vista em perspectiva das áreas de concentração. Fonte: do autor.	80
Figura 56 - Renderizações do protótipo virtual e detalhes das animações de explosão. Fonte: do autor.	81
Figura 57 - Caderno de pranchas técnicas e instruções de produção. Fonte: do Autor.	81
Figura 58 - Imagens do protótipo completo produzido utilizando a metodologia proposta. Fonte: do autor.	83
Figura 59 - Pé protético desmontado, partes principais da prótese com ferramentas necessárias para manipulação da prótese (chave allen e chave com soquete) e pé protético montado.....	83
Figura 60 - Detalhes das texturas apresentadas pelo BFB e BLaC. Fonte: do autor.	84
Figura 61 - Representação da configuração do ensaio, Configuração real do corpo de prova e Registro da ruptura do pé protético com destaque para a porca. Fonte: do autor.....	85
Figura 62 - Detalhes do corpo de prova após ruptura do ensaio cíclico. Fonte: do autor.	85
Figura 63 - Imagens do pé protético antes e depois da aplicação da carga de 1.610 N. Fonte: do autor.	86
Figura 64 - Representação da configuração do ensaio e gráfico de Força x Deslocamento. Fonte: do autor.	86
Figura 65 - Ensaio estático <i>Proof Test Force</i> : Condição II com cisalhamento do parafuso. Fonte: do autor.....	87
Figura 66 - Segunda etapa do ensaio estático <i>Proof Test Force</i> , com ruptura do calcanhar. Fonte: do autor.....	87
Figura 67 - Representação da configuração do ensaio Estático - <i>Proof Test Force</i> : Condição II e gráfico resultante das duas etapas (1: Cisalhamento do Parafuso e 2: Ruptura do calcanhar). Fonte: do autor.	87
Figura 68 - Detalhes da ruptura do corpo de prova do ensaio estático - <i>Proof Test Force</i> : Condição II. Fonte: do autor.	88
Figura 69 - Comportamento do corpo de prova no ensaio <i>Ultimate Static Test Force</i> . Fonte: do autor.	88
Figura 70 - Dados resultantes do <i>Ultimate Static Test Force</i> e representação do ensaio. Fonte: do autor.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela comparativa de compósitos de bambu e de outros materiais. Adaptado de TARGA (2011).....	49
Tabela 2 - Tabela comparativa da resistência à tração de compósitos com diferentes fibras vegetais. Adaptado de Targa (2011).	50
Tabela 3 – Descrição e propriedades dos componentes que compõem a prótese. Fonte: do autor.	59
Tabela 4 - Propriedades do BLaC e BFB utilizadas para criação de materiais no software. Fonte: do autor.....	61
Tabela 5 - Parâmetros para realização dos ensaios Estáticos e Cíclico. Fonte: do autor.....	76
Tabela 6 - Propriedades do modelo virtual importado para o software de AEF. Fonte: do autor.	78
Tabela 7 - Valores obtidos no ensaio Estático Estrutural (Tensão de von-Mises) e deslocamento da prótese nos eixos da montagem. Fonte: do autor.....	79

LISTA DE ABREVIações

AACD

Assistência Associação de Assistência à Criança Deficiente, 6

AEF

Análise de Elementos Finitos, 25, 26, 76, 78, 80

AISI

American Iron and Steel Institute, 59

ASM

American Society for Metals, 34, 37, 39, 49, 92

BFB, 61

Biocompósito de Fibra de Bambu, 56, 59, 60, 59, 62, 73, 82, 84

BLaC

Bambu Laminado Colado, 3, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 79, 84, 85

CAD

Computer Aided Design, 3, 24, 25, 26

CAE

Computer Aided Engineering, 3, 24, 25

CAM

Computer Aided Manufacturing, 3

CONAMA

Conselho Nacional do Meio Ambiente, 28

DFX

Design for X, 2, 51, 83

ISO

International Organization for Standardization, 3, 21, 52, 56, 59, 60, 61, 67, 75, 76, 95

KBM

Kondylen Bettung Münster, 9

MDF

Medium Density Fiberboard, 68, 72

OMS

Organização Mundial da Saúde, 6, 97

PDP

Processo de Desenvolvimento de Produto, 22, 23, 28, 51

PF

Prototipagem Física, 24

PTB

Patella Tendon Bearing, 9

PTS

- Prótese Tibiale Supracondylienne, 9

PU

Poliuretano, 40, 47, 50, 92

PV

Prototipagem Virtual, 24, 26

SACH

Solid Ankle Cushion Heel, 11, 89

SUS

Sistema Único de Saúde, 6, 4, 6, 15

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	<i>OBJETIVOS</i>	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	<i>AMPUTAÇÃO E PRÓTESES</i>	4
2.1.1	Aspectos Clínicos da Protetização	12
2.1.2	Análises Mecânicas e Biomecânicas de Próteses.....	17
2.2	<i>DESIGN: MÉTODOS E CONCEITOS.....</i>	22
2.2.1	Prototipagem Virtual e Física	23
2.2.2	Inovação	27
2.2.3	Sustentabilidade	28
2.3	<i>BIOCOMPÓSITOS.....</i>	34
2.3.1	Resina Poliuretana de Mamona	38
2.3.2	Bambu	40
2.3.3	BLaC - Bambu Laminado Colado.....	44
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1	<i>PESQUISA.....</i>	52
3.1.1	Diretrizes da Biomecânica.....	53
3.1.2	Diretrizes do Processo de Protetização	53
3.1.3	Identificação das Necessidades do Usuário	54
3.1.4	Estudo de Métodos de Projeto e Normas Técnicas	55
3.2	<i>PROJETO DE PRODUTO</i>	56
3.2.1	Esboço	57
3.2.2	Modelagem Virtual	58
3.2.3	Análise de Elementos Finitos	60
3.2.4	Renderização e Simulação	62
3.2.5	Especificação Técnica.....	63
3.3	<i>PRODUÇÃO</i>	64
3.3.1	Processamento do Bambu	64
3.3.2	Processamento das Fibras de Bambu	65
3.3.3	Produção do Molde para Soquete.....	66
3.3.4	Produção dos Moldes para o Pé Protético	67
3.3.5	Produção do Pé Protético (Quilha e Calcanhar).....	70
3.3.6	Produção do Cilindro	73
3.3.7	Produção do Soquete	73
3.3.8	Produção do Adaptador.....	74
3.4	<i>AVALIAÇÃO MECÂNICA</i>	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
4.1	<i>RESULTADOS: PROJETO.....</i>	78
4.2	<i>RESULTADOS: PRODUÇÃO.....</i>	82
4.3	<i>RESULTADOS: AVALIAÇÃO.....</i>	85
5	CONCLUSÕES	90
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

Com o acelerado crescimento da população mundial e, conseqüentemente, o aumento da pressão sobre os recursos naturais do planeta, pesquisadores e profissionais de diversas áreas do conhecimento têm voltado sua atenção aos aspectos relacionados à sustentabilidade de seus projetos. Neste sentido, buscando atender as novas demandas da sociedade por produtos e sistemas de produção sustentáveis, o Designer passou a desempenhar um papel fundamental neste cenário, sendo responsável não somente pelas questões estéticas e funcionais de seus projetos, mas também pelos aspectos ambientais e sociais.

Metodologias de design orientadas para estes aspectos sociais podem ser definidas pelo termo Design Social e têm como meta a melhoria das condições de vida de determinados grupos (LÖBACH, 2001). Este é o caso de produtos da área de Tecnologia Assistiva, ou seja, produtos desenvolvidos para pessoas que apresentam algum tipo de limitação funcional ou cognitiva que as impedem de exercer plenamente as suas aptidões físicas, seja de maneira temporária ou permanente (IIDA, 2016).

Apesar de não receberem a mesma atenção que os produtos de consumo em massa, pesquisas e investimentos dedicados ao setor de tecnologia assistiva vêm demonstrando um visível aumento, dispondo, hoje, de um razoável acervo de conhecimento (IIDA, 2016). Proporcionalmente a estes progressos, cresceram também os investimentos em pesquisas e aplicações de materiais de alto desempenho, como a fibra de carbono, fibra de vidro e resina epóxi (CHOWDARY, 2014).

Ainda que proporcione maior durabilidade e resistência aos produtos, a aplicação destes materiais de alto desempenho resulta no aumento do seu preço final, inviabilizando sua aquisição pela população de baixa renda (CHE ME; IBRAHIM; TAHIR 2012) e sua distribuição por órgãos de assistência social.

Neste sentido, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (2016), há uma forte relação entre a pobreza e a deficiência, visto que, no mundo, apenas cerca de 10% das pessoas que necessitam de produtos assistivos, como próteses e órteses, têm acesso a eles. Elias; Monteiro e Chaves (2007) complementam ao afirmar que 80% das pessoas com deficiência no mundo vivem com baixa renda. Para Boccolini (2000), esta relação entre deficiência e pobreza é preocupante, visto que uma

amputação para indivíduos de baixa renda e escolaridade pode comprometer ou mesmo impedir o desempenho de seu trabalho, influenciando diretamente na garantia de seu sustento e de sua família.

Além do alto custo, resultante do emprego destas tecnologias e materiais de alto desempenho, os impactos negativos se propagam também ao meio ambiente, visto que, além de se tratarem de matérias-primas não recicláveis, liberam resíduos e gases nocivos durante sua produção e manuseio (CAMPBELL et al., 2012; CHOWDARY, 2014). Somado a isso, tem-se a impossibilidade de reutilização dos produtos, visto que órteses e alguns componentes de próteses são confeccionados especificamente para cada usuário, não havendo outra opção se não o seu descarte após sua vida útil. Este quadro, que se agrava com o aumento da utilização desses materiais, preocupa profissionais de diversos setores no que se refere a um dos maiores problemas da sociedade atual: o descarte de lixo. Por possuírem degradação extremamente lenta podem levar décadas ou até mesmo séculos para completa desintegração (CANGEMI, 2006; CAMPBELL et al., 2012; CHE ME; et al. 2012).

Portanto, considerando a relevância do problema, sua prevalência em uma parte considerável da população mundial e a previsão de seu aumento contínuo (RESNIK, 2011), é evidente a existência de uma demanda por soluções acessíveis e sustentáveis na área de protetização. Justifica-se, portanto, a escolha do tema deste estudo que tem como objetivo criar uma alternativa aos produtos convencionais e contribuir com o material científico disponível nesta área. Para tanto, este trabalho propõe um novo método de fabricação de uma prótese sustentável de baixo custo para o tipo mais frequente de amputações de membros inferiores: a transtibial (PASTRE et al. 2005). Para atingir os objetivos propostos de forma organizada e prevenir a ocorrência de falhas, foram empregadas metodologias de projeto que envolveu a utilização de programas avançados de prototipagem virtual e ferramentas específicas do design, como o método DFX (Design for "X") que propõe práticas para todo o ciclo de vida do produto, integrando aspectos relacionados ao Meio Ambiente e Fatores Humanos (ROZENFELD et al., 2006).

Para a produção dos protótipos foram elaborados biocompósitos baseados nas metodologias de Ramos (2014) e Marinho et al. (2013). Além de empregar materiais de fonte renovável como o bambu e a resina poliuretana a base de óleo de mamona, no processo de produção foram empregadas técnicas e equipamentos simples, aspectos estes que contribuíram para a redução dos custos de produção e,

consequentemente, do preço final do produto. Também foram realizados ensaios mecânicos baseados na norma ISO 10328:2016 (Teste estrutural de próteses de membros inferiores: Requisitos e métodos de teste) cujos resultados preliminares indicam que os materiais têm grande potencial para serem aplicados em próteses para membros inferiores.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi o de criar uma metodologia para produção de próteses transtibiais sustentáveis de baixo custo e avaliar os protótipos resultantes.

Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre as áreas abordadas por este projeto (Design de Produtos, Sustentabilidade, Engenharia Mecânica, Biomecânica, Amputação e Tecnologia Assistiva);
- Projetar e analisar os protótipos virtuais com auxílio de softwares CAD e CAE;
- Produzir três protótipos de prótese transtibial constituídas por Soquete, Cilindro e Pé Protético;
- Produzir dois pares de moldes térmicos do tipo macho e fêmea para conformação de pés protéticos (BLaC);
- Realizar Ensaio Mecânico baseado na norma ISO 10328:2016 - Teste estrutural de próteses de membros inferiores: Requisitos e métodos de teste.

5 CONCLUSÕES

Através da apresentação dos resultados deste trabalho é possível comprovar o potencial dos biocompósitos produzidos a partir do bambu e da resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação em próteses para membros inferiores. A metodologia desenvolvida com aplicação dos conceitos apresentados também comprova a viabilidade da produção do protótipo de uma prótese de bambu resistente, leve, barata, ecologicamente correta e de fácil produção.

A massa resultante da prótese de 1,2 kg pode caracterizá-la como uma prótese leve visto que as próteses semelhantes no mercado e nos estudos consultados apresentam massa de 1,5kg a 2 kg. Segundo Mattes et. al (2000), Smith & Martin (2013) e diversos outros autores e profissionais do ramo, a redução no peso das próteses propicia uma redução no custo energético da marcha e melhora sua simetria.

Em virtude da pouca quantidade de protótipos produzidos optou-se por não realizar a estimativa de custos de produção visto que diversas variáveis ainda não analisadas podem interferir radicalmente neste valor, como a vida útil dos moldes, aquisição dos componentes modulares e outros materiais em grandes quantidades, impostos e outros encargos. No entanto, é possível prever que este custo de produção será consideravelmente inferior ao custo de produção das próteses atuais em virtude do emprego de materiais simples de fontes renováveis, do reaproveitamento dos resíduos gerados e da utilização de processos de produção e equipamentos convencionais. Estes materiais e equipamentos diferem daqueles utilizados para produção das próteses atuais não somente pelo baixo custo de aquisição, mas também pela baixa qualificação exigida para manipulação e simples infraestrutura necessária.

Cabe ressaltar que, apesar da comparação entre o protótipo resultante e os produtos atualmente disponíveis no mercado, o produto desenvolvido por este trabalho se trata de uma alternativa de baixo custo, não sendo considerado um produto da mesma categoria, visto que possuem desempenhos diferentes.

Quanto aos processos de Projeto, Produção e Avaliação, não foram encontradas dificuldades, contudo, devido algumas limitações de infraestrutura, alguns procedimentos tiveram que ser adaptados. Como por exemplo, a mistura da resina, que, segundo as recomendações dos autores dos trabalhos consultados,

deve ser realizada a vácuo para evitar o surgimento de bolhas durante a mistura e aplicação, o que resulta redução da eficiência do adesivo.

Acredita-se que a utilização de equipamentos mais precisos e sofisticados melhore a eficiência mecânica da prótese, no entanto, é importante observar se o investimento necessário viabiliza sua aplicação, visto que o intuito principal deste trabalho é a produção de uma prótese de baixo custo. Ainda assim, apesar das adaptações realizadas e limitações citadas, a eficiência mecânica e os métodos propostos para produção e avaliação do protótipo foram satisfatórios, mesmo se tratando de testes preliminares cujo objetivo foi o de analisar o desempenho mecânico do material e sua viabilidade de aplicação na produção de próteses.

Também é pertinente destacar o papel fundamental que as metodologias de projeto e produção adotadas neste estudo desempenharam. O planejamento da pré-produção do protótipo, proporcionou uma produção rápida, eficiente e com ocorrências mínimas de falhas, já que, com o desenvolvimento de projetos virtuais 3D e de pranchas técnicas, os erros foram previstos antes da produção do protótipo.

Com o intuito de se alcançar a plena eficiência mecânica, econômica e ambiental da prótese resultante da metodologia proposta bem como fomentar a pesquisa com o bambu e contribuir com o material científico existente na área, recomenda-se a realização de mais estudos como:

- Reconduzir os ensaios mecânicos após a realização das alterações propostas;
- Realizar análises biomecânicas da prótese através de análise eletromiográfica de usuários voluntários;
- Analisar o desempenho ambiental do processo de produção da prótese através da utilização de ferramentas de análise ambiental;
- Aplicar questionários com usuários e não usuários de próteses sobre suas percepções em relação à estética do produto e sua funcionalidade;
- Realizar ensaios mecânicos individuais de cada componente (Soquete, Cilindro e Pé Protético);
- Realizar ensaios de caracterização dos biocompósitos resultantes da metodologia;
- Realizar estimativa de custo em um lote piloto;
- Desenvolver próteses de outros níveis de amputação com aplicação da metodologia apresentada;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMACO. **Compósitos Materiais, processos, aplicações, desempenhos e tendências**. São Paulo: ABMACO, 2009.

ABNT **NBR 10787**- Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão.2011.

ABNT **NBR 9779** - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. 2012.

AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. **Analysis and Performance of Fiber Composites** . New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

ASM - AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **ASM Handbook - Composites** . Materials Park, Ohio: American Society of Metals, v. 21, 2001.

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A. L. B.; **Velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambu**. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, São Paulo. 1981.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS A.; SILVA J.C. **Projeto Integrado de Produto: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. de. **Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico**, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n4/v12n04a03.pdf>>. Acesso Fevereiro de 2017.

BATHE, K.J. **Finite element procedures**. Prentice Hall, 2ª Ed. 1037 p. 2006.

BISWAS, D., BOSE, S. K., & HOSSAIN, M. M. **Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste**. International Journal of Adhesion and Adhesives, 31(2), 84-87. 2011.

BOCCOLINI, F. **Reabilitação: amputados, amputações, próteses**; 2.ed. São Paulo: LIMED. 254 p. 2000.

BRASIL. **Decreto Nº 7.612, DE 17 DE NOVEMBRO DE 2011**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7612.htm>. Acesso em Janeiro/2017.

BREZET, J. C.; HEMEL, C. G. V. **Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumptions**. Paris: UNEP. 1997.

CAMPBELL, A. SEXTON, S., SCHASCHKE, C. J., KINSMAN, H., MCLAUGHLIN, B., BOYLE, M. I. **Prosthetic limb sockets from plant-based composite materials**. Prosthetics and orthotics international, v. 36, n. 2, p. 181-189, 2012.

CANGEMI, J. M. **“Biodegradação de PU derivado do óleo de mamona”**, Tese de Doutorado, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil (2006).

CARVALHO, F. S.; KUNZ, V. C.; DEPIERI, T. Z.; CERVELINI, R. **Prevalência de amputação em membros inferiores de causa vascular: análise de prontuários**. Arq. Ciênc. Saúde Unipar, Umuarama, 9(1), jan./abr. p.23-30, 2005.

CAVALCANTI, A. L. B. L., PRETO, S. C. S., FIALHO, F. A. P., FIGUEIREDO, L. F. G. **Design para a Sustentabilidade: um conceito Interdisciplinar em construção.** *Projetica*, v. 3, n. 1, p. 252-263, 2012.

CHABOT T. G. **Are plant based fibres an acceptable alternative to fibreglass in the fabrication of prosthetic sockets?** In the Clinical Methods in Prosthetics and Orthotics GEORGE BROWN COLLEGE Spring. 2016.

CHE ME, R., IBRAHIM, R., TAHIR, P. **Natural Based Biocomposite Material for Prosthetic Socket Fabrication.** *International Journal of Sustainable Tropical Design Research and Practice*. Alma Cipta, Vol 5 (1), 27-33. 2012.

CHENG, L.C.; DE MELO FILHO, L.D.R. **Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produtos.** 2º Ed. São Paulo: Blücher, 2010.

CHOWDARY, R. N. M. **Use of natural fiber composites in prosthetics.** Tese de Doutorado. BIRLA INSTITUTE OF TECHNOLOGY AND SCIENCE PILANI. 2014.

CNA - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: V.1 - Safra 2013/14, n. 2 - Segundo Levantamento.** Brasília: CONAB, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS.** RESOLUÇÃO nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Seção 1, páginas 1116-1124. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=222>>. Acesso em: Janeiro/2017

D.O.E.A - Diário Oficial do Estado do Acre. **Nº 11.427. 04 de Novembro de 2014.** Disponível em: <http://diario.ac.gov.br/download.php?arquivo=KEQxQHI3lyEpRE8xNDE1MDYwOTU5ODQ3NC5wZGY=>. Acesso em <20/03/2017>.

DA SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** UfsCar. São Carlos. 2003.

DELAMARCHE, P.; DUFOUR, M.; MULTON, F. **Anatomia, Fisiologia e Biomecânica.** Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan. 286p. 2006.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade e sustentabilidade.** São Paulo: Atlas, 2009.

DILLINGHAM, T. R.; PEZZIN, L. E.; MACKENZIE, E. J. **Limb amputation and limb deficiency: epidemiology and recent trends in the United States.** *Southern medical journal*, v. 95, n. 8, p. 875-883, 2002.

DOUGHERTY, P.J. **Transtibial amputees from the Vietnam War. Twenty eight year follow up.** *J Bone Joint Surg Am*. 83-A. 383–389. 2001.

DRUCKER, P.F. **Inovação e Espírito Inovador: Prática e Princípios.** São Paulo: Cengage Learning, 378 p. 2011.

DUDEK, N. L., MARKS, M. B., MARSHALL, S. C., CHARDON, J. P. **Dermatologic conditions associated with use of a lower-extremity prosthesis.** *Archives of physical medicine and rehabilitation*, v. 86, n. 4, p. 659-663, 2005.

EBRAHIMZADEH, M. H.; HARIRI, S. **Long-term outcomes of unilateral transtibial amputations**. *Military medicine*, v. 174, n. 6, p. 593-597, 2009

ELIAS, M.P.; MONTEIRO, L.M.C e CHAVES C.R. **Acessibilidade a benefícios legais disponíveis no Rio de Janeiro para portadores de deficiência física**. Laboratório de Disfunção Miccional do Instituto Fernandes Figueira/Fundação Oswaldo Cruz. 2007

EMBRAPA **Acre lança Plano de Desenvolvimento do Bambu**. 08 de Agosto de 2016 Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15203675/seminario-acre-lanca-plano-de-desenvolvimento-do-bambu>> Acesso em: Fevereiro de 2017.

EMBRAPA. **Brasil e China vão estreitar cooperação em pesquisas de bambu**. 18 de Outubro de 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/29154699/brasil-e-china-va-estreitar-cooperacao-em-pesquisas-de-bambu>. Acesso em: Novembro, 2017.

ESTÊVÃO, R. J. O. **Desenvolvimento de uma prótese transtibial endoesquelética**. Dissertação de Mestrado (Eng. Mec.). 93p. il. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. 2009.

FIKSEL, J. **Design for environment: creating eco-efficient products and processes**. New York: McGraw-Hill, 1996.

FOLHA DE SÃO PAULO . **1 milhão de deficientes no Brasil esperam por próteses**. Maio de 2008. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1205200812.htm#_=_. Acesso em: Janeiro/2017)

FOWLER, P. A., HUGHES, J. M., & ELIAS, R. M. Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 12, p. 1781-1789, 2006

GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering**. In: Symposium Materials for Low Income Housing, 3, 1989, Mexico. Simpósio...Mexico: CIB/RILEM,p.526-536.

GHOSEIRI K, SAFARI MR. **Prevalence of heat and perspiration discomfort inside prostheses: Literature review**. *J Rehabil Res Dev*. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10>. Acesso em: Janeiro/2017.

GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. D. R.; GONÇALVES, C. D. **Ensaio de resistência mecânica em peças laminadas de bambu**. In XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA–CONBEA (Vol. 29). 2000.

GRABOWSKI, A.M.; RIFKIN, J.; KRAM, R. **K3 Promoter™ Prosthetic Foot Reduces the Metabolic Cost of Walking for Unilateral Transtibial Amputees**. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*. Volume 22 - Number 2. 2010

GRECO, T.M., CROMBERG, M. **Bambu: cultivo e manejo**. 183 p. Insular. 2011.

GRIMM, T. **User's Guide to Rapid Prototyping**. Dearborn: Society of manufacturing Engineers, 2004.

HAFNER, B. J., SANDERS, J. E., CZERNIECKI, J. M., & FERGASON, J. **Transtibial energy-storage-and-return prosthetic devices: A review of energy**

concepts and a proposed nomenclature *Journal of Rehabilitation Research and Development* Vol. 39 No. 1, January/February 2002. P. 1 – 11.

HEMEL, C.V.; CRAMER, J. **Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs**. *Journal of Cleaner Production*. V. 10, 439-453 p. Elsevier, 2002.

IARC. International Agency for Research on Cancer. - “**Press release 153**” 2004. Disponível em: <https://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2004/pr153.html> Acesso em: Fevereiro 2017.

ICBL. **Why Landmines Are Still a Problem**. Disponível em <http://icbl.org/en-gb/problem/why-landmines-are-still-a-problem.aspx> Acesso em Janeiro/2017.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção** / Itiro lida, Lia Buarque de Macedo Guimarães. – 3 ed. – São Paulo: Blucher, 2016.

IRVINE, G. M. **The glass transitions of lignin and hemicellulose and their measurement by differential thermal analysis**. *TAPPI J*, v. 67, p. 118-121, 1984.

ISO 10328:2016. Prosthetics. Structural testing of lower-limb prostheses. Requirements and test methods. **Especifica os procedimentos para testes de resistência estática e cíclicos sobre próteses de membros inferiores**. *International Organization for Standardization, Bruxelas*, p. 136, 2016.

JANSSEN, J.J.A. **Designing and building with bamboo**. Beijing, China: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), Technical report n.20, 2000.

JOSEPH, S., SREEKALA, M. S., OOMMEN, Z., KOSHY, P., THOMAS, S. **A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres**. *Composites Science and technology*, n. 62, p. 1058-1868, maio 2002.

KAPP, C.P.S.; CUMMINGS, C.P.D.; **Transtibial Amputation: Prosthetic Management**. Chapter 18B - *Atlas of Limb Prosthetics: Surgical, Prosthetic, and Rehabilitation Principles*, 965p. 3 ed. 2004. Disponível em <http://www.oandplibrary.org/alp/chap18-02.asp>. Acesso: Janeiro/2017.

KHAN, G. M. A.; YILMAZ, N. D.; YILMAZ, K. **Okra fibers**: potential material for green biocomposites. In: *Green biocomposites*. Springer International Publishing, p. 261-284. 2017.

KLUTE GK, KANTOR C, DARROUZET C, WILD H, WILKINSON S, IVELJIC S, CREASEY G. **Lower-limb amputee needs assessment using multistakeholder focus-group approach**. *J Rehabil Res Dev*. 2009;46(3):293–304.

KRAMER A.; SARDO K.; SLOCUMB W. **Analysis of bamboo reinforced composites for use in orthotic and prosthetic application**. American Academy of Orthotists & Prosthetists, Washington. 2015.

KRUGLIANSKAS, I. **Engenharia simultânea**: organização e implantação em empresas brasileiras. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 17. São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 1992.

LAPO, L. E. R.; BERARDO A. L. **Bambu Laminado Colado**. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n. 2, p. 165-177, mai/ago. 2007.

LEE, Winson C.; ZHANG, Ming; MAK, Arthur F. **Regional differences in pain**

threshold and tolerance of the transtibial residual limb: including the effects of age and interface material. Archives of physical medicine and rehabilitation, v. 86, n. 4, p. 641-649, 2005.

LEVY, S. W. **Amputees: skin problems and prostheses.** Cutis, v. 55, n. 5, p. 297-301, 1995.

LIESE, W. **Bamboos - Biology, silvies, properties, utilization.** Hamburgo: Eschborn, dt.Ges.fur.Techn. Zusammenarbeit (GTZ). 132p. 1985 ,

LÖBACH, B. **Design Industrial** Bases para a Configuração dos Produtos Industriais. 1ª ed. 208 pg. São Paulo. Edgar Blucher. 2001.

LONDONO, X. **Evaluation of Bamboo Resources in Latin America.** A Summary of the Final Report of Project N 96-8300-01-4 – International Network for Bamboo and Rattan. 1999.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, the gifts of the gods.** Columbia, Bogota: D'vinni Ltda, 2003.

MANTILLA CARRASCO, E. V.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P. V. **Bambu laminado e colado.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, MG: EBRAMEM, 1995. v. 2.

MANZINI, E., VEZZOLI, C. A. **Design for environmental sustainability.** Springer Science & Business Media, 2008.

MARINHO, N. P., NASCIMENTO, E. M., NISGOSKI, S., MAGALHÃES, W. L., CLARO NETO, S., & AZEVEDO, E. C. **Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu.** Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2013.

MASON, Z. D., PEARLMAN, J., COOPER, R. A., & LAFERRIER, J. Z. **Comparison of prosthetic feet prescribed to active individuals using ISO standards.** Prosthetics and Orthotics International. Vol 35, Issue 4, pp. 418 - 424. 2011.

MATTES, S. J., P. E. MARTIN, AND T. D. ROYER. **Walking symmetry and energy cost in persons with unilateral transtibial amputations: Matching prosthetic and intact limb inertial properties.** Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 81 (5):561-8. 2000.

MATTHEWS, F.L.; RAWLINGS, R.D. **Composite Materials,** Woodhead Publishing, 480 p. 1999.

MERLINI, C.; BARRA, G. M. D. O.; AL-QURESHI, H. A. **Análise experimental de compósitos de poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras de bananeira.** Dissertação Mestrado (Ciência e Engenharia de Materiais). 102 p. il. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2011.

MEULENBELT, H. E., GEERTZEN, J. H., JONKMAN, M. F., & DIJKSTRA, P. U. **Skin problems of the stump in lower limb amputees: 1. A clinical study.** *Acta dermato-venereologica*, v. 91, n. 2, p. 173-177, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes de Atenção à pessoa Amputada.** Brasil, 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf>. Acesso em: Janeiro, 2017.

MOHANTY, A. K., MISRA, M., DRZAL, L. T., SELKE, S. E., HARTE, B. R., & HINRICHSEN, G. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction.** Taylor & Francis: Boca Raton, 2005.

MORAES, A.; MONT´ALVÃO, C.: **Ergonomia: Conceitos e Aplicações.** Rio de Janeiro. Editora 2AB. 223p. 4ª ed. 2010

NASCIMENTO, L. F. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade.** Sistema Universidade Aberta do Brasil, 2008.

NAYLOR, P. F. D. **The skin surface and friction.** *British Journal of Dermatology*, 67: 239–248. 1955.

NURHANISAH, M. H., SABA, N., JAWAID, M., & PARIDAH, M. T. **Design of Prosthetic Leg Socket from Kenaf Fibre Based Composites.** In: *Green Biocomposites.* Springer, Cham, 2017. p. 127-141.

O’SULLIVAN, S. B., SCHIMITZ, T. J. **Fisioterapia: Avaliação e tratamento.** 2. ed. Bela Vista, SP: Manole, 1993.

OLIVEIRA, A. K. F.; PAEZ, J. B. **Caracterização físico–mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO CONVENCIONAIS NA CONSTRUÇÃO ECOLÓGICA E SUSTENTÁVEL. Salvador, 2006. Anais Eletrônico... Salvador, Ba: [s. n.].

OLIVEIRA, L. F. A. **Conhecendo Bambus e suas Potencialidades para uso na Construção Civil.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2013. 82 p. Monografia (Especialização em Construção Civil).

OMS (Organização Mundial da Saúde) **Opening the GATE for Assistive Health Technology and Assistive technology.** Acessado em Abril, 2017. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/assistive-technology/en/>. 2016.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais.** 2010. 181 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2010.

PAHL, G., WOLFGANG B., JÖRG F., KARL-HEINRICH G. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 411 p. 1ª Ed. 2005.

PASTRE, C. M.; SALIONI, J. F.; OLIVEIRA, B. A.; MICHELETTO, M.; JÚNIOR, J. N. **Fisioterapia e amputação transtibial.** *Arq Ciênc Saúde*, v. 12, n. 2, p. 120-24, 2005.

PEREIRA, M. A. R.. **PROJETO BAMBU: Introdução de Espécies, Manejo, Caracterização e Aplicações**. 210p. Tese (livre-docência) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru – SP, 2012.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 352p. 2ª Ed. 2016.

PETROVIC, Z. S., GUO, A., FULLER, R., & JAVNI, I. **Thermosetting resins from vegetable oils**. In: ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 57., 1999, New York. Proceedings... 1 CD-ROM. 1999.

PURRY, N. A., HANNON, M. A. **How successful is below-knee amputation for injury?**. *Injury*, v. 20, n. 1, p. 32-36, 1989.

RAMOS, B. P. F. **Metodologia de curvatura de bambu laminado colado (BLaC) para fabricação de mobiliário** – diretrizes para o design, Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2014, 114p.

RAYEGANI, S.M.; ARYANMEHR, A.; SORROSH, M.R.; BAGHBANI, M. **Phantom Pain, Phantom Sensation, and Spine Pain in Bilateral Lower Limb Amputees: Results of a National Survey of Iraq-Iran War Victims' Health Status**. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*. V.22, n. 3, p. 162-165, 2010.

RESNIK, L.; BORGIA, M. **Reliability of outcome measures for people with lower-limb amputations: distinguishing true change from statistical error**. *Physical therapy*, v. 91, n. 4, p. 555-565, 2011.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 99p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 542p. 2006.

SANTOS, J.V.G.; PEREIRA M.A.R.; MEDOLA, F. O.; PASCHOARELLI, L.C. **Design sustentável aplicado ao projeto de produtos assistivos fabricados com biocompósitos**. *Design, Artefatos e Sistema Sustentável*, p. 333-350. São Paulo: Blucher, 2018.

SANTOS, J.V.G; PEREIRA, M.A.R.; BARATA T.Q.F. **Processo de fabricação de Prótese Transtibial utilizando um compósito polimérico à base de Bambu e Produto Obtido**. *Br n. 10 2016 010161 1 A2*, 07 Nov 2017.

SFAGRO. **Brasil e China vão ampliar cooperação em pesquisas de bambu**. *Farming Brasil*. Disponível em: <http://sfagro.uol.com.br/brasil-e-china-vo-ampliar-cooperacao-em-pesquisas-de-bambu/>. Acesso em Novembro de 2017.

SHARMA, B.; GATÓO, A.; BOCK, M.; RAMAGE, M. **Engineered bamboo for structural applications**. *Construction and Building Materials*, 81, 66-73. 2015.

SILVA, E. C. N., WALTERS, M. C., PAULINO, G. H. **Modeling bamboo as a functionally graded material: lessons for the analysis of affordable materials**. *Journal of Materials Science*, v. 41, n. 21, p. 6991-7004, 2006.

SILVER-THORN, M.B.; GLAISTER, C.L. **Functional Stability of Transfemoral Amputee Gait Using the 3R80 and Total Knee 2000 Prosthetic Knee Units**. JPO Journal of Prosthetics and Orthotics. Volume 21 - Number 1 – 2009

SLACK, N. **Projeto de Produtos e Serviços**. In: Administração da Produção. 1ª ed. Compacta, capítulo 5, São Paulo, SP, Brasil, Ed. Atlas, 1999.

SMITH, J. D. & P. E. MARTIN. **Effects of prosthetic mass distribution on metabolic costs and walking symmetry**. Journal of Applied Biomechanics 29 (3): 317-28. 2013.

TALABGAEW, S.; LAEMLAKSAKUL, V. **Experimental Studies on the Mechanical Property of Laminated Bamboo in Thailand**. World Academy of Science, Engineering and Technology, n.34, 2007.

TARGA, G. N. **Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica**. 105 p. Dissertação de Mestrado, Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

TAVARES, J.M.R.S; SOUSA, A. **A marcha humana: uma abordagem biomecânica**. 1st ICH Gaia-Porto /ESTSP-IPP, PT. 2010.

TAYLOR, Z. **Wood bender's handbook**. New York: Sterling Publishing, 2011.

TJONG, S.C., XU, Y., MENG, Y.Z., **Composites based on maleated polypropylene and methyl cellulosic fiber: Mechanical and thermal properties**, *J. Appl. Polym. Sci.*, 72, 1647–1653, 1999.

TRUJILLO D. L. R., E. E., OSORIO SERNA, L. R., VUURE, V., WILLEM, A., IVENS, J., VERPOEST, I. **Characterization of polymer composite materials based on bamboo fibres**. 14th European conference on composite materials. Budapest: [s.n.]. 2010.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 2nd ed. London: McGraw-Hill, 2000.

VENTURA, F. C.; RAMOS B. P. F.; RIBEIRO, A. S.; SOARES, J. M. R.; OKIMOTO, M. L. L. R.; PASCHOARELLI, L. C. **Avaliação de diferencial semântico de bambu laminado colado**. In: CONGRESSO... 2013, Juiz de Fora. Anais do 13º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano. Juiz de Fora, UFJF, 2013.

WETHYAVIVORN, B.; INPON, I.; KULSUWAN, M. **Behavior of the glue-laminated bamboo composite**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES. Proceedings of the Nocmat/ 3. Vietnam, 2002. **Anais...** Vietnam: Published by Construction, Publishing House, March, 2002.

XIAO Y.; INOUE M.; PAUDEL S. K. (Org.). **Modern bamboo structures**. Boca Raton: CRC Press, 2008.