



**ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Eliana Paula Calegari

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE
BIOPOLÍMERO E FIBRAS DE CURAUÁ NO DESIGN DE PRODUTO**

Porto Alegre

2013



**ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Eliana Paula Calegari

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE
BIOPOLÍMERO E FIBRAS DE CURAUÁ NO DESIGN DE PRODUTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do Grau de Mestre em Design.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Branca Freitas de Oliveira

Porto Alegre

2013

CIP - Catalogação na Publicação

Calegari, Eliana Paula

Estudo da aplicação de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero e fibras de curauá no design de produto / Eliana Paula Calegari. -- 2013.

221 f.

Orientadora: Branca Freitas de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Compósitos biodegradáveis. 2. Design de produto. 3. Sustentabilidade. 4. Biopolímero. 5. Curauá. I. Oliveira, Branca Freitas de, orient. II. Título.

Eliana Paula Calegari

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE
BIOPOLÍMERO E FIBRAS DE CURAUÁ NO DESIGN DE PRODUTO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 18 de outubro de 2013.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Prof.^ª Dr.^ª Branca Freitas de Oliveira
Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^ª Dr.^ª Fabiane Vieira Romano
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Branca Freitas de Oliveira pela confiança depositada desde o início deste trabalho, pela sua dedicação e competência durante o processo de orientação. Desta forma, deixo registrado meus sinceros agradecimentos. Muito obrigada!

Sou grata à Prof.^a Dr.^a Fabiane Vieira Romano por estar presente em mais uma etapa de minha vida acadêmica e por sua disponibilidade em avaliar este trabalho. Da mesma forma, agradeço ao Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira e ao Prof. Dr. José Aymone Farinatti pelo aceite e a disponibilidade em compor a banca examinadora.

Meus agradecimentos à Prof.^a Dr.^a Denise Maria Lenz por ceder gentilmente amostras de compósitos biodegradáveis, de extrema importância para a realização da pesquisa.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS, pelos ensinamentos.

Agradeço aos colegas e amigos do mestrado, pelas contribuições a este trabalho, bem como pelos momentos compartilhados durante esta jornada, em especial a querida amiga Roseane Santos, companheira em mais esta etapa acadêmica e profissional.

Não posso deixar de agradecer em especial, aos entrevistados que se dispuseram a contribuir com este estudo.

Meus agradecimentos a CAPES, que por meio de seu apoio financeiro permitiu a realização desta dissertação.

Por fim, agradeço a minha família pelo constante apoio oferecido ao longo do mestrado. Especialmente ao meu companheiro Felipe que esteve sempre ao meu lado, em todos os momentos, me apoiando e ainda realizando valiosas contribuições a este estudo. Muito obrigada!

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente tem gerado discussões em torno da sustentabilidade ambiental. Neste ponto, o design pode contribuir com o desenvolvimento de produtos voltados para a redução de impactos ambientais. Visando a colaboração do design com a preservação do meio ambiente, uma possível alternativa encontra-se na aplicação de materiais biodegradáveis em soluções de design. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo geral investigar a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato e poli(ácido lático) com fibras de curauá no design de produto. Para isso, inicialmente foi realizado um mapeamento em torno de artigos que visam o desenvolvimento e a caracterização de compósitos biodegradáveis que utilizam fibras vegetais brasileiras como reforço. Este levantamento resultou em um panorama de pesquisas da área, os tipos de materiais que compõem os compósitos biodegradáveis, os tratamentos utilizados nas fibras e os aditivos na matriz, as formas de processamento e as propriedades mecânicas. A partir destas propriedades foi possível verificar os materiais que possuem propriedades semelhantes, e assim, averiguar em que tipo de produtos são empregados estes materiais, para posteriormente, examinar o emprego de compósitos biodegradáveis nestas aplicações. Desse modo, foi possível realizar o prognóstico de aplicações para os compósitos biodegradáveis. Na sequência do trabalho, realizou-se um estudo de caso em torno dos compósitos biodegradáveis, a fim de verificar a viabilidade de aplicação destes materiais. Utilizou-se a técnica de entrevistas semi estruturadas com designers de produto, que resultou na relação de atributos tangíveis, intangíveis com possíveis aplicações para os referidos compósitos.

Palavras-chave: compósitos biodegradáveis, design de produto, sustentabilidade, seleção de materiais, biopolímero, fibras vegetais, curauá.

ABSTRACT

Concern for the environment has generated discussions on environmental sustainability. At this point, the design can contribute to the development of products designed to reduce environmental impacts. Aiming at the design collaboration with the preservation of the environment, a possible alternative is the use of biodegradable materials in design solutions. Thus, this research aims at investigating the feasibility of application of composite biopolymer based biodegradable poly (butylene adipate -co- terephthalate and poly (lactic acid) fiber curauá in product design. Initially we conducted a mapping around articles aimed at the development and characterization of biodegradable composites using Brazilian vegetable fibers as reinforcement. This survey resulted in an overview of research in the area, the types of materials that make up the biodegradable composites, the treatments used in the fibers and additives in matrix, forms processing and mechanical properties. based on these properties was possible to verify that the materials have similar properties, and thus determine what kind of products are used these materials to further examine the use of biodegradable composites in these applications. Thus, it was possible to perform the prediction of applications for biodegradable composites, following the study, there was a case study around biodegradable composites in order to verify the feasibility of these materials. to do this, we used the technique of semi-structured interviews with product designers, which resulted in the ratio of tangible attributes, intangible assets with potential applications for these composites.

Keywords: biodegradable composites, product design, sustainability, selection of materials, biopolymer, vegetable fibers, curauá.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática dos procedimentos metodológicos.....	22
Figura 2: Palavras-chave utilizadas na pesquisa dos artigos.....	23
Figura 3: Esquema para a classificação dos dados do mapeamento.....	23
Figura 4: Faixas de valores das propriedades e os materiais selecionados pelo CES Edupack. Fonte: Imagem gerada através do Software CES Edupack (2009).....	25
Figura 5: Amostras dos compósitos biodegradáveis utilizadas durante as entrevistas com os designers, A) 5% de fibra, B) 15% de fibra e C) 20% de fibra..	26
Figura 6: Inserção de subcategorias no software RQDA. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).....	27
Figura 7: Importação dos arquivos das entrevistas e marcações dos trechos referentes as subcategorias no software RQDA. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).....	28
Figura 8: Macrocategorias encontradas na análise de conteúdo. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).....	29
Figura 9: O produto como meio de comunicação. Fonte: Adaptado de Crilly e Clarkson (2006).	37
Figura 10: Classificação dos funções de um produto.....	39
Figura 11: Etapas do ciclo de vida do produto. Fonte: Adaptado de Manzini e Vezzoli (2002).....	46
Figura 12: Comparação dos níveis de interferência do design.	50
Figura 13: Níveis da classificação do polipropileno (PP).....	54
Figura 14: Perfil do material: possíveis atributos objetivos e subjetivos.	60
Figura 15: Principais estilos de design e seus materiais característicos.....	62
Figura 16: A evolução dos materiais ao longo do tempo.	64
Figura 17: Processo de desenvolvimento de produto (PDP).....	71
Figura 18: Seleção de materiais no Processo de Desenvolvimento de Produtos. ...	72
Figura 19: Componentes de compósitos poliméricos.....	76
Figura 20: Tipos de compósitos a partir da origem dos materiais constituintes.....	77
Figura 21: Organização estrutural dos principais elementos de fibras vegetais.....	81

Figura 22: Ciclo de vida de materiais oriundos da biomassa. Fonte: Adaptado de Vilaplana et al. (2010).....	89
Figura 23: Compósitos de polímero e madeira usados em 2002.	91
Figura 24: Televisor “Jim Nature” projetado pelo designer Philip Starck. Fonte: CARMEL-ARTHUR, 2000.....	91
Figura 25: Linha “Native” de utensílios domésticos produzidos pela Coza. Fonte: Coza (2013).	92
Figura 26: Embalagens a base de fibra de coco e amido de mandioca. Fonte: Matéria Brasil (2013).....	93
Figura 27: Skate Ecológico Folha Seca desenvolvido pela empresa Fibra Design Sustentável e Henrique Monnerat. Fonte: Henrique Monnerat (2013).....	94
Figura 28: Ferramentas temporárias biodegradáveis desenvolvidas por estudante de design. Fonte: Design magazine & Resource (2013).	94
Figura 29: Compósitos biodegradáveis mapeados.....	97
Figura 30: Matrizes utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis nos estudos mapeados.....	98
Figura 31: Fibras vegetais utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis nos estudos mapeados.....	99
Figura 32: Fibras brasileiras utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis: A) fibra de bagaço de cana-de-açúcar, B) fibra de juta, C) fibra de curauá, D) fibra de bananeira, E) fibra de carnaúba, F) fibra de sisal, G) fibra de coco, H) palha de arroz, I) palha de milho e J) palha de trigo. Fonte: Google imagens (2013).....	100
Figura 33: Processamentos utilizados nos compósitos biodegradáveis dos estudos mapeados.....	102
Figura 34: Tipos de tratamentos utilizados nas fibras vegetais dos estudos mapeados.....	103
Figura 35: Tipos de aditivos utilizados na matriz dos compósitos biodegradáveis dos estudos mapeados.....	104
Figura 36: Materiais com propriedades mecânicas semelhantes as dos compósitos biodegradáveis.	110

Figura 37: Amostras de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero e fibras de curauá, A)Matriz com 0% de fibra, B)5% de fibra, C)15% de fibra e D)20% de fibra.....	116
Figura 38: Polímero biodegradável à base de PBAT e PLA. Fonte: BASF (2013).....	117
Figura 39: A) Planta de curauá, B) Fibras de curauá.	119
Figura 40: Rede de atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos biodegradáveis revelados pelos designers de produto. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).....	122
Figura 41: Rede de atributos tangíveis dos compósitos biodegradáveis revelados pelos designers de produto. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).....	123
Figura 42: Rede de atributos intangíveis dos compósitos biodegradáveis mencionados pelos designers de produto. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).....	135
Figura 43: A) Banco Peque desenvolvido por Marko Brajovic e B)Banco Sinuoso desenvolvido por Augusto Citrangulo. Fonte: Marko Brajovic (2013) e Príncipe Marcenaria (2013).....	141
Figura 44: Materiais considerados semelhantes aos compósitos biodegradáveis pelos designers. A) Amostras de compósitos biodegradáveis, B) Madeira, C) Aglomerado, D) Compensado, E) MDF, F) Fibra de coco, G) Âmbar, H) Papelão, I) Cera, J) Polímero. Fonte: Google imagens (2003).....	144
Figura 45: Rede de relações entre os atributos tangíveis, intangíveis e as possíveis aplicações dos compósitos biodegradáveis sob a ótica de designers de produto.	147
Figura 46: Sistematização da metodologia para o projeto de produto com foco em novos materiais para o presente trabalho.....	205
Figura 47: Atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos biodegradáveis.....	207
Figura 48: Modelos de vasos para plantas comumente encontrados no mercado.	209
Figura 49: Medidas padrões de vasos para plantas.....	210
Figura 50: A) Vista frontal, B)Vista interna, C) Vista posterior, D) Em perspectiva.	211

Figura 51: Árvore funcional de vasos para plantas.....	212
Figura 52: Requisitos de projeto resultantes das análises da etapa informacional.	213
Figura 53: Painel de palavras criado a partir do conceito de design.....	214
Figura 54: Painel semântico natureza.....	214
Figura 55: Painel semântico vasos inusitados para plantas.....	215
Figura 56: Geração de alternativas.....	215
Figura 57: Geração de alternativas.....	216
Figura 58: Alternativa selecionada.....	217
Figura 59: Desenhos de representação da alternativa selecionada.....	217
Figura 60: Desenhos de representação da alternativa selecionada em três tamanhos.....	218

LISTA DE SIGLAS

ABS: Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno

CFC's: Clorofluorcarbonetos

FTIR: Espectometria de Infravermelho por Transformada de Fourier

ICSID: International Council of Societies of Industrial Design

LDSM: Laboratório de Seleção de Materiais

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

ONU: Organização das Nações Unidas

PBAT: Poli(butileno adipato co-tereftalato)

PCL: Policaprolactona

PDP: Processo de Desenvolvimento de Produto

PEA: Poli(adipato de etileno)

PHA: Polihidroxialcanoato

PHB: Polihidroxibutirato

PLA: Poli(ácido láctico)

PMMA: Polimetacrilato de Metila

PNUMA: Programa da ONU para o Meio Ambiente

Poliuretano: PU

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PTFE: Politetrafluoretireno

PVC: Policloreto de Vinila

RQDA: *R Package for Qualitative Data Analysis*

TPS: Amido Termoplástico

SUMÁRIO

Capítulo 1.....	15
INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Contextualização.....	15
1.2 Delimitação do tema.....	17
1.3 Formulação do problema.....	17
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo geral.....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 Justificativa.....	19
1.6 Metodologia de pesquisa.....	22
1.7 Estrutura da dissertação.....	29
Capítulo 2.....	31
DESIGN E SUSTENTABILIDADE.....	31
2.1 O design de produto.....	31
2.1.1 O significado dos objetos	34
2.1.2 As funções do produto.....	38
2.2 Design e sustentabilidade	40
2.2.1 Design para a sustentabilidade.....	41
2.2.2 Métodos de design para a sustentabilidade: ecodesign e ciclo de vida do produto.....	45
2.2.3 Ações em design para a sustentabilidade	48
Capítulo 3.....	52
DESIGN E MATERIAIS.....	52
3.1 Os materiais.....	52
3.1.1 Materiais no contexto do design.....	55
3.1.2 O perfil dos materiais.....	57
3.1.3 Estilos e materiais.....	61
3.1.4 Novos materiais, tecnologia e design.....	63
3.2 Seleção de materiais	68
3.2.1 Processo de desenvolvimento de produtos.....	69
3.2.2 Seleção de Materiais e design	71
Capítulo 4.....	74
OS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS.....	74
4.1 Os compósitos.....	74
4.1.1 Os compósitos biodegradáveis.....	78
4.1.2 Tipos de matrizes.....	79

4.1.3 Tipos de reforços.....	80
4.1.4 Processamento dos compósitos biodegradáveis.....	82
4.1.5 Fatores que afetam o uso dos compósitos biodegradáveis.....	83
4.2 Os compósitos biodegradáveis e o meio ambiente.....	85
4.2.1 Implicações do desenvolvimento de compósitos biodegradáveis na sustentabilidade.....	86
4.3 O emprego de compósitos no design de produto.....	90
Capítulo 5.....	96
PROGNÓSTICO DE POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA OS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS.....	96
5.1 Os materiais.....	96
5.1.1 Tipos de matrizes	98
5.1.2 Tipos de fibras.....	99
5.2 Preparação dos compósitos biodegradáveis.....	101
5.2.1 Processamento	101
5.2.2 Tratamentos nas fibras.....	102
5.2.3 Aditivos na matriz.....	104
5.3 Caracterização dos compósitos biodegradáveis.....	105
5.3.1 Propriedades mecânicas.....	105
5.3.2 Degradação	107
5.4 Prognóstico de aplicações para os compósitos biodegradáveis	109
5.4.1 Possibilidades de emprego dos compósitos biodegradáveis a partir das aplicações dos materiais selecionados pelo software CES Edupack.....	111
Capítulo 6.....	115
ESTUDO DE CASO: A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DOS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE BIOPOLÍMERO POLI(BUTILENO ADIPATO CO-TEREFTALATO) (PBAT) E POLI (ÁCIDO LÁCTICO) (PLA) COM FIBRAS DE CURAUÁ NO DESIGN DE PRODUTO.....	115
6.1 Desenvolvimento e caracterização de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero PBAT e PLA com fibras de curauá.....	115
6.1.1 Matriz: poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido láctico) (PLA).....	117
6.1.2 Reforço: Fibras de curauá.....	118
6.1.3 Processamento	120
6.1.4 Caracterização.....	121
6.2 Compósitos biodegradáveis à base de biopolímero PBAT e PLA com fibras de curauá sob a ótica de designers de produto.....	121
6.2.1 O perfil dos compósitos biodegradáveis	122
6.2.2 A viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis.....	146

Capítulo 7.....	155
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	155
7.1 Considerações do estudo.....	155
7.2 Considerações sobre a metodologia de pesquisa.....	161
7.3 Sugestões para futuros trabalhos.....	162
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	164
APÊNDICES.....	183
APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	184
APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	185
APÊNDICE C - ROTEIRO PARA ENTREVISTAS COM DESIGNERS DE PRODUTO....	186
APÊNDICE D - TABELA DO MAPEAMENTO DOS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS	188
APÊNDICE E - PROPOSTA CONCEITUAL DE APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS EM VASOS PARA PLANTAS.....	204
ANEXOS.....	219
ANEXO 1 - AUTORIZAÇÃO DA EQUIPE ULBRA PARA A REALIZAÇÃO DA PRESENTE PESQUISA COM AS AMOSTRAS DOS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE BIOPOLÍMERO POLI(BUTILENO ADIPATO CO-TEREFTALATO) E POLI(ÁCIDO LÁCTICO) COM FIBRAS DE CURAUÁ.....	220
ANEXO 2 - PARECER DA COMISSÃO DE PESQUISA DA FACULDADE DE ARQUITETURA / UFRGS.....	221

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O designer de produto concebe ideias, conceitos, desenhos e projetos que são concretizados através dos materiais. Ashby e Johnson (2010) consideram que os materiais são a matéria-prima do design, e comentam que através da história, ditaram as oportunidades e os limites do design. Os autores destacam que nos dias atuais é possível notar uma imensa gama de materiais e das combinações que eles permitem, e que nunca houve uma era na qual a evolução dos materiais tenha sido mais rápida e o âmbito de suas propriedades mais variado.

Civilizações inteiras têm sido categorizadas majoritariamente pelos materiais que elas usaram. Materiais como a madeira, pedra, osso e terra foram essenciais para a sobrevivência da humanidade por vários milênios (BEYLERIAN; DENT, 2007). Assim, o desenvolvimento da história humana mostra que eles são a base importante e guia no processo de desenvolvimento da sociedade (XIONG *et al.*, 2008). Desse modo, é possível afirmar que o homem utiliza materiais para criar seus artefatos desde os primórdios da humanidade, e com o surgimento de novos materiais, novas soluções de design foram desenvolvidas. Assim, design e materiais estão diretamente relacionados, pois podem surgir designs inovadores a partir de materiais ou podem ser desenvolvidos novos materiais para atender a determinadas soluções de design.

Com o avanço da ciência e da tecnologia, surgiram e continuam surgindo inúmeros novos materiais. Existem aproximadamente 100 mil materiais, e essa gama permite que o design seja inovador a partir da exploração imaginativa dos novos e aprimorados materiais. Este número tende a aumentar principalmente pelo fato de que as pessoas estão mais conscientes das questões relacionadas à seleção de materiais em razão do surgimento do conceito da sustentabilidade (ASHBY; JOHNSON, 2010).

Segundo Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável é definido como aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades. Manzini e Vezzoli (2002) caracterizam a dimensão ambiental da sustentabilidade segundo condições, as quais, em níveis regionais e planetários, as atividades humanas não devem interferir nos ciclos naturais. Nas palavras de Kazazian (2005), “vivemos uma 'idade' em que se impõe o desenvolvimento sustentável, estando ao nosso alcance imaginar soluções que favoreçam a prosperidade sem que isso implique regredir em qualquer setor dos sistemas econômico ou natural” (p. 7). Assim, a preocupação com o meio ambiente, em virtude da degradação ambiental e a falta de recursos naturais, exige novas soluções imprescindivelmente sustentáveis.

Com a descoberta e o uso de materiais poliméricos, surgiram efeitos negativos no meio ambiente, como a difícil degradação dos polímeros, a falta de espaço nos aterros sanitários, as preocupações com emissões resultantes da incineração, os riscos à saúde humana e dos animais. Frente a este cenário, esforços têm sido feitos para o desenvolvimento de materiais alternativos que sejam amigáveis com o meio ambiente. Além disso, devido a possibilidade de esgotamento futuro dos recursos petrolíferos juntamente com o aumento da regulamentação ambiental, estão surgindo novos materiais e produtos que visam reduzir os impactos no meio ambiente.

De acordo com Beylerian e Dent (2007), há inúmeras pessoas que trabalham na próxima geração de materiais, processos e ferramentas que permitirão o desenvolvimento de novos projetos voltados à preservação ambiental. Para os autores, essa inovação em materiais é necessária para resolver os problemas e as necessidades do futuro, principalmente com a preocupação das questões ecológicas e com a escassez de materiais provenientes de fontes não renováveis.

Cada vez mais a abordagem no desenvolvimento de novos materiais compreende todo o ciclo de vida do mesmo, em que considera os impactos causados desde a matéria-prima até o destino final do produto (CARVALHO, 2011). As preocupações com as questões ecológicas têm gerado interesse na utilização de fontes renováveis, sustentáveis e de materiais que podem ser compostados. Para o autor, uma alternativa para a diminuição do impacto ambiental é o

desenvolvimento de materiais biodegradáveis, a partir de polímeros provenientes da biomassa, o que poderá diminuir a atual dependência dos derivados do petróleo e também minimizar o impacto ambiental causado pelo seu ciclo de vida.

Nesta perspectiva, pesquisas estão sendo realizadas para o desenvolvimento de novos materiais que estão voltados para a biodegradabilidade. Entre esses materiais encontram-se os compósitos biodegradáveis desenvolvidos a partir de materiais de fontes renováveis, como as fibras naturais e os biopolímeros. Materiais provenientes de fontes renováveis podem ser considerados amigáveis com o meio ambiente, pois podem degradarem-se em menor intervalo de tempo quando comparados a materiais sintéticos, diminuindo o acúmulo de lixo.

1.2 Delimitação do tema

O universo de materiais é amplo, e a cada dia surgem novos. Dentro dessa gama de materiais encontram-se os compósitos biodegradáveis que são desenvolvidos a partir de uma perspectiva ecológica, no entanto, encontram-se em fase de pesquisa e não têm sido utilizados em escala industrial. Desse modo, o tema abordado nesta pesquisa fica delimitado ao estudo da viabilidade de aplicação de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato e poli(ácido láctico) e fibras de curauá no design de produtos. A partir do estudo de caso destes materiais, que envolve aspectos técnicos, estéticos, práticos, simbólicos, busca-se traçar o perfil destes materiais para verificar a viabilidade de aplicação no design de produtos.

1.3 Formulação do problema

Diante da preocupação ecológica, as novas demandas de bens de consumo requerem soluções que sejam amigáveis com o meio ambiente. Frente a este cenário, a partir de atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido láctico) (PLA) e

fibras de curauá, qual é a possibilidade de utilização destes materiais no design de produto?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Investigar a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis à base de biopolímero PBAT e PLA com fibras de curauá no design de produto.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar uma reflexão sobre a relação entre design e materiais, com o intuito de verificar o emprego de novos materiais no design de produto; a relação da tecnologia com design e materiais, bem como da sustentabilidade no design de produto;
- Examinar o conceito, características, tipos de compósitos, em particular os biodegradáveis, além do emprego destes materiais no design de produto;
- Realizar um prognóstico de possíveis aplicações para os compósitos biodegradáveis a partir do mapeamento de estudos que compreendem o desenvolvimento e a caracterização destes materiais;
- Verificar a viabilidade técnica de compósitos biodegradáveis, através de suas propriedades físicas, assim como a influência destas características no design do produto;
- Identificar atributos tangíveis e intangíveis, relacionados às questões técnicas, estéticas, simbólicas, práticas, dos compósitos biodegradáveis, sob a ótica de designers de produto.

1.5 Justificativa

Frente aos impactos ambientais gerados pela produção e utilização de bens de consumo está ocorrendo uma mudança de paradigma. Para Vilaseca *et al.* (2007) regulamentações governamentais e a crescente consciência ambiental têm estimulado o desenvolvimento de materiais amigáveis com o meio ambiente. Segundo Ashby e Johnson (2010) fabricantes e seus clientes estão à procura de soluções que sejam sustentáveis, “hoje, as pessoas buscam produtos que sejam sustentáveis e cativantes, e cabe ao designer desenvolver tais produtos” (p. 4). Os autores também comentam que as questões ambientais são uma das forças mais poderosas do design, assim, ele pode contribuir com o desenvolvimento de produtos que visam minimizar os impactos ambientais.

Os autores observam que toda a atividade humana gera algum impacto sobre a natureza, e o ambiente tem certa capacidade para enfrentar tais impactos, de forma que determinado nível pode ser absorvido sem danos duradouros. Contudo, é evidente que os resíduos gerados pelas atividades humanas excederam a capacidade de absorção da natureza, assim, a poluição ambiental causada pelo acúmulo de resíduos depositados no meio ambiente tem gerado preocupações em relação às questões ecológicas. Segundo os autores, a uma taxa global de crescimento de 3% ao ano, serão descartadas mais coisas nos próximos 25 anos do que em toda a história da civilização humana.

A organização das Nações Unidas (ONU) alerta para a quantidade de lixo gerada no mundo. Segundo o Programa da ONU para o Meio Ambiente (PNUMA), as cidades geram 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos anualmente. De acordo com a agência, a quantidade de lixo deve chegar a 2,2 bilhões de toneladas até 2025, sendo que em países de baixa renda, o volume de coleta do lixo não alcança a metade da quantidade produzida. Além disso, com frequência grande quantidade de lixo, muitas vezes tóxico, é armazenada nas margens de rios (ONU, 2012). Assim, a ONU compreende que os governos precisam adotar medidas urgentes para evitar a “crise global de resíduos”. Macedo (2010) expõe que as populações das cidades têm que conviver e dividir o espaço com rejeitos sólidos gerados pelas suas próprias atividades. Esses resíduos contaminam os solos, rios, mares e

colaboram para a extinção de muitas formas de vida animal e vegetal, além de comprometerem a vida da população humana.

O impacto ambiental dos resíduos sólidos pode ser influenciado pelo desenvolvimento de produtos, principalmente pela escolha inicial do material e processo de fabricação, assim como a energia que consumirá durante a vida útil. Minérios e insumos primários, a grande maioria de fontes não renováveis, são processados para fornecer materiais para a fabricação de produtos que serão utilizados e ao final da vida útil descartados, uma porcentagem talvez seja reciclada, e o resto é destinado à incineração ou aterros. Desse modo, em cada fase desse ciclo há utilização de insumos e de energia, excedente de gás carbônico e outras emissões, além de calor e resíduos sólidos, líquidos e gasosos (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Nesta perspectiva, os problemas ambientais gerados por resíduos sólidos principalmente por polímeros, têm levado os cientistas a investigar alternativas viáveis para os mesmos. Costa *et al.* (2006) propõem possíveis soluções para amenizar o problema do descarte destes resíduos, que podem ser através da reciclagem, incineração ou o uso de materiais biodegradáveis. Yu *et al.* (2006) também defendem que existe a necessidade de substituir materiais poliméricos por materiais biodegradáveis derivados de fontes renováveis, como os vegetais.

De acordo com Wu e Liao (2012), nos dias atuais, estão sendo desenvolvidos materiais de fontes renováveis e biodegradáveis como resultado da preocupação ambiental. No entanto, Costa *et al.* (2006) apontam que os polímeros biodegradáveis ainda não são muito utilizados principalmente pelo fato do baixo desempenho mecânico e o custo elevado, contudo, podem ser misturados entre si ou com outros tipos de materiais biodegradáveis para a obtenção de melhores propriedades físicas e condições de processamento e custo.

Na busca por novos materiais biodegradáveis, pesquisadores têm concentrado esforços para o desenvolvimento de materiais que combinam fibras vegetais com biopolímeros, que originam os compósitos biodegradáveis. Leite *et al.* (2010) explicam que as fibras vegetais podem conferir ao compósito a característica de reforço, além disso, geralmente são provenientes de resíduos da

agroindústria, o que pode acarretar na diminuição dos custos de produção do compósito.

Conforme Ramires (2010), os benefícios na utilização dos materiais biodegradáveis representam um ganho ambiental, favorecem aspectos econômicos e sociais, gerando emprego nos setores agrícolas. O autor comenta que o Brasil pode beneficiar-se deste desenvolvimento já que possui um dos maiores potenciais em biomassa do mundo e o maior território para cultivo. Para Mohanty *et al.* (2000), a utilização de materiais biodegradáveis ajuda a diminuir a quantidade de lixo por meio da compostagem natural, reduz as emissões de dióxido de carbono, além do incentivo da reutilização de resíduos agrícolas e industriais.

No contexto do consumo, o crescente volume de lixo gerado pela compra desenfreada de produtos agrava ainda mais as questões da poluição do meio ambiente. O aumento na produção de bens de consumo e a diminuição do ciclo de vida dos produtos gera acúmulo de resíduos sólidos. Dessa forma, a efemeridade da moda, das tendências, podem justificar o descarte dos objetos antigos, que podem resultar em lixo. Uma alternativa para o acúmulo de resíduos sólidos acrescidos pelo curto ciclo de vida útil dos produtos pode ser a utilização de materiais biodegradáveis, pois a compostagem desse tipo de material pode diminuir os danos ao meio ambiente (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Por tratar-se de um mercado recente, o desenvolvimento de produtos que utilizam materiais compósitos biodegradáveis, ainda é um assunto pouco explorado. Os estudos sobre estes materiais encontram-se na fase de preparação e caracterização. Portanto, são escassos estudos científicos sobre o emprego de compósitos biodegradáveis.

Ashby e Johnson (2010) enfatizam que o risco de aplicação de novos materiais é muito grande. Muitas vezes os novos materiais podem falhar em determinadas aplicações, ou não estarem completamente caracterizados. Geralmente os novos materiais não possuem muitas aplicações, assim, designers não têm suporte para se basear e prever o comportamento destes materiais. Dessa maneira, pretende-se contribuir para a difusão das possibilidades de

aplicação destes materiais no design de produto, já que mostram-se promissores em relação a diminuição de impactos ambientais.

1.6 Metodologia de pesquisa

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para a realização desta pesquisa, que tem como objetivo geral investigar a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato e poli(ácido lático) com fibras de curauá no design de produto. Na figura 1, é possível visualizar de forma esquemática os procedimentos metodológicos definidos nesta seção.

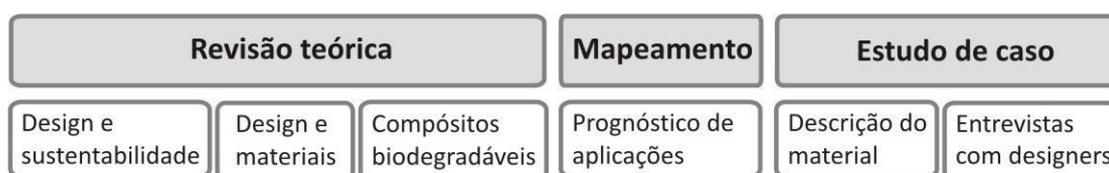


Figura 1: Representação esquemática dos procedimentos metodológicos.

Para a consecução do objetivo geral, foram estabelecidos objetivos específicos, para os quais são delineados procedimentos metodológicos que integram o processo de investigação. A partir da contextualização, da delimitação e da formulação do problema de pesquisa, as necessidades iniciais direcionam-se para uma abordagem exploratória relacionada a temática da investigação. Dessa forma, os primeiros objetivos específicos conduzem à compreensão do contexto ao qual insere-se a presente pesquisa. Assim, a estratégia adotada para tais objetivos é a pesquisa bibliográfica, a partir da qual extraiu-se o referencial teórico-metodológico que compõe a base para os demais procedimentos metodológicos adotados para os objetivos específicos de maior complexidade. Além de uma adequada seleção de técnicas de coleta de dados, o referencial teórico-metodológico sustenta a análise dos resultados.

No que refere-se ao objetivo específico: realizar um prognóstico de possíveis aplicações dos compósitos biodegradáveis a partir do mapeamento de estudos que

compreendem o desenvolvimento e a caracterização destes materiais, o procedimento adotado também parte de pesquisa bibliográfica. Devido ao grande volume de publicações sobre a preparação dos compósitos biodegradáveis, foi necessário delimitar a busca, em que foi focada em pesquisas que desenvolvem estes materiais a partir das seguintes fibras vegetais brasileiras: carnaúba, cana de açúcar, juta, banana, curauá, sisal, casca de arroz, palha de milho e de trigo, e fibra de coco.

A partir disso, foram coletados 50 artigos, principalmente em periódicos como: *Material and Design*, *Carbohydrate polymers*, *Composites Science and Technology*, *Industrial Crops and Products*, *Biomass and Bioenergy*, *Process Biochemistry*, *Journal de Composites Material*, *Journal of Polymers and Environment*, *Composites*, *Polymer Composites*, *Polímeros*, *Journal of Reinforced Plastics & Composites*, *Bioresource Technology*. As palavras-chave utilizadas para a busca dos artigos foram baseadas na delimitação, por meio das fibras vegetais, assim, partiu-se das palavras *biodegradable composite* e *biocomposite*, encontradas com frequência nos artigos e tidas como sinônimas, cruzando-as com o nome das fibras, conforme ilustra a figura 2.

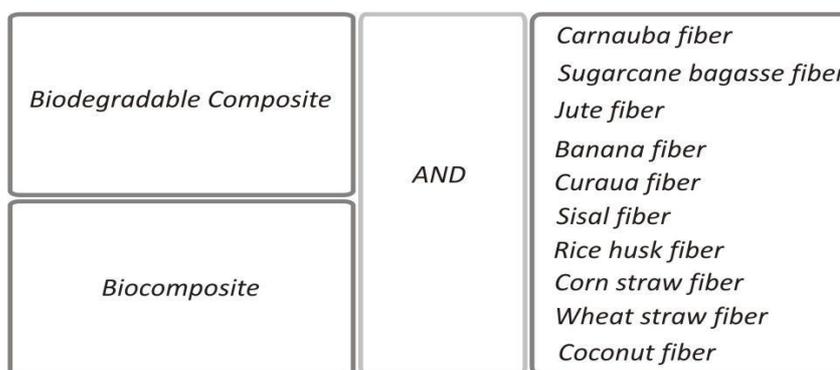


Figura 2: Palavras-chave utilizadas na pesquisa dos artigos.

Percebeu-se que os artigos mapeados possuem diversas abordagens em comum em torno da descrição do desenvolvimento e caracterização dos compósitos biodegradáveis. Dessa forma, as informações contidas nestes estudos foram organizadas segundo critérios definidos a partir da abordagem apresentada de forma esquemática na figura 3.

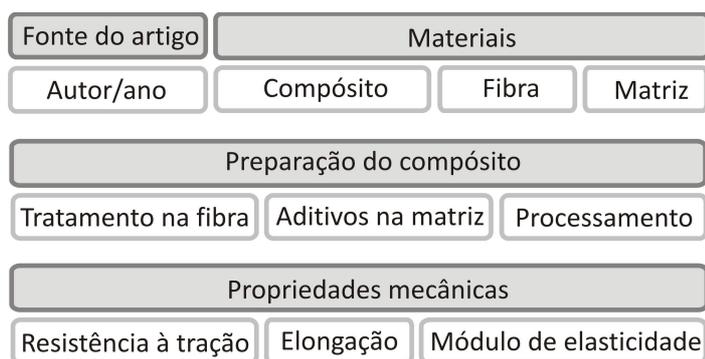


Figura 3: Esquema para a classificação dos dados do mapeamento.

Na sequência, foi verificado em que universo de materiais as propriedades mecânicas dos compósitos biodegradáveis encontram-se, para isso foi utilizado o software de seleção de materiais CES Edupack. É importante destacar que o software não possui materiais compósitos biodegradáveis em sua biblioteca. Assim, os dados compilados referentes às propriedades mecânicas de tração, encontradas nos artigos mapeados, foram comparados com as mesmas propriedades dos materiais contidos na biblioteca do Software CES Edupack. Desse modo, foi utilizado o critério limite do software, em que foram inseridos os valores mínimos e máximos das propriedades mecânicas dos compósitos de cada estudo para selecionar os materiais da biblioteca do software que inserem-se na faixa de valores das propriedades dos compósitos, como pode ser observado na figura 4. Nesta etapa, para a seleção de materiais, utilizou-se somente as propriedades mecânicas de resistência à tração, alongação e módulo de elasticidade pois são propriedades em comum em todos os artigos do mapeamento.

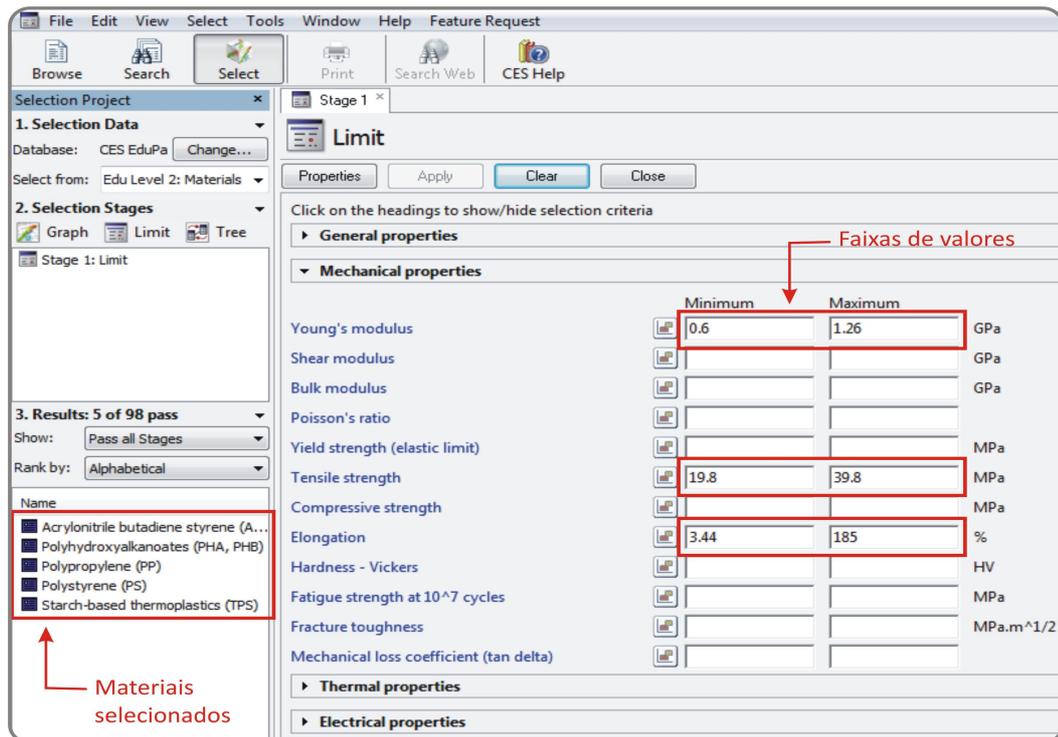


Figura 4: Faixas de valores das propriedades e os materiais selecionados pelo CES Edupack. Fonte: Imagem gerada através do Software CES Edupack (2009).

O software CES Edupack possui uma descrição dos materiais que compõem sua biblioteca, que envolve essencialmente as propriedades, e indica aplicações para os materiais. Além disso, utilizou-se o banco de dados do site do Laboratório de Seleção de Materiais (LdSM)¹ para verificar as aplicações dos materiais selecionados pelo software.

A partir da análise dos estudos mapeados foi possível elencar fatores que podem influenciar no uso dos compósitos biodegradáveis. A partir disso, examinaram-se as aplicações constituídas por materiais com as propriedades mecânicas semelhantes as dos compósitos biodegradáveis, a fim de realizar o prognóstico de possíveis aplicações para estes materiais.

Com relação aos demais objetivos específicos, foi proposta a realização de um estudo de caso para traçar o perfil dos compósitos biodegradáveis à base PBAT e PLA com fibras de curauá, com o intuito de verificar a viabilidade de aplicação no design de produto. De acordo com Yin (2005), o estudo de caso é a estratégia mais indicada quando são postas questões do tipo “como” e “por que”, quando o

1 Site do LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: <<http://www.ndsm.ufrgs.br/>>.

pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos ou ainda quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em um contexto da vida real.

O presente estudo de caso consistiu na análise de possibilidades de aplicação dos compósitos biodegradáveis no design de produtos. Dentre os estudos mapeados, contatou-se os autores de pesquisas realizadas no Brasil com a intenção de solicitar amostras de compósitos biodegradáveis. Assim, foram concedidas amostras dos referidos compósitos pela equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA. Dessa forma, inicialmente, o estudo de caso compreendeu a descrição do desenvolvimento e caracterização destes materiais a partir do estudo de Harnnecker *et al.* (2012), a fim de verificar a viabilidade técnica destes materiais.

Posteriormente, foram realizadas entrevistas com designers de produto, pois eles possuem conhecimentos específicos na área, para averiguar os pressupostos levantados em seus discursos em relação aos fatores estéticos, práticos e simbólicos dos compósitos abordados. Foram entrevistados 15 designers com graduação na habilitação projeto de produto, destes, 3 mestres em design e 11 mestrandos em design. Em relação a experiência profissional dos designers, prevalecem as áreas de mobiliário e joalheria. Assim, os designers entrevistados tiveram contato principalmente com materiais como, a madeira, metais e gemas.

As entrevistas contaram com a apresentação de amostras dos compósitos biodegradáveis aos designers, com diferentes quantidades de fibra, ou seja, com 5, 15 e 20%. Estas amostras receberam etiquetas para identificá-las durante a análise dos dados, conforme pode ser visto na figura 5.

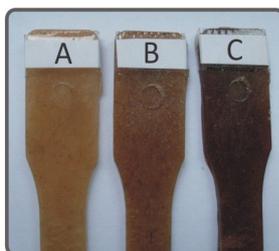


Figura 5: Amostras dos compósitos biodegradáveis utilizadas durante as entrevistas com os designers, A) 5% de fibra, B) 15% de fibra e C) 20% de fibra.

No que refere-se aos dados empíricos coletados em campo através das entrevistas com roteiro semi estruturado (Apêndice C) captadas por meio de gravador digital de voz, estas foram transcritas de forma integral, e posteriormente tratadas com a técnica de análise de conteúdo do tipo categorial, seguindo a abordagem de Bardin (2011), em que foi realizada uma operação de “classificação de elementos constitutivos de um conjunto por diferenciação e, em seguida, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos” (p. 46), o que permitiu a condensação e a representação simplificada dos dados brutos encontrados. Para o tratamento dos dados foi utilizado o programa RQDA (*R Package for Qualitative Data Analysis*) afim de auxiliar o processo de análise dos mesmos.

Desta forma, após a transcrição das entrevistas, foi realizada a leitura de todas as entrevistas para iniciar o processo de classificação dos dados em subcategorias. As subcategorias são palavras ou pequenos grupos de palavras que são definidas a partir da frequência em que aparecem nos discursos dos entrevistados, além da maior representatividade (BARDIN, 2011). Na sequência, estas subcategorias foram inseridas no software, conforme pode ser visualizado na figura 6.



Figura 6: Inserção de subcategorias no software RQDA. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

O processo de definição das subcategorias continuou com a importação dos arquivos das entrevistas transcritas. No arquivo das entrevistas foi possível verificar o contexto em que as subcategorias inseriram-se, assim, o software permitiu registrar os trechos em que cada subcategoria encontrou-se, sendo que podem ser feitas quantas marcações forem necessárias, como pode ser visto na figura 7. Desta forma, prosseguiu-se com a análise de conteúdo, ou seja, a partir das entrevistas foi possível criar novas subcategorias, modificar as já criadas, renomeá-las, agrupar subcategorias, conforme foi pertinente.

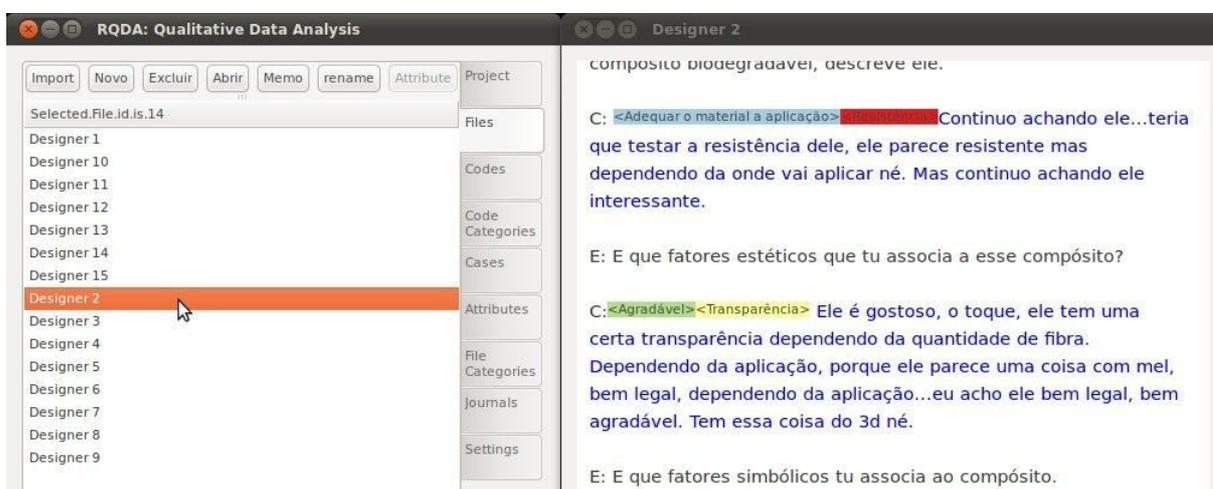


Figura 7: Importação dos arquivos das entrevistas e marcações dos trechos referentes as subcategorias no software RQDA. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

Após a definição das subcategorias, estas foram agrupadas em macrocategorias. Este agrupamento foi realizado por meio de critérios representativos, ou seja, por temáticas que envolvem as subcategorias, como pode ser visto na figura 8.

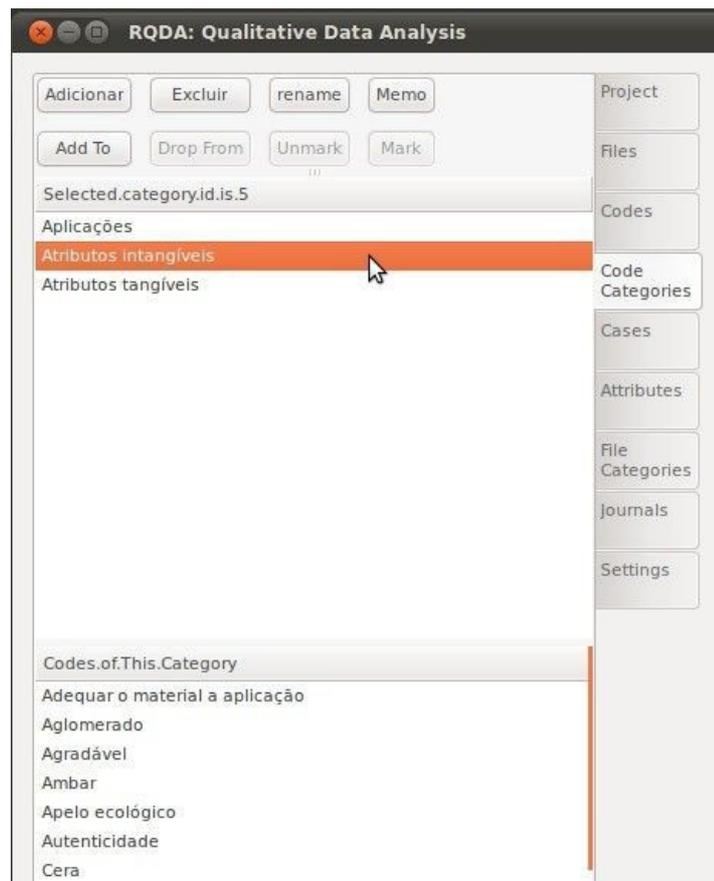


Figura 8: Macrocategorias encontradas na análise de conteúdo. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

Assim, a partir das subcategorias encontradas, estas foram agrupadas em três macro-categorias: os atributos tangíveis, atributos intangíveis que foram teorizadas por Dias (2009) e Ashby e Johnson (2010), e as aplicações, que buscam relacionar a rede de atributos.

1.7 Estrutura da dissertação

Este trabalho está organizado em 7 capítulos, dos quais, a introdução, apresenta a contextualização do tema e a delimitação do escopo da investigação. Também inclui o problema de pesquisa, a determinação dos objetivos que guiaram a pesquisa, a justificativa da importância e relevância do tema e a descrição dos

procedimentos metodológicos, modelados e utilizados na consecução dos objetivos deste trabalho.

Os capítulos 2, 3 e 4 tem por objetivo apresentar o referencial teórico-metodológico a fim de conhecer o objeto de trabalho, seu contexto e suas inter-relações. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca dos principais assuntos que permeiam os objetivos do trabalho. Dessa forma, o capítulo 2 corresponde à revisão de literatura sobre design e sustentabilidade, o qual inicia com uma breve contextualização histórica do design, o significado dos objetos e as funções do produto, na sequência, apresenta o conceito de sustentabilidade, e a relação entre design e sustentabilidade, incluindo metodologias e estratégias.

No capítulo 3, é realizada uma abordagem em torno do design e materiais, a qual refere-se ao perfil dos materiais, estilos e materiais, novos materiais, tecnologia e design. O capítulo 4 reporta aos compósitos biodegradáveis, o conceito, os materiais comumente utilizados, processamento, além de fatores que afetam o uso destes materiais, a relação dos compósitos biodegradáveis com o meio ambiente, e por fim, o emprego de compósitos no design de produto.

Em relação ao capítulo 5, é apresentado um panorama de estudos sobre o desenvolvimento e caracterização de compósitos biodegradáveis. Assim, são identificados os materiais, tipos de tratamentos nos materiais da matriz e no reforço dos compósitos, formas de processamento e propriedades mecânicas, para, a partir disso, posterior exposição do prognóstico de possíveis aplicações para os compósitos biodegradáveis. O capítulo 6 apresenta um estudo de caso sobre os compósitos biodegradáveis à base de biopolímero PBAT e PLA com fibras de curauá preparados por Harnnecker *et al.* (2012). Inicialmente é descrito o desenvolvimento e a caracterização destes materiais, na sequência é apresentada a análise em torno da percepção de designers de produto frente as amostras dos compósitos biodegradáveis.

Na continuidade do trabalhado, no capítulo 7, são apresentadas as considerações finais com os resultados gerais da presente pesquisa, considerações sobre a metodologia de pesquisa adotada e as sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos. Ao final deste documento, encontram-se as referências bibliográficas utilizadas, e por último, os apêndices e anexos.

Capítulo 2

DESIGN E SUSTENTABILIDADE

Neste capítulo realizou-se uma pesquisa de cunho bibliográfico sobre a relação entre design e sustentabilidade. Dessa forma, na primeira seção iniciou-se com a discussão em torno das origens do design e como ele foi consolidado como uma profissão, além da ênfase do seu caráter sociocultural. Na sequência da seção, levantou-se a questão do significado dos objetos, que a partir dos autores como Santos (2000), Slater (2002), McCracken (2003) e Niemeyer (2003), realizou-se uma reflexão em torno do produto como meio de comunicação. Além disso, discutiu-se sobre as funções do design, em que foram descritas as funções práticas, estéticas e simbólicas através do entendimento de Schneider (2010).

Na seção seguinte do capítulo, foram abordadas questões relacionadas com a sustentabilidade e o design. Dessa maneira, buscou-se realizar uma discussão em torno do design para a sustentabilidade, os métodos utilizados, como o Ecodesign e o Ciclo de Vida do Produto, e as ações em Design Para a Sustentabilidade. Os principais autores utilizados nesta seção foram Manzini e Vezzoli (2002) e Kazazian (2005), para a reflexão sobre a interferência do design no processo da sustentabilidade.

2.1 O design de produto

A consolidação do exercício do profissional de design ocorreu com a primeira Revolução Industrial, em que, o design surgiu com a divisão do trabalho na medida em que a atividade de projetar produtos separou-se da produção (CARDOSO, 1998). Com o advento da industrialização a criação dos objetos, considerado um trabalho intelectual e a sua produção através de máquinas, um trabalho manual, tornaram-se tarefas distintas. A partir deste momento, o design foi consolidando-se como uma atividade separada dos meios de produção, como acontecia antes da

industrialização, em que o artesão era responsável pelo desenvolvimento de produtos, desde a concepção até a produção.

O surgimento da industrialização repercutiu no crescimento cada vez mais acelerado da indústria e da economia, a partir do qual a produção industrial de bens de consumo ampliou-se freneticamente (SCHNEIDER, 2010). Conforme o autor “o novo modo de produção industrial mudou fundamentalmente a maioria dos aspectos da vida” (p. 16). Desse modo, a partir da industrialização as pessoas passaram a cada vez mais ter acesso a objetos que até então praticamente não existiam ou não faziam parte do cotidiano de muitas delas.

Para Forty (2007), o design nasceu em um determinado estágio do capitalismo e desempenhou papel fundamental na criação da riqueza industrial. Logo, a mecanização da produção criou as bases para a profissão destinada a conformar bens de consumo. Em consonância, Schneider (2010) defende que o princípio de acumulação capitalista da economia é o mola propulsora econômica do design industrial, em que o capital é investido com o intuito de gerar renda. Desse modo, o capitalismo tem como objetivo colocar a maior quantidade possível de mercadorias para serem vendidas e com isso a obtenção de maior renda, pois a lógica da produção capitalista é transformar os objetos de consumo em mercadorias com as quais pode-se auferir lucros.

Neste cenário, a indústria buscou convencer os consumidores a comprar cada vez mais objetos de uso. Para isso, segundo o autor, esses objetos não podem apenas cumprir uma função, mas necessitam ter formas atraentes e sedutoras para diferenciarem-se de seus concorrentes. A indústria reconheceu que a configuração dos objetos pode incentivar eficientemente as vendas, pois os produtos industrializados ganham em atratividade mediante mudanças de sua forma externa, sem que isso possa estar ligado a uma melhoria na sua capacidade de uso.

Esta é a origem do design de produtos, que por meio do processo de criação de novas formas, os designers transformaram constantemente os produtos como um todo ou somente na sua superfície. Em primeira instância, o design significa a integração da estética e do simbolismo na produção e comercialização de mercadorias e prestação de serviços com o objetivo de incentivar as vendas. Neste

sentido, o design começou a ser praticado a partir do contexto social da industrialização. De acordo com Forty (2007) o design é fruto da sociedade e de determinado contexto. Assim, a origem e a história do design pode ser entendida a partir do contexto social em que desenvolve-se, as influencias culturais e econômicas que estão atreladas a ele.

Atualmente, os bens de consumo dotados de design estão presentes na vida diária dos seres humanos. Dessa maneira, o design tornou-se importante tanto para empresas quanto para os usuários. Para aquelas, ele confere inovação e diferenciação para concorrer no mercado, para estes, uma forma de comunicação e satisfação de necessidades. Assim, a definição de design industrial estabelecida pelo *International Council of Societies of Industrial Design* (ICSID) é a seguinte: “design é uma atividade criativa que tem por objetivo estabelecer as qualidades multifacetadas dos produtos, processos, serviços e seus sistemas sob o ponto de vista global do seu ciclo de vida” (ICSID, 2012).

O design de produtos é responsável pela materialização de objetos que medeiam o cotidiano dos seres humanos. Santos (2005) defende que design é o processo que envolve desde o planejamento até a viabilização da produção e está inserido em estruturas sociais que o influencia nos níveis econômico, tecnológico e cultural. Desta maneira, os objetos podem ser considerados produtos culturais na medida em que “são projetados e produzidos para dar sustentação às práticas sociais vigentes, podendo também contribuir para a transformação e reelaboração simbólica destas mesmas práticas” (p. 15).

Cardoso (1998) aborda o design do ponto de vista antropológico quando afirma que ele é uma entre diversas atividades projetuais, como as artes, o artesanato, a arquitetura, a engenharia e outras que visam atribuir existência concreta e autônoma a ideias abstratas e subjetivas. Assim, o design configura a comunicação e contribui na constituição identitária, pois quando produtos são comprados e usados eles assumem caráter simbólico e começam a transmitir significados e valores (SCHNEIDER, 2010). Como esta relação ocorre em um contexto sociocultural, o autor explica que o design é “um instrumento para a produção de realidade social” (p. 12). Desse modo, no processo de configuração dos produtos são atribuídos significados e valores construídos socialmente.

Nesta perspectiva, as decisões tomadas pelo designer no ato de projetar, como os conceitos e elementos materiais não é neutra, pois ele está inserido em um contexto sociocultural e suas escolhas são influenciadas pelas práticas e valores sociais. Assim, quando as pessoas apropriam-se de objetos, também estão apropriando-se dos significados a eles associados, além de atribuir novos significados e associações, como os que não foram planejados pelo designer, pois segundo Santos (2005) os significados são passíveis de transformações, na medida em que estão intrinsecamente ligados às dinâmicas sociais. Desse modo, é conveniente que o designer leve em consideração questões relacionadas as práticas e valores socialmente construídos além da viabilidade produtiva dos produtos.

Portanto, desde a época da Revolução Industrial, período em que o design tornou-se uma profissão autônoma, ele esteve diretamente conectado com o contexto sociocultural. Pode-se considerar que por meio do desenvolvimento de produtos, os seres humanos materializam práticas sociais e valores culturais que correspondem a um determinado período da história. Logo, o design é influenciado pela cultura e está atrelado ao sistema produtivo que também possui dimensão sociocultural. Assim, os produtos de design não são neutros e podem ser compreendidos a partir de contextos sociais e culturais em que foram criados.

2.1.1 O significado dos objetos

O design tem um papel importante na criação de valores na sociedade, já que ele pode ser considerado como um agente mediador entre as pessoas, pois através dos objetos os seres humanos materializam saberes, práticas, regras, crenças, suas convicções e ideais, (CRESTO; QUELUZ, 2010). Desta maneira, a relação das pessoas com os objetos está repleta de significados na medida em que são construídas experiências por meio da interação entre eles.

Santos (2000, p. 65) afirma que “os artefatos devem ser considerados como fatos culturais, pois refletem formas de comportamentos, modos de práticas, visões de mundo, valores estéticos e estágios tecnológicos de uma sociedade em

um período histórico definido”. Em outra perspectiva semelhante Niemeyer (2003) destaca que um produto resulta e expressa um cenário político, econômico, social e cultural, dentro de dimensões históricas e geográficas, e que está sujeito a diversas interferências ocasionadas pelas contingências do sistema ao qual faz parte. Assim, é possível atentar para o fato de que os produtos refletem a época em que foram desenvolvidos, bem como os valores e ideias culturais, já que podem possuir determinadas características pacíficas de relação com o período em que foram criados.

Para McCracken (2003) em meio aos canais de mediação de significados entre mercadorias que circulam no mundo e as categorias sociais, estão atividades como o design, a publicidade e a moda, que traduzem significados, transformando objeto em “código-objeto”. O design apropria-se de significados para tornar os produtos reconhecíveis por determinada cultura. Para isso, são utilizados artifícios a partir de elementos como: forma, cor, texturas e materiais para atribuir significados aceitos e compreensíveis para os usuários. Como exemplo, Niemeyer (2003) explica que um bule pode ser de aço inoxidável ou de porcelana, a função prática é a mesma em ambos, porém a qualidade é diferente, pois os bules são feitos de materiais distintos e têm maneiras diferenciadas de expressar as respectivas qualidades dos bules. Neste simples exemplo, a autora aponta que, dependendo dos elementos constitutivos de um produto ele pode representar diferentes significados.

No processo de design, segundo a autora, os aspectos culturais precisam ser mapeados na fase inicial do projeto, para evitar ajustes futuros ou a perda da solução adotada. Com isso, pode-se considerar que os significados dos objetos são construídos desde o início do seu desenvolvimento. No ato de projetar, os designers levam em consideração sua experiências, conhecimentos que estão imbuídos na cultura, e buscam informações acerca do público a que se destina o produto, sendo que estes também fazem parte de um contexto cultural. Estas informações correspondem as práticas e valores socioculturais dos possíveis usuários, como, as tradições, crenças, costumes, religião, valores, características políticas e econômicas, que irão influenciar de forma direta na interpretação dos produtos.

Contudo, de acordo com Santos (2005) os significados dos objetos não dependem somente dele, ou seja, aqueles atribuídos pelos projetistas, mas também, de uma rede de relações que se estabelecem no âmbito social a partir do contexto em que o usuário interpreta os significados. Logo, os objetos possuem significados próprios que dependem do contexto em que a interpretação é realizada. Neste ponto, o sociólogo Don Slater (2002, p. 164) ressalta que “os significados das coisas não podem ser destilados dos próprios objetos, nem através de sistemas gerais de significados; precisam ser investigados no local onde surgem de fato, nas práticas imprevisíveis do trabalho simbólico das pessoas”. Assim, os significados que um objeto adquire fazem parte de uma rede de relações que se estabelecem na esfera social.

Nesta perspectiva, o autor afirma que “com o uso dos bens, podemos construir e manter um universo social inteligível, uma vez que ao classificar, comparar e ordenar as coisas que temos e usamos, damos sentido e organizamos nossas relações sociais, classificando pessoas e eventos” (p. 148). Desse modo, os significados embutidos nos produtos podem ser os fatores que contribuem para os usuários optarem por determinados produtos que fazem parte da sua cultura, pois, como já mencionado, os significados dos objetos estão intimamente relacionados com o contexto social em que os usuários estão inseridos. Então, os produtos de design são mediadores das relações sociais, pois por meio deles as pessoas podem identificar-se com determinados grupos.

Bürdek (2006) menciona o trabalho de Karmasin (1998), o qual defende que os produtos não devem ser vistos apenas sob o ponto de vista da satisfação de necessidades ou a maximização do uso individual, mas também como comunicação, ou seja, o design comunica por meio dos objetos. Em consonância, Niemeyer (2003), enfatiza que não basta um produto ser agradável, funcional e possuir uma boa interface, mas também é necessário que porte a mensagem adequada, nas palavras da autora, “‘dizer’ o que se pretende para quem interessa” (p. 14). Neste sentido, o design vai além da satisfação de necessidades funcionais, ou seja, que o produto exerça apenas a função com que foi projetado, mas também cumpre um papel comunicativo. Assim, a atividade de design visa a

configuração de produtos que medeiam as relações sociais tanto do ponto de vista funcional quanto comunicativo.

Segundo a autora, é necessário que o designer atente para a percepção das pessoas na interação com o produto, que, por meio de elementos de configuração, estrutura-se como linguagem e comunica como ele deverá ser manuseado. Desse modo, a autora entende que “o designer deverá analisar porque vias haverá a interação entre interpretador e produto, pois este irá sempre comunicar algo para alguém” (p. 28). Assim, as escolhas dos designers, dos elementos que constituem um produto, repercutem diretamente na maneira como ele será interpretado pelos usuários.

Considerando que um produto é um mediador de significados ele pode ser considerado um canal de comunicação entre o designer e o usuário. Tradicionalmente o modelo está centrado no designer, o qual é considerado a fonte, ou emissor, o produto como canal e o usuário como receptor ou destinatário da mensagem, conforme ilustra a figura 9.



Figura 9: O produto como meio de comunicação.
Fonte: Adaptado de Crilly e Clarkson (2006).

O modelo comunicacional relaciona o designer com o usuário do produto, sendo o produto considerado um canal para transmitir uma mensagem, isto é, os significados atribuídos pelo projetista. Cabe observar que esta relação está imersa em um contexto cultural que influencia diretamente os significados atribuídos pelo designer bem como a interpretação destes pelo usuário. Conforme Santos (2005), durante o processo de utilização de produtos, práticas e valores podem ser ressignificados, em que depende da apropriação do objeto pelas pessoas. Mesmo que os designers planejem as funções dos produtos, estas não são fixas em seus usos e significados, são susceptíveis a desvios de função podendo receber ressignificações pela ação e experiência das pessoas. Assim, conforme Mendes et al. (2010), as pessoas usam e subvertem os significados das coisas, em que

apropriações e reinvenções ocorrem pelas práticas sociais cotidianas. A partir desta colocação é possível considerar que os significados dos objetos podem ser múltiplos e passíveis de transformações na medida em que os produtos podem ter muitos sentidos distintos que são mutáveis de acordo com as práticas sociais vigentes, assim, o designer muitas vezes apropria-se de códigos que fazem parte da linguagem, materializando os seus significados e promovendo a comunicação.

2.1.2 As funções do produto

Os produtos de design de uso cotidiano, segundo Schneider (2010), sempre cumpriram diferentes funções. Neste sentido, a função normalmente é concebida como uma característica inerente, como parte ou a essência de um produto. Para Löbach (2001, p. 54), “os aspectos essenciais das relações dos usuários com os produtos industriais são as funções dos produtos, as quais se tornam perceptíveis no processo de uso e possibilitam a satisfação de certas necessidades”. A função de um produto pode ser comunicada pelo uso, em que é possível considerar que há uma relação de dependência dos usuários quanto a função do produto, já que ele foi projetado para determinada função. Porém, muitas vezes no processo de uso, os usuários podem criar novas funções que não foram planejadas pelo designer. Neste contexto, é importante destacar que um produto não possui apenas funções práticas interligadas com a funcionalidade dos produtos, mas também funções estéticas e simbólicas, conforme explica Schneider:

Numa avaliação detalhada de um objeto de uso, é preciso ter em mente que a grande maioria das funções não é constituída pelas prático-técnicas, mas pelas estéticas e simbólicas. Na história do design, até a década de 1980, quando se falava da “função” de um objeto de uso, pensava-se quase exclusivamente em praticidade, viabilidade econômica, segurança e “funcionalismo” unilateral, que quase não se preocupava com a função simbólica, foi questionado de forma radical. (SCHNEIDER, 2010, p. 198).

Ao logo do tempo ocorreram mudanças de paradigma no design, que repercutiram de forma direta na concepção dos produtos. Em virtude disso, tendo em vista as questões estéticas e simbólicas que passaram a ser levadas em consideração em tempos relativamente recentes, Löbach (2006) classifica as

funções dos produtos em: práticas, estéticas e simbólicas, como pode ser visualizado no esquema da figura 10.



Figura 10: Classificação dos funções de um produto.
Fonte: Adaptado de Löbach (2001).

Schneider (2010) também classifica as funções do produto dessa forma. Para o autor, as funções estéticas são relativas a forma, cor, material, superfície, que constituem um objeto no seu aspecto configurativo. Elas tornam compreensível um objeto de uso proporcionando indicações visuais para isso. As funções estéticas podem ser emocionais e subjetivas e dependem de diversos fatores, como: as preferências estéticas, a classe social e a culturalização, a nacionalidade, o sexo, a idade e o hábito. Assim, a função estética proporciona uma ampla margem de interpretação nas diferentes situações, com isso, elas não podem ser avaliadas de forma precisa.

As funções práticas conforme o autor, referem-se à manuseabilidade, durabilidade, confiabilidade, segurança, qualidade técnica, ergonomia, valor ecológico e outras, podendo ser avaliadas de forma racional e relativamente precisa. As funções simbólicas correspondem aos significados de um objeto de uso que são transmitidos pelo proprietário às pessoas de seu convívio. Pelo fato de que o design de produto fornece, como linguagem de produto, informações sobre os mais diversos estilos de vida, ele pode tornar-se símbolo, que confere expressão e é percebida e interpretada de forma análoga. Desse modo, as funções simbólicas podem ser analisadas, sendo necessário para cada caso em particular, pois podem ser totalmente diferentes para cada pessoa.

Nesta esteira, para o autor todas as funções podem estar presentes em um mesmo produto, no entanto, algumas podem sobrepor-se as outras, ou com

predominância de apenas uma dependendo do contexto de uso e das práticas socioculturais.

2.2 Design e sustentabilidade

Partindo da premissa de que toda a ação humana gera algum tipo de impacto sobre o meio ambiente é necessário que hajam formas de minimizá-lo. Antes da Revolução Industrial já ocorriam impactos ambientais, porém em proporções menores se comparadas após este advento, que junto com os novos bens de consumo, o conforto, bem estar, ocorreram também impactos sociais, ambientais e econômicos, conforme aponta Forty:

O que é descrito como progresso nas sociedades modernas é, na verdade sinônimo, em larga amplitude, de uma série de medidas provocadas pelo capital industrial. Entre os benefícios estão mais alimentos, melhores transportes e maior abundância de bens. Mas é uma peculiaridade do capitalismo que cada inovação benéfica traga também uma sequência de outras mudanças, nem todas desejadas pela maioria das pessoas, de tal modo que, em nome do progresso, somos obrigados a aceitar a grande quantidade de novidades a ele relacionadas e possivelmente indesejadas. A máquina a vapor, por exemplo, trouxe maior eficiência à indústria manufatureira e maior velocidade aos transportes, mas sua fabricação ajudou a transformar mestres artesãos em trabalhadores assalariados e fez com que as cidades aumentassem em tamanho e insalubridade. A ideia de progresso, no entanto, inclui todas as mudanças, tanto desejáveis como indesejáveis. (FORTY, 2007, p. 19).

Neste contexto, surgiu o desenvolvimento sustentável, que iniciou com o conceito de ecodesenvolvimento, proposto por Maurice Strong e Ignacy Sachs, durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (PNUMA), realizada em Estocolmo, em 1972 (GUIMARÃES, 2009). Sendo que, o conceito de desenvolvimento sustentável tornou-se público, em 1987, através da Comissão de Brundtland, que o postula da seguinte maneira: “o desenvolvimento que satisfaz às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades” (UN DOCUMENTS, 2010).

Nesta perspectiva, a partir do conceito de desenvolvimento sustentável é possível considerá-lo como um discurso que visa um ideal para os seres humanos,

ou seja, o que ocorre é uma busca pelo desenvolvimento sustentável, em que são criadas estratégias e formas para considerá-lo de maneira mais eficaz, que precisam ser considerado nas esferas econômica, social e ambiental. Assim, o desenvolvimento sustentável, depende do equilíbrio entre essas dimensões, as quais são intrinsecamente interdependentes (UN DOCUMENTS, 2010).

Desta forma, a sustentabilidade ambiental, econômica e social, conseguem atingir seus objetivos quando são tratadas em conjunto. A sustentabilidade do ponto de vista ambiental considera a ecoeficiência de processos produtivos, a preservação e a regeneração de recursos naturais. A sustentabilidade econômica prevê a viabilidade financeira de empresas, produtos e serviços. Em termos sociais, são levadas em consideração as condições de trabalho, equidade, diversidade e identidade cultural (SACHS, 2009).

Neste sentido, a sustentabilidade pode ser considerada com um processo que visa o bem estar para a humanidade, através das esferas econômica, social e ambiental, em que estão interligadas e são dependentes umas das outras. Dessa maneira, o design pode contribuir com a sustentabilidade na medida em que são utilizadas estratégias e métodos para diminuir e/ou contornar problemas de ordem social, econômico e ambiental. Assim, o design pode basear-se em propostas que consideram na concepção de produtos e serviços todas as condicionantes do seu ciclo de vida.

2.2.1 Design para a sustentabilidade

São diversos os problemas ambientais causados pelo uso desenfreado dos recursos naturais. Dentre eles, Kazazian (2005), cita o declínio da biodiversidade, o aquecimento do planeta por causa do aumento do efeito estufa, o buraco na camada de ozônio causado pelos gases clorofluorcarbonetos (CFCs), a degradação das florestas do hemisfério norte devido às chuvas ácidas ocasionadas pela emissão de enxofre, entre outros. Assim, Papanek (2002) observa que catástrofes ambientais, tornam necessária a contribuição dos designers e arquitetos na procura de soluções que visam a sustentabilidade. Nas palavras do autor:

As mudanças ambientais no nosso frágil planeta são uma consequência daquilo que fazemos e dos instrumentos que utilizamos. Agora que as mudanças que provocamos são tão grandes e tão ameaçadoras, é imperativo que os designers e arquitetos dêem o seu contributo para ajudarem a encontrar soluções. (PAPANEK, 2002, p. 11).

Neste contexto, Kazazian (2005), enfatiza que durante a década de 1970 o consumo humano de recursos naturais começou a ultrapassar as capacidades biológicas da terra. Em virtude disso, Ashby e Johnson (2010) comentam que surgiu a preocupação com a diminuição dos impactos ambientais, além da conscientização em relação ao projeto voltado para o meio ambiente, e ao longo prazo, para a sustentabilidade.

Conforme Manzini e Vezzoli (2002), a conscientização em torno do problema ambiental repercutiu na reorientação de novos comportamentos sociais, ou seja, na busca por produtos e serviços que levem em conta os aspectos ambientais. De tal modo, Papanek (2002) aponta que o designer preocupa-se com o desenvolvimento de diversos produtos, e a atividade deste profissional tem influências diretas sobre a ecologia. Assim, o autor defende que o repertório das capacidades dos designers abrange “a sabedoria para prever as consequências ambientais, ecológicas, econômicas e políticas provocadas pelo design” (p. 10).

Neste âmbito, os produtos desenvolvidos a partir de perspectivas ambientais possuem requisitos voltados para esse fim. Na literatura, Manzini e Vezzoli (2002) apontam requisitos de projeto propostos por Holmberg (1995) que procuram responder a sustentabilidade voltada para o meio ambiente:

- Basear-se principalmente em recursos renováveis;
- Otimizar o emprego dos recursos não renováveis;
- Não acumular lixo que o ecossistema não seja capaz de absorvê-lo;
- As comunidades “ricas” devem permanecer nos limites de seu espaço ambiental para que os indivíduos de comunidades “pobres” possam utilizar o espaço ambiental ao qual têm direito.

Sob este ângulo, os autores explicam que o desenvolvimento do design para a sustentabilidade significa promover a capacidade do sistema produtivo em proporcionar o bem estar utilizando uma quantidade de recursos ambientais inferior

aos níveis atualmente praticados. Assim, os autores enfatizam que “o design para a sustentabilidade pode ser reconhecido como uma espécie de design estratégico” (p. 23), que consiste no projeto de estratégias aplicadas por empresas que estabelecem a prospectiva da sustentabilidade ambiental.

Conforme os autores, durante a concepção de produtos e serviços, o design para a sustentabilidade precisa considerar todas as condicionantes do ciclo de vida, isto é, por meio da metodologia definida pela expressão *Life Cycle Design*. Os autores entendem que esta metodologia abrange o desenvolvimento de novos produtos com o intuito de considerar as implicações ambientais ligadas ao ciclo de vida do produto, que compreende a pré-produção, a produção, a distribuição, o uso e o descarte, com o objetivo de minimizar os possíveis efeitos negativos.

Neste sentido, Manzini e Vezzoli (2002) argumentam que o designer tem um papel relevante na seleção e aplicação de materiais a serem empregados em produtos. Além disso, os autores explicam que o designer tem grande influência na escolha das fontes de energia para o funcionamento dos produtos. Ainda, comentam que o designer pode intervir nas fases produtivas e na distribuição do produto. Portanto, este profissional pode contribuir de diversas formas para proporcionar o baixo impacto ambiental. Dentre estas maneiras, ele pode escolher materiais menos danosos ao meio ambiente (PAPANÉK, 2002).

O ciclo de vida de um material compreende inicialmente a extração e o processamento de minérios e insumos primários que resultam em materiais empregados na indústria de bens de consumo. A partir destes materiais são fabricados os produtos, que serão utilizados e ao final da vida útil, descartados ou reciclados. Em cada etapa deste ciclo é consumida energia, gerando excedente de calor e emissões sólidas, líquidas e/ou gasosas que geralmente são prejudiciais à natureza (ASHBY; JOHNSON, 2010).

Em virtude disso, a escolha dos materiais pelo designer é essencial, as decisões em seu trabalho podem ter consequências ecológicas a longo prazo e de longo alcance, (PAPANÉK, 2002). Sendo assim, os materiais determinam várias formas de impacto ambiental, ocasionando diversos efeitos no ecossistema. Dessa forma, Manzini e Vezzoli (2002) indicam a escolha dos materiais de baixo impacto, a partir das seguintes perspectivas:

- Evitar empregar materiais tóxicos e danosos no produto;
- Evitar adicionar aditivos que causam emissões tóxicas e danosas;
- Evitar acabamentos tóxicos e danosos;
- Evitar usar materiais que estão prestes a se esgotar;
- Usar materiais renováveis;
- Usar materiais biodegradáveis;
- Usar materiais reciclados;
- Usar materiais que procedam de refugos de processos produtivos;
- Usar componentes que procedam de produtos já eliminados;
- Escolher tecnologias de transformação dos materiais de baixo impacto.

Estas especificações podem guiar o designer na seleção de materiais com vistas a sustentabilidade. É visto que todo e qualquer material provoca algum tipo de impacto, pois como observado, os materiais passam por uma cadeia de processos que vai desde a sua extração até o processo de produção dos produtos que geram resíduos e uso de energia. Contudo, conforme os requisitos propostos é possível explorar possibilidades para minimizar os impactos provocados pelos materiais em todo o ciclo de vida dos produtos.

Neste âmbito, as reservas dos recursos para a produção de alguns materiais são limitadas, entretanto, existem materiais que apresentam-se como sendo mais ou menos renováveis. De tal modo, em meio aos materiais renováveis, encontram-se os materiais biodegradáveis, sendo que a vantagem destes materiais é na fase final do ciclo de vida, quando integram-se na natureza sem gerar grandes danos (MANZINI; VEZZOLI, 2002). Portanto, a seleção de materiais com foco nos materiais biodegradáveis pode contribuir de forma significativa com o design para a sustentabilidade.

Neste contexto, a atividade de seleção de materiais exerce forte influência na sustentabilidade ambiental, pois o material escolhido, além de adequar-se ao conjunto de atributos esperados pelo produto, como a forma almejada, a usabilidade, pode também adequar-se ao meio ambiente. Para Manzini e Vezzoli, no desenvolvimento de um produto existem inúmeros materiais diferentes que podem atender às necessidades esperadas.

Portanto, a otimização da seleção de materiais aplicada aos produtos, é uma das maneiras de apoiar o processo da sustentabilidade, principalmente na esfera ambiental. Neste sentido, existe a necessidade de identificar materiais que possuam aspectos funcionais específicos que possam ser adequados para possíveis soluções em projetos que visam a redução do impacto ambiental, levando em consideração o caráter global de um produto, ou seja, sua funcionalidade, usabilidade, estética. Assim, o presente trabalho busca contribuir com o estudo da viabilidade de aplicação de materiais biodegradáveis no design de produto.

2.2.2 Métodos de design para a sustentabilidade: ecodesign e ciclo de vida do produto

De acordo com Kazazian (2005), é importante considerar o meio ambiente no projeto tanto quanto a exequibilidade técnica, os custos e a demanda do mercado. Dessa forma, o encontro entre a atividade de projetar e o meio ambiente pode ser definido com o termo ecodesign, que segundo Manzini e Vezzoli (2002) consiste em um modelo projetual que é orientado por critérios ecológicos, ou seja, é uma expressão que sintetiza um amplo conjunto de atividades projetuais que tendem a enfrentar temas postos pela questão ambiental. Em consonância, conforme Escorel (1999), o ecodesign refere-se ao ato de projetar com a preocupação focada no meio ambiente e em todo o seu ciclo de vida visando diminuir ou evitar agressões ao ecossistema por meio da utilização de materiais e processos de fabricação que facilitem o descarte, o reuso, a desmontagem e a reciclagem dos materiais e dos produtos. Assim, pode-se entender o ecodesign como uma orientação projetual que visa conceber produtos que levem em consideração aspectos sobre o possível impacto ambiental no ciclo de vida do produto.

Neste contexto, a ênfase do ecodesign pode ser abordada no redesenho de produtos ou no desenvolvimento de novos produtos que busquem minimizar os impactos ambientais. De tal modo, a abordagem do ecodesign está relacionada

com o ciclo de vida do produto na medida em que considera as possíveis implicações ambientais. De acordo com Lewis e Gertsakis (2001), a análise do ciclo de vida pode ser considerada uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de produtos que visam a sustentabilidade, assim:

Considerar o ciclo de vida quer dizer adotar uma visão sistêmica de produto, para analisar o conjunto dos inputs e dos outputs de todas as suas fases, com a finalidade de avaliar as consequências ambientais, econômicas e sociais, o que se denominou Life Cycle Design. (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p. 92).

Em virtude disso, o ciclo de vida dos produtos está relacionado com as etapas de pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte de produtos, como pode ser observado na figura 11, que consistem em um conjunto de atividades e processos que utilizam materiais e energia e liberam diversas emissões no meio ambiente (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

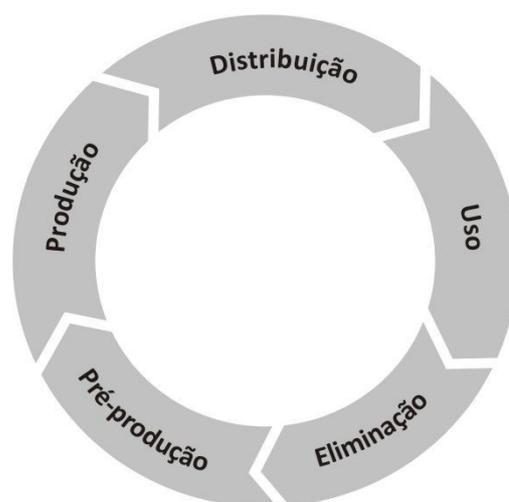


Figura 11: Etapas do ciclo de vida do produto.
Fonte: Adaptado de Manzini e Vezzoli (2002).

Segundo os autores, a pré-produção é a fase em que são produzidas as matérias-primas, em que é necessário a aquisição de recursos, a transformação destes recursos e o transporte. Na etapa de produção é realizada a transformação dos materiais, a montagem e o acabamento. Na fase seguinte, a distribuição, é caracterizada por três momentos, a embalagem, o transporte e o armazenamento. Já na etapa de uso, o produto é utilizado por um certo período de tempo ou consumido, dependendo do tipo de produto, sendo que em muitos casos o uso

pode utilizar recursos materiais e energéticos para o seu funcionamento e por consequência pode gerar resíduos. Após o uso, ocorre o descarte do produto, no qual ele é eliminado. Nesta última etapa, existem opções para o destino final do produto, como: a reutilização, a reciclagem ou o processo de compostagem.

Os autores destacam que a abordagem do ciclo de vida deve considerar todas as etapas a fim de reduzir o impacto ambiental, no entanto, não é obrigatório atuar em todas as fases, pois é possível projetar tendo como objetivo minimizar o impacto ambiental mesmo em casos em que o controle seja parcial. Nesta perspectiva, os autores apresentam estratégias que servem de linhas guias para integrar os requisitos ambientais no desenvolvimento de produtos, são as seguintes:

- Minimização dos recursos: consiste na redução do uso de materiais e energia;
- Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental: tem como foco a seleção de materiais, processos e fontes energéticas eco compatíveis;
- Otimização da vida dos produtos: consiste em projetar produtos que perdurem;
- Extensão da vida dos materiais: desenvolvimento de projetos que visam a valorização dos materiais descartados;
- Facilidade de desmontagem: realizar o projeto em função da facilidade de separação das partes e dos materiais constituintes.

Em relação a estas estratégias, conforme os autores, a minimização do uso de recursos e a escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental são prioritárias e assim, precisam ser levadas em consideração em todo o ciclo de vida dos produtos. Desse modo, a adoção das estratégias pelo designer, em geral, pode ocorrer nas fases iniciais do projeto, ou seja, no planejamento e no desenvolvimento do produto antes de entrar em linha de produção.

Assim, a adoção de estratégias para o desenvolvimento de produtos que visam minimizar os impactos ambientais, e ponderando o ciclo de vida, podem ser uma alternativa mais facilmente aplicável por indústrias e projetistas em comparação aos métodos quantitativos de análise e avaliação do impacto ambiental, que são bastante custosos e complexos (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Neste contexto, o design para a sustentabilidade tem no ecodesign e no ciclo de vida, métodos para o desenvolvimento de produtos que visam a reduzir os danos ambientais. Assim, é imprescindível que os projetistas busquem adotar, na medida do possível, as estratégias anteriormente citadas para que ocorra de forma efetiva a minimização dos impactos ambientais.

Desse modo, devido a preocupação com os impactos ambientais, o design tem se direcionado para a esfera ambiental, em que são desenvolvidos produtos que visam minimizar estes impactos. No entanto, o desenvolvimento de produtos a partir desta perspectiva também atingem as outras esferas da sustentabilidade, pois existem fatores como o custo de produção, a aceitação do produto por parte dos usuários e outros, que correspondem a sustentabilidade econômica e a social. Assim, a sustentabilidade pode ser considerada como um processo que repercute na economia, no meio ambiente e socialmente, em consequência as soluções de design que visam a sustentabilidade estão relacionadas com essas esferas.

2.2.3 Ações em design para a sustentabilidade

A preocupação e conscientização em torno dos problemas ambientais levou ao desenvolvimento e busca por produtos e serviços que relativizem a existência de processos industriais e a discussão sobre a reorientação de novos comportamentos sociais relacionados com a redução do consumo. Dessa forma, a interferência do design na produção industrial e de serviços com orientação ecológica pode ser representada pela seguinte divisão proposta por Manzini e Vezzoli (2002):

- Redesign ambiental do existente;
- Projeto de novos produtos ou serviços que substituam os atuais;
- Projeto de novos produtos-serviços intrinsecamente sustentáveis;
- Proposta de novos cenários que correspondam a “estilos de vida sustentáveis”.

Segundo os autores, o primeiro nível de interferência do design corresponde ao redesign ambiental do existente. Trata-se de melhorar a eficiência global do ciclo de vida em termos de consumo de matéria e energia, além disso, facilitar a

reciclagem dos materiais e a reutilização dos seus componentes. Este nível de interferência comporta escolhas de caráter técnico e não requer mudanças nos estilos de vida e de consumo. Dessa forma, o primeiro nível, consiste em obter melhorias em termos de materiais e energia, reduzindo o impacto ambiental de produtos existentes, o que vai ao encontro do conceito de ecodesign, que é o projeto que visa a diminuição dos danos ambientais em todo o ciclo de vida do produto, como já citado anteriormente.

O segundo nível de interferência, projeto de novos produtos e serviços, procura identificar serviços ecologicamente mais favoráveis em relação aos demais. Neste nível, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002), a inovação técnico-produtiva pode ser mais facilmente direcionada para a busca da qualidade ambiental e social, do que por meio do redesign de produtos existentes. Em alguns produtos é perceptível esta proposta, como, por exemplo, a iniciativa de projetos de produtos orientados para o mercado verde como, alimentos, bens de consumo duráveis, que emergem de conceitos de produção ecológica.

O projeto de novos produtos-serviços intrinsecamente sustentáveis, de acordo com os autores, é o nível que está mais próximo da perspectiva da sustentabilidade, o qual propõem o desenvolvimento de novos produtos e serviços sustentáveis e aceitáveis socialmente. Esta proposta vai ao encontro do projeto de sistemas produtos-serviços, na qual a ideia é que o projeto não seja puramente um bem material, mas que evolua para uma direção sistêmica que incorpora serviços e informações aos produtos, que pode implicar a ação de modelos colaborativos, contínuos e abertos que incluam o usuário (KRUCKEN, 2009). Em termos mercadológicos, essa proposta de novos produtos-serviços precisa ser pensada no nível estratégico de decisão das empresas, no qual há possibilidade de abrir um novo mercado, diferente do existente, com o intuito de engajamento na busca da sustentabilidade (DE MORAES, 2010).

O último nível de intervenção busca propostas de novos cenários que correspondam a estilos de vida sustentáveis. Conforme Manzini e Vezzoli (2002), esta é uma possibilidade de interferência complexa, em que projetistas tem um papel de busca, interpretação, reproposição e estímulos de ideias socialmente produtivas. Desse modo, não se trata apenas de intervir no processo produtivo,

mas de promover novos critérios de qualidade que sejam sustentáveis em termos ambientais, atraentes culturalmente e aceitáveis socialmente. Assim, é um nível de atividade projetual desvinculada da relação direta com a produção “mas que encontre, também, uma relação com empresas cuja intenção seja redefinir sua identidade e desempenhar, nesta perspectiva, um papel de cunho cultural” (p. 22). Desta forma, esta proposta na esfera projetual consiste no desenvolvimento de atividades no plano cultural que visa promover novos critérios de qualidade que sejam sustentáveis ambientalmente e aceitáveis socialmente. Entretanto, atuar neste nível de projeto é uma tarefa difícil, e muito do que estuda-se é apenas uma possibilidade futura.

As ações em design para a sustentabilidade foram resumidas conforme ilustra a figura 12. De acordo com Lepre e Santos (2009), o redesign ambiental e os novos produtos, são abordagens consideradas reparadoras, pois o nível de interferência é no produto físico. No entanto, o sistema produto-serviço e a proposta de novos cenários são consideradas estratégias para a sustentabilidade, já que visam mudanças nas formas de consumir e produzir.

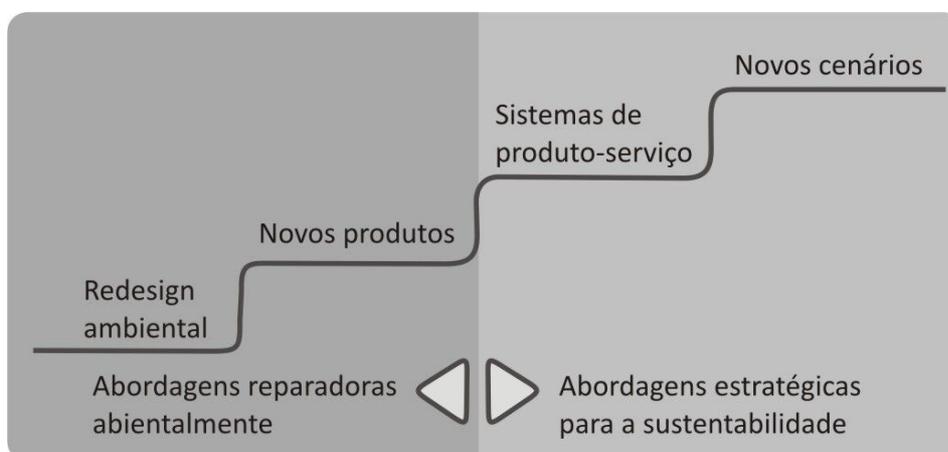


Figura 12: Comparação dos níveis de interferência do design.
Fonte: Adaptado de Lepre e Santos (2009).

Até o momento, o encontro entre o design e a questão ambiental tem focado e praticado principalmente nos dois primeiros níveis de interferência. Esta atividade foi e continua sendo importante e necessária para as questões ecológicas, no entanto, para atingir a sustentabilidade, é preciso que esteja

relacionada a serviços e comportamentos diversos dos conhecidos até hoje (MANZINI; VEZZOLI, 2002). Dessa forma, considerando que a sustentabilidade é um processo, a interferência do design em qualquer um dos níveis pode contribuir com o desenvolvimento sustentável na medida em que propõe soluções inovadoras no projeto de produtos que visam os requisitos ambientais que repercutem nas esferas econômica e social.

Neste contexto, a contribuição do designer está em poder aumentar o número de alternativas melhores e, sobretudo, em visualizar soluções e cenários ainda não expressos claramente, o que significa poder intervir em propostas culturais, de valores e critérios de qualidade, buscando influenciar o mundo existente. Assim, a tarefa do designer não é projetar estilos de vida mais sustentáveis, mas propor alternativas que tornem praticáveis esses estilos sustentáveis de vida (MANZINI; VEZZOLI, 2002). As soluções propostas pelos designers dependem da aceitação e conscientização dos consumidores em adotar esses produtos e serviços. Dessa forma, a busca da sustentabilidade através do design é um processo que depende também do contexto sociocultural para ser efetivo, e em cada nível de atuação, o design pode trazer mudanças principalmente de ordem social para alcançar o nível mais elevado que consiste em abordagens estratégicas para a sustentabilidade.

Capítulo 3

DESIGN E MATERIAIS

A abordagem deste capítulo é direcionada para a relação do design com os materiais, em que, inicialmente buscou-se suporte para compreender esta relação através de autores como Beylerian e Dent (2007), Ashby e Johnson (2010) e Ferrante e Walter (2010). Posteriormente, pretendeu-se descrever a classificação dos materiais e suas propriedades, e como influenciam na seleção de materiais. Além disso, foi abordado o perfil dos materiais através da descrição de fatores tangíveis e intangíveis. Na sequência, foi realizada uma breve discussão acerca da relação entre os estilos de design e os principais materiais empregados em cada um deles. Para finalizar a seção, foi feita uma reflexão entre os novos materiais, tecnologia e design. Posteriormente, abordou-se a seleção de materiais e sua relação com o design. Para isso, foi descrito o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), e por fim, verificou-se a relação entre a seleção de materiais e o processo de design.

3.1 Os materiais

O homem está em constante contato com os materiais, utiliza-os para materializar suas ideias em bens tangíveis, para auxiliá-lo na realização de suas tarefas, seja em casa, no trabalho ou no lazer. Callister (2002, p. 2), comenta que “os materiais estão provavelmente mais entranhados na nossa cultura do que a maioria de nós imagina”. Além disso, o autor observa que os segmentos da vida diária do ser humano, como os transportes, habitação, vestuário, comunicação, recreação e produção de alimentos, são influenciados pelos materiais.

Conforme Houaiss (2001), material por analogia, é tudo o que constitui-se de matéria, ou que por ela se manifesta, sendo concretamente percebido e concerne ao aspecto exterior visível. Segundo Dias (2009), pode ser definido, como substância tangível que compõe o objeto físico. Assim, há uma relação entre

material e produto, sendo que o primeiro dá forma ao segundo e este, por sua vez, confere uma expressão, um valor àquele. De acordo com a pesquisadora, historicamente, o termo materializar, refere-se a conceder ou assumir uma consistência, uma natureza material, transformar em realidade, representar algo de forma concreta.

A história aponta que os primeiros seres humanos tiveram acesso a um número limitado de materiais, como a pedra, madeira, argila, peles e outros. Nesta época, a utilização de materiais era um processo de seleção a partir de um conjunto relativamente limitado de opções disponíveis. Ao longo do tempo foram descobertas técnicas para a produção de materiais com propriedades superiores, além da descoberta de que poderiam ser alteradas. Em tempos relativamente recentes os cientistas compreenderam as relações entre os elementos estruturais dos materiais e suas propriedades. Deste modo, este conhecimento proporcionou a condição de moldar as características dos materiais, assim, diversos deles foram desenvolvidos com características específicas para atenderem as necessidades da moderna e complexa sociedade (CALLISTER, 2002).

O estudo científico de materiais é denominado por ciência dos materiais, que busca compreender as origens fundamentais dos materiais com o intuito de manipulá-las. Do ponto de vista do autor, a ciência dos materiais envolve a investigação das correlações existentes entre as estruturas e as propriedades de. Em sentido pormenorizado, Dias (2009), ressalta que a ciência dos materiais é o ramo da ciência relativo ao estudo dos materiais e a relação entre as suas propriedades, estrutura, desempenho, formas de caracterização e processamento. Neste entendimento, a engenharia de materiais baseia-se nestas correlações entre estrutura-propriedade para produzir materiais com um predeterminado conjunto de propriedades. Assim, a estrutura de um material relaciona-se ao arranjo de seus componentes internos, em que abrange a organização dos átomos ou moléculas entre si, já propriedade é a característica de um material em termos do tipo e a magnitude de resposta a um específico estímulo imposto. Sendo assim, Callister (2002) agrupa as propriedades dos materiais em seis categorias: mecânica, elétrica, térmica, magnética, ótica e deteriorativa.

De tal forma, o processamento dos materiais modifica sua estrutura, alterando suas propriedades, que por sua vez delimitam o seu desempenho. De acordo com Dias (2009), a transformação da matéria em objetos é possível por meio do processo de fabricação ou manufatura, que constitui-se no modo de produzir bens e recursos mediante um método ou procedimento estabelecido para este feito. Segundo Manzini (1989), os materiais, os processos e os objetos são elementos inseparáveis. Então, o produto final é feito de um ou mais materiais, em que sua estrutura possui propriedades provenientes, na maior parte, do processo de fabricação, que é ditado pela última forma daquele produto. Assim, o resultado final é o efeito da combinação desses três fatores.

Com a manipulação da estrutura e por consequência das propriedades dos materiais, segundo Ferrante e Walter (2010), recentemente ocorreu um elevado aumento no número de materiais, o que criou a necessidade de organizá-los em famílias para seu melhor entendimento e estudo. Para Callister (2002), a classificação dos materiais é baseada em sua constituição química e estrutura atômica. O autor agrupa os materiais em três classificações básicas: metais, polímeros e cerâmicas, e três classificações adicionais: compósitos, semicondutores e biomateriais. Outros autores² incluem os materiais naturais nesta classificação. Para fins de exemplificação, o esquema da figura 13 exibe os níveis de classificação do polipropileno (PP). Neste caso, este material é da família dos polímeros e a classe dos termoplásticos.

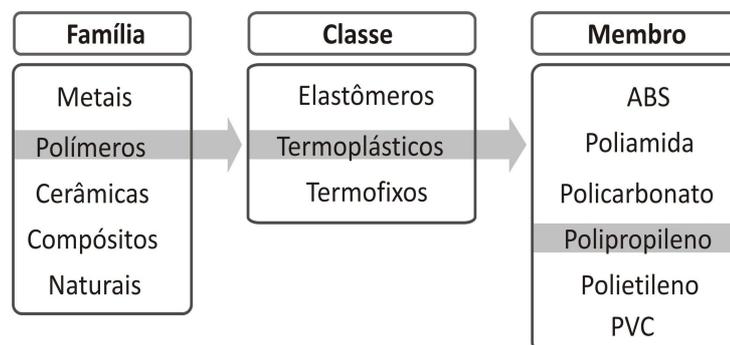


Figura 13: Níveis da classificação do polipropileno (PP).
 Fonte: Adaptado de Ashby e Johnson (2010).

² Ferrante e Walter (2010) e Ashby e Johnson (2010).

É possível observar que esta classificação inicia num nível macro até um nível micro, neste, encontram-se os membros que são os materiais empregados no design de produto. Cada material deste nível possui suas próprias propriedades e características que influenciam na seleção de materiais.

3.1.1 Materiais no contexto do design

Os materiais desempenham papel essencial no processo de concepção do produto, pois concretizam as ideias, os conceitos e desenhos criados pelos designers. A relação entre materiais e design fica evidente nas compreensões de alguns autores da área, como nas constatações de Ashby e Johnson (2010): “materiais são a matéria de que é feito o design de produto” (p. 55), e, “interagimos com materiais por intermédio de produtos” (p. 81). Gomes (2006, p. 151) também trata desta relação, quando diz que “materiais são componentes físicos que constituem um produto”. Em consonância, Ferrante e Walter (2010) argumentam que a ponte de ligação entre a ideia e a produção é o material, que deve ser selecionado e processado até a reprodução física da ideia na forma de produto, levando em consideração as mais diversas condições de uso que o material precisa prever e atender. Para Beylerian e Dent (2007, p. 17) “materiais podem transformar o design, e o design, portanto, tem a força para transformar nossas vidas”.

Nesta ótica, os autores supracitados têm visões parecidas no que toca a relação dos materiais com o design, porém diferenciam-se na complexidade. Assim, a relação compreendida por eles vai desde a concretização de uma ideia até a possível transformação da vida das pessoas, ou seja, a ideia de materializar um produto de design está associada a melhoria da qualidade de vida dos seres humanos. Outro importante apontamento sobre a relação dos materiais com o design é a afirmação de Beylerian e Dent (2007) de que os materiais podem ser considerados como uma das fontes mais ricas de inovação, pois segundo ele, podem promover o design inovador. Esta constatação, em nível distinto, também está presente na terceira edição do Manual de Oslo, quando aborda que

melhoramentos significativos em produtos podem ocorrer por meio de mudanças em materiais empregados, que aprimoram seu desempenho.

Neste âmbito, no contexto do design os materiais podem desempenhar diferentes papéis, eles podem definir o leque de funções de produtos, a durabilidade, os custos, entre outros. Ashby e Johnson (2010) relacionam a usabilidade e a ergonomia quando mencionam os seguintes exemplos: objetos pesados podem ficar mais leves com o emprego de ligas de metais leves, polímeros e estruturas de sanduíches preenchidos com espuma, elastômeros podem facilitar a empunhadura e espumas de polímeros permitem superfícies macias ao toque. Sendo assim, os materiais podem auxiliar as soluções de design a cumprirem requisitos propostos no projeto.

No processo de interação do usuário com o material, conforme afirma Dias (2009), cada órgão dos sentidos é capaz de proporcionar diferentes sensações. A autora explica que a modalidade tátil é um importante sistema na interação usuário-produto nos fatores como o conforto, a satisfação e preferências, pois, cada material, com suas propriedades, induz o usuário a uma percepção que é única e particular. Nas palavras da autora, “a utilização estratégica de materiais é um dos mais influentes meios de que os designers podem valer-se para comunicar e criar conexões emotivas entre os produtos e seus usuários” (p. 2). Desse modo, a adequada seleção dos materiais pode ser decisiva para que um produto seja eficiente e cumpra as funções com que ele foi projetado.

Nesta perspectiva, os materiais com os quais os produtos são produzidos, são portadores de significados perceptíveis aos usuários, assim, podem influenciar as suas escolhas e preferências. Para Ashby e Johnson (2010), a materialidade cria a personalidade de um produto, pois um material possui atributos percebidos ou associações que os adquire quando usado em um produto. O designer pode incorporar diferentes significados em um produto, dependendo do papel que ele desejar que o produto desempenhe. Como exemplo, no caso da madeira, os autores argumentam que é um material natural cujas fibras proporcionam uma textura de superfície própria deste material, ela é tátil, percebida como mais quente em comparação com outros materiais e aparentemente mais macia, possui cheiros característicos e desperta associações com o artesanato. Assim, a madeira

é um material bem conhecido, possui características que podem estar associadas a significados atribuídos pelos usuários. Neste sentido, os autores observam que estas características não são apenas estéticas, mas sim, traços que definem uma personalidade, que pode ser revelada pelo designer.

Os materiais possuem significados que são percebidos tanto por designers como por usuários. Porém, o tipo de material e a forma como o designer irá empregá-lo em um produto, implicará na sua personalidade, e por consequência, na percepção dos usuários. Tanto os significados dos materiais, quanto a personalidade dos produtos, dependem do contexto cultural em que são utilizados. Assim, o emprego de materiais no design de produto precisa ser fundamentado também pela cultura, para que os designers consigam atender as necessidades do público-alvo do produto.

Neste contexto, Reis (2003) propõe que a forma de um produto seja determinada, não apenas pelas propriedades físicas do material, mas também, pelo estilo de representação de uma cultura, no sentido de que os diversos valores semânticos e simbólicos tenham a compreensão adequada dos materiais. Desse modo, a forma do produto é influenciada por diversos fatores culturais, como a moda, o prazer, o luxo, novidade, humor e outros, e sobretudo pelos materiais e processos (ASHBY; JOHNSON, 2010). Assim, os materiais exercem influências sobre a configuração dos produtos, já que a forma de determinado produto é dependente do material, de suas características tangíveis e intangíveis. O autor enfatiza que o bom design é aquele que leva em consideração o uso mais eficiente dos materiais, ou seja, de suas propriedades e da maneira como podem ser conformados. Neste ponto, o designer pode explorar as propriedades favoráveis de determinado material e corrigir as suas deficiências.

3.1.2 O perfil dos materiais

Os materiais diferenciam-se uns dos outros por possuírem características particulares, que segundo Dias (2009) é uma espécie de perfil genético, ou seja, o DNA do material. Conforme já abordado neste trabalho, os materiais são

classificados em: família, classe e membro, sendo que esta classificação é baseada na natureza dos átomos e a ligação entre eles. Cada membro de materiais possui atributos que podem ser definidos como características tangíveis e intangíveis. Aqueles, constituem o perfil objetivo ou técnico que visam quantificar o comportamento quanto aos atributos físicos, mecânicos, térmicos e outros, assim, podem ser medidos e possuem valores exatos. Já os atributos intangíveis, são características que definem o perfil subjetivo dos materiais, como, as questões relacionadas com a estética e o simbólico percebido pelas pessoas, estes atributos precisam ser compreendidos em termos socioculturais na medida em que são construídos socialmente. É importante frisar, que os atributos variam de acordo com o tipo de material, por exemplo, os polímeros geralmente não são caracterizados pelo sabor e cheiro, enquanto as madeiras são (DIAS, 2009).

Neste contexto, o perfil objetivo dos materiais é composto por informações geralmente numéricas, como valores de força, módulos, dureza, ductilidade, condutividade térmica, coeficiente de expansão, peso, preço, e outros. Essas informações são necessárias para o cálculo de cargas seguras, temperatura, fluxo de calor, ciclo de vida, que asseguram os requisitos funcionais, técnicos, ambientais e econômicos estabelecidos para o projeto, (ASHBY e JOHNSON, 2010). Dessa forma, os autores elaboraram alguns atributos tangíveis que compõe o perfil objetivo dos materiais:

- Gerais: preço e densidade;
- Técnicos: comportamento físico, mecânico, térmico, elétrico e processo de fabricação;
- Ambientais: legalidade, disponibilidade, uso de recursos naturais, impactos da extração de recursos, conteúdo energético, conteúdo de material reaproveitado, uso de materiais locais, uso de materiais renováveis, resíduos e emissões, potencial de reaproveitamento, qualidade do ambiente de uso dos materiais;
- Sociais: aspectos sociais decorrentes da extração de recursos e manufatura;
- Econômicos: custos de ciclo de vida dos materiais aplicados ao produto.

Além do perfil objetivo, os materiais possuem o perfil subjetivo, que conforme Dias (2009) é definido por características intangíveis³, ou seja, por significados atribuídos e emoções evocadas que não podem ser exclusivamente identificadas por valores numéricos ou quantificadas. Sendo assim, a autora organizou as informações sobre as características intangíveis em quatro grupos de atributos subjetivos:

- Estéticos: estes atributos estão relacionados com a impressão estética que são sentidas sobre um objeto por meio dos sentidos, assim, forma, figura, sensações de tato, textura dos materiais, peso, transparência, brilho, cheiro, são atributos que são traduzidos pela dimensão estética;
- Práticos: são os atributos que relacionam-se diretamente com o uso, manuseio e experiência dos usuários com os objetos, desse modo, os atributos como usabilidade, ergonomia, conforto, segurança, limpeza e higiene, saúde, qualidade, desempenho, confiabilidade, resistência, fazem parte da dimensão prática e de uso dos materiais;
- Simbólicos: estes atributos estão relacionados com aspectos psíquicos e sociais, que são sujeitos a variações culturais e sociais, a experiência do indivíduo, as diferenças individuais e dos valores de cada um e da coletividade, com isso, a dimensão simbólica dos materiais pode ser revelada em atributos como, identidade, memória, cultura, natural e artificial, autêntico e imitações, artesanal e industrial, valores, estilos de design e associações;
- Outras influências que afetam a percepção dos materiais: estes atributos são relativos às características dos usuários como idade, gênero, experiência, instrução, estilo de vida, além de influências de comportamento como tendências, estilos de design, bem como influências culturais.

Sendo assim, o perfil dos materiais é constituído pelo perfil objetivo e subjetivo, conforme pode ser visualizado no esquema da figura 14. Desse modo, o

3 A autora buscou informações acerca dos atributos subjetivos dos materiais em diversos autores, como Manzini (1989), Norman (2006), Gibson (1966), Schmid (2005), Pallasma (2006), Baudrillard (1973), Bürdek (2006), Dormer (1995), Russo e Hekkert (2008), Karana (2004b), Ljungberg e Edwards (2003), Ashby e Johnson (2003), Ono (2006), Jordan (2007), Baxter (2000), Fisher (2004) e Lupton *et al.* (2002). Além disso, ela utilizou fontes secundárias como banco de dados de materiais, materiotecas on-line, catálogos de produtos e revistas especializadas em divulgação de produtos (como design, arquitetura, decoração).

perfil objetivo é composto por atributos que são tangíveis ou mensuráveis, já os atributos do perfil subjetivo são intangíveis e não podem ser quantificados. O esquema mostra de forma simplificada os atributos técnicos, estéticos, práticos, simbólicos e outras influências que fazem parte deste perfil⁴.

Perfil do material

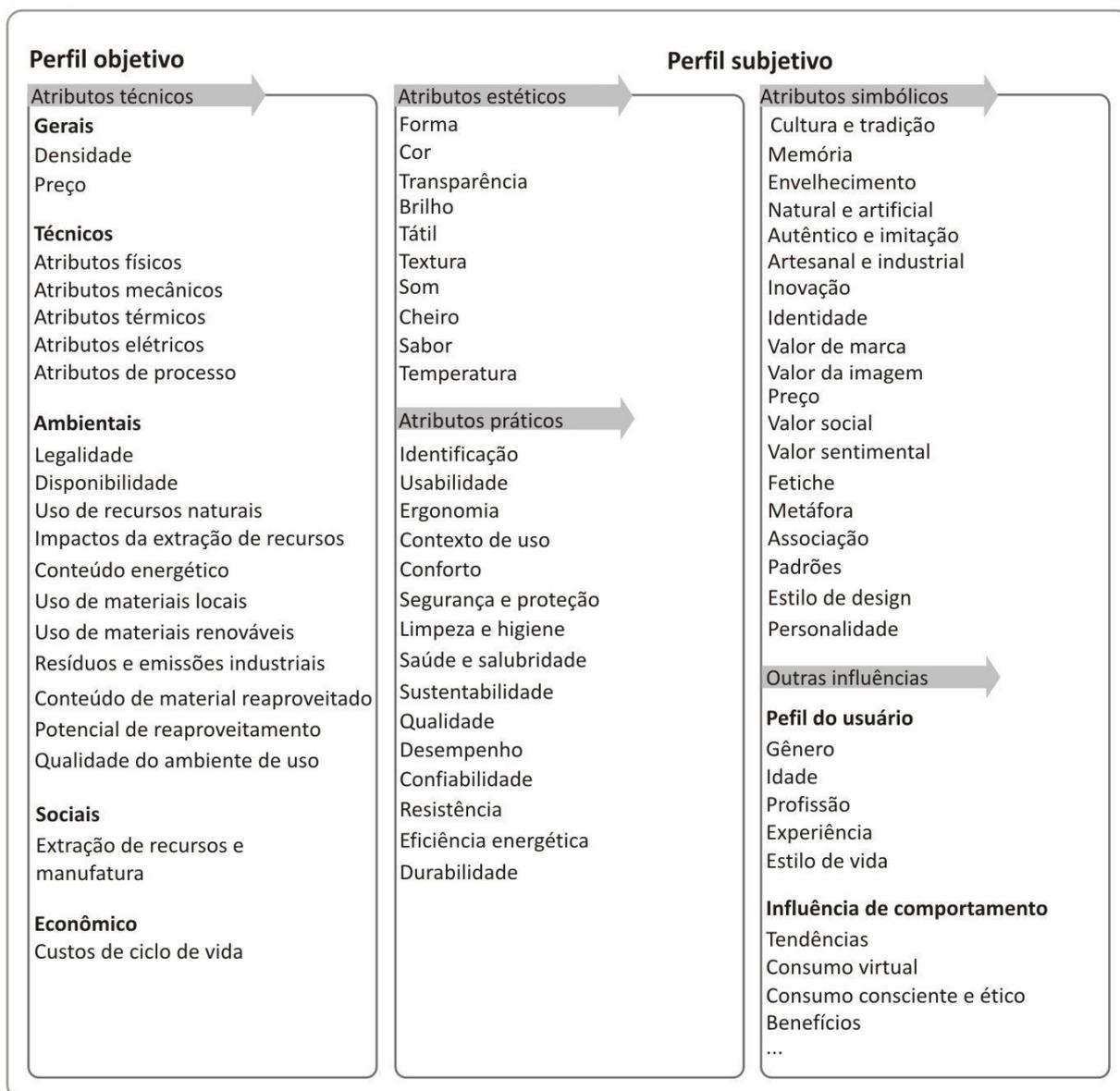


Figura 14: Perfil do material: possíveis atributos objetivos e subjetivos.
 Fonte: Adaptado de Dias (2009).

4 Para maiores informações acerca dos atributos objetivos e subjetivos dos materiais consultar Dias (2009).

Em última análise, de acordo com a autora, o perfil dos materiais pode orientar a equipe de projeto na identificação dos atributos relevantes para determinado projeto. Assim, ele pode ser considerado genérico pois possui atributos que muitas vezes não são aplicados para determinados materiais-produtos. Dessa maneira, não pode ser considerado com uma lista fechada, mas pelo contrário, pode ser ampliado ou reduzido dependendo da necessidade de cada projeto.

3.1.3 Estilos e materiais

Os estilos de design possuem elementos característicos que são determinados pelo contexto cultural do período em que ocorreram. Nas palavras de Schneider (2010, p. 3) “a qualidade estética, o caráter formal e o estilo de design não podem nem de longe ser interpretados sem se considerar o pano de fundo econômico e ideológico diante do qual o design surgiu”. Podem ser considerados como um atalho de informações referentes a um grupo de associações estéticas e percepções de uma época, assim, as funções estéticas e simbólicas de um produto podem ser definidas a partir de elementos de estilos de épocas passadas e atuais.

Os materiais e processos utilizados na manufatura são elementos que caracterizam os estilos de design (ASHBY; JOHNSON, 2010). Com isso, determinados materiais e processos expressam diferentes momentos históricos, como pode ser visto na figura 15, que mostra os estilos, períodos, as características resumidas e os materiais que os identificam.

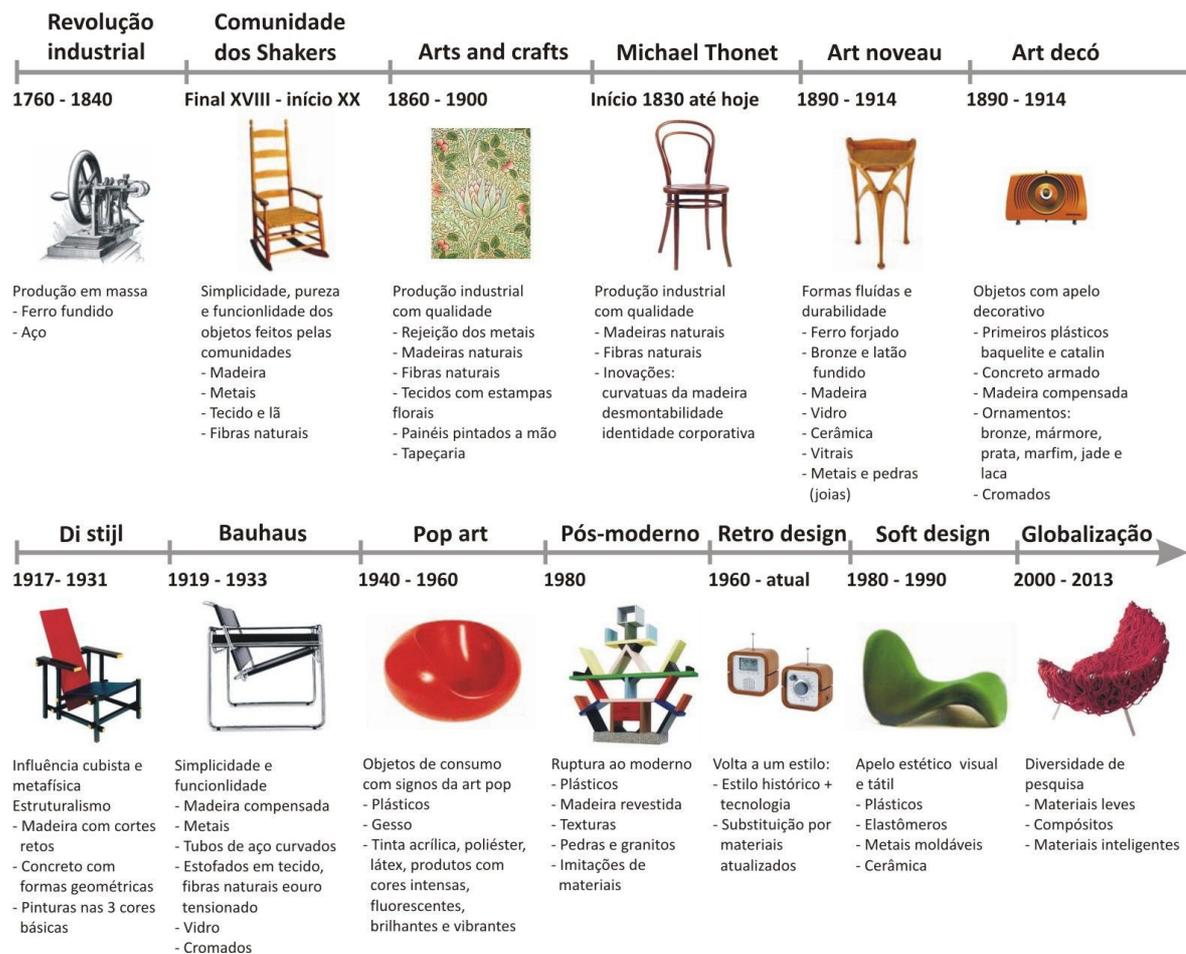


Figura 15: Principais estilos de design e seus materiais característicos.
Fonte: Adaptado de Dias (2009).

É importante ressaltar que a figura 15 não objetiva esgotar todos os movimentos estilísticos até o momento presente, no entanto, a intenção é expor que os materiais e processos são influenciados por fatores de nível social, econômico e cultural. Portanto, os materiais utilizados em produtos de diferentes estilos dependem do contexto sociocultural, da estética vigente, o valor monetário e outros, que são fatores pertinentes a cada época, que influenciam o emprego de materiais.

3.1.4 Novos materiais, tecnologia e design

O termo “novos materiais”, é aplicado para designar as novidades e lançamentos das indústrias e centros de pesquisas no campo dos materiais (DIAS, 2009). Em um contexto amplo, “o termo exprime um novo ambiente técnico e cultural no âmbito do qual se vem dando a transformação da matéria” (MANZINI, 1989, p. 17). Assim, para o autor, as novas propriedades que surgem em nível experimental ou produtivo originam os novos materiais.

Nesta perspectiva, os novos materiais são chamados também por materiais avançados, por possuírem melhores características em comparação com os materiais tradicionais. Desta forma, Staehle (1995) destaca que avançados e novos materiais são uma categoria que é compreendida incluindo aqueles com altas relações de força e peso, maior tenacidade, características eletrônicas, magnéticas ou microestruturas especiais. Em consenso, Maoshan e Baorong (1999 apud Xiong *et al.*, 2008) comentam que os materiais avançados têm melhores propriedades e funções do que materiais tradicionais. Desse modo, os novos materiais, por meio de suas propriedades melhoradas, denotam desempenhos superiores, conforme destaca Manzini:

Novos materiais não são apenas os novos polímeros, novas ligas, cerâmicas novas, ou novos compósitos avançados, ou seja, os materiais de ponta que estão surgindo a partir dos centros de pesquisa mais avançados. Podemos definir como "novos" até mesmo materiais que são o resultado da combinação criativa, graças a uma gestão mais sofisticada de matéria e energia, leva a maior conteúdo de informações e uma maior densidade de performances. (MANZINI, 1989, p. 42).

A evolução no cenário dos materiais ocorre desde a antiguidade, em que cada vez mais novos materiais vão sendo pesquisados e introduzidos na indústria. Beylerian e Dent (2007) exemplificam tais materiais, como os polímeros, em que o estudo avançou rapidamente depois da segunda guerra mundial, já nos anos de 1980 ocorreu a pesquisa de metais, culminando no desenvolvimento de superligas, a década de 1990 abordou questões ecológicas e introduziu uma larga série de materiais que visam a sustentabilidade.

A descoberta dos materiais sempre esteve ligada às necessidades humanas, que ao longo do tempo foram incorporados em novas e lentas aplicações. A fim de representar a evolução dos materiais ao longo do tempo, Ashby e Johnson (2010) elaboraram o gráfico da figura 16, que mostra a transformação dessa evolução até a época atual e uma breve expectativa futura.

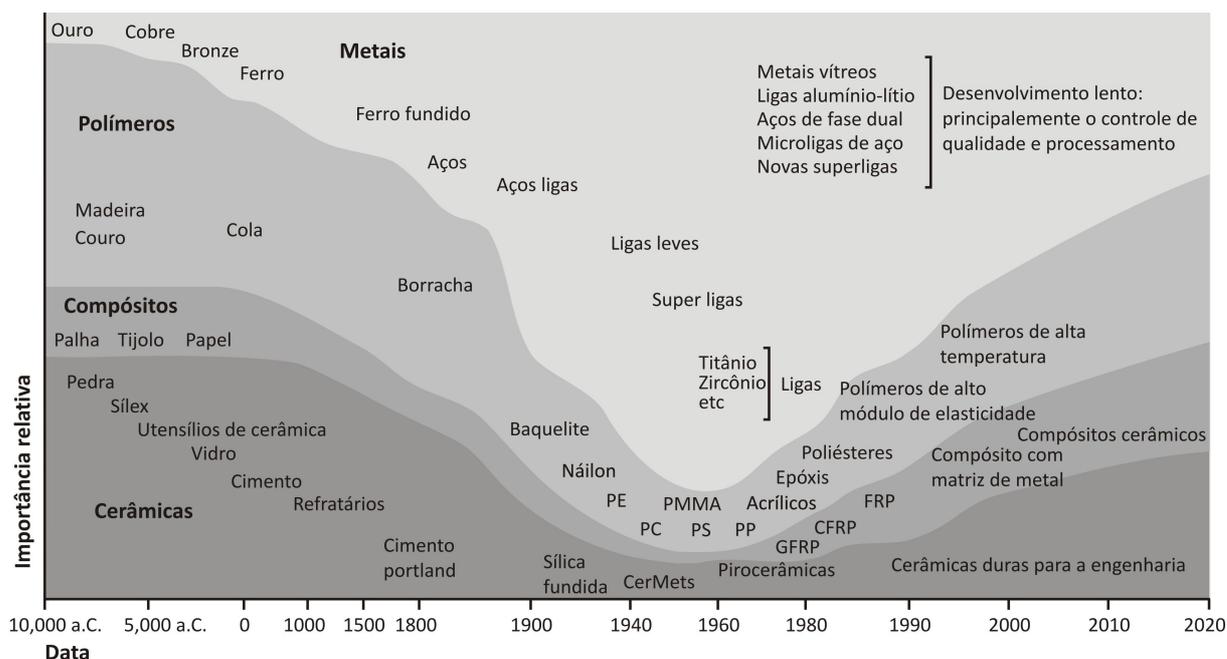


Figura 16: A evolução dos materiais ao longo do tempo.
 Fonte: Adaptado de Ashby e Johnson (2010).

O gráfico aponta a descoberta dos materiais, assim, é possível notar que no período inicial do gráfico, entre 10.000 A.C. até o ano “0” estão presentes todas as classes de materiais: metal, polímero, cerâmica e compósitos. Muitos destes, eram utilizados de forma natural e outros transformados, como era o caso dos metais e das cerâmicas. A partir de 1800, os materiais passaram a ser mais expressivos para as ciências e engenharia dos materiais, pois, corresponde ao início da industrialização e ao desenvolvimento tecnológico moderno em que destacam-se a Idade do Aço, a Idade do Plástico e Idade da Diversidade de materiais.

De acordo com Beylerian e Dent (2007), vivemos em um momento único de pesquisa em materiais que é verdadeiramente de vanguarda. Dessa forma, as nações industrializadas consideram o desenvolvimento de novos materiais uma tecnologia fundamental, que pode estimular a inovação em todos os ramos da

engenharia, do design, da arquitetura e outros. Os Estados Unidos tem na ciência dos materiais um amplo campo de pesquisas, no caso do Japão, a tecnologia dos novos materiais são imprescindíveis para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Assim, países industrializados tem na pesquisa de novos materiais uma grande fonte de desenvolvimento de novas tecnologias (ASHBY; JONES, 2007).

Uma importante tendência para o futuro, são os materiais feitos “sob encomenda”, que consiste na produção de materiais a partir da capacidade técnica e científica para realizar modificações na estrutura da matéria, ou seja, são projetados para usos específicos, assim, podem proporcionar soluções com maior intensidade de desempenhos (MANZINI, 1989). Na perspectiva de Ashby e Johnson (2010), de maneira geral, o século XX é considerado a era dos materiais volumosos, tridimensionais, e até de moléculas isoladas, e da nova funcionalidade que permitem.

Chengwen (2006, apud Xiong *et al.* 2008), especifica o avanço dos novos materiais para o alto desempenho, altas funções, biônica, inteligência, baixo peso, compósitos, menores dimensões e materiais integrados. Beylerian e Dent (2007) assinalam que de estudantes de ciência para os cientistas corporativos, há inúmeras pessoas que trabalham na próxima geração de materiais, que permitirão aos profissionais projetistas construir novas soluções. Os autores comentam ainda, que inovação em materiais é necessária para resolver os problemas e as necessidades do futuro. Principalmente agora, com a preocupação das questões ecológicas, a escassez de materiais, o conforto, a velocidade e a nanotecnologia. Desta forma, muitos novos materiais serão desenvolvidos no futuro, porém, é difícil prever se terão um efetivo desenvolvimento prático e se ultrapassarão os campos de aplicações específicas para as quais foram desenvolvidos. No entanto, apesar da incerteza gerada pelos novos materiais, o autor entende que a pesquisa e a experimentação podem gerar novos desenvolvimentos extremamente interessantes em materiais.

Neste contexto, a tecnologia dos materiais é um importante campo no desenvolvimento da ciência e da tecnologia. No cenário do desenvolvimento impulsionado pela ciência surge grande parte dos novos materiais utilizados pelo design de produto. Assim, os avanços na área de materiais conduzem a progressos

no design, que podem originar novos comportamentos, novas experiências, novas arquiteturas e designs inovadores (ASHBY; JOHNSON, 2010). Desta forma, os autores relacionam tecnologia, novos materiais e processos com novos produtos quando explicam que o processo que parte da geração de novas tecnologias reveladas pela ciência, influenciam no surgimento de novos materiais e processos, e estes, estimulam novas oportunidades para o design de produto.

De acordo com Dias (2009), os avanços tecnológicos, na área de materiais e processos, permitem uma melhoria na função prática do produto, e também criam novas possibilidades para que o design melhore as funções intangíveis, como, as simbólicas e estético formais. De acordo com Xiong *et al.* (2008) a introdução e a aplicação de cada novo material pode produzir diferentes novos métodos de processamento e manufatura, mas também propõe altos requisitos para o design de produto.

Em virtude disso, novos materiais são fontes de inspiração para designers de produto devido ao fato de sugerirem novas soluções visuais, táteis, esculturais e espaciais. Os autores também explicam que podem ser o ponto de partida para os designers, pois eles inspiram e podem ser manipulados para o desenvolvimento de produtos que pareciam nunca ter sido possível antes (ASHBY; JOHNSON, 2010). Além disso, nas palavras dos autores, “em particular, novos materiais agem como gatilhos do pensamento inventivo, oferecendo potencial para o design inovador” (p. 42).

Contudo, na visão de Beylerian e Dent (2007), para arquitetos e designers, o uso de um novo material é ao mesmo tempo excitante e assombroso. Os autores observam que um novo material apresenta riscos e também incertezas, pois podem falhar no desempenho, descolorir, criar uma reação química ou mesmo desintegrar ao longo do tempo. Segundo Doordan (2003) é necessário compreender que novos materiais suscitam novos problemas, em que não se pode considerá-los uma solução simples, qualquer que seja o design.

Em perspectiva semelhante, Ashby e Johnson (2010) assinalam que para o designer, um novo material oferece oportunidades e também riscos. As oportunidades derivam de novas e aperfeiçoadas técnicas e comportamentos

estéticos que o novo material oferece. Os riscos encontram-se na caracterização incompleta e na falta de experiência de projeto ou de manufatura.

Assim, a aplicação de novos materiais no design de produtos não é simples e necessita de tempo para adequar o novo material ao processo de design. Ashby e Johnson (2010) explicam que um novo material não está embutido na experiência do designer, como é o caso da madeira, em que os autores citam o exemplo de Manzini: ela já foi tocada, cheirada, curvada, cortada, quebrada, estirada, tracionada, seca, queimada e talvez até provada por muitos seres humanos. Desta forma, é necessário um modo de reunir e comunicar informações sobre um novo material, o qual forneça um quadro mais completo de seu caráter. De tal modo, na perspectiva do designer Richard Seymour, “precisamos de um sistema no qual a tecnologia possa estar à altura da aplicação. Um sistema no qual os fabricantes de materiais possam difundir suas ideias diretamente àquelas pessoas que podem aplicar a necessária imaginação para utilizar suas propriedades” (p. 164).

Neste âmbito, os autores focam em dois desafios enfrentados pelos designers na utilização de novos materiais. O primeiro, é a falta de informações sobre novos materiais e o segundo é a dificuldade de estimular fornecedores a desenvolver materiais com atributos que os designers desejam. Neste ponto, os autores esclarecem que é fundamental a comunicação do desenvolvedor com o designer e na direção oposta. No entanto, para isso é necessário que as informações contenham os fatores intangíveis além dos atributos técnicos. Além disso, para que a linguagem na qual as informações são expressas tenham significado para o fornecedor e para o designer, é necessário um vocabulário para expressar requisitos de projeto e comportamento de materiais que ambos possam compreender. Sendo assim, “se as informações estão fluindo em uma direção, também podem fluir na direção contrária: o designer influencia o desenvolvimento de materiais sugerindo ou requisitando comportamentos técnicos, de processamento e estéticos” (ASHBY; JOHNSON, 2010, p. 163).

Novos materiais são adotados com maior rapidez em setores industriais que são mais sensíveis ao custo do material, como eletrodomésticos e automóveis de alta tecnologia, equipamentos esportivos, aeroespaciais e biomédicos. Destes, o

setor esportivo é o mais receptivo e mais visível, isso porque a indústria de equipamentos esportivos dá um valor tão alto ao desempenho que adota quaisquer novos materiais que percebe que podem oferecer o menor ganho que seja, mesmo não estando completamente caracterizados, e na realidade, talvez não ofereçam nada de novo. No passado, as pesquisas de materiais eram voltadas e motivadas para aplicações militares e aeroespaciais, agora, muitas pesquisas e desenvolvimentos em materiais são dirigidas para produtos corriqueiros pela influência do designer industrial (ASHBY; JOHNSON, 2010). A partir disso, os novos materiais disseminaram-se para produtos como, relógios, móveis, utensílios, diversos equipamentos e assim por diante, de tal modo, a aplicação de novos materiais está cada vez mais presente em produtos comuns.

3.2 Seleção de materiais

A a cada dia a ciência e a tecnologia estão avançando e por consequência surgem diversos novos materiais. Atualmente, são ilimitadas as possibilidades de materiais e a combinação entre eles para a obtenção de diferentes propriedades e desempenhos. De acordo com Manzini (1989), no início do século XX, eram necessários menos de 100 materiais diferentes para a fabricação de um automóvel, hoje o processo exige mais de 4.000 materiais. Devido a grande quantidade de materiais disponíveis para serem empregados em um produto, é necessário selecionar o mais adequado. Segundo Dias (2009), a seleção de materiais ocorre em distintas situações em uma empresa:

- Na criação de um produto, em que não há limitações sobre o material;
- Na criação de um novo produto para uma empresa que já tenha um processo produtivo que pré-determina certos materiais;
- Modificações ou redesign de um produto visando um melhor desempenho técnico;
- Alteração de materiais para a redução de custos;
- Trabalhar sempre com materiais disponíveis e com custos reduzidos, além de outras situações.

Para o designer, a situação em que não há limitações na escolha dos materiais é a ideal, ou seja, é mais motivador para ele trabalhar com a liberdade para selecionar o material mais apropriado. Porém, na maioria das situações de seleção de materiais este profissional trabalha atrelado a limitações que dirigem para o uso de determinados materiais e processos, como é o caso da maioria das situações citadas anteriormente.

Neste contexto, segundo Kindlein e Busko (2006), independente da situação e do setor ou porte da empresa, é desejável a participação de uma equipe multidisciplinar para proceder a seleção do material no contexto do processo de desenvolvimento do produto. Conforme Dias (2009), tradicionalmente, a seleção de materiais é realizada pela equipe de desenvolvimento da empresa, e em alguns casos ocorre o auxílio de profissionais especializados. Isso ocorre, pelo fato de que a seleção de materiais envolve diversos conhecimentos, desde propriedades técnicas até aspectos estéticos, simbólicos e práticos dos materiais. Desse modo são necessárias informações de áreas como a engenharia e o design para a escolha efetiva dos materiais.

3.2.1 Processo de desenvolvimento de produtos

Conforme Rozenfeld *et al.* (2006) o desenvolvimento de produto consiste em uma série de atividades por meio das quais busca-se especificar o projeto de um produto e seu processo de produção, para que seja passível de fabricação, levando em consideração as necessidades do mercado e as possibilidades e restrições tecnológicas. Segundo os autores, o desenvolvimento de produto envolve também atividades após o seu lançamento, em que podem ser realizadas eventuais mudanças necessárias com vistas a melhorar o produto.

De acordo com os autores, devido à complexidade inerente do desenvolvimento de produtos, é necessário a utilização de um modelo de referência para esta atividade, que busque adequar o processo às necessidades do projetista, pois, um processo não estruturado pode torná-lo inviável para a obtenção de especificações de projeto. Além da complexidade, os métodos de

desenvolvimento de produtos estão relacionadas com a velocidade com que a grande quantidade de informações precisam ser manipuladas e os problemas que surgem no decorrer do processo. Para Bomfim (1984), estes problemas precisam de respostas mais rápidas e efetivas, o que torna o tempo para testes e falhas mais curto.

Em virtude disso, os modelos de desenvolvimento de produto surgem para tornar esta atividade mais estruturada, em que, na prática não seguem uma sequência linear. Assim, podem ser considerados como processos desenvolvidos com constantes checagens e retornos, sendo importante promover em cada etapa uma reflexão sobre os resultados para retroalimentar a etapa seguinte (ROZENFELD *et al.*, 2006). Assim, Rozenfeld e outros pesquisadores da área da engenharia de produção desenvolveram de forma colaborativa, um modelo estruturado denominado por Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). O modelo é desdobrado em macrofases e dentro destas, as fases e atividades necessárias para o desenvolvimento de um produto.

Neste âmbito, na macrofase inicial, que consiste no pré-desenvolvimento, são definidos o portfólio de produtos e projetos, e os objetivos de cada projeto de acordo com a estratégia da empresa. Esta macrofase é dividida em planejamento estratégico do produto e planejamento do projeto. A macrofase de desenvolvimento envolve o processo de detalhamento e produção do produto e é dividida em Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Detalhado, Preparação da Produção e Lançamento do Produto. E, por fim, a macrofase denominada pós-desenvolvimento, que consiste no monitoramento do produto até o fim do seu ciclo de vida, é dividida nas etapas: Acompanhar o Produto e Processo e Descontinuar o Produto. A figura 17 mostra o esquema do modelo dividido nas macrofases e as principais fases.



Figura 17: Processo de desenvolvimento de produto (PDP).
 Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006).

De acordo com Dias (2009), o PDP envolve profissionais de diferentes áreas, como: marketing, pesquisa e desenvolvimento, engenharia, design, suprimentos, manufatura e distribuição. E cada área trata o produto sob diferentes perspectivas que agrupam conhecimentos complementares, o que exige efetiva integração entre as áreas. Em se tratando da seleção de materiais, esta atividade necessita de uma gama de conhecimentos que dificilmente somente uma categoria de profissionais abarcará (FERRANTE, 2002). Neste ponto, é importante que as diferentes áreas dialoguem e integrem-se para solucionar da melhor forma possível a seleção de materiais, pois atualmente, a escolha dos materiais e dos processos de produção pode ser considerada como uma oportunidade de inovação que permite um avanço tanto na área da engenharia quanto na área do design.

3.2.2 Seleção de Materiais e design

De acordo com Ashby e Johnson (2010), o ato de seleção de materiais envolve a conversão de requisitos de projeto, em um conjunto de resultados em forma de uma lista de materiais e processos viáveis. Desse modo, os critérios definidos para determinado projeto dominam o processo de seleção de materiais, (KARANA *et al.*, 2007). Assim, o ponto de partida da seleção de materiais são as diretrizes básicas do projeto.

Nesta perspectiva, selecionar e combinar materiais para um produto manufaturado é crucial pra o design. Segundo Dias (2009), o processo de seleção de materiais é bastante complexo, e além de exigências técnicas, é igualmente importante a tecnologia de produção, economia, sustentabilidade, valores estéticos, propriedades sensoriais e significados culturais e simbólicos. Neste sentido, Ferrante e Walter (2010) ressaltam que é fundamental conhecer as propriedades dos materiais para realizar a escolha apropriada, pois as mais relevantes para determinado produto dependem dos requisitos de projeto e das condições de trabalho. Em perspectiva semelhante, Karana *et al.* (2007) explicam que os materiais devem cumprir os requisitos funcionais por meio das

propriedades técnicas para uso destinado e também recorrer aos sentidos do usuário com suas propriedades sensoriais.

A seleção de materiais ocorre na medida em que vão sendo avançadas as etapas do processo de design, assim, os materiais estão presentes no percurso do PDP. Conforme Ashby e Johnson (2010), as principais etapas do PDP possuem correspondência com a seleção de materiais, como pode ser visualizado na figura 18.

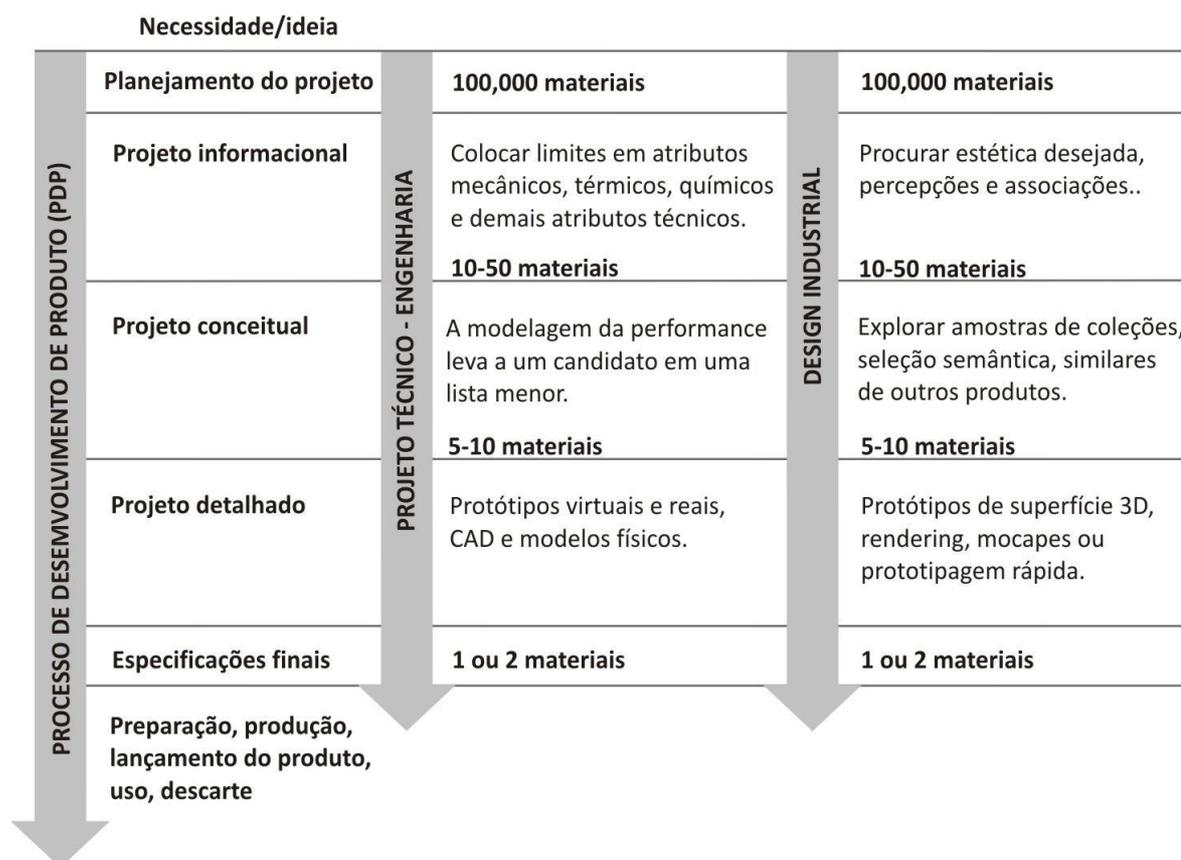


Figura 18: Seleção de materiais no Processo de Desenvolvimento de Produtos.
 Fonte: Adaptado de Ashby e Johnson (2010).

Desta maneira, a seleção de materiais está interligada com o desenvolvimento de produto já na fase inicial, no âmbito do design, a princípio, todos os materiais possuem potencial de uso. No projeto Informacional são elaborados requisitos que possuem objetivos e restrições para atender a proposta do projeto. Estes requisitos, restrições técnicas e de design industrial direcionam a seleção de materiais para a escolha de um número limitado de materiais, o que facilita a análise detalhada dos mesmos para a seleção efetiva.

A partir do exposto, os autores ressaltam que o designer necessita de informações sobre materiais em cada etapa do projeto. Em termos do nível de precisão, a informação necessária nos primeiros estágios é muito distinta da que será necessária mais adiante. Assim, na primeira etapa de desenvolvimento, as informações necessárias são para um subconjunto de materiais, na próxima fase é preciso um nível mais alto de precisão e detalhe e no estágio final do projeto a exigência é para uma condição de exatidão e detalhe ainda maior. Desse modo, o grau de informações sobre materiais aumenta à medida que o projeto avança.

Dias (2009) destaca que é necessário que a seleção de materiais seja considerada durante todo o processo de desenvolvimento de produto, pois, há uma forte relação entre o custo para modificar um projeto e a etapa em que a falha ocorre. Desse modo, os gastos com alterações no início do projeto são menores do que em etapas posteriores, como no detalhamento do projeto que envolve ferramentaria e lançamento do produto.

Capítulo 4

OS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS

Por meio de pesquisa bibliográfica, predominantemente em artigos científicos, este capítulo tem por objetivo realizar uma discussão em torno dos compósitos biodegradáveis. Dessa maneira, o capítulo inicia com o conceito, a classificação e os tipos de materiais usualmente utilizados na concepção dos compósitos. Na segunda seção, buscou-se focar nos compósitos biodegradáveis, em que são abordados os tipos de matrizes e reforços frequentemente utilizados, os principais processamentos para a obtenção do material, além dos fatores que limitam o seu uso.

Na seção seguinte, procurou-se atentar para a relação entre os compósitos biodegradáveis e o meio ambiente, em que foram abordadas as vantagens e desvantagens na concepção destes materiais. Por fim, no final do capítulo são apresentados alguns exemplos de aplicações de compósitos, com ênfase para os biodegradáveis.

4.1 Os compósitos

Os materiais compósitos têm sido usados pelo homem desde a antiguidade. A argila reforçada com galhos de árvores, usada em construções feitas pelos antigos egípcios, há 3.000 anos, é conhecida como sendo o primeiro compósito na história humana, assim, os primeiros compósitos utilizados eram oriundos de fontes naturais (SAPUAN; MALEQUE, 2005). Com o desenvolvimento da humanidade e o avanço tecnológico, materiais com melhor desempenho, tanto metais como cerâmicas e plásticos, contendo fibras sintéticas, foram largamente desenvolvidos e usados, havendo uma diminuição do interesse por compósitos de materiais naturais (GAY *et al.*, 2002). Observa-se que neste período ocorreu o início da distinção entre os compósitos comuns utilizados de forma universal e os de alto desempenho.

Até a primeira metade do século XX, os materiais eram classificados em metais, cerâmicas, polímeros e materiais naturais (FERRANTE; WALTER, 2010). Porém, conforme os autores, constatações de que em determinadas condições de trabalho havia deficiências em alguns materiais, ocorreu o incentivo na busca por soluções, surgindo os compósitos de alto desempenho, que datam dos anos de 1950.

Para Manzini (1989), os compósitos são constituídos a partir da integração de materiais com propriedades distintas de modo a formar um novo material cujo desempenho ultrapassa o dos materiais individuais. Callister (2002) acredita que são uma valiosa classe de materiais de engenharia, pois oferecem muitos atributos não alcançados por outros materiais, ou podem ser usados porque são economicamente mais viáveis do que os materiais competidores. O autor comenta que a ascensão dos compósitos tem sido provocada pela introdução de novos materiais, melhorias nos processos de fabricação e desenvolvimento de novos métodos analíticos de teste.

Muitos compósitos são formados por somente duas fases, ou seja, a matriz que é a continua e envolve a outra fase, denominada por fase dispersa ou de reforço. As propriedades dos compósitos dependem das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa, que neste contexto significa a forma e o tamanho das partículas, distribuição e orientação das mesmas (CALLISTER, 2002).

Geralmente os compósitos possuem a matriz constituída por polímeros, a maioria destes materiais não são adequados para suportar cargas, por não possuírem resistência, rigidez e estabilidade dimensional, assim, são adicionadas fibras que conferem resistência e rigidez ao polímero, que atuam como reforço para a estrutura, enquanto que a matriz polimérica cumpre a função de adesivo, a qual mantém as fibras no lugar para que os componentes tenham função estrutural (MOHANTY *et al.*, 2000). O esquema da figura 19 ilustra os componentes dos compósitos poliméricos.

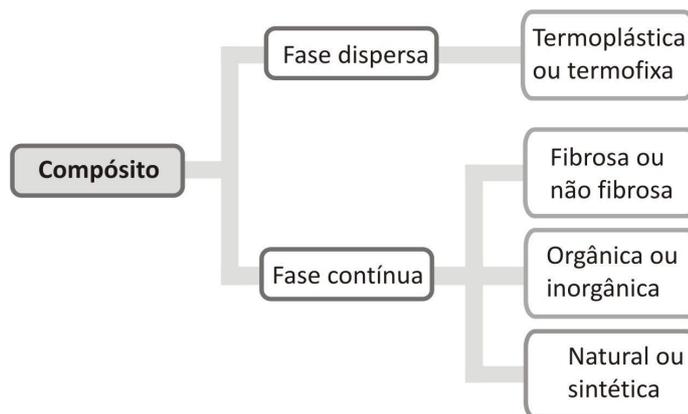


Figura 19: Componentes de compósitos poliméricos.
 Fonte: Adaptado de Rabello (2000).

Neste contexto, Ramírez (2011) enfatiza que a interface entre a matriz e o reforço é fundamental em termos de desempenho do compósito. A pesquisadora explica que a interface é a região na qual ocorre o contato entre os componentes do compósito, sendo responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço. Assim, uma boa coesão entre a fibra e a matriz gera uma interface resistente e como consequência um compósito com boas propriedades físicas.

Os compósitos são constituídos por diversos tipos de materiais, em que, tanto a matriz e/ou o reforço podem ser sintéticos e/ou naturais (MOHANTY *et al.*, 2000). Os compósitos sintéticos possuem a matriz e a fibra provenientes de materiais sintéticos, como é o caso dos polímeros reforçados com fibras de carbono. Os compósitos híbridos são originados por materiais sintéticos e naturais, como exemplo, os polímeros reforçados com fibra de vidro e de coco. Já os compósitos sintéticos com fibra natural, são formados por polímeros e materiais naturais, como ocorre com o polipropileno e a fibra de juta. No caso dos compósitos biodegradáveis, a matriz e a fibra são materiais de origem natural e de fontes renováveis, em que a matriz geralmente é um biopolímero e a fibra pode ser de diversas fontes, como a fibra de bananeira, sisal, palha de arroz e outras. A figura 20 ilustra os tipos de compósitos a partir da origem sintética ou natural da matriz e da fibra.

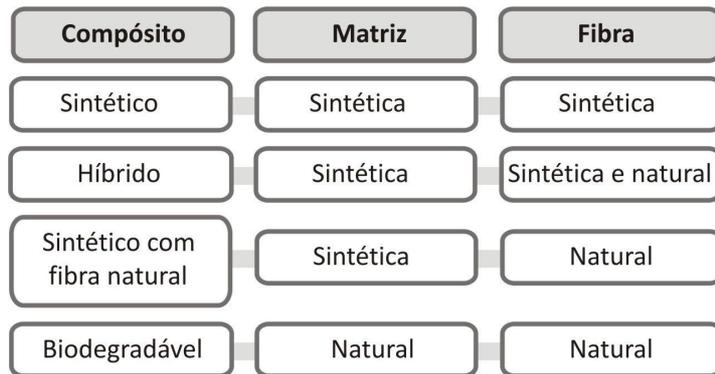


Figura 20: Tipos de compósitos a partir da origem dos materiais constituintes.

Nos dias atuais, os materiais de fontes renováveis estão sendo bastante utilizados no desenvolvimento de compósitos, como é o caso de compósitos híbridos, sintético com fibra natural e os biodegradáveis. Segundo Vilaplana *et al.* (2010), durante as duas últimas décadas, o interesse na investigação de biopolímero e biocompósitos tem crescido como resultado da preocupação ambiental e do esgotamento dos recursos fósseis, como pode ser demonstrado pelo número exponencialmente crescente de patentes e publicações sobre materiais biocompósitos. Além disso, os compósitos de origem sintética são processados empregando dois materiais, o que dificulta a reciclagem ou a reutilização, resultando em problemas de descarte após a sua vida útil (TAIB *et al.*, 2010). Apesar dos esforços realizados para a reciclagem de polímeros, uma grande quantidade ainda não é recuperada e continua sendo descartada em aterros sanitários (WU; LIAO, 2012). Assim, uma série de problemas ambientais podem estar associados ao descarte de polímeros, de forma ampla, a poluição da terra, das águas e do ar.

De tal modo, os autores apontam como opção para amenizar estes problemas, o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis. Dessa forma, estes materiais podem ser uma solução parcial para os problemas ambientais ocasionados pelo excesso de resíduos sólidos descartados principalmente os de origem polimérica.

4.1.1 Os compósitos biodegradáveis

Na busca por materiais alternativos e de fontes renováveis, o desenvolvimento de novos materiais a partir de polímeros biodegradáveis e fibras naturais é crescente (MOHANTY *et al.*, 2005). Desta forma, compósitos baseados em fibras vegetais e matriz polimérica biodegradável, produzidos a partir de amido, celulose e outros recursos renováveis são chamados de compósitos biodegradáveis, compósitos verdes ou ainda, biocompósitos (NAM *et al.*, 2011).

É importante esclarecer a terminologia utilizada para materiais de fontes naturais, pois, termos tais como biomaterial e biopolímero são usados muitas vezes como sinônimos, embora biomaterial deve ser estritamente referido como um material biomédico e não necessita ser um polímero (VILAPLANA *et al.*, 2010). Assim, biopolímeros e biocompósitos referem-se a materiais provenientes de recursos naturais, principalmente de fontes vegetais.

Mohanty *et al.* (2005) aponta que os materiais compósitos derivados de polímeros sintéticos e fibras vegetais são considerados biocompósitos pelo fato de possuírem as fibras que são materiais naturais. Além disso, para o autor, os compósitos híbridos, constituídos por fibras vegetais e sintéticas, como a fibra de vidro com matriz de origem polimérica sintética também são biocompósitos. Assim, são considerados biocompósitos os compósitos que possuem pelo menos um tipo de material oriundo de fontes naturais e renováveis, que geralmente são as fibras.

Nos últimos anos, ocorreu um aumento de trabalhos encontrados na literatura sobre o estudo de compósitos biodegradáveis, possivelmente devido à preocupação ambiental, mudanças climáticas e recursos limitados de combustíveis fósseis. De acordo com Vilaplana *et al.* (2010), desde o ano 2000 tem sido publicados artigos sobre a preparação, o processamento e propriedades de compósitos biodegradáveis, e até mesmo tratando sobre questões sociais e econômicas. Segundo Machado *et al.* (2010), nas pesquisas, são analisadas as propriedades mecânicas e térmicas, a adesão entre o reforço e a matriz, e a influencia da fibra na biodegradação e na retenção de umidade. Os estudos

concentram-se nestes focos, pois os pesquisadores buscam melhorar as propriedades para aprimorar o desempenho destes compósitos.

Desse modo, atualmente, existe uma grande oportunidade para pesquisas na área de compósitos biodegradáveis principalmente no melhoramento de suas propriedades. Estas pesquisas são consideradas um desafio pelos pesquisadores da área, pois buscam melhorar o desempenho do material sem comprometer a biodegradabilidade.

4.1.2 Tipos de matrizes

Os compósitos biodegradáveis possuem matrizes geralmente formadas por polímeros biodegradáveis, também chamados de polímeros verdes e biopolímeros (LEITE *et al.*, 2010). Segundo a Norma *American Society for Testing and Materials* (ASTM D883-99), polímeros biodegradáveis são “plásticos que podem ser convertidos em gás carbônico, metano e componentes celulares microbianos entre outros produtos, quando em presença de microorganismos de origem natural tais como bactérias, fungos e algas”. Para Vilaplana *et al.* (2010), a definição para biopolímeros envolve materiais derivados de biomassa, ou seja, materiais de origem biológica.

Nos anos de 1930 e 1940 foram desenvolvidos biopolímeros, porém nessa época não foram utilizados para fins comerciais. O principal motivo foi a descoberta do petróleo bruto e seu uso industrial em larga escala para polímeros sintéticos, assim não houve o crescimento no uso dos biopolímeros devido aos produtos petroquímicos emergentes. Contudo, a crise do petróleo da década de 1970 levou a um renovado interesse nas possibilidades oferecidas por matéria-prima não-petroquímica. Nos anos 1980, o interesse sobre os biopolímeros ressurgiu e a atenção oferecida ocorreu com maior força desde o início de 2000. Além dos recursos limitados de combustíveis fósseis, um dos principais fatores para o desenvolvimento de biopolímeros, foi o problema da grande quantidade de resíduos descartados e as capacidades limitadas de aterros sanitários (SHEN *et al.*, 2009). Os polímeros biodegradáveis podem ser classificados em quatro famílias, a

primeira família é a dos polímeros obtidos da biomassa, por exemplo, o amido termoplástico (TPS). A segunda família é a dos poliésteres microbianos, originados por fermentação da biomassa ou de plantas geneticamente modificadas, como exemplo tem-se os polihidroxicanoatos (PHAs). A terceira família é a dos poliésteres, obtidos por síntese a partir de monômeros⁵ provindos de biomassa, o poli(ácido láctico) (PLA) é um exemplo de biopolímero desta categoria. A última família é formada por poliésteres totalmente sintetizados pelo processo petroquímico, tais como a policaprolactona (PCL), poli(adipato de etileno) (PEA), poliesteramida e copoliésteres alifáticos ou aromáticos. Exceto a quarta família, cuja origem é fóssil, a maior parte dos polímeros é obtida de recursos renováveis (AVÉROUS; BOQUILLON, 2004).

A utilização de biopolímeros para produzir compósitos biodegradáveis, segundo Costa *et al.* (2006) deve-se ao fato de que degradam-se rapidamente quando submetidos a diversos tipos de microorganismos decompositores. Conforme Silva (2009), a grande maioria destes polímeros biodegradáveis está disponível comercialmente. Desta maneira, a disponibilidade dos biopolímeros facilita o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis, já que estes geralmente utilizam biopolímeros como matriz. Logo, os biopolímeros com reforços de fibras de origem natural, que também são biodegradáveis devido a sua procedência natural também podem passar por processamentos, que não interfiram na biodegradabilidade, e originar os compósitos biodegradáveis.

4.1.3 Tipos de reforços

Com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas e reduzir o custo de produção dos biopolímeros são incorporadas fibras vegetais em matrizes poliméricas biodegradáveis (MACEDO, 2010). Pode-se considerar que as fibras naturais são abundantes e oriundas de fontes renováveis, assim, são potenciais reforços para compósitos biodegradáveis representando um bom potencial econômico (CARVALHO, 2011).

⁵ Monômero é uma pequena molécula que pode ligar-se a outros monômeros formando moléculas maiores denominadas polímeros, (CALLISTER, 2002).

As fibras naturais são encontradas na natureza e utilizadas “*in natura*” ou após beneficiamento. Quanto a sua origem podem ser, vegetal, animal e mineral, sendo que a utilização de fibras de origem vegetal é destacada em razão da enorme variedade de plantas disponíveis na biodiversidade que são passíveis de serem pesquisadas e por serem provenientes de recursos renováveis (CARASHI; LEÃO, 2001).

De acordo com Mohanty *et al.* (2005), as fibras vegetais são constituídas principalmente por fibrilas de celulose embebidas em uma matriz de lignina, sendo que os principais constituintes químicos das fibras vegetais são celulose, hemicelulose e lignina, além de outros componentes que apresentam-se em menor quantidade, como pode ser observado na figura 21.

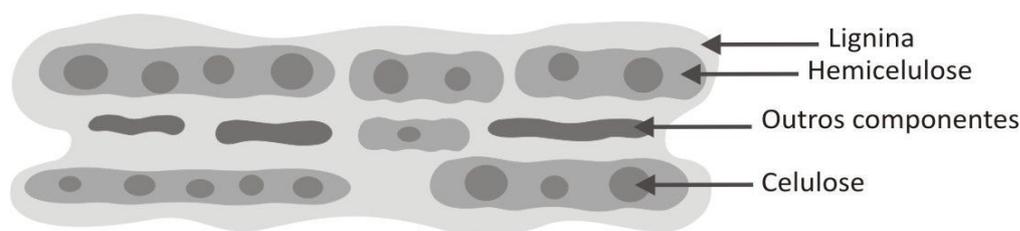


Figura 21: Organização estrutural dos principais elementos de fibras vegetais.
Fonte: Adaptado de Kabir *et al.* (2012).

Segundo Macedo (2010), as fibras vegetais são provenientes de recursos renováveis e geralmente são descartadas no meio ambiente como um dos principais subprodutos agrícolas, sendo tratadas como entulho. Dessa forma, essas fibras podem ser aproveitadas para a produção de compósitos biodegradáveis, ainda mais, quando o autor esclarece que as propriedades das fibras vegetais são muito interessantes no campo da engenharia, pois possuem densidade relativamente baixa, o que ocasiona boa resistência e rigidez aos compósitos.

Neste âmbito, Morais e Caraschi (2012) citam o exemplo do homopolímero PHB, que apresenta boas propriedades mecânicas, porém é duro e quebradiço, o que limita suas aplicações. Os autores comentam que as propriedades podem ser melhoradas pela incorporação de reforços no processamento destes materiais, como as fibras e os resíduos lignocelulósicos. Deste modo, as fibras podem melhorar a rigidez e a resistência mecânica desta matriz.

Macedo (2010), explica que as fibras vegetais não são abrasivas aos equipamentos de mistura e de moldagem devido à baixa densidade, o que garante a redução dos custos com manutenção. Outra vantagem das fibras vegetais, conforme Leite *et al.* (2010), é que elas também podem passar por modificações químicas, melhorando assim, a adesão entre a fibra e a matriz. Rosa *et al.* (2009) observa que as transformações químicas podem ocorrer por meio de tratamentos como a simples lavagem das fibras com água, a mercerização, a acetilação e o branqueamento. Contudo, Machado *et al.* (2010) aponta que compósitos reforçados com fibras naturais não podem ser processados acima de 200°C, devido à susceptibilidade deste tipo de carga degradar-se termicamente, além de possuírem baixa resistência a umidade e variação nas propriedades mecânicas.

Para Machado *et al.* (2010), no Brasil, há uma grande variedade de fibras vegetais, como: sisal, coco, juta, curauá, fibra de bagaço de cana de açúcar e outras, com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas, devido a biodiversidade existente no território brasileiro. Assim, as fibras vegetais, em especial as brasileiras, representam um potencial de reforço para os polímeros biodegradáveis ou sintéticos. Portanto, os benefícios na utilização de fibras vegetais pode residir no apelo da sustentabilidade devido a biodegradabilidade das mesmas, no baixo custo, na atoxidade, na baixa densidade, no bom conjunto de propriedades mecânicas, na menor abrasividade comparada as fibras sintéticas, na proveniência de fontes renováveis e no baixo consumo de energia na sua produção. Entretanto, apesar de ainda existirem problemas no uso de fibras vegetais, podem ser consideradas materiais promissores para constituírem reforços em compósitos biodegradáveis.

4.1.4 Processamento dos compósitos biodegradáveis

Além da estrutura e das propriedades dos materiais, outro parâmetro de fundamental importância envolvido com a ciência e a engenharia dos materiais, é o processamento dos materiais (CARVALHO, 2011). O autor considera que a

estrutura de um material dependerá da maneira como ele é processado, e as suas propriedades dependerão de sua estrutura.

De forma geral, Ramírez (2011) explica que o desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis está profundamente relacionado com o seu método de fabricação. Segundo a autora, a maneira como os diferentes materiais são combinados, afetam as propriedades finais do material. Yu *et al.* (2006) ressalta que a melhoria das propriedades mecânicas dos compósitos biodegradáveis é um dos principais enfoques das pesquisas desta área.

De acordo com Áverous e Digabel (2006), os polímeros biodegradáveis reforçados com fibras vegetais podem ser processados via extrusão, injeção e termo-formados. De tal modo, o resultado destes processamentos podem gerar compósitos biodegradáveis com diferentes propriedades.

A adesão entre a fibra e a matriz, ou seja, a interface do material, está relacionada com o método de processamento, e este repercute nas propriedades e, como consequência, no desempenho do compósito biodegradável. Assim, diversos estudos⁶ utilizam diferentes métodos de processamento a fim de verificar o mais eficaz, em relação à melhoria das propriedades, para determinado tipo de fibra e de matriz.

4.1.5 Fatores que afetam o uso dos compósitos biodegradáveis

Nos últimos anos ocorreu um grande crescimento no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis. A intensificação no desenvolvimento deste tipo de material, que é proveniente geralmente de matéria-prima vegetal, ocorreu pelo fato de serem biodegradáveis, pois, no discurso da sustentabilidade há uma valorização de materiais biodegradáveis, já que estes podem diminuir os impactos ambientais (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Os polímeros biodegradáveis utilizados como matriz são geralmente provenientes de amidos, como o milho, mandioca, batata e outros tipos de vegetais que também são utilizados para a alimentação, o que repercute em discussões acerca do uso dessa matéria-prima para a produção de materiais. No

⁶ Gomes *et al.*(2007), Avella *et al.* (2000), Ahankari *et al.* (2012), Jandas *et al.* (2011), Shih *et al.*(2011), Kim *et al.*(2010), Campos *et al.*(2012).

entanto, diversos polímeros biodegradáveis provenientes de matéria-prima alimentícia já são comercializados e podem ser utilizados como matriz para compósitos, como constatado nos estudos de Harnnecker *et al.* (2012), Santos (2011), Ali *et al.* (2003), Cyras *et al.* (2001), Campos *et al.* (2012), que desenvolveram compósitos biodegradáveis com biopolímeros.

Pelo recente desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis, existem problemas que refletem na sua utilização em produtos e limitam certas aplicações. Dessa forma, para Faruk *et al.* (2012) um dos principais obstáculos é a sensibilidade à umidade, pois o contato com a umidade acelera o processo de degradação do material, o que dificulta o seu uso em áreas externas. De acordo com o autor, a adesão interfacial entre as fibras vegetais e a matriz é uma questão fundamental em termos de desempenho do material, pois determina as suas propriedades. Nos compósitos biodegradáveis a adesão interfacial é bastante variável e como resultado torna grande a variabilidade das propriedades físicas, sendo que a longo prazo mostra um mau desempenho na resistência ao impacto. Além disso, o autor explica que são termicamente instáveis, devido a isso não podem ser processados a altas temperaturas e por consequência, não podem ser aplicados em produtos que serão expostos a altas temperaturas.

Para Faruk *et al.* (2012), muitos destes problemas podem ser amenizados com o desenvolvimento de processamentos avançados. Conforme o autor, com o melhoramento do material poderá ocorrer um aumento no leque de aplicações dos compósitos biodegradáveis, até mesmo em aplicações estruturais, quando eles possivelmente serão mais duráveis, dimensionalmente estáveis, à prova de umidade e resistentes ao fogo. No entanto, aplicações mais avançadas em performance, normalmente, não têm um descarte rápido e, desta forma, não seriam uma boa aplicação para estes compósitos.

Em virtude disso, muitas pesquisas são necessárias para superar os problemas existentes dos compósitos biodegradáveis. Contudo, segundo o autor diversas pesquisas estão em andamento, em que os esforços concentram-se para desenvolver materiais com melhor desempenho para utilização nas mais variadas aplicações, assim, o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis é um processo em curso.

4.2 Os compósitos biodegradáveis e o meio ambiente

De acordo com Vilaplana *et al.* (2010) os compósitos biodegradáveis podem contribuir com a proteção ambiental principalmente por serem biodegradáveis, o que torna reduzido o tempo de decomposição em aterros sanitários, e por serem oriundos de fontes renováveis e as fibras geralmente são provenientes de resíduos da agroindústria.

No entanto, especialistas expressam dúvidas sobre o êxito dos materiais verdes no mercado. A preocupação consiste na competição destes com materiais de origem petroquímica existentes e bem conhecidos (LEMSTRA, 2005). Porém, os investimentos feitos e anunciados para biopolímeros indicam que eles têm potencial de serem produzidos em larga escala e revolucionar os métodos de produção existentes na indústria química (SHEN *et al.*, 2009). Nos últimos anos, é cada vez mais evidente a gama de materiais poliméricos que podem ser produzidos inteiramente ou parcialmente a partir de biomassa podendo ser adaptados para serem inteiramente ou parcialmente biodegradáveis.

Entretanto, há outras preocupações em relação à demanda de materiais verdes. Em analogia à produção de biocombustíveis, que está claramente à frente de bioplásticos por exemplo, em termos de quantidade produzida. As principais questões são a distorção do mercado de alimentos, o uso da terra para a produção de matéria-prima para a indústria de materiais verdes, o impacto sobre a biodiversidade e outros. Contudo, devido as suas potencialidades mas também reconhecendo os riscos, no contexto europeu, vários países da União Européia estão em busca de uma política consistente e abrangente de produtos de base biológica, tendo como principais fatores, a inovação, o crescimento econômico, os potenciais desenvolvimentos para o setor agrícola, e em particular, a redução da dependência das importações de petróleo e benefícios ambientais (SHEN *et al.*, 2009).

Neste contexto, há considerações sociais e econômicas importantes na seleção dos meios e processos para a fabricação de compósitos biodegradáveis. Dessa maneira, é importante selecionar cuidadosamente a terra usada para a produção de biomassa, em termos de seu impacto sobre a disponibilidade de

recursos naturais, entre eles, o solo, matéria orgânica, nutrientes e água, o destino dos elementos químicos associados através dos ciclos ambientais, o impacto sobre o clima, e o efeito sobre os animais e os seres humanos. Além disso, destaca-se, que a matéria-prima de biomassa que destina-se a tais processos deve ser selecionada de modo que não interfira nos custos de fornecimento de alimentos (VILAPLANA *et al.*, 2010). Assim, os produtos e materiais provenientes da indústria de alimentos e de bioenergia podem ser priorizados na síntese de novos produtos químicos e materiais, com vistas a utilizar a química de baixo impacto ambiental, ou seja, a química verde (CLARK *et al.*, 2006).

Dessa forma, materiais de fontes naturais podem ser benéficos em relação aos danos ambientais, por outro lado podem gerar discordâncias, principalmente por questões alimentares, ou seja, quando é utilizado solo para a produzir matéria-prima para o desenvolvimento de materiais, provavelmente o espaço para o plantio de alimentos poderá diminuir. Contudo, conforme citado anteriormente, existe uma discussão em torno desta dicotomia, e há alternativas para utilizar fontes de origem vegetal para a produção de materiais na medida em que pode ser selecionada a matéria-prima para que não interfira no fornecimento de alimentos.

4.2.1 Implicações do desenvolvimento de compósitos biodegradáveis na sustentabilidade

Na perspectiva do conceito de sustentabilidade, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002), as reservas dos recursos para a produção de alguns materiais são limitadas em comparação a outras, por outro lado, existem materiais que apresentam-se como sendo mais ou menos renováveis. Desse modo, Vilaplana *et al.* (2010) descreve os biopolímeros e compósitos biodegradáveis como materiais sustentáveis em termos da utilização de recursos renováveis como matérias-primas, a baixa toxicidade e a biodegradabilidade, em contraposição aos tradicionais polímeros e compósitos sintéticos.

Na ciência dos materiais, os materiais que visam à sustentabilidade, especificamente os polímeros e compósitos, segundo Vilaplana *et al.* (2010) consideram a escolha de energias renováveis ou recursos ambientalmente amigáveis para a sua produção, e também, o desenvolvimento de processos químicos que evitam a utilização e produção de substâncias perigosas, o que pode reduzir os impactos ambientais. Essa abordagem, conforme o autor é conhecida como química verde, e deve ser implementada em todas as etapas do processo de fabricação de biopolímeros e compósitos biodegradáveis.

É problemático definir o conceito de materiais sustentáveis, pois de acordo com Manzini e Vezzoli (2002) todos os materiais determinam um certo nível de impacto ambiental. Desse modo, segundo os autores, diversos materiais renováveis são biodegradáveis, sendo que isso pode ser uma boa vantagem na fase final do ciclo de vida do produto, já que ele irá integrar-se na natureza em um pequeno intervalo de tempo, o que pode causar menos danos, entretanto, é preciso avaliar a qualidade dos materiais biodegradáveis nos parâmetros ambientais correntes. Em consonância, Vilaplana *et al.* (2010) afirmam que para verificar o nível de impacto de um material é preciso considerar todo o ciclo de vida do produto, ou seja, a partir da origem da matéria-prima até a gestão dos resíduos.

Dessa forma, para um compósito ser considerado menos impactante ambientalmente, o autor propõe que os materiais constituintes sejam derivados de recursos naturais e o impacto do material deve ser considerado positivo em todo o seu ciclo de vida, interferindo o mínimo possível no meio ambiente. Além disso, o processamento do material, o produto em serviço e a gestão dos resíduos precisam ser avaliados em termos de consumo de energia e produtos químicos, emissões e toxicologia. Assim, para o autor, é necessário que o material atenda aos seguintes requisitos:

- Para a produção do material devem ser utilizados recursos renováveis;
- As operações de processamento do material devem ser benignas e de baixo custo;
- Não devem surgir efeitos perigosos ou toxicológicos em qualquer fase de seu ciclo de vida pela emissão de compostos de degradação e aditivos;

- As opções de gestão de resíduos devem ser efetivamente consideradas e implementadas.

Além disso, de acordo com o autor é importante que sejam utilizados os recursos naturais locais para a produção de biocompósitos, no sentido que possam contribuir para um desenvolvimento sustentável regional e assim uma redução nos custos com transporte e os impactos ambientais associados. Assim, os requisitos propostos focados principalmente na produção do material, a utilização de recursos locais e a consideração de todo o ciclo de vida de um produto, são fatores que podem contribuir com o desenvolvimento sustentável.

Em se tratando de resíduos gerados pelos compósitos biodegradáveis no fim da sua vida útil, a melhor opção até o momento é a compostagem. De acordo com Vilaplana *et al.* (2010), a possibilidade de reciclagem de compósitos biodegradáveis pode ser difícil devido a sensibilidade da matriz e reforços durante o processamento térmico, pois não são resistentes a altas temperaturas, degradando-se em torno de 200°C.

Para Mohanty *et al.* (2005), a avaliação da sustentabilidade dos biopolímeros e dos compósitos biodegradáveis é complexa e envolve o ciclo de vida dos produtos. Segundo os autores, a avaliação do ciclo de vida é uma estrutura que está sendo desenvolvida e incorpora vários parâmetros que precisam ser considerados, que incluem as matérias-primas, a energia consumida durante a conversão do bioplástico e a sua disposição final. Neste contexto, a avaliação do ciclo de vida em produtos tem sido extremamente útil na verificação de impactos ambientais em todas as fases de produção, uso, e gestão (VILAPLANA *et al.*, 2010). Assim, a produção e utilização de compósitos biodegradáveis deve considerar todos os estágios envolvidos no seu ciclo de vida, incluindo a extração da matéria-prima, processos de síntese e modificação, transformação e fabricação em produtos finais, vida útil e subsequente gestão dos resíduos.

Os recursos para a preparação de compósitos biodegradáveis precisam ser processados para serem utilizados como matéria-prima para a preparação destes materiais. Assim, materiais naturais como celulose, quitina e amido precisam primeiro ser extraídos a partir de sua fonte natural e modificados de acordo com as propriedades desejadas, e após, passar por processamentos que irão originar o

material (VILAPLANA *et al.*, 2010). Em um futuro próximo, esses processos poderão ser realizados em uma instalação denominada biorrefinaria, que trabalha com matérias-primas provenientes da biomassa e através de processos químicos, físicos e térmicos convertem em materiais para a produção de biocompósitos (FERNANDO, 2006). Desse modo, de forma geral, o esquema do ciclo de vida destes materiais está representado na figura 22.

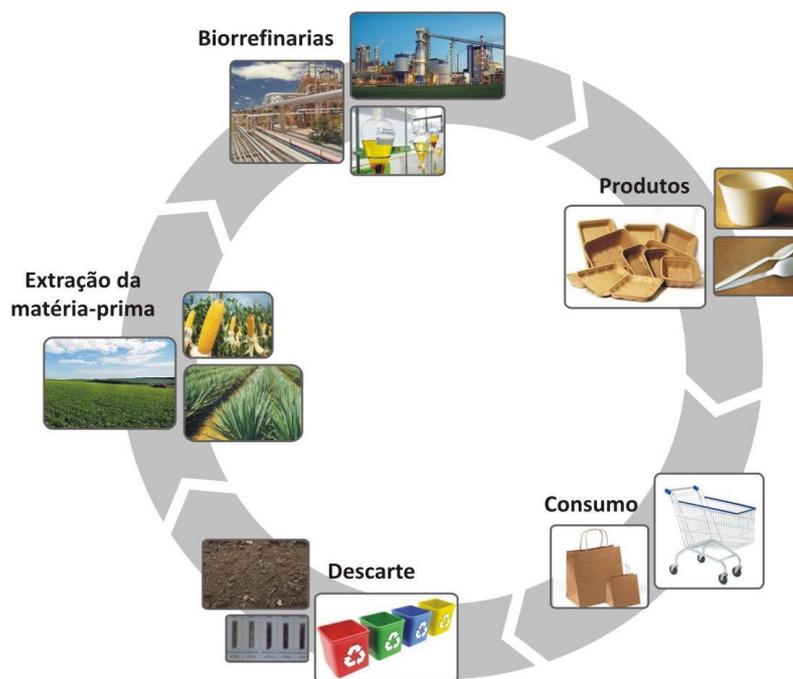


Figura 22: Ciclo de vida de materiais oriundos da biomassa. Fonte: Adaptado de Vilaplana *et al.* (2010).

Semelhante ao advento das instalações petroquímicas dos século 20, no século 21 poderá ocorrer uma mudança de paradigma para a produção de energia e produtos químicos com base na biomassa em biorrefinarias (RAGAUSKAS *et al.*, 2006). Assim, a futura integração de biorrefinarias e a química verde poderá garantir a disponibilidade de uma gama de matérias-primas para a preparação de biocompósitos (VILAPLANA *et al.*, 2010). Esta integração é fundamental para a sustentabilidade, pois envolve operações e processos que podem garantir não só recursos renováveis, mas também processos químicos amigáveis com o meio ambiente.

Portanto, a utilização de materiais renováveis para a fabricação de compósitos biodegradáveis não garante a isenção de impactos ambientais. Devem ser levados em consideração os procedimentos de processamento empregados em conjunto com a evidência de que não há efeitos toxicológicos durante sua vida útil bem como os procedimentos na gestão de resíduos no fim da vida do produto. Dessa forma, para verificar o nível de impacto dos compósitos biodegradáveis é preciso considerar todo o ciclo de vida do produto, ou seja, a partir da origem da matéria-prima até a gestão dos resíduos, para garantir a sua melhoria frente ao meio ambiente e como alternativa aos materiais tradicionais. Com isso, as biorrefinarias futuras, com base em operações na química verde podem ser a base para o fornecimento de materiais que visam menos impactos para a produção de compósitos biodegradáveis.

4.3 O emprego de compósitos no design de produto

Existem problemas relacionados na utilização dos compósitos de origem sintética, principalmente com as questões ambientais, pois há grande dificuldade na reciclagem deste tipo de material, além de serem originados de recursos não renováveis. Vilaplana *et al.* (2010) destacam que é preciso considerar a renovabilidade de um recurso ao projetar um produto, pois existe uma substancial diferença quando são comparados materiais de base agrícola que são rapidamente renováveis a matérias-primas que levam vários anos para restaurar-se, como o petróleo que necessita de um longo tempo de formação.

Neste contexto, pressões ambientais renovaram o interesse pelo uso de fibras naturais em compósitos. Assim, como reforço de polímeros, o uso de fibras vegetais representa uma alternativa para a substituição de fibras sintéticas. Dessa forma, compósitos poliméricos com fibras naturais vêm sendo pesquisados nas duas últimas décadas pelo fato de que as aplicações ainda são limitadas devido ao baixo desempenho mecânico e absorção de umidade em comparação com os compósitos de fibras sintéticas, entretanto, existem algumas aplicações já bem estabelecidas, principalmente no setor automotivo, em que são utilizadas em

painéis internos de portas, painéis dos encostos de bancos e de cabeça, botões, maçanetas, tampas internas do porta-malas e painéis internos do teto, (MOHANTY *et al.*, 2005). Os compósitos poliméricos com fibras de madeira estão sendo usados em um grande número de aplicações, conforme mostra a figura 23.

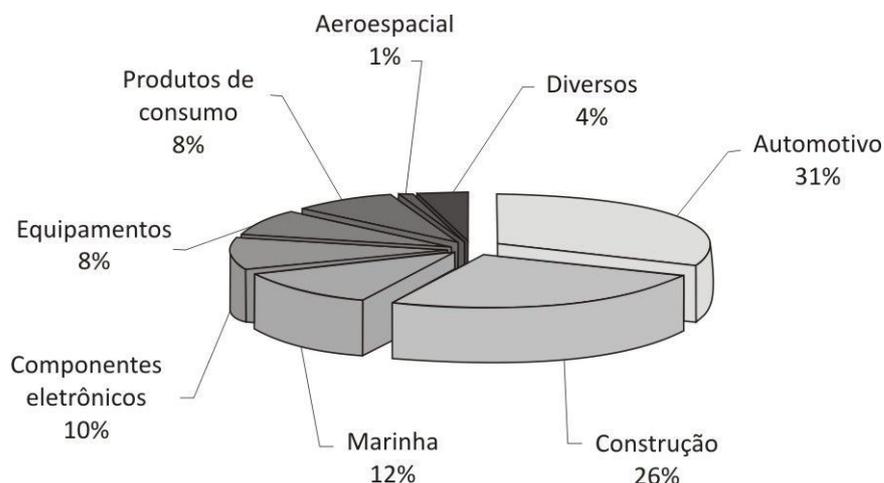


Figura 23: Compósitos de polímero e madeira usados em 2002.
Fonte: Ashori (2008).

Um grande exemplo de aplicação de compósito polimérico com fibra natural é o televisor portátil “Jim Nature” projetado pelo designer Philip Starck em 1994 e fabricado pela empresa Saba, figura 24. Neste produto, o compósito é constituído por madeira de alta densidade e polímero, e foi produzido a partir da moldagem de resina impregnada de serragem e pó de madeira (CARMEL-ARTHUR, 2000).



Figura 24: Televisor “Jim Nature” projetado pelo designer Philip Starck. Fonte: CARMEL-ARTHUR, 2000.

Outro exemplo de produto fabricado com compósito polimérico e fibras vegetais é a linha “Native” de utensílios domésticos fabricados pela empresa brasileira Coza, figura 25. Segundo a empresa, os produtos são produzidos com polímero e fibras de madeira.



Figura 25: Linha “Native” de utensílios domésticos produzidos pela Coza. Fonte: Coza (2013).

Os compósitos de origem polimérica com fibras vegetais possuem certas vantagens, como o uso de fibras que muitas vezes são resíduos da agroindústria, sendo assim, podem ser considerados mais amigáveis com o meio ambiente em comparação com os compósitos convencionais com matriz e fibras sintéticas. Porém, possuem a base polimérica que é oriunda de fonte petroquímica, o que pode dificultar o descarte de produtos. Neste sentido, estão sendo desenvolvidos compósitos que possuem matriz e fibras de origem vegetal, o que facilita o descarte de produtos, por ser biodegradável, assim este tipo de material provavelmente não irá acumular-se por muito tempo em aterros sanitários como ocorre com materiais poliméricos. Em termos gerais, os compósitos derivados de biopolímeros e fibras de origem vegetal são ecologicamente mais corretos em comparação com os compósitos poliméricos derivados do petróleo com fibras vegetais (MOHANTY *et al.*, 2005).

No entanto, os compósitos biodegradáveis ainda possuem restrições para o uso em aplicações que demandam alto desempenho. Isso ocorre pela

complexidade no melhoramento de suas propriedades por serem materiais naturais, além da sensibilidade a umidade destes materiais. Contudo, cientistas estão realizando esforços para contornar esses problemas, para assim, ampliar as oportunidades de aplicações dos compósitos biodegradáveis (MOHANTY *et al.*, 2000). Dessa forma, o uso deste tipo de material ainda é insipiente, no entanto, há alguns exemplos de produtos produzidos com compósitos biodegradáveis, como as embalagens divulgadas no site Matéria Brasil⁷. Estas embalagens são produzidas à base de fibra de coco e amido de mandioca e desenvolvidas para demonstrar o uso do material, como podem ser visualizadas na figura 26.



Figura 26: Embalagens a base de fibra de coco e amido de mandioca. Fonte: Matéria Brasil (2013).

De acordo com o site, o material das embalagens possui rápida degradação e baixa tecnologia empregada no seu processo produtivo, o que pode ser interessante para a produção artesanal destes produtos. O processo de fabricação consiste em prensagem a frio com posterior secagem em ambiente aquecido. Desse modo, possui matéria-prima reutilizável, a cadeia produtiva é regional, é compostável por ser biodegradável.

Outro exemplo de produto desenvolvido com compósito biodegradável é o “Skate Ecológico Folha Seca” assinado pela empresa Fibra Design Sustentável e Henrique Monnerat, figura 27. Segundo os desenvolvedores, o *skate* foi criado com

⁷ O site Matéria Brasil (<http://materiabrasil.com>) é um centro de informações em inovação e economia consciente, em que são reunidos um acervo de materiais e produtos responsáveis fabricados prioritariamente no Brasil, (MATÉRIA BRASIL, 2013).

o objetivo de ser um produto de baixo impacto ambiental utilizando matéria-prima brasileira. O skate é feito de BIOPlac, um compósito sustentável que é formado por sete camadas de bambu e pupunha intercaladas com trama de linho e coladas com adesivo vegetal (HENRIQUE MONNERAT, 2013).



Figura 27: Skate Ecológico Folha Seca desenvolvido pela empresa Fibra Design Sustentável e Henrique Monnerat. Fonte: Henrique Monnerat (2013).

Além das aplicações citadas anteriormente, uma estudante de design da Universidade de Michigan desenvolveu o projeto intitulado “Ferramentas Temporárias”. O projeto consiste em uma linha de ferramentas para jardinagem composta por um espeto de *marshmallows*, uma espátula e uma pá, conforme mostra a figura 28.



Figura 28: Ferramentas temporárias biodegradáveis desenvolvidas por estudante de design. Fonte: Design magazine & Resource (2013).

Cada ferramenta da linha pode ser montada usando um galho, as ferramentas duram cerca de 8 meses e durante sua degradação liberam sementes de flores. O material das ferramentas foi desenvolvido pela estudante e consiste em um compósito biodegradável constituído por uma cola à base de gelatina e serragem, que resulta em uma espécie de mistura de madeira líquida. O objetivo da estudante ao criar a linha de ferramentas biodegradáveis é despertar a discussão sobre o ciclo de vida dos objetos, a quantidade de lixo gerada e atulhada no meio ambiente, e que o design tem um papel importante para amenizar os problemas causados pelo consumismo.

Logo, verificou-se que os compósitos biodegradáveis possuem uma série de restrições para a utilização destes materiais. Dessa forma, devido as limitações no uso de compósitos biodegradáveis é necessário analisar em que tipos de aplicações estes materiais podem ser empregados. Assim, a partir das características tangíveis e intangíveis do material podem ser verificadas as aplicações mais adequadas, levando em consideração principalmente o fato destes materiais serem biodegradáveis.

Capítulo 5

PROGNÓSTICO DE POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA OS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS

Este capítulo apresenta o mapeamento sobre os compósitos biodegradáveis com o intuito de verificar o desenvolvimento e a caracterização destes materiais. A partir disso, foi realizado um prognóstico das possibilidades de emprego dos compósitos biodegradáveis em produtos. O levantamento bibliográfico consistiu em 50 artigos científicos, em que estes têm como objetivo preparar e caracterizar compósitos biodegradáveis. Devido à grande quantidade de diferentes fibras utilizadas para reforço destes materiais, delimitou-se a busca dos estudos que utilizam fibras brasileiras na sua constituição.

A partir do mapeamento das propriedades de tração foi possível compará-las com as propriedades de materiais mais conhecidos e convencionalmente utilizados na indústria, através do software de seleção de materiais CES Edupack, para posteriormente, examinar as possibilidades de aplicações para os compósitos biodegradáveis.

5.1 Os materiais

De acordo com Plackett *et al.* (2003), o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis parte de exigências de materiais que podem ser reciclados e/ou que podem biodegradarem-se em segurança no meio ambiente, no final da sua vida útil. Dessa forma, os compósitos biodegradáveis são oriundos de materiais de fontes renováveis, sendo que geralmente a matriz é constituída por um biopolímero e as fibras são de origem vegetal.

Existe uma grande variedade de fibras e matrizes utilizadas para a produção dos compósitos biodegradáveis, no entanto, como já dito, delimitou-se o mapeamento por compósitos biodegradáveis constituídos por fibras brasileiras. Assim, os estudos levantados concentraram-se nos seguintes compósitos biodegradáveis apresentados na figura 29:

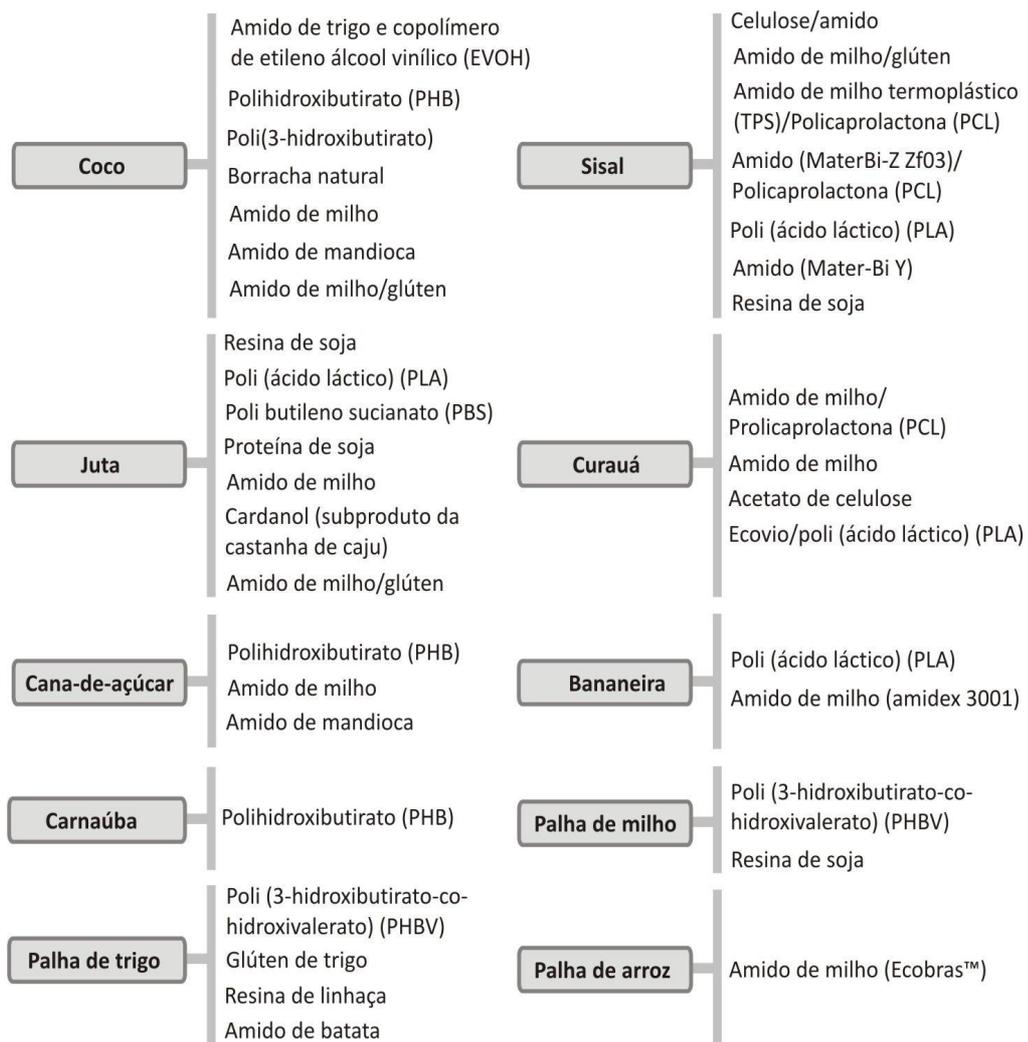


Figura 29: Compósitos biodegradáveis mapeados.

Na maioria dos estudos há variação na porcentagem de fibras utilizadas, tipos de tratamentos na fibra e aditivos na matriz e diferentes formas de processamento. Isso ocorre pelo fato de que os artigos propõem-se a verificar quais as quantidades de fibras e métodos de processamento conferem melhores propriedades para os compósitos biodegradáveis, bem como, a diminuição da degradação e absorção de água.

5.1.1 Tipos de matrizes

Existem diversos tipos de matrizes utilizadas para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis. Dessa forma, podem ser produtos da biomassa, a partir de micro-organismos, da biotecnologia e de produtos petroquímicos que na maioria dos casos são processados e transformados em biopolímeros (AVÉROUS; BOQUILLON, 2004).

Nos estudos mapeados, a maior parte das matrizes utilizadas para o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis são materiais de fontes renováveis oriundas de produtos da biomassa, como pode ser observado na figura 30, que apresenta os tipos de matrizes utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis dos estudos levantados.

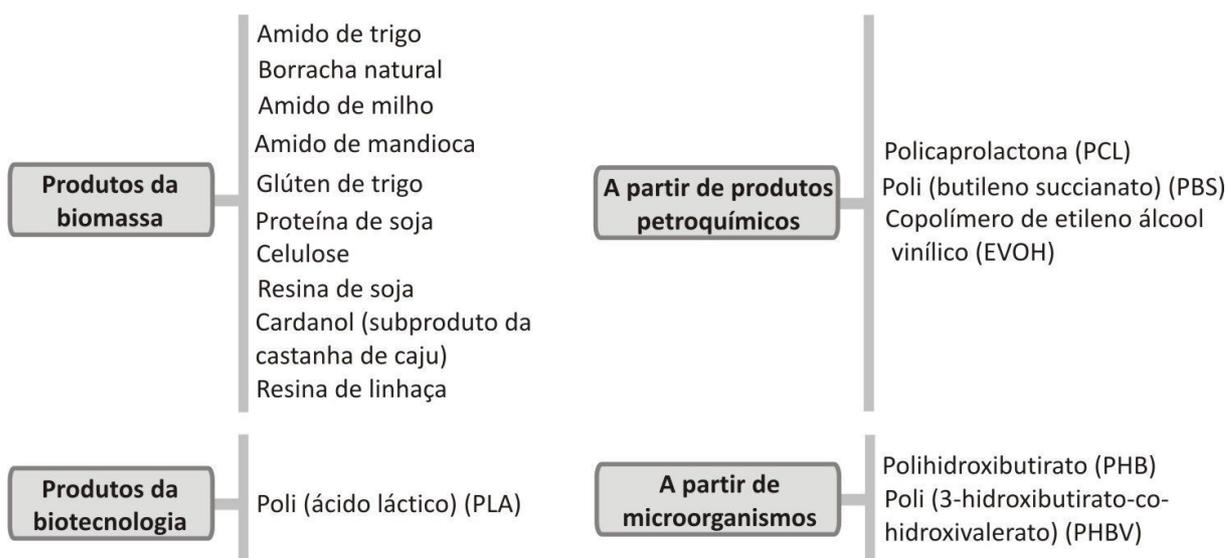


Figura 30: Matrizes utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis nos estudos mapeados.

A constatação da prevalência da utilização de produtos da biomassa para compor as matrizes de compósitos biodegradáveis pode ocorrer pelo fato de que os polímeros naturais mais pesquisados originam-se do amido (AVÉROUS; DIGABEL, 2006; AVÉROUS; HALLEY, 2009). Em consonância, para Rosa *et al.* (2009), o amido é um recurso agrícola largamente estudado e promissor para a

produção de biopolímeros como matrizes para empregar em compósitos biodegradáveis.

5.1.2 Tipos de fibras

As fibras vegetais possuem potencial para serem empregadas em compósitos biodegradáveis, pois possuem boa estabilidade térmica e boas propriedades mecânicas. As propriedades e características de fibras vegetais são bastante variáveis e dependem de qual parte das plantas são retiradas, da idade da planta, bem como, dos métodos para a extração das fibras. Assim, as propriedades tais como a densidade, a resistividade elétrica, a resistência a tração e outros, estão relacionadas com a estrutura interna e a composição química das fibras (MOHANTY *et al.*, 2000).

O levantamento de artigos que desenvolvem e caracterizam compósitos biodegradáveis partiu de estudos que tratam sobre fibras vegetais brasileiras. Desse modo, as pesquisas abordam diferentes tipos de fibras de várias partes das plantas, como pode ser visualizado na figura 31. Na sequência, a figura 32 ilustra imagens dessas fibras.

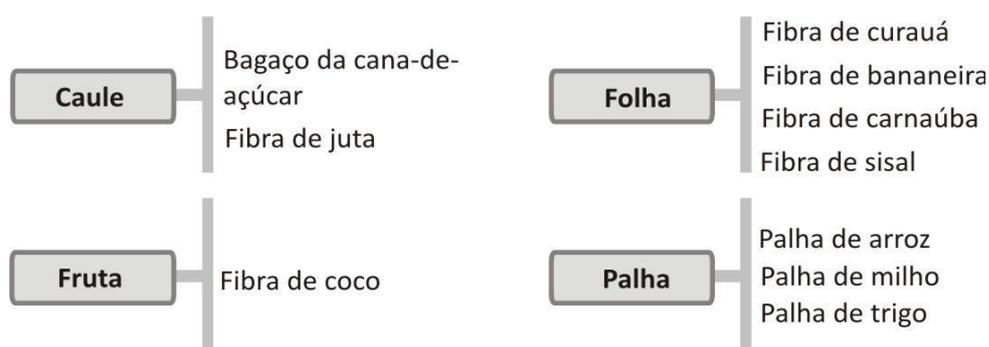


Figura 31: Fibras vegetais utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis nos estudos mapeados.



Figura 32: Fibras brasileiras utilizadas no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis: A) fibra de bagaço de cana-de-açúcar, B) fibra de juta, C) fibra de curauá, D) fibra de bananeira, E) fibra de carnaúba, F) fibra de sisal, G) fibra de coco, H) palha de arroz, I) palha de milho e J) palha de trigo. Fonte: Google imagens (2013).

A maior parte dos estudos mapeados estão concentrados no desenvolvimento de compósitos com fibras de coco. Acredita-se que haja bastante interesse em pesquisas relacionadas com esse tipo de fibra pelo fato de que a fibra é um subproduto do coco, ou seja, é um resíduo, sendo este o principal motivo utilizado pelos pesquisadores para justificar o emprego deste tipo de fibra como reforço para os compósitos. As fibras provenientes do bagaço da cana-de-açúcar, de palha de arroz, milho e trigo também são consideradas resíduos, e na agroindústria são muitas vezes tratadas como entulho. Isso mostra a relevância das pesquisas que buscam um destino para esse material.

5.2 Preparação dos compósitos biodegradáveis

De acordo com Satyanarayana (2010), os fatores necessários para a produção de compósitos biodegradáveis incluem a seleção das fibras vegetais e da matriz, tratamentos de superfície adequados nas fibras, para uma maior aderência da fibra e da matriz e a redução da sensibilidade à umidade, e as técnicas de fabricação devem ser preferencialmente de baixo custo. Segundo os autores, o processamento de compósitos biodegradáveis é atrativo por ser menos abrasivo, o que pode diminuir o risco de danificação de equipamentos, em comparação com compósitos de fibra de vidro, além da ausência de partículas suspensas no ar, reduzindo problemas respiratórios nos trabalhadores.

Nos artigos mapeados constatou-se que o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis envolve inicialmente os tratamentos nas fibras para que estas adquiram melhores propriedades bem como diminuam a absorção de água. Além disso, geralmente são adicionados aditivos na matriz também com o intuito de melhorar as propriedades. Após este processo inicial, de preparação dos materiais da matriz e do reforço, eles são misturados e conformados, como será descrito na sequência.

5.2.1 Processamento

O processamento dos materiais está completamente interligado com as propriedades (CALLISTER, 2002). Assim, os estudos sobre os compósitos biodegradáveis apontam que diferentes processamentos resultam em diferentes propriedades, as quais influenciam no desempenho dos compósitos. O mapeamento demonstrou que os processos de produção dos compósitos biodegradáveis são feitos pelos métodos visualizados na figura 33.



Figura 33: Processamentos utilizados nos compósitos biodegradáveis dos estudos mapeados.

Os compósitos biodegradáveis são fabricados a partir de tecnologia tradicional, como a extrusão, injeção e moldagem por compressão. Faruk *et al.* (2012) ressaltam que o processamento destes materiais inclui a extrusão, moldagem por compressão e injeção, o que vai ao encontro dos tipos de processamentos utilizados nos artigos mapeados. Contudo, os autores reportam para o fato de que tecnologias inovadoras e soluções de processos precisam ser pesquisadas para a obtenção de melhores propriedades.

5.2.2 Tratamentos nas fibras

Segundo Silva (2010), o interesse em utilizar fibras naturais como componentes de reforço em compósitos ocorre pelo fato de serem consideradas baratas, menos abrasivas e biodegradáveis, quando comparadas com fibras inorgânicas. Entretanto a natureza hidrofílica das fibras naturais afeta a aderência entre o reforço e a matriz pela fraca adesão interfacial. Dessa forma, a modificação da superfície das fibras por métodos físicos ou químicos pode amenizar esse problema e melhorar as propriedades, pois, as propriedades das fibras irão influenciar diretamente no desempenho dos compósitos biodegradáveis (FARUK *et al.*, 2010).

Neste sentido, o principal objetivo dos tratamentos de superfície nas fibras vegetais é maximizar a força de ligação de modo a melhorar a adesão entre as fibras e a matriz (KABIR *et al.*, 2012). Esses tratamentos geralmente são baseados na utilização de grupos funcionais reagentes que são capazes de reagir com a estrutura das fibras e mudar sua composição, ou seja, os tratamentos químicos

expõem grupos funcionais reativos sobre a superfície das fibras e, assim, favorece o acoplamento com a matriz. Como resultado, a absorção de umidade das fibras pode ser reduzida, o que facilita a compatibilidade com a matriz, (ABDELMOULEH *et al.*, 2007). Portanto, tratamentos sobre a superfície das fibras naturais são necessários para melhorar as propriedades dos compósitos biodegradáveis, assim, os estudos mapeados utilizam os tratamentos apresentados na figura 34.

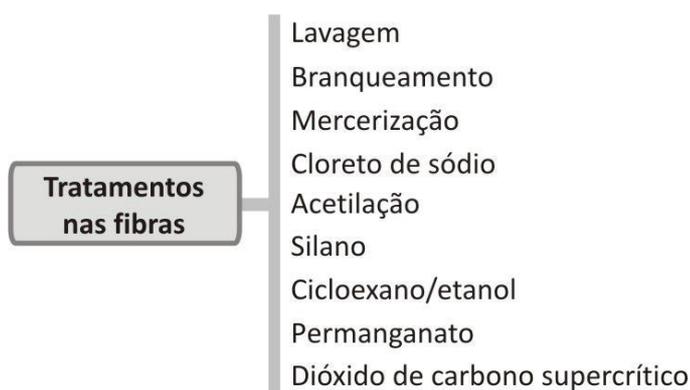


Figura 34: Tipos de tratamentos utilizados nas fibras vegetais dos estudos mapeados.

Dentre os tratamentos utilizados nos estudos, percebeu-se que os mais empregados são: a lavagem, a mercerização e o branqueamento. A lavagem consiste em um banho com água nas fibras e contribui para a eliminação de resíduos indesejáveis na superfície ativando-a para a sua utilização em compósitos. A mercerização baseia-se no tratamento das fibras com hidróxido de sódio (NaOH) e o branqueamento geralmente é feito com solução de peróxido alcalino, sendo que estes tratamentos são amplamente utilizados para modificar a estrutura molecular da celulose (CAMPOS *et al.*, 2011).

Na maioria dos estudos, as fibras tratadas tiveram melhoria na resistência mecânica e estabilidade dimensional dos compósitos resultantes em comparação com as puras. Geralmente, diferentes tratamentos na superfície das fibras são realizados em conjunto, como ocorreu na pesquisa realizada por Campos *et al.* (2011), em que foi utilizada a lavagem com água e posteriormente o branqueamento. Dificilmente utiliza-se um único tipo de tratamento, somente em pesquisas que visam testar a eficácia de diferentes tratamentos.

5.2.3 Aditivos na matriz

Além dos tratamentos na superfície das fibras vegetais, são adicionados aditivos na matriz dos compósitos biodegradáveis para melhorar as suas propriedades. Os principais aditivos utilizados são os plastificantes, que consistem em substâncias empregadas durante o processamento de materiais poliméricos que visam melhorar a flexibilidade e em geral a processabilidade. Basicamente, são solventes não-voláteis com massa molecular menor do que o próprio polímero, que quando adicionados ao polímero o tornam mais macio e flexível formando um material mais homogêneo (SCHLEMMER, 2007), ou seja, são substâncias que quando adicionadas ao material alteram suas propriedades físicas, sendo que a estrutura, a composição, a massa molecular e os grupos funcionais dos plastificantes podem afetar o grau de plasticidade dos biopolímeros (CAO *et al.*, 2009). A figura 35 ilustra os aditivos utilizados nas pesquisas mapeadas dos compósitos biodegradáveis.

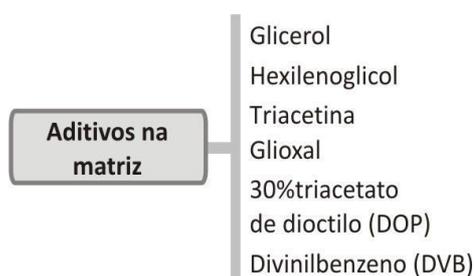


Figura 35: Tipos de aditivos utilizados na matriz dos compósitos biodegradáveis dos estudos mapeados.

A partir do mapeamento percebeu-se que a maioria das pesquisas utilizam o glicerol como plastificante na composição dos compósitos biodegradáveis. Os projetos que visam a produção de polímeros de origem vegetal e que utilizam a química verde e renovável empregam o glicerol nos biopolímeros, a glicerina é o nome comercial do glicerol, que pode ser produzido a partir de óleos vegetais e como subproduto do biodiesel (OLIVEIRA, 2013).

Desta forma, o glicerol é considerado um plastificante renovável, que pode substituir aditivos utilizados pela indústria que são tóxicos e visam conferir maciez e flexibilidade aos produtos feitos principalmente de policloreto de vinila (PVC).

Segundo a professora Sônia Faria Zawadzki, do Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o glicerol é um plastificante renovável com base em óleo vegetal que pode substituir os ftalatos que são produzidos a partir de derivados de petróleo. Isso é de extrema importância, pois os ftalatos são substâncias que estão associados ao câncer, má-formação esquelética, problemas endócrinos e hormonais (OLIVEIRA, 2013). Assim, o glicerol pode substituir esse tipo de substância perigosa em polímeros sintéticos e utilizado como plastificante nos compósitos biodegradáveis, que está de acordo com o conceito ecológico destes materiais.

5.3 Caracterização dos compósitos biodegradáveis

Conforme Satyanarayana *et al.* (2009) a caracterização de materiais, especialmente dos novos, é imprescindível para verificar as propriedades, avaliar o seu processamento, e principalmente as áreas adequadas para o uso destes materiais. Os compósitos biodegradáveis estão sendo bastante pesquisados, assim, a caracterização destes materiais é importante principalmente para verificar os fatores que melhoram as propriedades, sendo que este é o foco da maioria das investigações nesta área. A partir da caracterização dos compósitos biodegradáveis, é possível compreender o material, ou seja, o seu comportamento frente a umidade, a forças mecânicas, e outros fatores.

5.3.1 Propriedades mecânicas

Para Callister (2000) as propriedades mecânicas fazem parte do conjunto de propriedades físicas dos materiais. Estão relacionadas à deformação do material a partir de uma carga ou força aplicada, incluem, entre outras, a resistência à tração que corresponde a tensão máxima que pode ser suportada por uma estrutura em tração, a alongação, que consiste no percentual de máximo aumento do comprimento de um material submetido à tração antes da ruptura e o módulo de

elasticidade, que é definido como a rigidez ou uma resistência do material à deformação elástica.

Neste sentido, conforme o autor, as propriedades mecânicas dos materiais são verificadas por meio de experimentos de laboratório que replicam tanto quanto possível as condições de trabalho. Um dos testes mecânicos mais comuns de tensão-deformação é a tração, este ensaio pode ser utilizado para determinar as propriedades mecânicas que são importantes em um projeto. Assim, uma amostra é deformada, usualmente até a fratura, com carga de tração que é aplicada uniaxialmente ao longo do eixo de uma amostra.

Nos compósitos biodegradáveis as propriedades mecânicas de tração são as mais comumente investigadas. A resistência ao impacto é um dos pontos fracos destes materiais no desempenho mecânico, assim, para melhorar o desempenho para o nível desejado muitos esforços estão sendo realizados considerando principalmente o processamento e a adesão da fibra com a matriz (FARUK *et al.* 2012). Em todos os artigos mapeados, foram realizados ensaios de tração nas amostras, em que são verificadas a resistência mecânica, a elongação e o módulo de elasticidade. Como o principal enfoque dos estudos é melhorar as propriedades mecânicas dos compósitos, essas propriedades de falha e rigidez são de extrema importância no desempenho dos materiais quando em uso, por este motivo, acredita-se que são bastante abordadas.

A tabela do apêndice D, apresenta os valores das propriedades mecânicas mensuradas nos estudos do desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis, bem como os materiais das fibras e da matriz, os tratamentos, aditivos e processamento utilizado em cada estudo. A variação nos valores das propriedades nas pesquisas utilizando o mesmo tipo de matriz e fibra pode ser devido ao método de processamento e as condições utilizadas para produzir os compósitos biodegradáveis, além do tipo de matriz e fibra vegetal utilizada, os tipos de tratamentos na superfície das fibras, o tipo e a quantidade de plastificante, e a maneira de acondicionamento dos compósitos biodegradáveis.

5.3.2 Degradação

A propriedade de degradação dos compósitos biodegradáveis dificulta o desempenho destes materiais, ou seja, as mesmas características de degradação que o tornam ambientalmente corretos, podem limitar seu uso. De acordo com Vilaplana *et al.* (2010) a degradação destes materiais pode ser definida como qualquer alteração irreversível induzida externamente nas propriedades físicas do material sendo causada por reações químicas. Desta forma, segundo os autores a degradação pode ser causada por diversos fatores, como:

- Químico: causado por agentes químicos, tais como ácidos ou bases, oxidação e hidrólise;
- Térmico: causado pela temperatura;
- Mecânico: ocasionado pelo stress externo;
- Biológico: ocorre por meio de entidades biológicas;
- Radiação: causado pela luz ultravioleta e exposição eletromagnética.

Para os autores, normalmente, os processos de degradação não acontecem pela ação independente de mecanismos, mas sim pela combinação de vários fatores. Assim, pode ocorrer a termo-oxidação, que é o efeito da temperatura e a exposição ao oxigênio, a foto-oxidação, efeito combinado com exposição de luz e oxigênio, sendo relevante para aplicações em que o material ficará em áreas externas, combinação de degradação termo-mecânica, que consiste em temperatura e forças agindo sobre o material, sendo relevantes durante o processamento, e a biodegradação que corresponde a combinação de efeitos químicos e biológicos.

Além disso, a susceptibilidade a umidade é outro fator que influencia diretamente a degradação dos compósitos biodegradáveis. A absorção de água e a sua degradação resultante pode afetar irreversivelmente a morfologia e as propriedades do material (STARK, 2002). Deste modo, a absorção de água pode ser influenciada por vários fatores, como o carregamento de fibra, pois quanto maior o teor de fibra maior é a incidência de absorção de umidade, a natureza química das fibras, pois as que contêm maior teor de lignina podem apresentar menor valor de absorção de água já que a lignina é um composto hidrofóbico que pode agir contra

a degradação, a geometria da fibra e especialmente, a compatibilização entre a matriz e as fibras (BISMARCK *et al.*, 2002).

Neste âmbito, a absorção de água e os efeitos resultantes podem contribuir para a perda de compatibilização entre as fibras e a matriz, o que pode provocar o enfraquecimento da adesão interfacial. A debilitação da interface da matriz com as fibras é o principal mecanismo induzido pela absorção de água. No entanto pequenas absorções de água podem ser benéficas na medida em que causam um efeito de plastificante na estrutura do compósito biodegradável, que pode provocar melhoria nas propriedades físicas, porém, a maior absorção de água leva a deterioração das propriedades e acelera o envelhecimento do material (ESPERT *et al.*, 2004).

A exposição à umidade elevada durante o armazenamento do material e na fabricação dos compósitos pode ser muito mais danosa para a adesão interfacial do que a exposição a umidade pós-fabricação. No entanto, a absorção de água depende dos componentes presentes no material, sendo que a modificação química da matriz e/ou das fibras naturais e o processamento do material podem aumentar a compatibilização entre as fibras e a matriz, e também resultar em um aumento da resistência à absorção de água (JOSEPH *et al.*, 2002; LI *et al.*, 2007; BESSADOK *et al.*, 2008).

Neste contexto, a análise da absorção de água, os seus efeitos degradativos e as diferentes formas de minimizá-los durante a vida útil, constitui uma das principais áreas de foco de pesquisa na elaboração de compósitos biodegradáveis. Assim, estudos de degradação precisam ser realizados para garantir que os materiais sejam estruturalmente estáveis durante a sua utilização, e para verificar se eles são biodegradáveis e sem efeitos toxicológicos na compostagem.

As investigações sobre a degradação podem ser realizadas em condições controladas por meio de equipamento adequado, a câmara climática, na qual diferentes fatores externos podem ser controlados, como a umidade, a exposição a luz, a presença de microorganismos (WALLSTRÖM *et al.*, 2005). Pesquisas⁸ mostram que a adição de nanopartículas inorgânicas tem um efeito de variação na

8 Chow *et al.* (2005), Chen *et al.* (2008).

absorção de água e no comportamento da degradação, podendo ter o potencial de reduzir a sensibilidade dos compósitos biodegradáveis a umidade.

Portanto, a susceptibilidade de degradação dos compósitos biodegradáveis limita o uso e constitui uma desvantagem para a utilização deste material principalmente em aplicações estruturais. Desta maneira, a partir dos estudos das características destes materiais é possível verificar a viabilidade de aplicação, além da busca pela melhoria da funcionalidade e estabilidade destes materiais preservando a sua biodegradabilidade.

5.4 Prognóstico de aplicações para os compósitos biodegradáveis

A partir da caracterização física dos compósitos biodegradáveis apresentada nos estudos mapeados foi possível concluir que não resistem a fortes impactos, conforme apontam os valores de suas propriedades mecânicas. Além disso, são susceptíveis a umidade e a absorção de água, o que agiliza o processo de degradação, e não resistem a altas temperaturas, no entanto, sob condições de conservação, podem durar meses. Assim, estes são os principais fatores que precisam ser levados em consideração na utilização destes materiais.

Desta forma, inicialmente, verificou-se em que universo de materiais as propriedades mecânicas de resistência à tração, alongação e o módulo de elasticidade dos compósitos biodegradáveis encontram-se, para isso, utilizou-se o software de seleção de materiais CES Edupack. Como resultado desta fase, têm-se os materiais com propriedades semelhantes as dos compósitos biodegradáveis conforme mostra a figura 36. Como pode ser observado nesta figura os materiais que possuem propriedades semelhantes as dos compósitos biodegradáveis encontram-se na família dos polímeros e dos materiais naturais. Já era previsto que o software selecionaria materiais naturais, pois os compósitos biodegradáveis são formados por materiais de origem vegetal, assim, logicamente as propriedades seriam semelhantes.

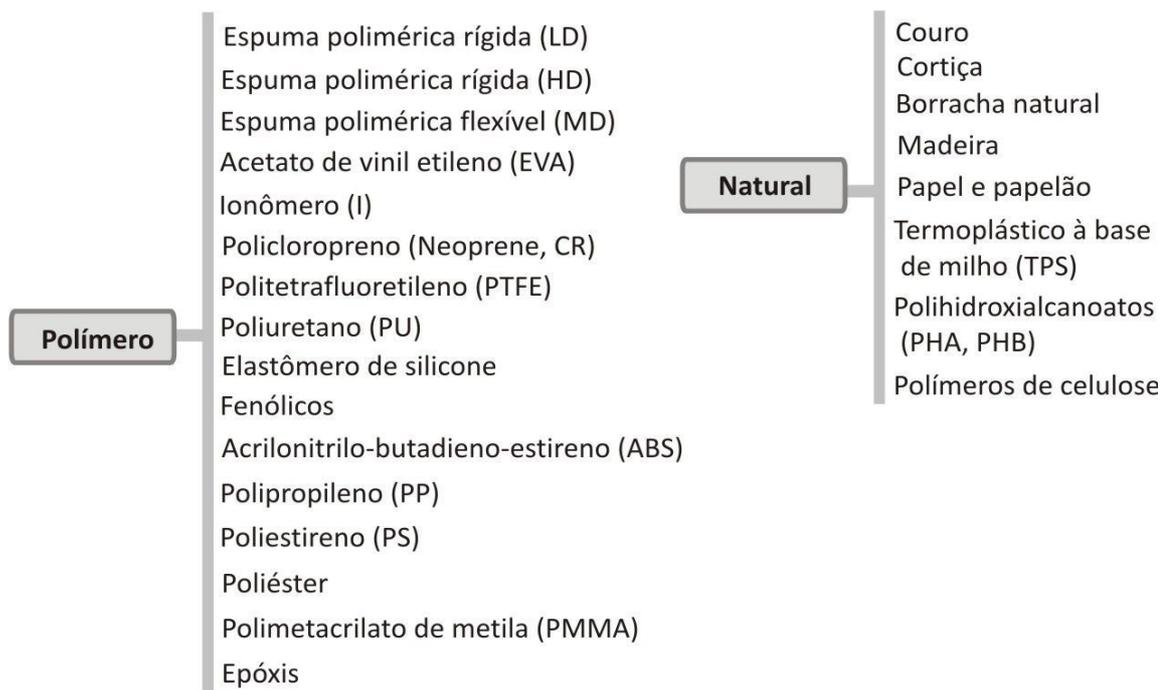


Figura 36: Materiais com propriedades mecânicas semelhantes as dos compósitos biodegradáveis.

A partir das aplicações usuais destes materiais pode-se examinar a possibilidade de empregar compósitos biodegradáveis nestes mesmos usos. Esta análise foi realizada em termos da viabilidade técnica, ou seja, dos critérios determinados com o mapeamento dos estudos sobre os compósitos biodegradáveis, que são: a baixa resistência a impactos mecânicos e à umidade, não resistem às altas temperaturas, e sob condições de conservação podem durar por alguns meses. Além disso, foram considerados os fatores práticos, estéticos e simbólicos dos produtos, que englobam a funcionalidade do produto, o conforto, entre outros.

A seguir serão descritas as principais aplicações dos materiais selecionados pelo software CES Edupack que possuem as propriedades mecânicas dentro da faixa de propriedades dos compósitos biodegradáveis, e examinado a viabilidade de aplicação dos compósitos destes usos. Os tipos de aplicações de cada material foram pesquisados na biblioteca do software CES Edupack.

5.4.1 Possibilidades de emprego dos compósitos biodegradáveis a partir das aplicações dos materiais selecionados pelo software CES Edupack

Os materiais selecionados pelo software CES Edupack a partir de suas propriedades mecânicas encontra-se na família dos polímeros e dos materiais naturais. Materiais poliméricos são produzidos a partir de grandes estruturas moleculares provenientes de moléculas orgânicas pelo processo conhecido por polimerização. Os polímeros têm baixa condutividade térmica e elétrica, baixa resistência mecânica quando comparados com outros materiais, como os metais, e geralmente não são adequados para utilização em altas temperaturas. São usualmente empregados em embalagens, eletrodomésticos, brinquedos, peças técnicas e outros (LDSM, 2013).

São considerados materiais naturais, fibras, madeiras, minerais e outros, geralmente, biodegradáveis e não tóxicos. Ultimamente os materiais naturais têm sido muito pesquisados como alternativas para diversas aplicações que utilizam materiais sintéticos, principalmente os poliméricos (CALLISTER, 2002). A base para o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis são materiais naturais.

As aplicações dos materiais poliméricos e naturais pesquisadas no software CES Edupack são apresentadas a seguir:

Polímeros:

- Espuma polimérica rígida e flexível é usualmente empregada em embalagens, colchões, isolamento térmico, painéis e divisórias;
- Acetato de vinil etileno (EVA) é geralmente utilizado para a produção de calçados, palmilhas, solados de tênis e brinquedos;
- Ionômero é comumente aplicado em embalagens, calçados esportivos, botas de esqui, tubulação de isolamento térmico, bolas de golfe, para-choques de automóveis;
- Policloropreno (neoprene) é bastante utilizado em roupas impermeáveis para mergulho, luvas e capa de notebook;
- Politetrafluoretireno (PTFE), o nome comercial deste polímero é teflon, é bastante empregado no revestimento de utensílios domésticos como panelas;

- Poliuretano (PU) é usualmente empregado em revestimentos, isolamento térmico, polias, correias, solados de calçados;
- Fenólicos, normalmente, as aplicações para estes materiais são para terminais de lâmpadas fluorescentes, soldas eletrônicas, equipamentos elétricos e mecânicos como interruptores, utensílios de cozinha para micro-ondas;
- Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), as principais aplicações deste material são: telefones, batedeiras e liquidificadores, aspirador de pó, box para chuveiro, capacetes de segurança, brinquedos;
- Polipropileno (PP), geralmente, este material é utilizado para a produção de embalagens, garrafas, pás de ventilador, cabos de ferramentas e talheres, cadeiras de piscinas, prendedores de roupas, componentes automotivos;
- Poliestireno (PS) é bastante empregado em conexões e assentos para vasos sanitários, forros, isolamento acústico e térmico, brinquedos, copos, talheres, eletrodomésticos em geral;
- Poliéster é comumente utilizado em cubas, assentos, simulação do mármore, barcos, cabines de caminhões, tubos de esgoto, mobiliário;
- Polimetacrilato de metila (PMMA), geralmente é utilizado para a fabricação de lentes, embalagens, régua, componentes elétricos, cadeiras, banheiras domésticas, cabos de ferramentas;
- Epóxis, usualmente empregados em componentes eletrônicos, acessórios para ferramentas, componentes mecânicos como engrenagens, adesivos, padrões e moldes para a conformação de termoplásticos, pranchas de surf.

Materiais naturais:

- Couro, cujas principais aplicações estão na produção de calçados, cintos, bolsas, roupas;
- Cortiça, comumente utilizada para isolamentos térmicos e acústicos, fabricação de instrumentos musicais, objetos de decoração, componentes para calçados e para o setor industrial de diversos segmentos como, automóvel, bebidas, construção, alvenaria, entre outros;
- Borracha natural, cujas principais aplicações encontram-se em pneus, vedações, correias, isolamentos elétricos;

- Madeira, utilizada para a fabricação de móveis;
- Papel e papelão, bastante utilizados como substrato para a escrita e impressão, isolamento e vedação, e o papelão tem uso direcionado principalmente para embalagens
- Biopolímeros (termoplástico à base de milho (TPS), polihidroxicanoatos (PHA, PHB) e polímeros de celulose), utilizados principalmente para a produção de embalagens para alimentos, cosméticos, artigos de higiene pessoal;

Dentre as aplicações destes materiais, os compósitos biodegradáveis podem ser empregados em embalagens, de acordo com Faria e Costa (2005) podem ser de dois tipos: descartáveis, de apenas uma utilização, ou retornáveis, que podem ser reutilizáveis. Desta forma, as embalagens descartáveis possuem um curto ciclo de vida, o que pode gerar grande acúmulo de lixo principalmente pelas embalagens plásticas. Na produção de embalagens no Brasil, os polímeros são os materiais mais utilizados, no ano de 2005 mais de dois milhões de toneladas ou 53% do polímero consumido no Brasil foi empregado em embalagens, as quais têm vida útil efêmera (ABRE, 2006). Assim, pelo fato dos compósitos biodegradáveis serem materiais com ciclo de vida curto e por serem biodegradáveis (MOHANTY, 2005), podem ser utilizados na produção de embalagens, o que pode ser positivo frente ao acúmulo de lixo proveniente de embalagens poliméricas.

Além disso, os compósitos podem ser utilizados em brinquedos, pois estes produtos podem não exigir alto desempenho do material. Além disso, segundo Vygotsky (1998) a brincadeira não é uma atividade estática, ela evolui e se modifica na medida em que a criança cresce, assim, muitos brinquedos tem um período de vida útil curto, pois conforme as crianças crescem, normalmente perdem o interesse por determinados brinquedos. Desta maneira, pelo fato dos compósitos biodegradáveis durarem por alguns anos (MOHANTY, 2005), podem persistir durante a vida útil de brinquedos, assim, poderiam ser utilizados para este tipo de produto.

Ademais, existe a possibilidade de utilização em móveis que não demandam alto desempenho do material, como é o caso de prateleiras, dependendo do peso

que terão que suportar, e painéis. Desta forma, acredita-se que os compósitos biodegradáveis possuem potencial de aplicação em móveis pelo fato de possuírem propriedades mecânicas semelhantes, e pela estética parecida. No entanto, é necessário realizar estudos quanto a resistência e degradação do material, como por exemplo, verificar a resistência do material em determinada espessura, pois móveis como mesas e cadeiras precisam ter uma certa resistência quando em uso. Assim, os compósitos biodegradáveis são mais apropriados para uso em prateleiras para objetos leves e painéis decorativos. Ainda, em se tratando de objetos de decoração, acredita-se que também podem ser utilizados, por não serem produtos que demandam alto desempenho dos compósitos biodegradáveis.

Em relação às demais aplicações referentes aos polímeros e materiais naturais, os compósitos biodegradáveis têm pouco potencial para substituir estes materiais pois não possuem propriedades adequadas. Sendo assim, a durabilidade, a alta sensibilidade a umidade, a baixa resistência mecânica e as altas temperaturas, podem ser os principais fatores que impedem o uso de compósitos biodegradáveis nestas aplicações.

Portanto, o prognóstico de aplicações, que consistiu na verificação da viabilidade do emprego de compósitos biodegradáveis no design de produto, aponta para produtos que demandam baixo desempenho destes materiais. Desta maneira, embalagens, brinquedos, móveis, objetos de decoração podem ser aplicações adequadas estes compósitos. No entanto, dentre estas, é necessário definir os tipos específicos de aplicações para verificar com exatidão o emprego de compósitos biodegradáveis. Assim, são materiais promissores principalmente para aplicações com ciclo de vida curto.

Capítulo 6

ESTUDO DE CASO: A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DOS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE BIOPOLÍMERO POLI(BUTILENO ADIPATO CO-TEREFTALATO) (PBAT) E POLI (ÁCIDO LÁCTICO) (PLA) COM FIBRAS DE CURAUÁ NO DESIGN DE PRODUTO

A partir do levantamento de estudos que visam o desenvolvimento e a caracterização de compósitos biodegradáveis, buscaram-se amostras destes materiais para a realização do estudo de caso. Desse modo, amostras de compósitos biodegradáveis à base de biopolímeros PBAT e PLA com fibras de curauá foram concedidas pela equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA.

Neste sentido, o presente capítulo compreende, na primeira seção a descrição do desenvolvimento e a caracterização dos compósitos biodegradáveis desenvolvidos por Harnnecker *et al.* (2012). Na sequência, é apresentada a análise das entrevistas realizadas com designers de produto para verificar a visão destes profissionais principalmente em relação aos fatores estéticos, práticos e simbólicos destes materiais com o intuito de traçar o perfil dos compósitos biodegradáveis.

6.1 Desenvolvimento e caracterização de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero PBAT e PLA com fibras de curauá

De acordo com Pellicano *et al.* (2009), até o momento, a maioria dos biopolímeros possuem um custo elevado em comparação ao termoplástico convencional e suas propriedades são, por vezes, fracas para certas aplicações. Assim, é necessário melhorar as propriedades dos biopolímeros para torná-los competitivos em relação aos termoplásticos comuns (ÁVEROUS, 2011). Dessa forma, a inserção de fibras vegetais em biopolímeros melhoram as propriedades, principalmente as mecânicas, além da possibilidade de redução do custo destes materiais. O trabalho realizado por Harnnecker *et al.* (2012) contribuiu para o

desenvolvimento de compósitos biodegradáveis com biopolímeros e fibras vegetais, em que, estes materiais aparentam uma solução promissora para superar as questões primárias com polímeros biodegradáveis, como o custo e as propriedades.

Neste âmbito, o estudo teve como objetivo desenvolver um processo para a fabricação de compósitos com matriz à base de um polímero biodegradável, que consiste em uma mistura de poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido lático) (PLA), e fibras de curauá como reforço. Os compósitos foram desenvolvidos com diferentes porcentagens de fibras, resultando nas amostras apresentadas na figura 37.

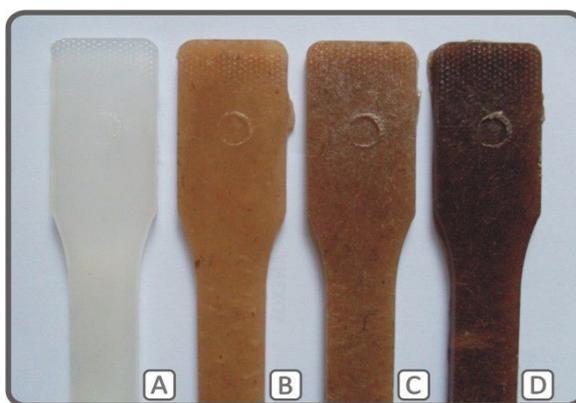


Figura 37: Amostras de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero e fibras de curauá, A)Matriz com 0% de fibra, B)5% de fibra, C)15% de fibra e D)20% de fibra.

Os compósitos resultantes do estudo Harnnecker *et al.* (2012), foram avaliados através da dureza, índice de fluidez e de tração, flexão e impacto de forças, assim como a absorção de água. A análise térmica e a Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foram empregadas para caracterizar os compósitos. A interface, biopolímero e fibras foi investigada por meio da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A biodegradabilidade dos compósitos foi verificada pelo teste de compostagem em solo.

6.1.1 Matriz: poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido láctico) (PLA)

A matriz dos compósitos desenvolvidos por Harnnecker *et al.* (2012) é constituída por um polímero biodegradável que consiste em uma mistura de PBAT com nome comercial Ecoflex® e PLA, essa combinação possui o nome comercial Ecovio®⁹, em que pode ser visualizado na figura 38.



Figura 38: Polímero biodegradável à base de PBAT e PLA. Fonte: BASF (2013).

Os biopolímeros podem ser produzidos a partir de matérias-primas petroquímicas e de recursos renováveis (AVÉROUS; BOQUILLON, 2004). Dessa forma, o biopolímero utilizado como matriz no estudo de Harnnecker *et al.* (2012) é uma mescla de biopolímero com base petroquímica, o PBAT, e 45% de PLA produzido com amido de milho.

O polímero biodegradável produzido a partir do PBAT é um copoliéster alifático-aromático cuja origem é petroquímica. Durante a sua decomposição comporta-se como um composto orgânico, os microorganismos presentes no solo degradam o material, assim, pode ser considerado como biodegradável e compostável. Este biopolímero pode ser processado com os mesmos métodos que os polímeros convencionais. Na composição do Ecovio®, o PBAT é responsável por viabilizar o processamento e melhorar significativamente a funcionalidade da

⁹ O Ecoflex e o Ecovio são biopolímeros desenvolvidos pela BASF, que é uma empresa de origem alemã e suas unidades de produção estão distribuídas em 39 países, entre elas, o Brasil.

matéria-prima de fonte renovável, que neste caso trata-se do amido de milho BASF (2013).

A produção de biopolímeros com amido de milho iniciou na década de 70, e atualmente, encontram-se disponíveis no mercado (CURVELO *et al.*, 2001). O amido é biodegradável, tem baixo custo e está disponível em todo o mundo, no entanto, ele não é um verdadeiro termoplástico, mas quando submetido a um processo termo-mecânico em presença de um plastificante como, por exemplo, água, glicerol, perde sua estrutura granular semicristalina e adquire o comportamento similar ao de um termoplástico fundido, ou seja, o amido funde e escoia, permitindo seu uso em equipamentos de injeção, extrusão e sopro, como os utilizados para o processamento de polímeros sintéticos (LOURDIN *et al.*, 1999).

De acordo com BASF (2013), o biopolímero é atóxico e a biodegradabilidade da blenda foi testada pela norma EN 13432, na qual foi verificado que é um biopolímero biodegradável. O ciclo de vida do biopolímero passa por vários estágios, inicialmente fundamenta-se em matéria-prima de fonte renovável, na sequência, esta é transformada em material para ser utilizado em produtos de consumo, e por fim, a eliminação do produto conta com a compostagem, que pode ser considerada uma vantagem para o material em relação aos materiais sintéticos, pois o tempo de decomposição no meio ambiente pode ser menor.

Ainda segundo BASF (2013), o biopolímero pode ser processado em equipamentos convencionais de transformação de polímeros sintéticos. Sendo assim, este material possui uma combinação de propriedades tais como a flexibilidade e a resistência que favorecem o seu uso na produção de aplicações por moldagem, extrusão e sopro.

6.1.2 Reforço: Fibras de curauá

Dentre os materiais de fontes renováveis que apresentam potencial para aplicação industrial encontram-se as fibras vegetais (MOHANTY *et al.*, 2005). A fibra proveniente do curauá é um material atrativo do ponto de vista econômico e tecnológico devido a facilidade de obtenção, a baixa densidade e a elevada

resistência mecânica em comparação com outras fibras vegetais, a resistência à tração desta fibra é de 5 a 9 vezes maior que a de sisal ou da juta (GODA *et al.*, 2009).

O curauá¹⁰ é uma planta nativa da floresta Amazônica Brasileira e integrante da família do abacaxi, figura 39. Suas folhas podem chegar a 1,5m de comprimento e 4cm de largura, são duras, eretas e planas. Um ano após a plantação, suas folhas adultas podem ser colhidas para a extração das fibras (SILVA; AQUINO, 2008). A fibra de curauá apresenta uma microestrutura formada por um feixe de filamentos que pode ajudar na aderência de biopolímeros (MONTEIRO *et al.*, 2006).



Figura 39: A) Planta de curauá, B) Fibras de curauá.
Fonte: Google imagens (2013).

Carashi e Leão (2001) descrevem a caracterização química, térmica e mecânica das fibras de curauá. Os resultados demonstram: alto teor de celulose (70,7%), teor de umidade (7,92%), teor de cinzas (0,79%), solubilidade em água quente (1,03%), solubilidade em NaOH 1% (19,3%), holocelulose (91,8%), lignina (11,1%) e índice de cristalinidade (75%). Assim, os autores concluem que é possível utilizar fibras de curauá como reforço de materiais compósitos.

Segundo Cordeiro *et al.* (2009), o curauá é uma planta de fácil cultivo e processamento, podendo ser cultivada em conjunto com outras culturas, em áreas de reflorestamento e produção de madeira. Pode ser considerada como uma fonte de renda e diversificação de culturas principalmente para pequenos agricultores ou ser cultivada em grandes plantações. Desta forma, o cultivo do curauá pode

¹⁰ O nome científico da planta curauá é *ananas erectifolius* (CORDEIRO *et al.*, 2009).

tornar-se uma importante fonte de emprego e renda em regiões carentes, assim, pode ser um incentivo e uma oportunidade para o desenvolvimento econômico e social.

Logo, as fibras de curauá podem ser utilizadas como reforço para o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis. No trabalho de Harnnecker *et al.* (2012) foram desenvolvidos compósitos biodegradáveis com fibras de curauá, em que foram tratadas através da mercerização, a fim de melhorar a adesão entre as fibras e a matriz.

6.1.3 Processamento

Os compósitos biodegradáveis desenvolvidos no estudo de Harnnecker *et al.* (2012), são constituídos por uma mistura de biopolímero e fibras de curauá (com 5, 15 e 20% em peso). Estes materiais foram processados por meio de moldagem por compressão a 150°C e após pelo processo de extrusão. A degradação das fibras de curauá começa em cerca de 250°C, assim a temperatura de processamento em 150°C provavelmente não afeta a estabilidade térmica do composto (VERNEY *et al.*, 2008).

Os autores utilizaram tratamentos químicos tais como a mercerização nas fibras e o polipropileno enxertado com anidrido maleico (MA-g-PP) como agente de acoplamento na preparação dos compósitos. Estes tratamentos foram realizados para promover a maior adesão interfacial entre as fibras e a matriz, de modo que o desempenho mecânico dos compósitos resultantes pudesse ser melhorado. O MA-g-PP pode ser utilizado para melhorar o desempenho do processamento, a resistência ao impacto e a estabilidade dimensional além de reduzir a absorção de água (YHHG, 2013). Após a obtenção dos compósitos biodegradáveis com diferentes teores de fibras, os mesmos foram caracterizados.

6.1.4 Caracterização

Na pesquisa realizada por Harnnecker *et al.* (2012) foram caracterizados o biopolímero puro e com 5, 15 e 20% em peso de fibras de curuá. Os resultados da caracterização apontam que a adição das fibras promoveu um aumento na resistência a forças mecânicas do material. Deste modo, os compósitos com 20% de fibra e tratados com 2% em peso de MA-g-PP apresentaram um aumento de 23% na dureza, 75% na resistência à tração, e aumento de 56% na resistência à flexão, além da melhoria da resistência ao impacto em relação ao biopolímero puro.

Os ensaios de absorção de água mostraram que a presença de fibras aumentou a absorção de água, mas com a incorporação de MA-g-PP houve a redução do nível de umidade do compósito. Segundo Harnnecker *et al.* (2012), provavelmente isso contribuiu para os valores mais elevados de massa retida dos compósitos nos ensaios de biodegradação, os quais mostraram que a adição de fibras retarda o tempo de degradação. Assim, a perda de massa do compósito com 20% em peso de fibra foi de 68% em 210 dias no teste de degradação em solo.

Para os autores, os resultados do desenvolvimento e caracterização dos compósitos biodegradáveis corroboram com o emprego de biocompósitos como alternativas aos polímeros não biodegradáveis. Assim, podem ser utilizados em uma gama de aplicações, tais como embalagens de alimentos, e produtos moldados por injeção que sejam descartáveis ou de curta duração.

6.2 Compósitos biodegradáveis à base de biopolímero PBAT e PLA com fibras de curauá sob a ótica de designers de produto

A fim de verificar as características estéticas, simbólicas, práticas dos compósitos desenvolvidos no estudo de Harnnecker *et al.* (2012) foram realizadas entrevistas com roteiro semi estruturado com designers de produto. Assim, as amostras dos compósitos biodegradáveis foram avaliadas a partir da percepção de designers, a fim de traçar o perfil dos compósitos biodegradáveis.

6.2.1 O perfil dos compósitos biodegradáveis

Os materiais distinguem-se uns dos outros por possuírem características particulares. Dessa forma, possuem atributos que podem ser definidos como características tangíveis e intangíveis, em que aquelas, constituem o perfil objetivo ou técnico que visam quantificar o comportamento quanto aos atributos físicos, mecânicos, térmicos e outros, assim, podem ser mensurados e possuem valores exatos. Já os atributos intangíveis, são características que definem o perfil subjetivo dos materiais, como, as questões relacionadas com a estética e o simbólico percebido pelas pessoas, estes atributos precisam ser compreendidos em termos socioculturais na medida em que são construídos socialmente, (DIAS, 2009; ASHBY e JOHNSON, 2010). A figura 40, mostra os atributos tangíveis e intangíveis identificados nos discursos dos entrevistados.

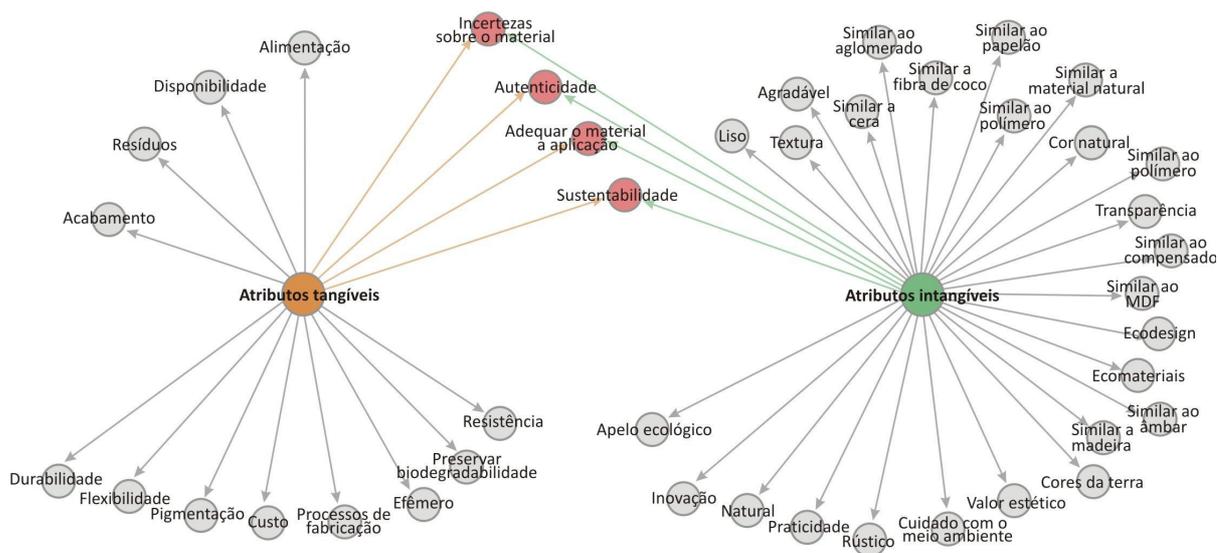


Figura 40: Rede de atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos biodegradáveis revelados pelos designers de produto. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

Segundo os autores supracitados, fazem parte dos atributos tangíveis os aspectos técnicos como as propriedades dos materiais e os processos de fabricação, aspectos ambientais como a disponibilidade dos materiais, o uso de recursos naturais, impactos da extração de recursos, conteúdo energético, conteúdo de material reaproveitado, uso de materiais locais, uso de materiais

renováveis, resíduos e emissões, potencial de reaproveitamento, aspectos econômicos, entre outros. No que tange aos aspectos intangíveis relacionados aos compósitos biodegradáveis, a figura 41 mostra a rede de atributos que emergiram das entrevistas com os designers de produto. Os atributos concentram-se em aspectos técnicos, como os processos de produção, acabamentos superficiais principalmente a possibilidade de pigmentação, em que há a preocupação com a preservação da biodegradabilidade do material, a durabilidade e a disponibilidade, que se relacionam a incertezas sobre o material, além da relação com o ecodesign, a sustentabilidade, o uso de resíduos da biomassa, a utilização de recursos da biomassa para a produção de materiais que são úteis para a alimentação, e aspectos econômicos, que culminam nos atributos tangíveis dos compósitos biodegradáveis, os quais fazem parte do perfil destes materiais.

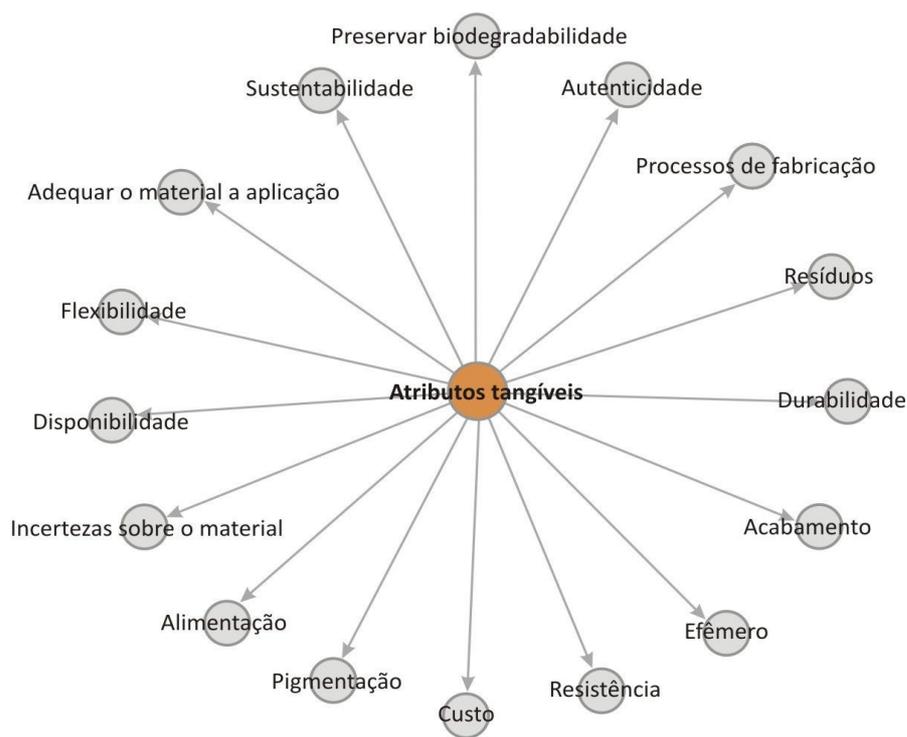


Figura 41: Rede de atributos tangíveis dos compósitos biodegradáveis revelados pelos designers de produto. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

Em relação aos processos de produção, os designers consideram o processo de injeção como sendo positivo para os compósitos. Conforme Lourdin *et al.*, 1999, os equipamentos utilizados para o processamento destes materiais são os mesmos que os utilizados para processar polímeros sintéticos, o que pode facilitar o uso dos compósitos biodegradáveis. Os seguintes depoimentos ilustram esta percepção:

“Bom além do fato de ser biodegradável que isso já agrega dependendo do produto, acho que a questão estética mesmo, e a questão produtiva, o fato dessa produção ser por injeção por ser fácil então ele não seria um material difícil de ser utilizado e ele agregaria esteticamente mesmo a um produto, traria essa sensação de natural.” (Designer D4)

“É, eu acho que a parte técnica de injeção só, injetado e extrudado, se usar o processo é bem mais caro, não vale a pena a não ser que precise algum detalhe (...) dependendo dá para resolver na própria injeção, economiza o processo.” (Designer D6)

Interligado com a questão dos processos de produção, os designers demonstram incertezas quanto ao uso de compósitos biodegradáveis em produtos. Conforme Ashby e Johnson (2010), um novo material pode oferecer oportunidades e riscos para os designers, sendo que as oportunidades podem derivar de novas e aperfeiçoadas técnicas ou comportamentos estéticos, os riscos, podem estar relacionados a caracterização incompleta e na ausência de experiência de projeto e de manufatura. Desta forma, as dificuldades encontradas pelos designers no uso de compósitos biodegradáveis podem estar associadas principalmente por ser um novo material e assim, ainda não estarem completamente caracterizados, e pelo fato dos designers não estarem acostumados a desenvolver projetos com este tipo de material, ou seja, com materiais biodegradáveis.

Os compósitos tiveram uma boa aceitação dos entrevistados pelo fato de simpatizarem com a estética, no entanto, eles mostraram-se preocupados em conhecer o material, além da aparência, como as propriedades físicas, durabilidade, biodegradação, além da disponibilidade e custo, para posteriormente estabelecer de forma efetiva as aplicações em que estes materiais poderão ser utilizados. Os seguintes depoimentos salientam este entendimento:

“Pensaria na proposta, exatamente! Teria que analisar outros fatores, questões de preço, questões de produção, disponibilidade, mas utilizaria sem problema.” (Designer D4)

“Eu teria que conhecer mais o material para ver realmente o que daria para fazer, pela questão estética daria para fazer muita coisa.” (Designer D14)

“Sim, utilizaria, claro que eu iria ver a resistência dele, como ele é na superfície, todas as questões físicas, analisar para ver se ele é adequado ao projeto.” (Designer D5)

Estes relatos expressam a preocupação dos designers em conhecer e compreender os compósitos biodegradáveis. Lesko (2004) destaca que para os projetistas, é necessária a compreensão dos materiais e métodos de fabricação, a fim de criar produtos bem-sucedidos. Para Ferrante e Walter (2010), o conhecimento da área de materiais pode abrir possibilidades para o designer em sua atuação profissional. Desta forma, a necessidade de compreensão dos materiais por parte dos designers esta de acordo com o entendimento destes autores, pois, é importante conhecer os materiais para determinar as possibilidades de aplicação.

Neste contexto, os designers demonstram interesse no uso de compósitos biodegradáveis, no entanto, há dúvidas quanto à disponibilidade do material, pois trata-se de um novo material. Estes materiais encontram-se em fase de pesquisa, em que busca-se principalmente a melhoria de suas propriedades (MOHANTY et al., 2005). Desta maneira, isto indica que os designers estão cientes da situação destes materiais, ou seja, que ainda estão sendo investigados. A disponibilidade destes materiais, do ponto de vista dos designers esta diretamente relacionada com o custo, o que está de acordo com o autor, pois os biopolímeros ainda são caros, e a adição de fibras é uma forma de diminuir o valor monetário destes materiais, além de melhorar as suas propriedades. Os seguintes depoimentos referem-se à disponibilidade e ao custo dos compósitos biodegradáveis:

“Sim, tendo a disponibilidade do material (...) vários materiais que são criados e nós não temos acesso, ou são caros.” (Designer D11)

“Até porque as pesquisas eu acredito que estão no início, então o material ainda seria caro para dizer que seria interessante utilizar, pelo preço, pela disponibilidade, facilidade, mas pelas questões ambientais acho muito bom, muito válido.” (Designer D4)

Além da disponibilidade e do custo, os entrevistados demonstram incertezas quanto a durabilidade dos compósitos biodegradáveis. De acordo com John e Tomas (2008) e Kuciel *et al.* (2010) os compósitos biodegradáveis podem durar por vários anos em aplicações de interiores sempre que não estejam em ambientes com alta umidade. Em consonância, a percepção dos designers revela que o contato com a umidade pode ser prejudicial ao material, assim, consideram uma restrição de projeto que deve ser levada em consideração no desenvolvimento de produtos:

“Eu acho que biodegradável só vem a ser uma característica positiva, claro que usar em áreas externas em áreas com umidade não seria o ideal, então vai ter essa restrição de projeto, mas acho que é muito válido.” (Designer D5)

“Depende do produto (...) mas é interessante ele ser rígido, eu consigo ver em mobiliário, e os processos parecem ser acessíveis também, mais isso teria que entrar mais profundo, se realmente ele poderia ser usado em um ambiente muito restrito, questões de umidade, quanto tempo ele duraria, então teria que na verdade ver para analisar.” (Designer D8)

As amostras dos compósitos apresentadas aos designers foram caracterizadas por Hannercker *et al.* (2012) em relação a degradação. Nestes ensaios as amostras foram enterradas em solo, como resultado, apontam que em 210 dias ocorreu a perda de 68% de massa. Além disso, mostram-se resistentes quando acondicionadas em locais secos, pois a publicação do artigo ocorreu em 2012 e até a presente data, julho de 2013, aparentemente as amostras não apresentam sinais de degradação.

Devido à biodegradabilidade dos compósitos biodegradáveis, os designers associaram estes materiais a uma vida breve e a efemeridade. Por este motivo, remeteram os compósitos biodegradáveis a aplicações que possuem curto prazo de vida útil, e assim, podem representar uma maneira imediata para minimizar os

impactos ambientais provocados por materiais sintéticos, conforme os seguintes relatos:

“(...) eu acredito que seja uma alternativa, pelo menos para o momento agora, muito mais interessante do que essa quantidade de material que tem sido descartada, então, ele é interessante mas não a longo prazo.” (Designer D13)

“É de uma forma ampla eu apoio o uso, é uma forma mais sustentável, mas também vai depender bastante do uso(...) acho que é um material que pode ser utilizado talvez em diversos ramos do design, tu não vai utilizar ele em algo que seja muito duradouro, mas tudo que tiver a obsolescência programada já é mais benéfico utilizar esse tipo de material do que um material que não é biodegradável (...) justamente porque ele pode sumir, não ficar para sempre lá no lixo, duradouro.” (Designer D10)

De acordo com Manzini e Vezzoli (2002) a vida útil dos materiais confere o tempo de duração de um produto e seus materiais em condições normais de uso. A análise acerca da vida útil depende do produto e a relação com alguns aspectos, como a previsão do tempo de vida de um produto, a quantidade de uso, o tempo de duração das operações ou o tempo de armazenamento. Quando a vida útil de um produto chega ao fim, ele é eliminado. Segundo os autores, as principais razões que causam a eliminação dos produtos são:

- A degradação de suas propriedades ou a fadiga estrutural, causadas pelo uso intensivo;
- A degradação devido a circunstâncias naturais ou químicas;
- Os danos causados por incidentes ou uso impróprio;
- Obsolescência tecnológica;
- Obsolescência cultural e estética (os objetos da moda são os mais sujeitos a tal tipo de envelhecimento).

Deste modo, é possível considerar que a principal causa da eliminação de produtos produzidos com compósitos biodegradáveis poderá estar relacionada com a durabilidade destes materiais, a qual está associada com a biodegradação. No entanto, o fator de eliminação relacionado à obsolescência tecnológica, cultural e estética pode disseminar o uso dos compósitos em produtos que estão

susceptíveis a este tipo de eliminação. Segundo McCracken (2003), o consumidor é influenciado pelas tendências, moda, publicidade e por coisas que outras pessoas compram. Entretanto, é necessário analisar as possibilidades de aplicações, pois os compósitos precisam atender a requisitos funcionais, estéticos, práticos, simbólicos.

Para Manzini e Vezzoli (2002), é preciso projetar a durabilidade adequada para um produto. Desta maneira, projetar elementos que duram mais do que a vida útil do produto que fazem parte implica em desperdício, ou seja, a vida útil do produto deve ser a mesma de suas partes. Assim, a qualidade dos materiais e processos de fabricação dos componentes de um produto não pode ser superior à necessária, se um produto torna-se obsoleto rapidamente, não é lógico projetá-lo para ser durável. Os autores apontam indicações para conceber a duração apropriada para os produtos:

- Projetar períodos de vidas iguais para os vários componentes;
- Projetar uma vida útil dos componentes correspondentes à duração prevista para substituí-los durante o seu uso;
- Escolher os materiais duráveis considerando as serventias e a vida útil do produto;
- Evitar materiais permanentes para funções temporárias.

Neste contexto, a durabilidade a ser definida em um projeto depende do tipo de produto. Existem produtos que são desenvolvidos dentro desta perspectiva, como é o caso das joias, que são produtos símbolos da durabilidade, pois geralmente são produzidos com materiais precisos como o ouro e gemas, e são passadas de gerações para gerações. No entanto, em se tratando de embalagem, a maioria possui descarte quase que imediato após a compra.

Em relação aos compósitos biodegradáveis, tratam-se de materiais de vida breve, devido ao fato de serem biodegradáveis, em comparação a outros materiais como os polímeros e metais. Assim, a durabilidade destes materiais pode restringir o seu uso, em que é necessário analisar o tipo de produto para que esteja adequado ao emprego dos compósitos.

Outra dúvida dos entrevistados foi em relação ao acabamento superficial dos compósitos biodegradáveis. Conforme foi observado, a opinião dos designers é

favorável ao acabamento das amostras, com preferência principalmente aos tons mais escuros, entretanto, sugerem que o polimento pode melhorar o acabamento da superfície dos materiais.

“É eu achei bem interessante a textura e o visual dele, eu não sei como seriam os acabamentos nele, quanto tu pode polir, eu achei ele bem interessante, eu tenho preferência por tons escuros então por isso que me chama mais atenção o escuro, mas eu acho que se tem a possibilidade de atribuir um acabamento, de polir, poderia ficar bem interessante no projeto.” (Designer D11)

“Eu acho que tem um bom acabamento, o tátil pelo menos, mas também se tu for vender como um produto biodegradável, até essa questão tem tudo a ver com o conceito do produto então é interessante que tenha essa fibra aparecendo, porque por mais que ela seja aparente não é nada que tu vai sentir.” (Designer D13)

“(…) parece liso, está com acabamento bom para quando precisar polir.” (Designer D7)

Outra questão levantada pelos entrevistados em relação ao acabamento dos compósitos biodegradáveis, referiu-se à possibilidade de pigmentação destes materiais. Apesar dos designers expressarem simpatia em relação às cores das amostras dos compósitos, os mesmos indicam a necessidade de variação da cartela de cores para além das disponíveis para ampliar o leque de aplicações, no entanto, se o conceito a ser trabalhado em um produto remeter ao ecológico, as cores estão de acordo com o projeto. Cabe esclarecer, que as cores das amostras são resultantes da quantidade de fibras contidas em cada uma, assim, quanto maior a percentagem de fibras, mais escuro torna-se o material. As seguintes falas ilustram a questão da pigmentação.

“Possivelmente saber mais, pesquisar a respeito da coloração, de poder obter outras cores, não sei qual seria o processo, uma forma de pigmentar para variar a tua cartela de cores, não sei se existe essa possibilidade de pigmento biodegradável que não seja tóxico, mas isso é só para variar a tua cartela, mas assim como ele está se a tua proposta é eco ele está em uma cartela boa e permite ver a fibra que é o que eu acho mais interessante.” (Designer D10)

“Pelos cores que estão aqui se for usado assim para fazer alguma coisa mais rústica, ou procurar algum corante que também seja biodegradável para pigmentar, talvez conseguir cores mais escuras não tão vivas pelo tipo de material, mas se pigmentar ele dependendo é possível mudar bastante e a questão de acabamento também depende do tipo de injeção que foi feito.” (Designer D6)

“O visual me agradou muito, eu consigo imaginar ele em um muitas aplicações, só que talvez eu gostaria muito de tentar entender como a aplicação de produtos também biodegradáveis que servissem de acabamentos, como ele se comportaria utilizar uma tinta biodegradável, ou colocar na própria massa dele algum óxido, algum pigmento.” (Designer D9)

A partir dos relatos dos entrevistados, outro ponto aludido em relação ao acabamento, correspondeu à preocupação da pigmentação não afetar a biodegradabilidade do material. Desta forma, a sugestão dos designers seria utilizar uma forma de pigmentação que também seja biodegradável e, além disso, que não seja tóxica. Os compósitos biodegradáveis das amostras apresentadas aos entrevistados não foram testadas quanto a pigmentação. Durante o mapeamento de estudos que desenvolveram e caracterizaram compósitos biodegradáveis não foram encontradas ensaios relacionados à pigmentação destes materiais. A possibilidade de pigmentação pode ser o foco de estudos futuros, principalmente para viabilizar novos comportamentos estéticos desta família de materiais, levando em consideração a biodegradação. Assim, os designers entrevistados indicam a importância de preservar a característica do material ser biodegradável no projeto de produto:

“Eu acho muito interessante, o que seria o grande problema dessa questão é que por exemplo tu vai trabalhar a aplicação desse material num produto maior, vamos dizer uma estante, o que me preocupa é que os designers não estejam preparados para trabalhar com esse material e queiram conferir acabamento, porque tudo dentro da nossa indústria de produtos tem acabamento, então a estante ela é de MDF mas ela é lacada (...) então não adianta utilizar um material biodegradável se for esmaltar ele, eu acho que tem que criar essa consciência, então por isso é importante conhecer o que está usando.” (Designer D9)

De acordo com Vilaplana *et al.* (2010), a melhor opção para o fim do ciclo de vida dos compósitos biodegradáveis até o momento é a compostagem, que pode ser uma vantagem em relação aos materiais de origem sintética. Desta forma, torna-se importante manter a biodegradação destes materiais no desenvolvimento de produtos. Segundo Manzini e Vezzoli (2002), no projeto de produtos que visam a compostagem devem ser utilizados materiais que sejam compatíveis com a biodegradação. Desse modo, os autores apresentam indicações para facilitar a compostagem, como:

- Usar materiais degradáveis em relação ao ambiente de despejo;
- Evitar a inserção de materiais não biodegradáveis nos produtos destinados à compostagem;
- Facilitar a separação dos materiais não biodegradáveis.

Em sintonia, os entrevistados indicam estar cientes da preservação da biodegradabilidade de um produto quando mencionam que:

“Sim, com certeza, essa questão da preocupação ecológica, que em outro material não existe, isso pode ser o diferencial, com certeza é o diferencial, tem a mais do que os outros (...) este é o nicho do mercado que se preocupa com o lixo, o descarte, claro que sempre que se utiliza esse tipo de material, tem que se pensar todo o projeto para que seja também no mesmo pensamento, não adianta usar o compósito com o termofixo, uma parte do objeto vai ser um termofixo, não faz sentido.” (Designer D10)

“(...) em uma primeira impressão achei bom ele puro, mas posteriormente se eu fosse trabalhar muito com ele eu iria querer variações dele, tentar mudar, verificar o potencial máximo dele não perdendo essa questão de ser biodegradável, sempre seguir nessa linha.” (Designer D9)

Estes depoimentos expressam que devido ao fato dos compósitos serem biodegradáveis, o emprego destes materiais no desenvolvimento de produtos sugere que o projeto precisa ser realizado dentro desta perspectiva, que está relacionada com questões ecológicas. Dessa forma, essa evidência tem relação com o ecodesign, já que este consiste em um modelo projetual que é orientado por critérios ecológicos, ou seja, refere-se ao ato de projetar com a preocupação

voltada principalmente para o meio ambiente em todo o ciclo de vida do produto buscando reduzir agressões ao ecossistema através da utilização de materiais e processos de fabricação que facilitem o descarte, o reuso, a desmontagem e a reciclagem dos materiais e dos produtos (ESCOREL, 1999; MANZINI; VEZZOLI, 2002). Assim, o desenvolvimento de produtos com o emprego de compósitos biodegradáveis, pela ótica dos entrevistados, situar-se no contexto do ecodesign.

Vilaplana *et al.* (2010) descreve os compósitos biodegradáveis como materiais sustentáveis em termos da utilização de recursos renováveis como matérias-primas, com baixa toxicidade e biodegradabilidade, em contraposição aos tradicionais polímeros e compósitos sintéticos. Em relação a baixa toxicidade e a biodegradabilidade destes materiais, os designers mostram-se preocupados em manter estas características no desenvolvimento do produto, pois, como foi comentado, eles aproximam o uso dos compósitos biodegradáveis ao projeto orientado por critérios ecológicos, ou seja, pelo ecodesign.

Na perspectiva da sustentabilidade, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002), as reservas dos recursos para a produção de alguns materiais são limitadas em comparação a outras, por outro lado, existem materiais que apresentam-se como sendo mais ou menos renováveis. Segundo Vilaplana *et al.* (2010), é imprescindível a utilização de recursos renováveis. Desta maneira, os materiais utilizados na produção dos compósitos biodegradáveis são predominantemente de recursos renováveis, isto é, a matriz é constituída por 45% de matéria-prima proveniente do milho e o reforço dos compósitos são fibras vegetais de curauá. No entanto, esta matéria-prima não é oriunda de resíduos, mas sim, precisa ser produzida e beneficiada, para posterior processamento para ser utilizada como matéria-prima para os compósitos biodegradáveis.

Conforme os autores, os compósitos biodegradáveis podem colaborar com a proteção ambiental principalmente por serem biodegradáveis, o que reduz o tempo de decomposição em aterros sanitários dos produtos, por serem provenientes de fontes renováveis e as fibras geralmente são oriundas de resíduos da agroindústria. Neste ponto, os entrevistados posicionaram-se em prol do uso de matéria-prima proveniente do descarte de resíduos para a produção de compósitos biodegradáveis:

“Seria mais interessante a casca de arroz que é um resíduo que vai para o lixo, uma palha de milho, alguma coisa assim, tem coisas que sobram toneladas.” (Designer D14)

Relacionada a questões do uso de matéria-prima de fontes renováveis para a produção dos compósitos biodegradáveis, está a questão desta matéria-prima ser útil para a alimentação. Conforme Shen *et al.* (2009), a demanda por materiais verdes pode distorcer o mercado de alimentos na medida em que for utilizada terra para a produção de matéria-prima para a indústria de materiais. No entanto, Vilaplana *et al.* (2010) propõe que a matéria-prima proveniente da biomassa que destina-se a fabricação de materiais, deve ser selecionada de modo que não interfira nos custos de fornecimento de alimentos. Assim, a produção de alimentos precisa ser priorizada em detrimento a fabricação de materiais para a produção de bens de consumo. Contudo, materiais provenientes de recursos naturais podem ser benéficos em relação à minimização dos impactos ambientais, porém, no tocante a questões alimentares precisa haver um cuidado para não prejudicar o fornecimento de alimentos. Deste modo, é necessário selecionar a matéria-prima, em que podem ser utilizados resíduos provenientes da agroindústria, vegetais que não são utilizados para a alimentação e até mesmo produtos alimentícios que não são apropriados para este fim, os seguintes depoimentos salientam este entendimento:

“Tem que ver para não tirar isso da mesa da população e não só as questões ambientais...” (Designer D13)

“Claro que é válido pelo fato de ser biodegradável, só que ao mesmo tempo, a batata é boa para comer e é cara. Eu não sei o que seria mais barato, porque a exploração do petróleo é muito complicado também, teria que selecionar o que não pode ser vendido, ter uma distinção, eu acho que tem ainda um preconceito com isso, fazer objetos de amido de batata e ao mesmo tempo tem gente passando fome.” (Designer D14)

Portanto, os atributos tangíveis dos compósitos biodegradáveis a partir do ponto de vista de designers de produtos enfocam questões relacionadas a processos de fabricação, acabamento superficial, pigmentação, em que são expressas incertezas sobre o comportamento do material nestes pontos, além da durabilidade, em que aludem a efemeridade dos materiais, ou seja, materiais de

curto prazo, e a disponibilidade e custo. Além disso, nos relatos dos designers existe a preocupação em manter a característica da biodegradabilidade dos materiais frente ao seu uso. Ainda, relacionam os compósitos biodegradáveis ao ecodesign, por tratar-se de um método orientado por critérios ecológicos, a sustentabilidade, e a questão de utilizar matéria-prima que pode ser útil para a alimentação, o que implica na seleção da matéria-prima para a produção dos materiais, principalmente o uso de resíduos da agroindústria. Estes foram os principais aspectos relacionados aos atributos tangíveis abordados pelos designers como tendo relação direta com a determinação de aplicações mais adequadas para os compósitos biodegradáveis. No entanto, para a definição das aplicações, é necessário conhecer os aspectos relacionados aos atributos intangíveis para a análise efetiva da viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis.

De acordo com Reis (2003), a forma de um produto precisa ser determinada, não apenas pelas propriedades físicas do material, mas igualmente, pelo estilo de representação de uma cultura, no sentido de que os diversos valores semânticos e simbólicos tenham a compreensão adequada dos materiais. Assim, os materiais exercem influências sobre a configuração dos produtos, pois a forma de determinado produto é dependente do material, de suas características tangíveis e intangíveis.

Neste intento, como atributos intangíveis, Dias (2009) e Ashby e Johnson (2012) elencam aspectos relativos às questões estéticas, práticas e simbólicas. Assim, os atributos intangíveis destacados pelos designers foram analisados a partir da visão destes autores. Conforme pode ser observado na figura 42, estes aspectos centram-se em características estéticas dos materiais, como cores, transparência, textura, questões relacionadas a praticidade, como a limpeza, e outras associadas aos aspectos simbólicos que dizem respeito ao apelo ecológico, a sustentabilidade, aos ecomateriais, aos materiais similares.

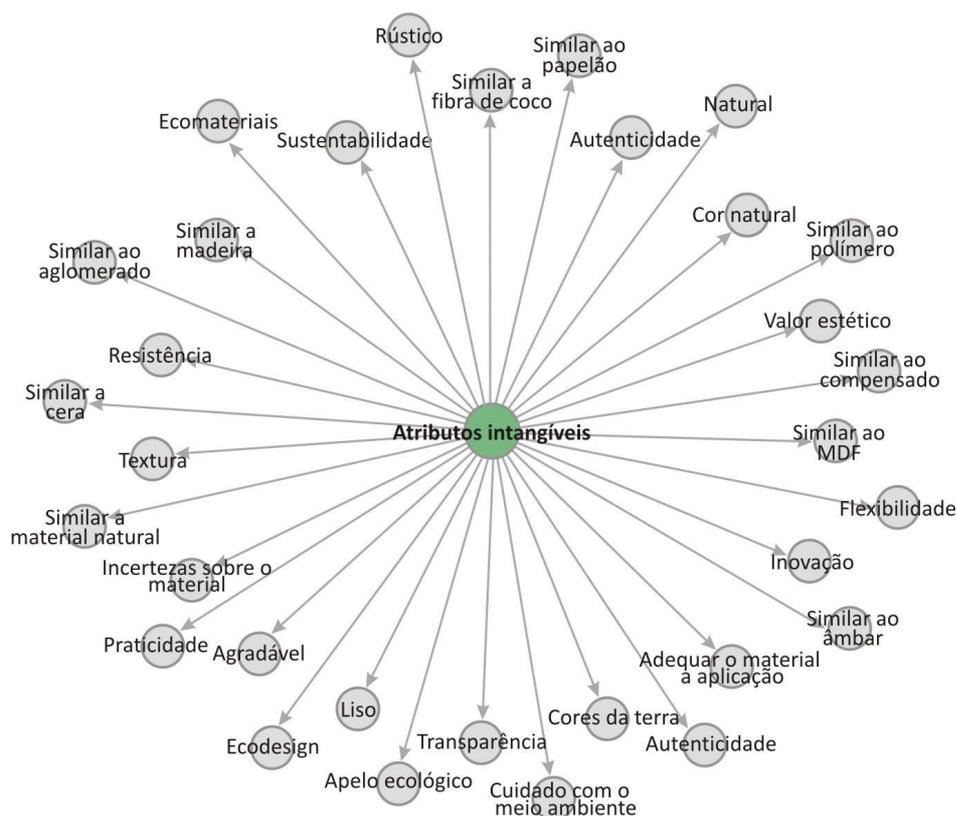


Figura 42: Rede de atributos intangíveis dos compósitos biodegradáveis mencionados pelos designers de produto. Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

Em relação à estética dos materiais, esta pode ser percebida através dos sentidos, e configura-se na forma, textura, transparência, brilho, cheiro dos materiais e outros, Dias (2009). Desta maneira, no que tange aos aspectos relacionados com a estética dos compósitos biodegradáveis, os entrevistados destacam a transparência das amostras, em que associaram a amostra A como sendo a mais transparente, a B intermediária e a C como sendo a menos transparente. Devido ao fato da matriz dos compósitos ser transparente, na medida em que são adicionadas as fibras ocorre à diminuição desta característica, assim, a amostra A contendo 5% de fibra é mais transparente e a amostra C contendo 20% de fibras é a menos transparente. Os designers associaram a transparência das amostras a resistência do material, em que a amostra A, a mais transparente, como sendo a mais frágil, ao passo que quando aumenta-se a quantidade de fibras, ocasiona na diminuição da transparência e o material aparenta ser mais resistente. A percepção dos designers vai ao encontro com os

ensaios de tração realizados no estudo de Hannecker *et al.* (2012), em que a maior quantidade de fibras aumenta a resistência à tração. Os depoimentos a seguir expressam esta percepção:

“Eu acho que isso está um pouco ligado com essa a estética, (...) o A é mais translúcido, ele tem menos fibras, acho mais interessante esse que tem 15%, ele fica com uma cor mais clarinha o que torna possível ver a fibra, ele é intermediário, mas depende, porque se ele tem mais fibra é mais resistente e é melhor que seja assim, então depende da aplicação, mas é uma proposta bem interessante de qualquer aspecto.” (Designer D12)

“A textura é bem suave, ele (A) é um pouco translúcido (...) esse segundo aqui (B) está lembrando um pouco madeira, é possível ver que ele tem mais fibras. Esse aqui (A) remete a fragilidade por ser translúcido, esse aqui mesmo ele tendo a mesma textura parece um pouco mais resistente.” (Designer D3)

A característica da transparência agradou os designers principalmente pelo fato de aparecerem as fibras, que segundo eles, permite mostrar o que o material realmente é. Deste modo, a aparência do material está relacionada à autenticidade, já que mostra o que ele é, assim, as fibras visíveis é uma característica valorizada pelos designers, o que pode estar associado a outras características, como as simbólicas que serão discutidas na sequência. Este entendimento é expresso no seguinte depoimento:

“Acho interessante as fibras aparecendo, por isso, é possível ver o que é o material. Essa (B) aqui aparece mais, e essa (C) é mais escura, mas essa (B) aparece mais, acho que me agrada mais essa aqui (B), acho interessante as fibras aparecendo, esse aqui (C) é mais chapado. (Designer, D5)

Conforme Dias (2009), no processo de interação do usuário com o material, cada órgão dos sentidos é capaz de proporcionar diferentes sensações. A autora explica que a modalidade tátil é um importante sistema na interação usuário-produto nos fatores como o conforto, a satisfação e preferências, pois, cada material, com suas propriedades, pode induzir o usuário a uma percepção que é única e particular. Desse modo, a percepção sensorial dos designers relacionada à

modalidade tátil causa a sensação de agradabilidade, que pode estar associada a superfície lisa e encerada das amostras dos compósitos biodegradáveis:

“Parece liso, como se fosse recoberto com algum tipo de cera e depois polido aqui.” (Designer D7)

“Eu acho que ele é liso, agradável.” (Designer D15)

“Ele tem uma textura boa, não é gelado, tem um toque suave por não ser possível sentir as fibras, tu só consegue saber que é de fibra quando tu olha.” (Designer D14)

A partir destes relatos, a sensação dos designers em relação à superfície lisa e encerada das amostras, pode ser pelo fato dos materiais serem constituídos por matriz biopolimérica. O processamento do material foi realizado de modo que as fibras ficaram totalmente envolvidas pelo biopolímero, assim, as fibras não estão expostas, tornando a superfície lisa, o que pode justificar a sensação agradável do toque. Ainda em relação à superfície dos compósitos biodegradáveis, os designers associaram uma textura visual e outra tátil, em que a primeira remete a materiais naturais, em específico a madeira, e a segunda ao polímero. Provavelmente, o fato da textura visual remeter a madeira pode ser devido a presença de fibras vegetais aparentes no material e pela coloração das mesmas. Já a textura tátil, pode estar associada ao polímero pelo fato do biopolímero possuir semelhança com os polímeros sintéticos. Os depoimentos a seguir expressam tal percepção:

“A uma fonte natural, pela cor e pelas partículas internas, mas mais pela cor, porque pelo tato não remete ao natural. A textura é de polímero e o visual natural, de madeira.” (Designer, D3)

“(...) pelo toque ele me parece um polímero, plástico (...) possui partes meio transparentes, translúcidas, fibrosas, o visual remete ao natural, o toque remete ao sintético.” (Designer, D4)

“Poderia explorar mais a textura, apesar de já ter uma textura visual que é induzida pela fibra, é interna.” (Designer D10)

De acordo com Dias (2009) e Ashby e Johnson (2012), os atributos práticos relacionam-se ao uso do produto, tais atributos podem ser descritos como a usabilidade, ergonomia, conforto, segurança, limpeza e higiene, saúde, qualidade, desempenho, confiabilidade, resistência. Desta forma, a sensação de agradável relatada pelos designers, pode ter proximidade com o conforto, pois segundo os entrevistados o material não parece ser frio e nem áspero, assim, um produto constituído com compósitos biodegradáveis pode remeter ao conforto tátil e visual.

A praticidade dos compósitos biodegradáveis foi bastante comentada pelos entrevistados, em que a relacionam principalmente a produção do material e a limpeza. Devido ao fato do processamento do material ser feito pelo método da injeção, os designers associaram como sendo um material fácil de ser utilizado. Quanto à limpeza, a percepção dos entrevistados é que pode ser um material fácil de limpar em virtude de apresentarem a superfície lisa. Os seguintes relatos salientam este entendimento:

“Por ele ser injetado acredito que ele possa ser utilizado facilmente (...) quanto ao acabamento é liso suficiente para me passar essa questão de praticidade.” (Designer D4)

“Em relação á limpeza parece ser fácil, é bem lisinho, não é rugoso por causa da fibra.” (Designer D12)

No que diz respeito ao desempenho dos compósitos biodegradáveis, os designers interligam o material a uma boa resistência mecânica, no entanto, apresentam uma certa flexibilidade. Os valores da resistência a tração, verificados no estudo Harnnecker *et al.* (2012) são semelhantes aos valores da resistência a tração de materiais poliméricos e naturais, desse modo, podem ter desempenhos parecidos com estes materiais. O estudo também aponta que quanto maior a quantidade de fibras maior é a resistência do material, assim, a amostra C é a mais resistente em comparação a A e a B, que possuem menos fibras. Na percepção dos designers, a amostra C é a mais resistente, em seguida a B, e a A parece ser a menos resistente. De acordo com os entrevistados, a resistência aparente destes materiais é positiva e facilita o uso em produtos:

“Só de ter essa resistência é fantástico, pode-se usar para muitas aplicações.” (Designer D7)

“As amostras são rígidas mas ao mesmo tempo elas possuem uma certa flexibilidade.” (Designer D14)

“O C é um pouco mais rígido, o B é intermediário e o A é um pouco mais flexível” (Designer D6)

No que refere-se à perspectiva simbólica dos materiais, para Dias (2009) e Ashby e Johnson (2012), pode estar relacionada com aspectos sociais, que estão sujeitos a variações culturais e societárias, a experiência do indivíduo, as diferenças individuais e dos valores de cada um e da coletividade, assim, a dimensão simbólica dos materiais pode ser expressa por meio de atributos como, identidade, memória, cultura, natural e artificial, autêntico e imitação, artesanal e industrial, valores, associações e outros. Além disso, conforme os autores existem outras influências que afetam a percepção dos materiais, como a idade, o gênero, o estilo de vida, tendências, estilos de design e influências culturais.

Segundo Niemeyer (2003), o design apropria-se de significados para tornar os produtos reconhecíveis por determinada cultura. Para isso, são utilizados artifícios a partir de elementos como: forma, cor, texturas e materiais para atribuir significados aceitos e compreensíveis para os usuários. Desta forma, a percepção dos designers em relação aos aspectos simbólicos dos compósitos biodegradáveis centra-se nas cores que remetem ao natural e a materiais naturais, na associação com o estilo rústico e o apelo ecológico devido a aparência destes materiais, a sustentabilidade, o cuidado com o meio ambiente, e a materiais semelhantes.

Para Dias (2009), a utilização estratégica dos materiais pode ser uma das maneiras mais influentes de que os designers podem valer-se para comunicar e criar conexões emotivas entre os produtos e os usuários. Deste modo, os aspectos simbólicos são extremamente relevantes no desenvolvimento de produtos. No que diz respeito aos compósitos biodegradáveis, os designers associaram o material a um forte valor estético, pelo fato do material poder agregar valor a um produto, que está associado à característica de remeter ao natural:

“Eu acho bonito, esse efeito translúcido é interessante, acho que a aplicação desse material em um produto agregaria um valor por essa característica que ele tem, um valor estético (...) O que me chama mesmo mais atenção é o visual, o tato é bem mais comum porque me remete ao polímero, mas esse visual é bem diferente do que eu já tinha visto.” (Designer D4)

“Acho que seria a questão do material, o fato dele ser biodegradável também poderia ser utilizado, mas eu acho que mais essa questão dele ser natural e ter essa aparência diferenciada.” (Designer D11)

De acordo com a percepção dos designers, as cores dos compósitos biodegradáveis tem forte influência visual, que remetem ao natural pela presença aparente das fibras vegetais que possuem a coloração em tons terrosos. Dessa forma, a cor reporta à natureza, a sustentabilidade e ao ecodesign, pois, visualmente estes materiais estão alinhados em um contexto de design para a sustentabilidade. Segundo os entrevistados, a cor pode ser uma indicação para a característica da biodegradação dos materiais, as seguintes falas ilustram tal percepção:

“Acho que tem algo totalmente natural, natureza (...) uma leveza, meio ambiente, pelas cores da terra.” (Designer D2)

“Ecológico eu acho que é o que seria focado, porque questões de performance eu não sei o que poderia melhorar, mas é mais pelo apelo de ser um material natural, de ser biodegradável (...) se eu tivesse que fazer algum projeto que tivesse focado no ecodesign eu escolheria o C porque ele é mais escuro e remete mais a terra, a coisas naturais” (Designer D14)

“Acho que uma coisa mais rústica, que tem a ver com sustentabilidade, meio ambiente, é cor de terra, até o tom terroso lembra biodegradável.” (Designer D13)

Negrão e Camargo (2008) destacam que a cor é um elemento importante na identificação e associação dos produtos. Dessa maneira, geralmente, as cores associadas a produtos desenvolvidos dentro de uma perspectiva de design para a sustentabilidade são próximas as da natureza, como os tons de verde e marrom. Sendo assim, com o intuito de representar um conceito sustentável, muitos

produtos possuem coloração específica para este fim, como pode ser observado nos produtos da figura 43.

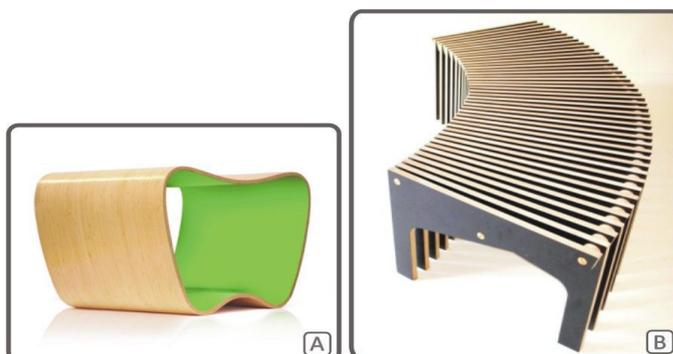


Figura 43: A) Banco Pequeno desenvolvido por Marko Brajovic e B) Banco Sinuoso desenvolvido por Augusto Citrangulo. Fonte: Marko Brajovic (2013) e Príncipe Marcenaria (2013).

O Banco Pequeno e o Banco Sinuoso ilustrados na figura 65, foram desenvolvidos a partir de um conceito ecológico. Em que o primeiro foi produzido a partir de um processo de laminação do painel de bambu, a parte interna foi pintada com verniz ecológico à base de água. Observa-se o uso intenso da cor esverdeada na parte interna do produto é uma estratégia para valorizar a estrutura e as relações espaciais do produto (MARKO BRAJOVIC, 2013). Já o segundo móvel, foi criado a partir de resíduos de chapas de MDF descartadas da linha de produção do setor moveleiro, possui acabamento em verniz a base de água. A forma das chapas gera um ritmo e junto com a tonalidade em marrom escuro proporcionam a sensação de movimento (PRÍNCIPE MARCENARIA, 2013). Desta forma, as cores destes móveis em tons marrom e verde, representam o conceito em que foram desenvolvidos, ou seja, o ecológico.

Neste contexto, a coloração dos compósitos biodegradáveis, em tons marrons, está associada com o desenvolvimento de produtos que relacionam-se à sustentabilidade, por valer-se do conceito ecológico, pelos materiais, acabamentos e cores. Além disso, a cor pode remeter ao rústico, assim, os designers apontam como aplicações para os compósitos biodegradáveis produtos que visam a rusticidade. A proximidade com rústico, pode estar associada as fibras, ao material remeter ao natural, além da cor em tons terrosos:

“Ele parece ser uma algo natural olhando, porque têm muitas incrustações, então acho que poderia usar em alguma coisa mais rústica ou com uma proposta de design sustentável.” (Designer D7)

Neste contexto, os compósitos são vistos como materiais associados a natureza e a sustentabilidade, pelo fato de serem biodegradáveis e oriundos de fontes renováveis, e assim, podem minimizar os impactos ambientais. Segundo Manzini e Vezzoli (2002), todos os materiais determinam certo nível de impacto ambiental, uns menos e outros mais. Neste sentido, os compósitos biodegradáveis, constituídos por matéria-prima renovável e biodegradável, podem ser considerados como parcialmente ecologicamente corretos, pois seus níveis de impacto ambiental são muito menores quando comparados aos compósitos sintéticos (MOHANTY *et al.*, 2000).

De acordo com Manzini e Vezzoli (2002), o designer tem um papel significativo na escolha e aplicação dos materiais empregados em um produto. Desta maneira, no desenvolvimento de produtos, quando existe a possibilidade, os designers podem optar por alternativas de baixo impacto ambiental. Em sintonia com tal pressuposto, os entrevistados consideram os designers como principais agentes responsáveis pelo emprego de materiais de baixo impacto ambiental nos produtos, conforme os depoimentos a seguir:

“Eu acho que é uma solução interessante para a questão ambiental que está bem preocupante atualmente (...) incorporar estas questões na seleção de materiais, visando o meio ambiente.” (Designer D12)

“Acho que temos que pensar nisso, porque é uma nova forma de utilizar o material e ajudar a natureza, cada vez mais com o passar dos anos a gente tem que pensar nisso.” (Designer D5)

Desta forma, os designers remeteram o uso dos compósitos biodegradáveis ao cuidado com o meio ambiente, devido à preocupação com as questões ecológicas. Esta constatação vai ao encontro do interesse de pesquisadores na investigação de compósitos biodegradáveis, que segundo Vilaplana *et al.* (2010),

tem crescido como resultado da preocupação ambiental e do esgotamento dos recursos fósseis, como pode ser demonstrado pelo número crescente de publicações sobre materiais biocompósitos.

Sendo assim, a associação do uso de compósitos biodegradáveis ao cuidado com o meio ambiente, pode estar associada principalmente pela facilidade de degradação destes materiais. Assim, isso constitui-se em uma vantagem para o descarte do produto, já que este material decompõem-se em um intervalo de tempo muito menor em comparação aos materiais sintéticos (MOHANTY *et al.*, 2005). No entanto, cabe salientar que segundo os designers, durante a utilização dos compósitos biodegradáveis é necessário manter a sua propriedade de biodegradação, conforme já discutido neste capítulo.

Os designers têm percebido que existe um forte apelo ecológico em torno de materiais que aparentam ser naturais. Deste modo, organizações utilizam o apelo ecológico a fim de promover os seus produtos dentro de uma perspectiva sustentável, assim, empregam materiais que remetem a aspectos ecológicos, como as cores, texturas, no entanto, o apelo, geralmente, fica restrito a aparência do material. Logo, os designers estão preocupados com a autenticidade destes materiais, ou seja, de que realmente sejam biodegradáveis e que não seja apenas uma forma de apelo a fim de comercializar o produto:

"Acho que é esse cuidado com a natureza que na hora que tu olha é a utilização de um material natural e nesse caso, depois de saber que é biodegradável parece que fica mais verdadeiro com essa questão do cuidado ambiental." (Designer D12)

"Se for biodegradável tem que ser biodegradável mesmo e não degradar o meio ambiente, que realmente ele acabe virando um adubo." (Designer D13)

"Eu acho válido o estudo de materiais biodegradáveis e com certeza hoje em dia existem muitas pessoas que usam esse rótulo de biodegradável e na verdade não é." (Designer D8)

É possível considerar que no discurso levantado pelos designers, estes remeteram os compósitos biodegradáveis principalmente a materiais naturais. Os

compósitos são constituídos por materiais de fontes renováveis com base no amido de milho e fibras de curauá, assim a aparência deles está associada aos materiais constituintes pelo fato de serem aparentes. A partir da observação das amostras, os designers fizeram referência a diversos materiais, principalmente os naturais, em que consideram semelhantes. A proximidade dos compósitos aos materiais naturais, relatada pelos designers, pode ser devido à presença aparente das fibras vegetais, da textura visual das mesmas e pela coloração terrosa:

“(...) estou vendo as fibras, por isso associo a natureza, a um material natural. Em um projeto de produto se ele ficar com essa aparência que ele está aqui pode ser interessante explorar esse ramo do eco até porque o público-alvo em geral vai ser esse se ele vai cumprir com os requisitos de projeto é o ideal.” (Designer D10)

Neste contexto, os designers associaram os compósitos biodegradáveis a materiais como a madeira, aglomerado, compensado, MDF, a fibra de coco, âmbar, papelão, cera, e ao polímero. A figura 44 apresenta imagens destes materiais e dos compósitos biodegradáveis para fins de comparação. A semelhança dos compósitos biodegradáveis com cada um destes materiais é justificada principalmente pela aparência e pela sensação tátil provocada por estes materiais.

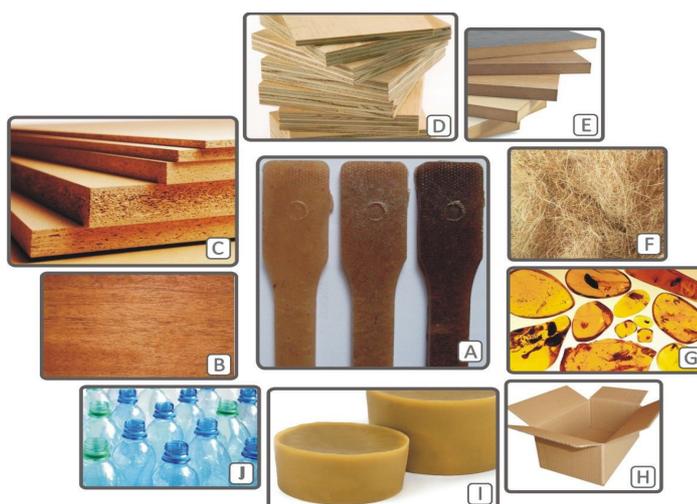


Figura 44: Materiais considerados semelhantes aos compósitos biodegradáveis pelos designers. A) Amostras de compósitos biodegradáveis, B) Madeira, C) Aglomerado, D) Compensado, E) MDF, F) Fibra de coco, G) Âmbar, H) Papelão, I) Cera, J) Polímero.
Fonte: Google imagens (2003).

No que diz respeito à madeira, segundo os entrevistados, a semelhança com os compósitos biodegradáveis refere-se principalmente ao visual, em que a coloração das fibras aproxima-se a da madeira. O aglomerado, o compensado e o MDF aparentam ser parecidos com os compósitos pelo fato das cores serem próximas e por conterem partículas que estão associadas às fibras dos compósitos.

Devido a transparência dos compósitos é possível visualizar as fibras de curauá. Dessa forma, os designers associaram os compósitos com as fibras de coco, por serem materiais naturais e parecidos visualmente. Além disso, relacionaram os compósitos as fibras de coco por serem provenientes de resíduos do descarte do coco e são utilizadas para o desenvolvimento de produtos. A associação com as fibras de coco, em específico, pode ser justificada pelo fato de que este material é mais comum em relação a outros tipos de fibras. Durante o mapeamento dos estudos que desenvolveram e caracterizaram compósitos biodegradáveis, grande parte concentra-se no uso de fibras de coco como reforço para os compósitos, o que pode estar associado ao fato deste material ser considerado um resíduo.

Outro material considerado parecido com os compósitos biodegradáveis é o âmbar. De acordo com os designers, o âmbar tem proximidade com estes materiais por ser um material natural, pela transparência, e por conter partículas no seu interior, no entanto, destacam que só a aparência tem proximidade, pois o toque não remete a material natural. O papelão também foi comentado pelo designers devido a cor remeter aos compósitos.

Em relação à sensação tátil dos compósitos biodegradáveis, os designers associaram a cera e a polímero. A percepção tátil remeteu ao material ser encerado, como se fosse recoberto por cera. Isso pode ser justificado pelo fato da matriz dos compósitos ser constituída por amido de milho, o que pode ocasionar a sensação da superfície do material estar encerada. No que se refere ao polímero, este parece ser semelhante aos compósitos pelo fato de serem translúcidos e a percepção sensorial do tato remeter aquele material, pois os designers indicam a textura tátil de polímero, além do brilho aparentar materiais poliméricos.

Os designers articularam o uso dos compósitos biodegradáveis as aplicações dos materiais semelhantes a eles. A semelhança dos compósitos com a

madeira remete ao emprego dos compósitos em móveis, assim como a semelhança com polímeros remete ao uso dos compósitos em produtos constituídos por polímeros:

“Ele lembra a madeira, eu associo ele para móveis por remeter a essa questão do MDF mesmo, compensado.” (Designer D9)

“Vai depender de quanto tempo ele dura e do esforço que ele vai estar sendo submetido, mas a princípio eu vejo em qualquer objeto que tenha uma vida útil curta.” (Designer D10)

“Aparentemente ele pode substituir algum outro polímero por algum produto que exija essas características.” (Designer D13)

Aparentemente os designers presumem as aplicações dos compósitos biodegradáveis a partir de aplicações de materiais semelhantes a eles. Desta forma, os principais materiais idênticos com os compósitos biodegradáveis enquadram-se na família dos materiais naturais, com exceção dos polímeros. Cabe destacar, que a semelhança determinada pelos designers restringe-se praticamente a percepções sensoriais, como a visão e o tato.

O resultado do prognóstico de possíveis aplicações para os compósitos biodegradáveis, aponta para produtos em que são empregados materiais naturais e poliméricos. Esta verificação é baseada nas propriedades mecânicas dos compósitos biodegradáveis. Assim a percepção dos designers e as propriedades mecânicas dos compósitos apontam para a mesma direção, em que demonstram que a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis pode ser analisada em relação aos produtos constituídos por materiais naturais e polímeros.

6.2.2 A viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis

Os materiais exercem influências sobre a configuração dos produtos, pois a forma de determinado produto é dependente do material, de suas características

tangíveis e intangíveis, (ASHBY e JOHNSON, 2010). Desta forma, a partir dos discursos dos designers foi traçado o perfil dos compósitos biodegradáveis, em que emergiram os atributos tangíveis e intangíveis destes materiais e suas relações com possíveis aplicações destes materiais, como pode ser visualizado na figura 45:

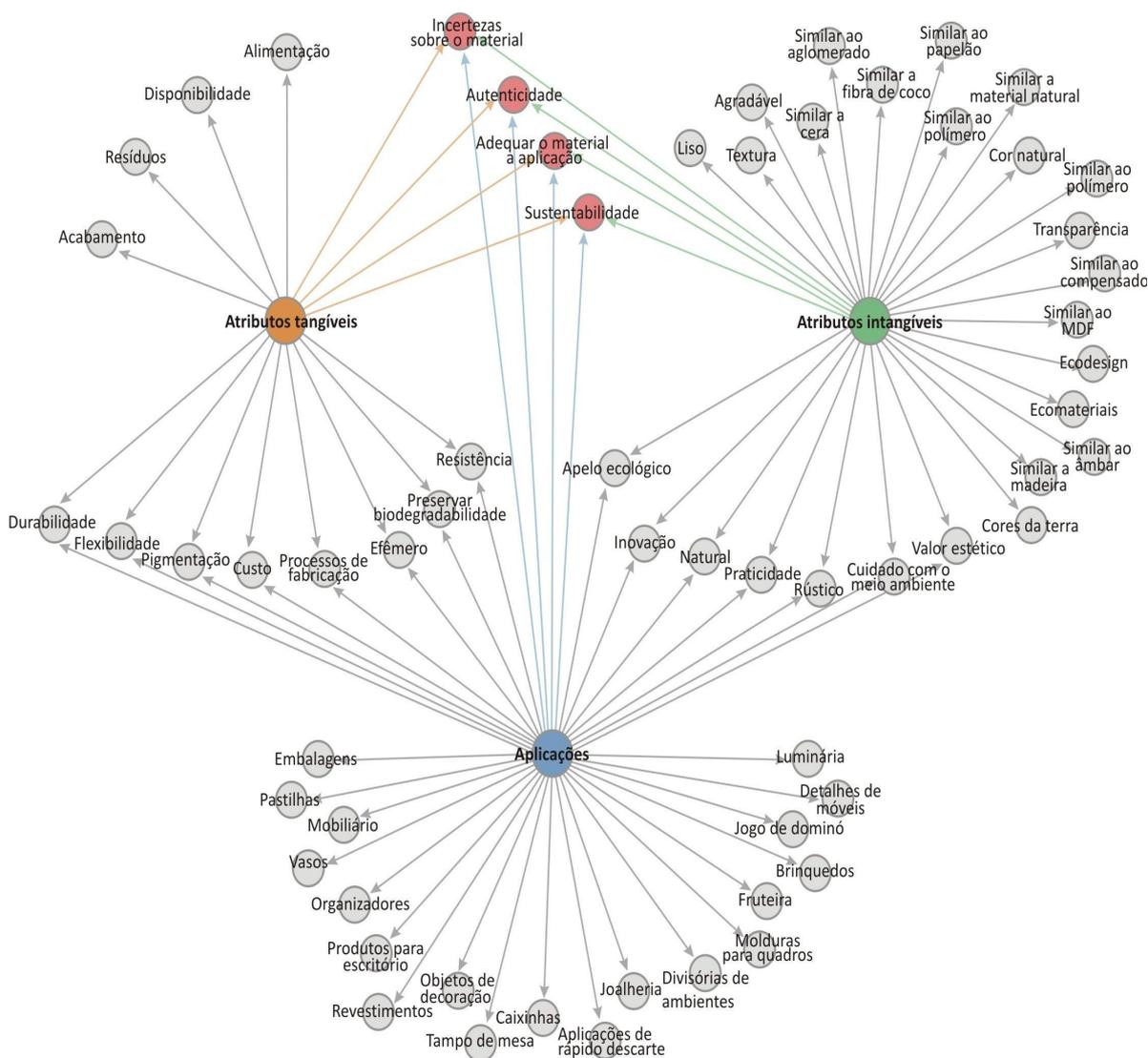


Figura 45: Rede de relações entre os atributos tangíveis, intangíveis e as possíveis aplicações dos compósitos biodegradáveis sob a ótica de designers de produto.
 Fonte: Imagem gerada através do software RQDA (2002).

Desta forma, a figura 45 mostra a rede de relações resultante dos atributos tangíveis, intangíveis e as sugestões de aplicações mencionadas pelos designers de produto. Neste esquema, destacam-se as relações entre os aspectos tangíveis, intangíveis com as aplicações, que implicam nas incertezas sobre os materiais, a autenticidade, adequar o material a aplicação, a sustentabilidade e a

resistência, que segundo os discursos dos designers são características que estão relacionadas aos atributos tangíveis, intangíveis e diretamente interligadas com a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis.

Segundo Ashby e Johnson (2010), é importante que o design considere o uso mais eficiente dos materiais, ou seja, de suas propriedades e da maneira como podem ser conformados. Deste modo, as propriedades dos materiais devem estar adequadas à aplicação, sendo que, são dependentes da composição química do material, de tratamentos térmicos, processamento, e outros. O processo de seleção de materiais pode partir de exigências técnicas, da tecnologia de produção, economia, sustentabilidade, valores estéticos, propriedades sensoriais e significados culturais e simbólicos (DIAS, 2009). Assim, é importante que os projetistas conheçam as propriedades dos materiais para suceder a escolha apropriada, pois as propriedades mais relevantes para determinado produto dependem dos requisitos de projeto.

O designer pode incorporar a habilidade de aproveitar as propriedades favoráveis de determinado material e a correção de suas deficiências (FERRANTE; WALTER, 2010). Desta maneira, destaca-se que o aproveitamento e a correção das propriedades podem ser exercidas através do design, por meio da forma mais apropriada, dos aspectos estéticos, práticos, simbólicos. Em relação aos compósitos biodegradáveis, os designers destacaram como principal característica a questão do material ser biodegradável, em que procuraram associar esta propriedade a aplicação, conforme pode ser observado nos seguintes depoimentos:

“Se eu fosse fazer um projeto com esse material eu iria frisar a questão dele ser biodegradável, pois é a característica principal do material, então, é importante juntar as características do produto com as características do material.” (Designer D1)

“Aparentemente ele é prático, é um material inovador e a aplicação vai depender dele.” (Designer D5)

A principal preocupação no uso dos compósitos biodegradáveis está associada à adequação do material a aplicação. Geralmente no processo de design, a seleção de materiais ocorre ao longo do desenvolvimento do projeto. Nas

etapas iniciais, o designer tem uma ampla gama de opções de materiais, em que, no decorrer do processo, a seleção de materiais apoiada por requisitos de projeto será cada vez mais para um número limitado de materiais, até chegar ao material específico. No entanto, segundo os designers, o desenvolvimento de produtos visando o emprego de compósitos biodegradáveis parte deste material, ou seja, a aplicação será definida a partir das características do material. Em concordância, Ashby e Johnson (2010) afirmam que normalmente, os novos materiais são o ponto de partida para os designers, podem ser fonte de inspiração e serem manipulados para a obtenção de produtos inovadores. Assim, a utilização dos compósitos biodegradáveis no desenvolvimento de produtos parte das características e propriedades destes materiais a fim de adequá-los da melhor maneira possível a aplicação.

Neste contexto, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002), os materiais biodegradáveis são recomendáveis para as aplicações em que a decomposição seja efetivamente uma vantagem, como por exemplo, em embalagens. Em consonância, Caraschi (2002) E Ramírez (2011) indicam que podem ser aplicados em embalagens descartáveis por serem de rápida biodegradabilidade, assim, tratam-se de materiais com aplicações de descarte rápido, produtos com ciclo de vida curto e que não exijam alta resistência mecânica. Em sintonia, os designers associaram os compósitos biodegradáveis a aplicações de rápido descarte, ou seja, com curto prazo de vida útil. Além disso, os designers associaram o uso de compósitos biodegradáveis como uma alternativa para substituir produtos que tenham uma vida breve e que são constituídos por polímeros, além da preocupação de aplicações que não demandam altos desempenhos, como a resistência do material quando em uso, como pode ser observado nos seguintes depoimentos:

“Embalagens, produtos de curto prazo (...) seria mais para substituir os produtos de polímero de uso rápido.” (Designer D13)

“(...) eu acho que mais na questão desses produtos que com o uso são descartados muito rápido (...) principalmente essa questão de embalagens que são descartadas.” (Designer D6)

Tais relatos indicaram que os compósitos biodegradáveis adequam-se a aplicações de rápido descarte, como as embalagens, pois esta aplicação remeteu a uma vida breve. Deste modo, os compósitos biodegradáveis podem estar associados a característica de ser um material efêmero. Isso implica diretamente na aplicação destes materiais, pois também devem ter uma vida útil breve para estar em concordância com o material. Segundo Vezzoli (2010), o primeiro nível de intervenção do design em relação a sustentabilidade, isto é, a seleção de recursos com baixo impacto ambiental, é abordada a questão da biodegradabilidade dos materiais, na qual, é considerada a adequação do uso de materiais biodegradáveis ao projeto, visto que estes, em geral, possuem a durabilidade restrita.

Boyslton (2009) apresenta como opção a ser adotada para reduzir os impactos ambientais no descarte de embalagens, a utilização de materiais biodegradáveis que garantem a compostagem do produto. De acordo com Sustainable Packaging Coalition (2006), o uso de materiais biodegradáveis implica na verificação se o material irá atender às necessidades e funções das embalagens, e a garantia de que o material base e todos os seus componentes sejam biodegradáveis e não resultem em uma combinação química na compostagem.

Em relação à aplicação dos compósitos biodegradáveis, estudos¹¹ que desenvolveram e caracterizaram estes materiais, apontam prováveis aplicações, como: embalagens, móveis, vasos de plantas, computadores, armários. No entanto, não foram encontradas análises efetivas sobre a viabilidade dos compósitos serem utilizados nestes produtos. Dessa forma, devido ao fato dos compósitos biodegradáveis resistirem por alguns anos em boas condições de conservação, as possibilidades de aplicação podem ser ampliadas, além das embalagens, as seguintes falas ilustram esta percepção:

“Além de embalagens, acho que poderia usar na indústria de móveis, consigo imaginar ele como pastilhas, têm uns móveis que tu pode colocar só uns detalhes que fazem com pastilha de coco, jogos de dominó feitos com marfim.” (Designer D2)

11 Ramírez (2011), Gilfillan et al. (2012).

“Móveis, embalagens, objetos de decoração, vasos, fruteira (...) teria que ver mesmo em uma amostra maior se ele serviria para estruturar alguma coisa, talvez ele tenha uma resistência e, por isso, seria útil para estruturas que não requeiram muito esforço.” (Designer D4)

Os relatos dos designers na associação dos compósitos biodegradáveis com as aplicações tem relação com a estética destes materiais. Desta forma, pelo fato das amostras remeterem a materiais naturais e a polímeros, demonstra que os entrevistados associaram o emprego de compósitos biodegradáveis a aplicações que utilizam principalmente polímeros e madeira. Esta constatação tem proximidade com os materiais selecionados pelo software CES Edupack, em que as propriedades mecânicas dos compósitos biodegradáveis encontram-se na mesma faixa de valores de materiais poliméricos e naturais. Assim, tanto as propriedades mecânicas dos compósitos, quanto à estética percebida pelos designers, aproximam os compósitos biodegradáveis a materiais poliméricos e naturais, principalmente a madeira.

Nesta perspectiva, a partir dos discursos dos designers, os compósitos biodegradáveis podem ser viáveis para serem aplicados em móveis. Os entrevistados indicaram a área de mobiliário, pelo fato das amostras remeterem a madeira, e também por estarem associadas ao rústico e ao antigo, pois atualmente, as tendências neste setor apontam para a mistura do moderno com o antigo, cores e móveis de linhas retas e limpas que remetem a reciclagem, predominam as madeiras escuras em tons de chocolate e materiais que imitam a natureza como couros sintéticos, fibras vegetais, feltro e lã, a madeira de demolição, Salone Internazionale del Mobile (2013). Deste modo, tais relatos apontar o uso de compósitos biodegradáveis em móveis pela fato de remeterem a madeira, ao visual rústico e natural:

“Eu achei meio rústico, com esse tipo de acabamento como que está aqui eu só usaria em algum produto de decoração, em móveis (...) artefatos pequenos como quadros, moldura de quadros, objetos de decoração, revestimento de alguma parte do carro, divisórias de ambientes, mobiliário para lojas, prateleiras.” (Designer D7)

Além do mobiliário, objetos de decoração para casa, aparecem com frequência nos depoimentos dos designers. Pode-se aludir a essas aplicações, pois geralmente não demandam esforços e altos desempenhos dos materiais por tratar-se de objetos ornamentais com função predominantemente estética. Além da ligação do material estar de acordo com as tendências da área de móveis, como o rústico que remeteu a natureza. Assim, além de objetos de decoração, os designers citaram outras aplicações do mesmo gênero, ou seja, que possuem função predominantemente de cunho estético, como: detalhes de móveis, pastilhas, vasos, moldura de quadros, que também podem estar associadas ao fato de que não demandam altos desempenhos dos materiais. Além disso, outra aplicação bastante mencionada é a utilização dos compósitos biodegradáveis para luminárias, na medida em que estes materiais podem apresentar certa transparência, conforme demonstram os seguintes depoimentos:

“Eu acho que é a questão dele ser translúcido, principalmente esse que tem menos fibra, isso pode ser interessante para trabalhar em produtos, por exemplo, luminária seria interessante.” (Designer D11)

Ademais, as aplicações já comentadas nos depoimentos acima, os entrevistados indicaram a utilização destes materiais para a joalheria. Este fato, deve-se principalmente aos compósitos remeterem a gemas, pois segundo os designers, os compósitos biodegradáveis poderiam ser aplicados como gemas e não uma joia inteira produzida com estes materiais:

“Na joalheria poderia ser aplicado como gema.” (Designer D5)

As aplicações comentadas até aqui, fazem alusão a materiais naturais, no entanto os designers também mencionaram produtos constituídos por materiais poliméricos como possíveis aplicações para os compósitos biodegradáveis. A intenção dos designers é a substituição do polímero pelos compósitos biodegradáveis principalmente por estes materiais remeterem a textura tátil, chegando ao ponto de associarem até mesmo as propriedades dos polímeros com

as dos compósitos biodegradáveis, os seguintes depoimentos salientam este entendimento:

“Eu associaria com as propriedades do plástico, da possibilidade de conformar, flexibilidade.” (Designer D11)

Em relação as aplicações com polímeros que possuem potencial de serem utilizados compósitos biodegradáveis, os designers não foram específicos em seus discursos, ou seja, não citaram diretamente tipos de aplicações. Comentaram de forma ampla abordando a substituição de polímeros por compósitos biodegradáveis, que está relacionada a produtos de uso cotidiano. Essa substituição aparenta estar interligada com a preocupação ambiental, pois os polímeros demoram vários anos para decompor-se, em contrapartida, os compósitos biodegradáveis degradam-se em alguns meses quando submetidos a um ambiente favorável para este processo. Assim, a utilização dos compósitos biodegradáveis como forma de substituir os polímeros em produtos do cotidiano pode ser justificada pelo cuidado com o meio ambiente.

“(...) então fazer uma linha com essa abordagem buscando uma alternativa para os produtos poliméricos que demoram séculos para se degradar e acho que é viável” (Designer D12)

“Ele poderia substituir muita coisa que é feita de plástico.” (Designer D4)

No entanto, apesar dos designers remeterem o uso de compósitos biodegradáveis como uma alternativa para substituir os polímeros em produtos, eles expressaram dúvidas quanto ao uso dos compósitos biodegradáveis nestes produtos. As incertezas frente ao emprego destes materiais consistem na durabilidade do material e nas propriedades mecânicas, assim, as aplicações precisam estar de acordo com o tempo de duração do material, da mesma maneira, com a resistência a possíveis esforços que o produto poderá ser submetido:

“Acessórios para casa, algo que não seja para uma vida inteira, mas é que depende também se ele não vai estar em contato com água ele vai durar bastante, então até caixinhas, organizadores, material para escritório, brinquedos e até

joias, eu teria que conhecer mais o material para ver realmente o que daria para fazer, pela questão estética teria muitas possibilidades. (Designer, D14)

Apesar dos designers entrevistados abordarem de forma ampla as possíveis aplicações para os compósitos biodegradáveis, em relação a produtos constituídos por materiais poliméricos, eles destacaram a possibilidade de aplicação dos compósitos em brinquedos. Isso pode estar relacionado ao fato de que muitos brinquedos são produzidos por polímeros e por serem produtos que geralmente não possuem uma vida útil longa, pois conforme as crianças crescem, elas podem perder o interesse por determinados tipos de brinquedos, (VYGOTSKY, 1998). Deste modo, os compósitos biodegradáveis podem ter nos brinquedos uma possibilidade de aplicação, pois estes produtos normalmente não demandam altos desempenhos dos materiais. Tal entendimento é expressado na seguinte fala:

*“Brinquedos acho que ele seria muito bem aplicado.”
(Designer D1)*

Portanto, a partir da indicação das aplicações citadas anteriormente nos depoimentos, os designers associaram os compósitos biodegradáveis a uma certa fragilidade, e baixa resistência a esforços mecânicos e a umidade, principalmente por não possuírem a garantia de durabilidade. As aplicações comentadas pelos designers remeteram principalmente a estética dos compósitos biodegradáveis. Assim, foi possível considerar que estes materiais possuem um valor estético que remeteu ao natural, o qual faz parte das tendências atuais no desenvolvimento de produtos que valorizam a natural, o ecológico e o sustentável. Desta forma, estes aspectos fazem parte do perfil dos compósitos biodegradáveis em relação aos atributos intangíveis. A percepção dos designers frente a estes aspectos está associada com o contexto cultural em que estão inseridos, o que provavelmente influenciou diretamente seus depoimentos acerca dos compósitos biodegradáveis, principalmente pelas questões estéticas e simbólicas, pois as decisões tomadas pelo designer na atividade de projetar, como os conceitos e elementos materiais não é neutra, suas escolhas são influenciadas pelas práticas e valores sociais.

Capítulo 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta o fechamento do presente trabalho, o qual está dividido em três seções. A primeira aborda as considerações finais do estudo referentes aos resultados da pesquisa. Na segunda seção, é realizada uma discussão em torno da metodologia de pesquisa adotada no presente trabalho, e por fim, na última seção, são apresentadas sugestões para estudos futuros, verificadas a partir das lacunas encontradas na elaboração desta pesquisa.

7.1 Considerações do estudo

A presente pesquisa teve como tema os novos materiais que são desenvolvidos de acordo com a perspectiva da sustentabilidade, na medida em que as novas demandas de bens de consumo requerem soluções que respeitem o meio ambiente. Desta forma, a delimitação da investigação ocorreu em torno dos compósitos biodegradáveis, pela constatação de que estes materiais estão em fase de desenvolvimento e ainda não há evidências consistentes científicas de aplicações. Assim, as discussões e análises realizadas no presente trabalho foram executadas de acordo com a seguinte questão de pesquisa: a partir de atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato e poli(ácido láctico) e fibras de curauá, qual é a possibilidade de utilização destes materiais no design de produto? Deste modo, o estudo apresentou uma abordagem que visou contribuir com as discussões sobre o emprego de materiais de baixo impacto ambiental no design de produto, em específico os referidos compósitos biodegradáveis, tendo por base os atributos tangíveis e intangíveis destes materiais, identificados por meio de um estudo de caso.

O mapeamento realizado em torno de artigos que visam o desenvolvimento e a caracterização de compósitos biodegradáveis que utilizam fibras vegetais brasileiras como reforço resultou em um panorama de pesquisas da área, que

envolveu os tipos de materiais, tratamentos utilizados nas fibras e aditivos na matriz, formas de processamento e as propriedades mecânicas. A partir deste levantamento foi possível conhecer e compreender o desenvolvimento destes materiais e principalmente, determinar critérios que visam à viabilidade técnica dos compósitos biodegradáveis. Assim, de acordo com os valores de suas propriedades mecânicas, constatou-se que: não resistem a fortes impactos; o contato com a umidade pode acelerar o processo de biodegradação; não resistem a altas temperaturas; isto é, degradam-se acima de 200°C; os ensaios de biodegradação apontam que são biodegradáveis, no entanto, se forem mantidos em bom estado de conservação, ou seja, mantidos protegidos da umidade, podem durar por alguns anos. Além disso, constatou-se que os compósitos biodegradáveis geralmente são provenientes de fontes renováveis e utilizam a química verde para o processamento. Estas características indicam um alinhamento com a perspectiva de desenvolvimento de materiais ecológicos, ou seja, que são desenvolvidos sob a ótica da sustentabilidade. Logo, a partir da viabilidade técnica, conclui-se que os compósitos biodegradáveis direcionam-se para aplicações de curto prazo.

Ademais, o mapeamento resultou em um panorama de informações relativas ao desenvolvimento e a caracterização de compósitos biodegradáveis que utilizam fibras brasileiras como reforço. Desta forma, estas informações podem ser relevantes para pesquisas da área, pois, com a compilação dos dados é possível realizar comparações nos valores das propriedades mecânicas a fim de verificar quais materiais e/ou tratamentos, aditivos e formas de processamento resultam em compósitos com melhores valores destas propriedades.

A partir do levantamento das propriedades mecânicas dos compósitos foi possível, por meio do software de seleção de materiais CES Edupack, compará-las com as mesmas propriedades da biblioteca do programa. Como resultado, os materiais selecionados pelo software encontram-se na família dos polímeros e de materiais naturais. Deste modo, os compósitos biodegradáveis são semelhantes aos polímeros e aos materiais naturais, em relação a aspectos técnicos, ou seja, as propriedades mecânicas situam-se na mesma faixa de valores. Ainda, foram elencadas aplicações dos materiais selecionados pelo programa e, a partir disso,

verificadas quanto à possibilidade de emprego dos compósitos biodegradáveis, o que resultou em um prognóstico de aplicações para estes materiais.

O prognóstico de aplicações para os compósitos biodegradáveis abordados direcionou a viabilidade de aplicação dos referidos materiais principalmente para as embalagens, pois, geralmente possuem um ciclo de vida curto. No entanto, é possível averiguar o uso de compósitos biodegradáveis em outras aplicações, como, isolamento térmico, painéis e divisórias, se forem utilizados por um período de tempo curto, e sem contato com a umidade. Além disso, os compósitos podem ser empregados em brinquedos, por serem produtos que não requerem alto desempenho do material e pelo fato de que muitos brinquedos têm um período de vida útil curto, pois, na medida em que as crianças crescem, normalmente perdem o interesse por determinados brinquedos. Outras aplicações apontadas pelo prognóstico foi a possibilidade de utilização em mobiliário, pois dependendo do móvel, esta aplicação pode não demandar alto desempenho do material, como é o caso de prateleiras e painéis. Entretanto, é necessário realizar estudos quanto a resistência e biodegradação do material para estas aplicações, como por exemplo, verificar a resistência do material em determinada espessura. Objetos de decoração também podem ser uma possibilidade de uso dos compósitos biodegradáveis, pelo fato de não serem produtos que demandam esforços do material, contudo, é necessário que sejam mantidos em lugares protegidos da umidade.

A partir do mapeamento de estudos que desenvolvem e caracterizam compósitos biodegradáveis, chegou-se na pesquisa de Harnnecker *et al.* (2012), na qual foi realizada a preparação e caracterização de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno e adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido láctico) (PLA) com fibras de curauá. Desta forma, inicialmente, o estudo de caso abordou a descrição do desenvolvimento e caracterização destes materiais, em que foi possível verificar a viabilidade técnica. Constatou-se que quanto maior o teor de fibras como reforço dos compósitos, melhores são as propriedades mecânicas e menor é a absorção de água, sendo assim, os compósitos com 20% de fibras são os mais resistentes e por isso, são os mais recomendados para o emprego em produtos, em relação aos com menor teor de fibras.

Os referidos compósitos também foram analisados sob a ótica de designers de produto. Assim, o estudo de caso também direcionou-se para entrevistas com designers de produto para verificar principalmente aspectos estéticos, simbólicos, práticos, destes materiais. Dessa maneira, a partir dos discursos dos designers, emergiram atributos tangíveis e intangíveis e suas relações com possíveis aplicações.

Os atributos tangíveis dos compósitos biodegradáveis abordados sob do ponto de vista de designers de produtos abarcam questões relacionadas a processos de fabricação, acabamento superficial, pigmentação. Neste ponto, são expressadas incertezas sobre o comportamento dos compósitos, além da durabilidade que está associada a efemeridade, ou seja, são materiais de curto prazo, a disponibilidade e o custo. Ainda, relacionam os compósitos biodegradáveis ao ecodesign, por tratar-se de um método orientado por critérios ecológicos, a sustentabilidade, e a questão de utilizar matéria-prima que pode ser útil para a alimentação, o que implica na seleção da matéria-prima para a produção destes materiais, principalmente o uso de resíduos da agroindústria. Além disso, nos depoimentos dos designers foi constatada a preocupação em manter a característica da biodegradabilidade dos materiais frente ao seu uso. Estes foram os principais aspectos relacionados aos atributos tangíveis abordados pelos designers com relação direta com a determinação de aplicações para os compósitos biodegradáveis. Contudo, para a verificação da viabilidade de aplicação, é necessário conhecer os aspectos relacionados aos atributos intangíveis destes materiais.

Em relação aos aspectos intangíveis percebidos pelos designers entrevistados, são focados as características estéticas dos materiais, como cores, transparência, textura, questões associadas a praticidade, como a limpeza, e outras associadas aos aspectos simbólicos que dizem respeito ao apelo ecológico, a sustentabilidade, aos ecomateriais, aos materiais similares. A estética dos compósitos biodegradáveis focalizados remeteu ao natural e a materiais naturais. Desta forma, os entrevistados associaram o uso dos compósitos biodegradáveis ao cuidado com o meio ambiente, devido a preocupação com as questões ecológicas. Assim, os designers presumem as aplicações dos compósitos biodegradáveis a

partir de aplicações de materiais semelhantes, segundo eles, os principais materiais idênticos com os compósitos biodegradáveis enquadram-se na família dos materiais naturais, e dos polímeros.

O prognóstico de possíveis aplicações para os compósitos biodegradáveis aponta para produtos em que são empregados materiais naturais e poliméricos. Assim a percepção dos designers e o prognóstico a partir das propriedades mecânicas dos compósitos apontam para a mesma direção, em que demonstram que a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis pode ser analisado em relação aos produtos constituídos por materiais naturais e poliméricos.

A partir dos discursos dos designers foi traçado o perfil dos compósitos biodegradáveis abordados, em que emergiram os atributos tangíveis e intangíveis destes materiais e suas relações com possíveis aplicações. Deste modo, destacam-se certos aspectos nestas relações, como a incerteza sobre os materiais, a autenticidade, adequação do material à aplicação, a sustentabilidade e a resistência, que segundo os discursos dos designers são características que estão diretamente interligadas com a viabilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis. Por conseguinte, o uso dos compósitos biodegradáveis está associado a adequação do material à aplicação. Assim, o desenvolvimento de produtos visando o emprego de compósitos biodegradáveis precisa partir deste material, ou seja, a aplicação será determinada a partir das características do material, principalmente, pelo fato de que a duração do material precisa estar de acordo com a duração do produto.

Dessa forma, os compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno e adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido lático) (PLA) com fibras de curauá estão associados à fragilidade, baixa resistência a esforços mecânicos e a umidade, principalmente por não possuírem a garantia de longa durabilidade. Então, a possibilidade de uso destes compósitos biodegradáveis é indicada para aplicações como as embalagens descartáveis, pois tratam-se de aplicações de descarte rápido, com ciclo de vida curto e podem não requerer alta resistência mecânica dos compósitos. Contudo, devido ao fato destes compósitos biodegradáveis resistirem por alguns anos em boas condições de conservação, as

possibilidades de aplicação podem ser ampliadas para além das embalagens, como, mobiliário, objetos de decoração, luminárias, vasos.

Ademais, os designers entrevistados associaram o uso de compósitos biodegradáveis focalizados como uma alternativa para substituir produtos que são construídos por polímeros e que tenham uma vida breve. Esta substituição está interligada com a preocupação ambiental, pois os polímeros podem demorar muitos anos para degradarem-se, em contrapartida, os compósitos biodegradáveis podem decompor-se em alguns meses quando submetidos a um ambiente favorável para este processo. Assim, a utilização dos compósitos biodegradáveis por parte de designers de produto, como forma de substituir os polímeros em produtos, é justificada pelo cuidado com o meio ambiente. Partindo destas conclusões, o presente trabalho apresentou uma proposta conceitual de vasos para plantas, o qual demonstrou a possibilidade de emprego dos compósitos biodegradáveis no design de produto, a partir da substituição dos polímeros em vasos de plantas.

A pesquisa reforçou a teoria de que a configuração dos produtos depende dos materiais, de seus aspectos tangíveis, isto é, de suas características físicas determinadas por meio de suas propriedades e também aspectos intangíveis, como os fatores simbólicos, estéticos, que estão diretamente interligados com o contexto cultural. Nos relatos das entrevistas realizadas com designers de produto, emergiram tanto fatores tangíveis quanto intangíveis, aqueles, em forma de dúvidas e incertezas e estes a partir de percepção estética e simbólica. O que revelou que o contexto cultural em que os designers estão inseridos influenciou diretamente em seus depoimentos.

Em relação ao processo de design, com o uso de novos materiais no desenvolvimento de produtos, manifestou-se a necessidade de adequação deste processo. Devido ao fato de que os novos materiais não são conhecidos, e talvez não estejam completamente caracterizados, além da falta de experiência de projetistas em projetos com estes materiais, inicialmente é preciso conhecer o material, suas propriedades, comportamentos, para posteriormente “selecionar as aplicações” para o novo material em específico. De tal forma, é necessário rever os métodos de desenvolvimento de produtos quando serão trabalhados com novos

materiais, pois tradicionalmente, o processo de design visa a seleção de materiais já conhecidos. Sendo assim, no desenvolvimento de produtos com novos materiais, pode-se considerar que as aplicações serão determinadas majoritariamente a partir do material.

Apesar dos compósitos biodegradáveis não estarem disponíveis comercialmente o estudo da aplicação torna-se relevante para verificar a viabilidade de uso destes materiais, e propor melhorias no seu desenvolvimento, pois a opinião de designers é de extrema importância para que o material esteja alinhado com o seu uso. Assim, estudos do gênero tornam-se relevantes na medida em que fornecem informações relativas às questões estéticas, simbólicas, práticas destes materiais, para que os pesquisadores desenvolvedores possam basear-se com vistas a melhoria destes materiais.

Portanto, neste trabalho procurou-se levantar questões relacionando a sustentabilidade com o desenvolvimento dos compósitos biodegradáveis bem como o emprego destes no design de produto. Estas questões englobam desde a fonte de matéria-prima provenientes de biomassa que culmina em discussões sobre o uso de matéria-prima ser utilizada para a produção de bens de consumo, a disponibilidade e o custo destes materiais, o processamento baseado na química verde e o apelo ecológico associado a estes materiais. Assim, o trabalho buscou abarcar questões relacionadas com a sustentabilidade, que estão relacionadas a viabilidade e por consequência a possibilidade de aplicação dos compósitos biodegradáveis no design de produto.

7.2 Considerações sobre a metodologia de pesquisa

A pesquisa bibliográfica, realizada continuamente durante o trabalho, foi essencial para a compreensão do tema, a delimitação do trabalho, a elaboração do problema de pesquisa e a definição dos objetivos. Da mesma forma, a etapa de revisão teórica, em que foi construído o referencial teórico-metodológico, trouxe as bases de conhecimento das variáveis envolvidas no problema, e mostrou-se fundamental para a realização do estudo de forma consistente.

Em relação ao mapeamento de estudos que desenvolvem e caracterizam compósitos biodegradáveis, foi possível conhecer e compreender estes materiais e verificar critérios para a viabilidade técnica de aplicação dos compósitos em produtos. Para, a partir disso, realizar o prognóstico de aplicações dos compósitos biodegradáveis e também, chegar ao estudo de Harnnecker *et al.* (2005), em que os autores concederam amostras de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido láctico) (PLA) e fibras de curauá para a realização do estudo de caso.

No que refere-se ao estudo de caso, este ocorreu em dois momentos, inicialmente, deteve-se na descrição do desenvolvimento e caracterização dos referidos compósitos biodegradáveis para a análise da viabilidade técnica destes materiais, posteriormente foi utilizada a técnica de entrevistas semi estruturadas com designers de produto e a análise de conteúdo, que resultou na relação de atributos tangíveis, intangíveis com possíveis aplicações para os compósitos.

Assim, a abordagem definida e os procedimentos metodológicos adotados foram eficientes na condução do processo da pesquisa, permitindo alcançar a contribuição do estudo cumprindo com os objetivos delimitados no trabalho.

7.3 Sugestões para futuros trabalhos

Com base no estudo realizado, sugerem-se trabalhos futuros que possam abordar:

- O mesmo estudo com outros tipos de compósitos biodegradáveis;
- Um estudo que vise adequar o processo de design ao desenvolvimento de produtos com novos materiais, pois geralmente, estes não são conhecidos e muitas vezes ainda não estão completamente caracterizados, sendo assim, o projeto de design precisa estar focado nas potencialidades e limitações do material, para posteriormente determinar as aplicações;
- Desenvolver e prototipar embalagens bem como produtos de maior durabilidade como mobiliário, empregando compósitos biodegradáveis, para

- averiguar o comportamento dos materiais e do público-alvo, e também analisar o ciclo de vida destes produtos;
- Investigar as possibilidades de melhorar o desempenho dos compósitos biodegradáveis, o que pode ocorrer por meio da nanotecnologia, pois esta apresenta-se como uma oportunidade para melhorar estes materiais na medida em que pode fornecer revestimentos para controlar a absorção de água, reduzir a biodegradação e a resistência a chama, assim, poderá aumentar a viabilidade de uso destes compósitos;
 - Investigar o comportamento dos compósitos biodegradáveis frente a processos de produção, como a usinagem, corte a laser e outros, além da investigação sobre a possibilidade de pigmentação dos compósitos biodegradáveis, a fim de viabilizar novos comportamentos estéticos destes materiais, levando em consideração a biodegradação;
 - Verificar a biodegradação dos compósitos biodegradáveis em equipamento específico, como a câmara climática, para analisar com precisão a durabilidade destes materiais;
 - Investigar possibilidades de materiais, provenientes de fontes renováveis, que não sejam utilizadas para alimentação para constituir as matrizes de compósitos biodegradáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELMOULEH, M.; BOUFIS, S.; BELGACEM, M. N.; DUFRESNE, A. **Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites:** effect of silane coupling agents and fibre loading. *Compos Sci Technol*, 67(7-8), p. 1627-39, 2007.

ABRE. **Dados de mercado.** Disponível em: <<http://www.abre.org.br>> Acesso em: 12 jun. 2013.

AHANKARI, S. S.; MOHANTY, A. K.; MISRA, M. **Mechanical behaviour of agro-residue reinforced poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), (PHBV) green composites:** A comparison with traditional polypropylene composites. *Composites Science and Technology* 71, 653-657, 2012.

ALI, R.; IANNACE, S.; NICOLAIS, L. **Effect of Processing Conditions on Mechanical and Viscoelastic Properties of Biocomposites.** *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 88, p. 1637-1642, 2003.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materials and design:** the art and science of material selection in product design. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2010.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **The art of materials selection.** *Materials Today*, p. 24-35, 2003.

ASHBY, M. F.; JONES, D. R. H. **Engenharia de materiais.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ASHORI, A. **Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries.** *Bioresource Technology*, 99, p. 4661-4667, 2008.

Avella M.; La Rota G.; Martuscelli E.; Raimo M.; Sadocco P.; Elegir G.; Riva R. **Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and wheat straw fiber**

composites: thermal, mechanical properties and biodegradation behavior. J. Mater. Sci. 35, p.829-836, 2000.

AVÉROUS, L. **Biocomposites based on biodegradable thermoplastic polyester and lignocellulosic fibers.** In: Kalia S, Kaith BS, Kaur I (eds) Cellulose fibers: bio and nano polymer composites: green chemistry and technology. Springer, Berlin, p. 453-475, 2011.

AVÉROUS, L.; BOQUILLON, N. **Biocomposites based on plastificized starch:** thermal and mechanical behaviours. Carbohydrate Polymers, vol. 52, p. 111-122, 2004.

AVÉROUS, L.; DIGABEL, F. **Properties of biocomposites based on lignocellulosic fillers.** Carbohydrate Polymers, vol. 66, p. 480-493, 2006.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 2011.

BASF. **Plásticos biodegradáveis.** Disponível em: <<http://www.basf.com.br/>> Acesso em: 15 maio 2013.

BAUDRILLARD, J. **O sistema dos objetos.** São Paulo: Perspectiva, 1973.

BAXTER, M. **Projeto de produto:** guia prático para o design de novos produtos. Tradução Itiro Iida. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

BESSADOK, A.; MARAIS, S.; ROUDESLI, S.; LIXON, C.; MÉTAYER, M. **Influence of chemical modifications on water-sorption and mechanical properties of Agave fibres.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39(1), p. 29-45, 2008.

BEYLERIAN, G. M.; DENT, A. **Ultra materials:** how materials innovation is changing the world. Kingdom: Thame & Hudson, 2007.

BISMARCK, A.; ARANBERRI-ASKAGOTA, I.; SPRINGER, J.; LAMPKE, T.; WIELAGE, B.; SAMBOULIS, A.; SHENDEROVICK, I.; LIMBACH, H. **Surface characterization of flax, hemp, and cellulose fibers:** Surface properties and the water uptake behavior. *Polymer Composites*. 23(5), p. 872-894., 2002.

BOMFIM, G. A. **Metodologia para desenvolvimento de Projetos**. Campina Grande: Editora Universitária, 1984.

BONSIEPE, G.; KELLNER, P.; POESSNECKER, H. **Metodologia experimental:** desenho industrial. Brasília: CNPq/Coordenação editorial. 1984.

BOYSLTON, S. **Designing Sustainable Packaging**. London: Laurence King, 2009.

BÜRDEK, E. B. **Design:** história, teoria e prática do design de produtos. Tradução Freddy Van Camp. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

CAO, N.; YANG, X.; FU, Y. **Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films**. *Food Hydrocolloids*. v. 23, n. 3, p. 729-735, 2009.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais:** Uma Introdução. São Paulo: LTC, 2002.

CAMPOS, A. de; MARCONCINI, J. M.; FRANCHETTI, S. M.; MATTOSO, L. H. C. **The influence of UV-C irradiation on the properties of thermoplastic starch and polycaprolactone biocomposite with sisal bleached fibers**. *Polymer Degradation and Stability*, 97, p.1948-1955, 2012.

CAMPOS, A. de; TEODORO, K. B. R.; MARCONCINI, J. M. ; MATTOSO, L. H. C.; MARTINS-FRANCHETTI, S. M. **Efeito do tratamento das fibras nas propriedades**

do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. *Polímeros*, v. 21, p. 217-222, 2011.

CARASHI, J. C.; LEÃO, A. L. **Compósitos de Polihidroxidobutirato com Fibras Naturais.** In: 6 Congresso Brasileiro de Polímeros, Gramado, RS. Anais do 6o. Congresso Brasileiro de Polímeros, p. 566-569, 2001.

CARDOSO, R. **Design, Cultura Material e o Fetichismo dos Objetos.** *Revista Arcos (ESDI/UERJ)*, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, p. 14-39, 1998. CARDOSO, R. **Design, Cultura Material e o Fetichismo dos Objetos.** *Revista Arcos (ESDI/UERJ)*, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, p. 14-39, 1998.

CARMEL-ARTHUR, J. **Philip Starck.** London: Carlton Books, 2000.

CARVALHO, L. F. M. **Tratamentos de fibras de carnaúba [copernicia prunífera (miller) H. E. moore] para o desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de polihidroxibutirato.** Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN. Natal, 2011.

CHEN, B.; LIU, S.; EVANS, J. R. G. **Polymeric thermal actuation using laminates based on polymer-clay nanocomposites.** *Journal of Applied Polymer Science*, 109(3), p. 1480-3, 2008.

CHOW, W. S.; BAKAR, A. A.; ISHAK, Z. A. M. **Water absorption and hygrothermal aging study on organomontmorillonite reinforced polyamide 6/polypropylene nanocomposites.** *Journal of Applied Polymer Science*, 98(2), p. 780-90, 2005.

CLARK, J. H.; BUDARIN, V.; DESWARTE, F. E. I.; HARDY, J. J. E.; KERTON, F. M.; HUNT, A. J. **Green chemistry and the biorefinery: a partnership for a sustainable future.** *Green Chemistry*, 8(10), p. 853-60, 2006.

CRESTO, L.; QUELUZ, M. L. P. **Nós e as coisas:** como re-significamos os artefatos através do uso. In: QUELUZ, M. L. P. (Org). **Design e consumo.** Curitiba: Peregrina, 2010.

CORDEIRO, I. M. C. C.; DE SANTANA, A. C.; LAMEIRA, O. A.; SILVA, I.M. **Economical analysis of cultivation systems with Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber ex Ducke) Barneby (Parica) and Ananas comosus var. erectifolius (L.B. Smith) Coppus & Leal (Curaua) crop at Aurora Para, Brazil.** Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, 26 (2), p. 243-265, 2009.

COSTA, P. R. Y.; MACADO, L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F.; PRADELLAS, J. G. C. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos PHB (polihidroxibutirato) pó de madeira.** 17^o CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

COZA. **Linha bios.** Disponível em: <<http://www.coza.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2013.

CRILLY, N.; CLARKSON, J. **The influence of consumer research on product aesthetics.** In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2006, Dubrovnik - Croácia, Mai 15-18, 2006. Anais... Dubrovnik (Croácia): Design 2006, p. 689-96. Disponível em: <<http://www-edc.eng.cam.ac.uk/~nc266>>. Acesso em: 4 mar. 2013.

CURVELO, A. A. S.; CARVALHO, A. J. F; AGNELLI, J. A. M. **Thermoplastic Starch - Cellulosic Fibers Composites.** Primary results. Carbohydrate Polymers, v. 45, n.2, p. 183-188, 2001.

CYRAS, V. P.; IANNACE, S.; KENNY, J. M.; VÁZQUEZ, A. **Relationship Between Processing and Properties of Biodegradable Composites Based on PCL/Starch Matrix and Sisal Fibers.** Polymer Composites, v. 22, n. 1, 2001.

DE MORAES, D. **Metaprojeto: o design do design**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

DESIGN MAGAZINE & RESOURCE. **Student spotlight:** Hannah Dow's biodegradable temp tools. Disponível em: <http://www.core77.com/blog/sustainable-design/student_spotlight_hannah_dows_biodegradable_temp_tools_24720.asp> Acesso em: 10 abril 2013.

DIAS, M. R. A. C. **Percepção dos materiais pelos usuários:** modelo de avaliação permatus. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

DORMER, P. **Os significados do design moderno:** a caminho do século XXI. Tradução de Pedro Afonso Dias. Lisboa: Centro Português de Design, 1995.

DOORDAN, D. P. **On Materials**. Design Issues, n. 19, p. 3-8, 2003.

ESCOREL, A. L. **O efeito multiplicador do design**. 2. ed. São Paulo: SENAC, 1999.

ESPERT, A.; VILAPLANA, F.; KARLSSON, S. **Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties**. Composites Part A Applied Science and Manufacturing, 35(11), p. 1267-76, 2004.

FARIA, A. C.; COSTA, M. F. G. **Gestão de custos logísticos**. São Paulo: Atlas, 2005.

FARUK, O. BLEZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010**. Progress in Polymer Science, 2012 .

FERNANDO, S.; ADHIKARI, S. CHANDRAPAL, C. M. N. **Biorefineries:** current status, challenges, and future direction. *Energy & Fuels*, 20(4), p. 1727-37, 2006.

FERRANTE, M. **Seleção de materiais.** São Carlos: EdUFSCar, 2002.

FERRANTE, M.; WALTER, Y. **A materialização da ideia:** noções de materiais para design de produto. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FISHER, T. **What we touch, touches us:** materials, affects, and affordances. **Design Issues:** Volume 20, Number 4 Autumn, p. 20-31, 2004.

FORTY, A. **Objetos de desejo:** design e sociedade desde 1750. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

GAY, D.; HOA, S. V.; TSAI, S. W. **Composite materials:** design and applications. London: CR PRESS, 2002.

GIBSON, James J. **The senses considered as perceptual systems.** Boston: Houghton Mifflin, 1966.

GILFILLAN, W. N.; NGUYEN, D. M.T.; SOPADE, A.; DOHERTY, W. O. S. D. **Preparation and characterisation of composites from starch and sugar cane fibre.** *Industrial Crops and Products*, 40, 45-54, 2012.

GLOBO GÁS BRASIL. **Tecnologia de fabricação de cilindros com novos materiais metálicos e compósitos.** Disponível em: <<http://www.globogasbrasil.com.br/artigos/tecnologia-de-fabricacao-de-cilindros-com-novos-materiais-metalicos-e-compositos/>> Acesso em: 10 maio 2013.

GODA, K.; TAKAGI, H.; NETRAVALI, A. N. **Fully biodegradable green composites reinforced with natural fibers.** In: *Natural fibre reinforced polymer composites*

from macro to nanoscale. Sabu Thomas and Laly A. Pothan (Ed.), EAC and Old City Publishing, Philadelphia, p. 329-360, 2009.

GOMES, A.; MATSUO, T.; GODA, K.; OHGI, J. **Development and effect of alkali treatment on tensile properties of curaua fiber green composites**. Composites: Part A 38, 1811-1820, 2007.

GOMES, F. J. **Design do objeto**: bases conceituais. São Paulo: Escrituras, 2006.

GOOGLE IMAGENS. **Google imagens**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>> Acesso em: 10 abril 2013.

GUIMARÃES, L. B. M. (Org). **Design e sustentabilidade**: Brasil: produção e consumo, design sociotécnico. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2009.

HARNNECKER, F.; ROSA, D. S.; LENZ, D. M. **Biodegradable Polyester-Based Blend Reinforced with Curaua Fiber**: Thermal, Mechanical and Biodegradation Behaviour. J Polym Environ, 20, p. 237-244, 2012.

HENRIQUE MONNERAT. **Skate ecológico folha seca**. Disponível em: <<http://www.henriquemonnerat.com/skate-folha-seca>> Acesso em: 12 abril 2013.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. de. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa, Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HUANG, R. **RQDA**: R- based qualitative data analysis. R package version 0.2-3. Disponível em: <<http://rqda.r-forge.r-project.org/>> Acesso em: 12 jan. 2013.

ICSID. International Council of Societies of Industrial Design. **Definition of design**. Disponível em: <<http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>> Acesso em: 20 nov. 2012.

JANDAS, P. J.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K.; SRIVASTAVA, H. **Effect of Surface Treatments of Banana Fiber on Mechanical, Thermal, and Biodegradability Properties of PLA/Banana Fiber Biocomposites**. POLYMER COMPOSITES, p.1690-1700, 2011.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. **Biofibres and biocomposites**: Review. Carbohydrate Polymers, n.71, p.343-364, 2008.

JORDAN, P. W. **The dream economy**. In: uiGarden, 2007. Disponível em: <<http://www.uigarden.net/english/design-for-the-dream-economy>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

JOSEPH, P. V.; RABELLO, M. S.; MATTOSO, L. H. C.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. **Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites**. Composites Science and Technology, 62(10-11), p. 1357-72, 2002.

KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. **Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites**: An overview. Composites: Part B 43, p. 2883-2892, 2012.

KARANA, Elvin. **The meaning of the material**: a survey on the role of material in user's evaluation of a design object. In: proceedings of 4th International conference on design and emotion, Turkey; 2004.

KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. **Material considerations in product design**: a survey on crucial material aspects used by product designers. Materials and Design, 2007.

KAZAZIAN, T. **Haverá a idade das coisas leves**: design e desenvolvimento sustentável. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

KIM, J. T. K., NETAVALI, A. N. **Mercerization of sisal fibers:** Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites. *Composites: Part A* 41, p.1245-1252, 2010.

KINDLEIN J. W.; BUSKO, A. M. P. D. **Design e engenharia:** como fortalecer a pesquisa e promover o diálogo destas áreas do conhecimento? *Actas de Diseño 1*. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. Diseño en Palermo. I Encuentro Latinoamericano de Diseño, p. 155-6, 2006.

KRUCKEN, L. **Design e Território: valorização de identidades e produtos locais.** São Paulo: Studio Nobel, 2009.

KUCIEL, S.; KUZNIAR, P.; LIBER-KNEC, A. **Polymer biocompósitos with renewable sources.** *Archives of Foundry Engineering*. 10, p. 53-56, 2010.

LDSM. **Laboratório de Seleção de Materiais.** Disponível em: <<http://www.ndsm.ufrgs.br/>> Acesso em: 3 fev. 2013.

LEFTERI, C. **Como se faz:** 82 técnicas de fabricação para design de produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

LEITE, M. C. A.; FURTADO, C. R. G.; COUTO, L. O.; OLIVEIRA, F. L. B. O.; CORREIA, T. R. **Avaliação da Biodegradação de Compósitos de Poli(ϵ -Caprolactona)/Fibra de Coco Verde.** *Polímeros*, vol. 20, n. especial, p. 339-344, 2010.

LEMSTRA, P. J. **Introduction:** synthetic vs. natural polymers. Workshop on "Bioplastics: Crossing the border between Synthetic and Natural Polymers", European Polymer Federation (EPF), Paris, France, p. 30-31, 2005.

LEPRE, P.; SANTOS, A. **Implicações da sustentabilidade no escopo de atuação do design.** *Estudos em Design*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 73-86, 2009.

LESKO, J. **Design industrial:** materiais e processos de fabricação. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LEWIS, H.; GERTSAKIS, J. **Design + environment:** a global guide to designing greener goods. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2001

LI, X.; TABIL, L.; PANIGRAHI, S. **Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites:** a review. Journal of Polymers and the Environment, 15(1), p. 25-33, 2007.

LÖBACH, B. **Design industrial:** bases para a configuração de dos produtos industriais. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

LOURDIN, N.; DELLA VALLE, G.; COLONNA, P.; POUSSIN, P. **Polymères biodégradables:** mise en ceuvre et propriétés de l` amidon. Caoutchoucs et Plastiques, v. 780, 1999.

LJUNGBERG, L. Y.; EDWARDS, K. L. **Design, materials selection and marketing of successful products.** Materials and Design, n. 24, 2003, p. 519-529, 2003.

LUPTON, E.; TOBIAS, J.; IMPERIALE, A. **Skin: surface, substance + design.** Nova Iorque: Princeton Architectural, Press, 2002.

MACEDO, J. de S. **Desenvolvimento de biocompósitos à base de polihidroxi-ibutirato e resíduos do processamento de fibras de casa de coco.** Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

MACHADO, M. L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F. de; TERENCE, M. C. T. **Estudo das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Polímero Poli-3-**

Hidroxitirato (PHB) e de Compósitos PHB/Pó de Madeira. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 20, n. 1, p. 65-71, 2010.

MANZINI, E. **The material of invention.** London: The design council, 1989.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis:** os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MARKO BRAJOVIC. **O banco peque.** Disponível em: <<http://www.markobrajovic.com/content.php?i=157>> Acesso em: 12 maio 2013.

MATÉRIA BRASIL. **Aglomerado de fibra de coco.** Disponível em: <<http://materiaibrasil.com>> Acesso em: 25 abril 2013.

MCCRACKEN, G. **Cultura e consumo:** novas abordagens ao caráter simbólico dos bens e das atividades de consumo. Rio de Janeiro: MAUAD, 2003.

MENDES, M. D.; ONO, M. M.; RIAL, C. S. **Consumo e design:** projetos e metamorfoses sociais mediando estilos de vida sustentáveis. In: QUELUZ, M. L. P. (Org). **Design e consumo.** Curitiba: Peregrina, 2010.

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

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; HINRICHESEN, G. **Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites:** An overview. Macromol. Mater. Eng. 276/277, p. 1-24, 2000.

MONTEIRO, S.N., DE DEUS, J.F., D'ALMEIDA, J.R.M., **Mechanical and Structural Characterization Of Curaua Fibers.** In: Characterization of Minerals, Metals & Materials - TMS Conference, p. 1-8, San Antonio, USA, 2006.

MORAIS, G. A. C.; CARASCHI, J. C. **Compósitos de polihidroxitirato (PHB) reforçado com resíduos agroindustriais**. Disponível em: <<http://www.instructor.com.br/unesp2005/files/CICEM/trabalhos/6.pdf>> Acesso em: 2 nov. 2012.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NAM, T. H.; OGIHARA, S.; TUNG, N. H.; KOBAYASHI, S. **Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly(butylene succinate) biodegradable composites**. *Composites: Part B*, 42, p. 1648-1656, 2011.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. **Design de embalagem: do marketing à produção**. São Paulo: Novatec, 2008.

NIEMEYER, L. **Elementos de semiótica aplicados ao design**. Rio de Janeiro: 2AB, 2003.

NORMAN, D. A. **O design do dia-a-dia**. Tradução de Ana Deiró. Rio de Janeiro: Rocco, 2006.

OLIVEIRA, M. **Novo uso para a glicerina de desenvolve**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/novo-uso-glicerina-desenvolve-14-07-08.htm>> Acesso em: 11 maio 2013.

OLIVEIRA, M. **Petroquímica verde**. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2008/07/01/petroquimica-verde/>> Acesso em: 15 maio 2013.

ONO, M. M. **Design e cultura: sintonia essencial**. Curitiba: Edição da Autora, 2006.

ONU. **Alerta sobre acúmulo de lixo nas cidades**. Disponível em:
<<http://www.onu.org.br/>> Acesso em: 12 nov. 2012.

PALLASMAS, J. **Los ojos de la piel: la arquitectura y los sentidos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

PAPANEK, V. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Lisboa: Edições 70, 2002.

PELLICANO, M.; PACHEKOSKI, W.; AGNELLI, J. A. M. **Influência da adição de amido de mandioca na biodegradação da blenda polimérica PHBV/Ecoflex®**. *Polímeros*, 19, p. 212-217, 2009.

PLACKETT, D.; LOGSTUP, A. T.; BATSBERG, P. W.; NIELSEN, L. **Biodegradable composites based on L-poly lactide and jute fibres**. *Composites Science and Technology*, 63 (9), p. 1287-1296, 2003.

PRÍNCIPE MARCENARIA. **Banco sinuoso**. Disponível em:
<<http://www.principemarcenaria.com.br/Produto.aspx?cod=4>> Acesso em: 18 maio 2013.

Pukansky, B. **Interfaces and interphases in multicomponent materials: past, present, future**. *European Polymer Journal*, 41, p.645, 2005.

RABELLO, M. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2000.

RAGAUŠKAS, A. J.; WILLIAMS, C.K.; DAVISON, B. H.; BRITOVSEK, G.; CAIRNEY, J.; ECKERT, C. A. **The path forward for biofuels and biomaterials**. *Science*, 311 (5760), p. 484-9, 2006.

RAMIRES, E. C. **Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glicoxal reforçadas com fibras naturais**. Tese de Doutorado. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2010.

RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados com fibra de coco verde**. Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2011.

REIS, A. A. **Matéria, forma e função: a influência material no design industrial**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2003.

REVISTA CASA E JARDIM. **Decoração**. Disponível em:
<<http://revistacasaejardim.globo.com/>> Acesso em: 10 jun. 2013.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; IMAM, S. H.; MATTOSO, L. H. C. **Compósitos biodegradáveis reforçados com fibra de coco imaturo**. Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, 2009.

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

RUSSO, B.; HEKKERT, P. **Sobre amar um produto: os princípios fundamentais**. In: MONT'ALVÃO, Claudia; DAMAZIO, Vera. **Design, ergonomia e emoção**. Rio de Janeiro: Mauad X: FAPERJ, p. 31-48, 2008.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SALONE INTERNAZIONALE DEL MOBILE. **Salone Internazionale del Mobile.**

Disponível em: <<http://www.cosmit.it/tool/home.php?s=0,2,67,71,75>> Acesso em: jun. 2013.

SANTOS, M. R. Dos. **Design e cultura:** os artefatos como mediadores de valores e práticas sociais. In: QUELUZ, M. L. P. (Org). **Design e cultura.** Curitiba: Sol, 2005.

SANTOS, M. R. dos. **Design, produção e uso dos artefatos:** uma abordagem a parti da atividade humana. 2000. 82f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

SANTOS, M. V. O.; AZEVEDO, J. B. **Caracterização de Polímeros Biodegradáveis para Produção de Compósitos.** Workshop de pesquisa, tecnologia e inovação SENAI/DR-BA, 2011.

SAPUAN, S. M.; MALEQUE, M. A. **Design and fabrication of natural woven fabric reinforced epoxy composite for household telephone stand.** Materials and Design, v. 26, p. 65-71, 2005.

SATYANARAYANA, K. G. **Biodegradable polymer composites based on brazilian lignocellulosic.** Revista Matéria, v. 15, n. 2, p. 088-095, 2010.

SCHLEMMER, D.; de OLIVEIRA, E. R.; ARAÚJO SALES, M. J.. **Polystyrene/thermoplastic starch blends with different plasticizers.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 87, p. 635-638, 2007.

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto:** reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SCHNEIDER, B. **Design - uma introdução:** o design no contexto social, cultural e econômico. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

SHEN, L.; HAUFE, J.; PATEL, M. K. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics**. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University, 2009.

SHIH, Y. F., HUANG, C. C. **Polylactic acid (PLA)/banana fiber (BF) biodegradable green composites**. J Polym Res, 18, p.2335-2340, 2011.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá híbridos com fibras de vidro**. 86f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, V. da. **Desenvolvimento de biocompósitos de poli(3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato) (PHBV) com resíduos de madeira**. Dissertação - Programa de Mestrado em Engenharia de Processos, UNIVILLE. Joinville, 2009.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F. **Curaua fiber: A New Alternative to Polymeric Composites**. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 27 (1), pp. 103-112, 2008.

SILVEIRA, L. M. Cor, design e consumo. In: QUELUZ, M. L. P. (Org). **Design e consumo**. Curitiba: Peregrina, 2010.

SLATER, D. **Cultura do consumo e modernidade**. São Paulo: Nobel, 2002.

STAEHLE, R. W. **Engineering with advanced and new materials**. Materials Science and Engineering, A198, p. 245-256, 1995.

STARK, N. **Influence of moisture absorption on mechanical properties of wood flour-polypropylene composites**. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 14(5), p. 421-32, 2002.

STEPHAN, A. P. **10 cases do design brasileiro**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

SUSTAINABLE PACKAGING COALITION. **Design guidelines for sustainable packaging**. [S.l.: s.n.]; 2006.

TAIB, R. M.; RAMARAD, S.; ISHAK, Z. A. M.; TODO, M. **Properties of Kenaf Fiber/Polylactic Acid Biocomposites Plasticized with Polyethylene Glycol**. Polymer composites, 2010.

UN DOCUMENTS. **Report of the World Commission on Environment and Development**: our common future. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

VERNEY, J. C. K.; LIMA, M. F. S.; LENZ, D. M. **Properties of SBS and sisal fiber composites**: ecological material for shoe manufacturing. Mater Res 4(11), p. 447-451, 2008.

VILAPLANA, F. ; STRÖMBERG, E.; KARLSSON, S. **Environmental and resource aspects of sustainable biocomposites**. Polymer Degradation and Stability, 95, p. 2147-2161, 2010.

VILASECA, F.; MENDEZ, J. A.; PÈLACH; LIOP, M. L.; CAÑIGUERAL, N.; GIRONÈS, J.; TURON, X.; MUTJE, P. **Composite materials derived from biodegradable starch polymer and jute strands**. Process Biochemistry, 42, 329-334, 2007.

VYGOTSKY, L.S. **A formação social da mente**. 6. ed., São Paulo: Martins Fontes, 1998.

WALLSTRÖM, S.; STRÖMBERG, E.; KARLSSON, S. **Microbiological growth testing of polymeric materials**: an evaluation of new methods. Polymer Testing, 24 (5), p. 557-63, 2005.

WU, C. S.; LIAO, H. T. **Polycaprolactone-Based Green Renewable Eco-composites Made from Rice Straw Fiber:** Characterization and Assessment of Mechanical and Thermal Properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, p. 3329 - 3337, 2012.

XIONG, H.; SUN, S.; JIANG, V. **Application of Modern New Materials in Product Design.** *IEEE*, p.759 -764, 2008.

YAGI, K.; HALADA, K . **Materials development for a sustainable society .** *Materials and Design*, 22, p. 143-146 , 2001.

YHHG. **Polipropileno enxertado com anidrido maleico (MA-g-PP).** Disponível em: <http://www.yhhg.com/po/product/PP_SZ01.HTML> Acesso em: 12 abril 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005.

YU, L.; DEANA, K.; LI, L. **Polymer blends and composites from renewable resources.** *Prog. Polym. Sci.*, 31, p. 576 - 602, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Escola de Engenharia - Faculdade de Arquitetura
Curso de Pós Graduação em Design Com Ênfase em Design & Tecnologia
www.pgdesign.ufrgs.br Fone/fax: 3308-3438

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está convidado a participar da pesquisa “Design e materiais: aplicação de compósitos biodegradáveis no design de produto” que tem por objetivo geral: Investigar a viabilidade de aplicação do compósito polímero biodegradável e fibra de curauá no design de produto. A participação está em responder ao roteiro da entrevista elaborado e aplicado pela autora desse projeto.

Sua participação não é obrigatória, não haverá benefício monetário ao participar dessa pesquisa, todos os dados serão mantidos em sigilo, bem como seu nome verdadeiro. A qualquer momento você poderá retirar sua participação e o consentimento, após o término da pesquisa os dados serão mantidos em sigilo e poderão ser utilizados em futuras pesquisas. Você terá uma cópia desse consentimento com o nome e telefone da pesquisadora responsável.

Eliana Paula Calegari

(xx) xxxxxxxx

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Escola de Engenharia - Faculdade de Arquitetura
Curso de Pós Graduação em Design Com Ênfase em Design & Tecnologia
www.pgdesign.ufrgs.br Fone/fax: 3308-3438

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, _____, de CPF _____ abaixo assinado, _____ aceito participar da pesquisa “Design e materiais: aplicação de compósitos biodegradáveis no design de produto” como voluntário. Fui devidamente informado sobre os procedimentos que serão utilizados bem como os termos de participação pela pesquisadora _____. Foi me garantido que posso retirar minha participação a qualquer momento se assim me parecer correto.

Entrevistado pela pesquisa

APÊNDICE C - ROTEIRO PARA ENTREVISTAS COM DESIGNERS DE PRODUTO



Escola de Engenharia - Faculdade de Arquitetura
Curso de Pós Graduação em Design Com Ênfase em Design & Tecnologia
www.pgdesign.ufrgs.br Fone/fax: 3308-3438

Roteiro para entrevistas com designers de produto

1. Baseado em suas experiências projetuais, em que etapa do processo de design você normalmente pensa sobre o possível (is) material (is) que irá empregar no produto? Por quê?
2. Você utiliza alguma fonte de informações sobre materiais para a seleção de materiais? Quais?
3. Quais são as informações sobre materiais que você considera necessárias para a seleção de materiais?
4. Você leva em consideração fatores estéticos na seleção de materiais? Quais?
5. Você leva em consideração fatores simbólicos na seleção de materiais? Quais?
6. Você leva em consideração fatores práticos na seleção de materiais? Quais?
7. Você leva em consideração percepções sensoriais na seleção de materiais? Quais?
8. Você leva em consideração fatores técnicos na seleção dos materiais? Qual (is)?
9. Descreva este material.
10. Qual (is) material (is) você considera semelhante (s) a estas amostras? Por que?
11. Esse material traz alguma lembrança ou associação para você? Qual (is)?

12. Você conhece ou já ouviu falar sobre novos materiais biodegradáveis? Qual (is)?
13. Você conhece ou já ouviu falar sobre polímeros biodegradáveis? Qual (is)?
14. Você conhece algum produto produzido com polímero biodegradável? Qual (is)
15. Você conhece ou já ouviu falar sobre compósitos biodegradáveis? Qual (is)
16. Você conhece algum produto produzido compósito biodegradável? Qual (is)
17. O que você pensa sobre o uso de materiais biodegradáveis no design de produto? Por quê?
18. Você utilizaria um material biodegradável em algum projeto? Por quê?
19. Levando em consideração que este é um compósito biodegradável à base de polímero biodegradável e fibra de curauá, descreva o material.
20. Que fatores estéticos você associa ao compósito? Porquê?
21. Que fatores simbólicos você associa ao compósito? Porquê?
22. Que fatores práticos você associa ao compósito? Porquê?
23. Que fatores técnicos você associa ao compósito? Porquê?
24. Quais as percepções sensoriais que você considera relevantes neste material? Por quê?
25. Este compósito traz alguma lembrança ou associação para você? Qual (is)?
26. Este compósito pode agregar características/percepções intangíveis a um produto? Qual (is)? Por quê?
27. Você utilizaria este compósito biodegradável em algum projeto? Por quê?
28. Que tipo de aplicações você sugere para este compósito biodegradável? Por quê?

APÊNDICE D - TABELA DO MAPEAMENTO DOS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS.

Fonte	Materiais			Preparação do compósito			Propriedades mecânicas		
	Compósito	Fibra	Matriz	Tratamento(s) na fibra	Aditivo(s) na matriz	Processamento do compósito	Resistência à tração (Mpa)	Elongação (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
Rosa <i>et al.</i> (2009)	Amido/EVOH		Amido de trigo e Copolímero		Plastificante: glicerol		10,2 (0,5)	67 (27)	0,099 (11)
	Amido/EVOH/fibra sem Tratamento	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	8,9 (0,6)	28 (9)	0,147 (20)
	Amido/EVOH/fibra Lavada	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero De Etileno Álcool Vinílico	Lavagem	Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	11,2 (1,2)	35 (6)	0,172 (30)
	Amido/EVOH/fibra Mercerizada	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero De Etileno Álcool Vinílico	Mercerização	Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	3,6 (0,5)	33 (5)	0,172 (17)
	Amido/EVOH/fibra Branqueada	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero De Etileno Álcool Vinílico	Branqueamento	Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	11,7 (0,6)	31 (5)	0,157 (18)
Rosa <i>et al.</i> (2009a)	Amido/EVOH		Amido de trigo e Copolímero		Plastificante: glicerol		10,2 (0,5)	67 (27)	0,099 (11)
	Amido/EVOH/5%fibra coco	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero De Etileno Álcool Vinílico		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	9,4 (0,4)	50 (13)	0,114 (8)
	Amido/EVOH/10%fibra coco	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero De Etileno Álcool Vinílico		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	8,7 (0,5)	38 (9)	0,124 (11)
	Amido/EVOH/15%fibra coco	Coco imaturo	Amido de trigo e Copolímero De Etileno Álcool Vinílico		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	8,9 (0,6)	28 (10)	0,147 (20)
Macedo <i>et al.</i> (2010)	Polihidroxibutirato plastificado		Polihidroxibutirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol	Extrusão e moldagem Por compressão	28,07 (0,01)	24,71 (0,04)	0,32701 (0,01)
	Polihidroxibutirato plastificado/ agente nucleante		Polihidroxibutirato (PHB)		Plastificante: hexilenoglicol/agente nucleante:CESA-nuleant PE106540	Extrusão e moldagem Por compressão	28,79 (0,02)	26,46 (0,04)	0,32569 (0,03)
	Polihidroxibutirato plastificado/ Agente compatibilizante		Polihidroxibutirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol/compatibilizante:CES	Extrusão e moldagem Por compressão	27,30 (0,04)	23,90 (0,07)	0,32542 (0,03)
	Polihidroxibutirato plastificado/ /agente nucleante/agente Compatibilizante		Polihidroxibutirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol/agente nucleante:CESA-nuleant PE106540/compatibiliza	Extrusão e moldagem Por compressão	26,04 (0,04)	22,43 (0,06)	0,316 (0,05)
	Polihidroxibutirato plastificado/ pó de coco/agente nucleante	Pó de coco	Polihidroxibutirato (PHB)		Plastificante: hexilenoglicol/pó de coco/agente	Extrusão e moldagem Por compressão	27,46 (0,02)	26,10 (0,03)	0,31088 (0,01)
	Polihidroxibutirato plastificado/ pó de coco/Agente compatibilizante	Pó de coco	Polihidroxibutirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol/pó de coco/agente compatibilizante:CESA-mix PE106530	Extrusão e moldagem Por compressão	26,67 (0,01)	20,00 (0,06)	0,33914 (0,04)

	Poli(hidro)butirato plastificado/ pó de coco/agente nucleante/ Agente compatibilizante	Pó de coco	Poli(hidro)butirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol/ pó de coco/agente nucleante: CESA-nuleant PE106540/ Compatibilizante:CESA-mix PE106530	Extrusão e moldagem Por compressão	24,61 (0,03)	20,82 (0,06)	0,31176 (0,01)
	Poli(hidro)butirato plastificado/ pó de coco/agente nucleante/ Agente compatibilizante/ Pigmento	Pó de coco	Poli(hidro)butirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol/ Agente nucleante: CESA-nuleant PE106540/ Compatibilizante: CESA-mix PE106531/ Pigmento	Extrusão e moldagem Por compressão	24,00 (0,04)	19,17 (0,03)	0,31373 (0,03)
	Poli(hidro)butirato/pigmento	Pó de coco	Poli(hidro)butirato (PHB)		Plastificante:hexilenoglicol/ Pigmento	Extrusão e moldagem Por compressão	22,73 (0,04)	15,60 (0,02)	0,31693 (0,05)
			Glúten de trigo				1,71 (0,12)	162,7 (25,1)	0,00552 (0,55)
Muensri <i>et al.</i> (2011)	42%lignina/10%fibra coco	Pó de coco	Glúten de trigo	Cloreto de sódio		Moldagem Por compressão	1,86 (0,13)	32,82 (6,07)	0,1794 (2,26)
	31%lignina/10%fibra coco	Pó de coco	Glúten de trigo	Cloreto de sódio		Moldagem Por compressão	1,85 (0,11)	23,00 (3,40)	0,2274 (2,54)
	21%lignina/10%fibra coco	Pó de coco	Glúten de trigo	Cloreto de sódio		Moldagem Por compressão	1,76 (0,05)	29,53 (2,92)	0,1851 (1,40)
	Poli(3-hidro)butirato/plastificante		Poli(3-hidro)butirato)		Plastificante triacetina		27,5 (0,4)	24,3 (1,3)	0,2952 (6,4)
	Poli(3-hidro)butirato)/1,5%fibra coco	Pó de coco e fibras curtas	Poli(3-hidro)butirato)		Plastificante triacetina	Extrusão e moldagem Por compressão	26,2 (0,6)	23,4 (0,8)	0,2895 (14,5)
Mello <i>et al.</i> (2010)	Poli(3-hidro)butirato)/1,5%fibra coco	Pó de coco e fibras curtas	Poli(3-hidro)butirato)	Acetilação:60ml anidrido acético/40ml ácido acético/ 4 gotas de ácido sulfúrico P.A. (catalizador)	Plastificante triacetina	Extrusão e moldagem Por compressão	26,0 (0,4)	16,1 (0,6)	0,3752 (4,3)
	Poli(3-hidro)butirato)/1,5%fibra coco	Pó de coco e fibras curtas	Poli(3-hidro)butirato)	Acetilação:100ml anidrido acético/4 gotas de ácido sulfúrico P.A. (catalizador)	Plastificante triacetina	Extrusão e moldagem Por compressão	25,5 (0,2)	20,6 (0,3)	0,3199 (6,5)
	Poli(3-hidro)butirato)/1,5%fibra coco	Pó de coco e fibras curtas	Poli(3-hidro)butirato)	Acetilação:100ml anidrido acético	Plastificante triacetina	Extrusão e moldagem Por compressão	23,5 (0,5)	18,2 (0,4)	0,3055 (12,0)
			Pectina				1,35	8,43	0,13326
			EVA				0,9	739,76	0,00061
Morais <i>et al.</i> (2006)		Coco imaturo					220	20	0,6
	Pectina/ copolímero poli[(etileno) - co - (acetato de vinila)] (EVA)					Moldagem por compressão	221	32,16	0,15443
	30%borracha/70%fibra coco	Coco	Borracha natural			Moldagem por compressão	120,3	12,2	
Asasutjarit <i>et al.</i> (2009)	40%borracha/60%fibra coco	Coco	Borracha natural			Moldagem por compressão	140,2	17,6	
	50%borracha/50%fibra coco	Coco	Borracha natural			Moldagem por compressão	124,7	20,8	
	60%borracha/40%fibra coco	Coco	Borracha natural			Moldagem por compressão	96,7	26,4	

Ramírez <i>et al.</i> (2010)	Amido de milho	Coco	Amido de milho			Moldagem por compressão	7,56	38,46	
	Amido de milho/5%fibra coco	Coco	Amido de milho			Moldagem por compressão	7,81	8,39	
	Amido de milho/10%fibra coco	Coco	Amido de milho			Moldagem por compressão	8,08	7,79	
	Amido de milho/15%fibra coco	Coco	Amido de milho			Moldagem por compressão	8,13	6,82	
	Amido de mandioca	Coco	Amido de mandioca			Moldagem por compressão	3,24	111,92	
	Amido de mandioca/5%fibra coco	Coco	Amido de mandioca			Moldagem por compressão	5,71	6,43	
	Amido de mandioca/10%fibra coco	Coco	Amido de mandioca			Moldagem por compressão	7,78	6,16	
	Amido de mandioca/15%fibra coco	Coco	Amido de mandioca			Moldagem por compressão	9,34	5,93	
Rosa <i>et al.</i> (2009b)	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)		Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	10,2 (0,5)	67 (27)	0,099 (11)
	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH) /fibra coco	Coco	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	8,9 (0,6)	28 (9)	0,147 (20)
	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)/Fibra coco lavada	Coco	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	11,2 (1,2)	35 (6)	172 (30)
	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)/Fibra coco mercerizada	Coco	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	13,6 (0,5)	33 (5)	172 (17)
	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)/Fibra coco branqueada	Coco	Amido de trigo/copolímeros de etileno álcool vinílico (EVOH)		Plastificante: glicerol	Extrusão e injeção	11,7 (0,6)	31 (5)	157 (18)
Cao <i>et al.</i> (2006)	Amido/20%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho			Moldagem por compressão	16,52 (0,78)		
	Amido/20%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho	Alcalino (solução de NaOH)		Moldagem por compressão	18,58 (0,73)		
	Amido/35%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho			Moldagem por compressão	18,6 (0,83)		
	Amido/35%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho	Alcalino (solução de NaOH)		Moldagem por compressão	21,35 (0,69)		
	Amido/50%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho			Moldagem por compressão	21,09 (0,89)		
	Amido/50%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho	Alcalino (solução de NaOH)		Moldagem por compressão	23,07 (0,53)		
	Amido/65%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho			Moldagem por compressão	23,47 (0,74)		
	Amido/65%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho	Alcalino (solução de NaOH)		Moldagem por compressão	26,77 (0,75)		
Vallejos <i>et al.</i> (2011)	Amido de mandioca/glicerina		Amido de mandioca		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	2,2 (0,3)	57,2 (15)	0,0133 (1,5)
	Amido de mandioca/5%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de mandioca		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	2,7 (0,3)	30,8 (5,6)	0,0236 (3,6)
	Amido de mandioca/10%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de mandioca		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	3,2 (0,5)	22,5 (2,8)	0,0380 (5,6)
	Amido de mandioca/15%fibra	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de mandioca		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	3,2 (0,7)	21,0 (2,5)	0,0564 (9,3)
	Amido de milho/glicerina		Amido de milho		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	2,6 (0,3)	33,4 (8,6)	0,0285 (3,1)

	Amido de milho/ 5%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	3,4 (0,5)	20,7 (5,4)	0,585 (4,2)
	Amido de milho/ 10%cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	3,8 (0,3)	13,7 (3,2)	0,0971 (4,1)
	Amido de milho/15%fibra	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	3,7 (0,7)	10,4 (3,5)	0,131 (10)
Guimarães <i>et al.</i> (2010)	70%amido/30%glicerol		Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerol		4,00 (0,38)	75,57 (2,12)	0,2468 (4,16)
	50%amido/30%glicerol/ 20%fibra banana	Banana	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,07 (0,19)	14,96 (0,80)	0,7081 (9,03)
	45%amido/30%glicerol/ 25%fibra banana	Banana	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,05 (0,18)	12,23 (0,17)	0,9712 (8,93)
	35%amido/30%glicerol/ 35%fibra banana	Banana	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	3,56 (1,34)	10,63 (0,86)	0,7435 (3,08)
	45%amido/30%glicerol/ 25%fibra bagaço cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,15 (0,20)	10,30 (1,31)	0,16250 (19,12)
	45%amido/30%glicerol/ 25%fibra banana	Banana	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	4,34 (2,30)	1,20 (0,22)	0,48404 (150,86)
	40%amido/30%glicerol/ 30%fibra banana	Banana	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,73 (0,16)	4,50 (0,25)	0,8088 (8,81)
	45%amido/30%glicerol/ 25%fibra bagaço cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho (Amidex-3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	2,92 (0,21)	5,09 (0,15)	0,19948 (18,68)
Gilfillan <i>et al.</i> (2012)	Amido de milho/glicerol	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho (G939)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	6,1	38,3	0,1299
	Amido de milho/glicerol/ 5%bagaço da cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho (G939)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	7,2	18	0,1614
	Amido de milho/glicerol/ 10%bagaço da cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho (G939)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,9	17	0,1329
	Amido de milho/glicerol/ 20%bagaço da cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar	Amido de milho (G939)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	5,2	10,6	0,1571
Kobayashi e Agnelli (2007)	Polihidroxibutirato (PHB)		Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	36,2 (1,5)	3,5 (0,3)	3,07 (0,1)
	80%Polihidroxibutirato (PHB)/ 20%fibra cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar (3,1 – 7,0 mm)	Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	30,7 (1,2)	1,5 (0,1)	4,68 (0,1)
	70%Polihidroxibutirato (PHB)/ 30%fibra cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar (3,1 – 7,0 mm)	Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	28,6 (1,1)	1,2 (0,1)	5,32 (0,2)
	60%Polihidroxibutirato (PHB)/ 40%fibra cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar (3,1 – 7,0 mm)	Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	25,0 (1,3)	1,0 (0,2)	6,17 (0,1)
	80%Polihidroxibutirato (PHB)/ 20%fibra cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar (0,1 – 3,0 mm)	Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	24,9 (1,1)	1,4 (0,1)	4,49 (0,1)
	70%Polihidroxibutirato (PHB)/ 30%fibra cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar (0,1 – 3,0 mm)	Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	19,5 (1,1)	1,0 (0,2)	4,98 (0,2)
	60%Polihidroxibutirato (PHB)/ 40%fibra cana-de-açúcar	Bagaço da cana-de-açúcar (0,1 – 3,0 mm)	Polihidroxibutirato (PHB)			Extrusão e injeção	16,4 (1,2)	0,9 (0,1)	5,43 (01)
	Resina de soja/40%juta não Tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glicoxal	Moldagem por compressão	24,8 (2,1)	9,3 (0,3)	0.780 (20)
	Resina de soja/50%juta não Tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glicoxal	Moldagem por compressão	29,6 (2,1)	8,7 (0,3)	0.824 (20)
	Resina de soja/60%juta não Tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glicoxal	Moldagem por compressão	37,1 (1,9)	6,8 (0,3)	0.1040 (20)

Behera <i>et al.</i> (2012)	Resina de soja/70%juta não Tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	35,9 (2,0)	6,2 (0,3)	0.916 (21)
	Resina de soja/80%juta tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	31,4 (2,0)	5,8 (0,3)	0.840 (20)
	Resina de soja/40%juta tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	22,4 (1,9)	10,2 (0,3)	0.714 (20)
	Resina de soja/50%juta tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	27,7 (1,9)	8,9 (0,3)	0.778 (21)
	Resina de soja/60%juta tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	35,6 (2,1)	7,1 (0,3)	0.972 (20)
	Resina de soja/70%juta tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	32,5 (2,1)	6,8 (0,3)	0.804 (20)
	Resina de soja/80%juta tecida	Juta	Resina do leite da soja		Plastificantes glicerol e glioxal	Moldagem por compressão	29,4 (2,0)	6,1 (0,3)	0.764 (22)
Plackett <i>et al.</i> (2003)			Poli (ácido láctico) (PLA)			Extrusão e moldagem por compressão	55 (0,5)	2,1 (0,1)	
	Poli (ácido láctico) (PLA)/juta Processados a 180°C	Juta	Poli (ácido láctico) (PLA)			Extrusão e moldagem por compressão	72,7 (2,3)	1,5 (0,0)	
	Poli (ácido láctico) (PLA)/juta Processados a 190°C	Juta	Poli (ácido láctico) (PLA)			Extrusão e moldagem por compressão	89,3 (3,6)	1,8 (0,1)	
	Poli (ácido láctico) (PLA)/juta Processados a 200°C	Juta	Poli (ácido láctico) (PLA)			Extrusão e moldagem por compressão	93,5 (1,1)	1,6 (0,1)	
	Poli (ácido láctico) (PLA)/juta Processados a 210°C	Juta	Poli (ácido láctico) (PLA)			Extrusão e moldagem por compressão	100,5 (0,4)	1,6 (0,1)	
	Poli (ácido láctico) (PLA)/juta Processados a 220°C	Juta	Poli (ácido láctico) (PLA)			Extrusão e moldagem por compressão	98,5 (3,3)	1,5 (0,1)	
Vilaseca <i>et al.</i> (2007)			Amido				13,2 (0,55)	22,6 (1,3)	0,600 (28)
	Amido/10%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido			Moldagem por injeção	17,9 (0,51)	7,7 (0,7)	1,090 (12)
	Amido/20%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido			Moldagem por injeção	20,4 (0,45)	3,2 (0,4)	1,690 (19)
	Amido/30%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido			Moldagem por injeção	22,2 (0,47)	1,8 (0,3)	2,470 (21)
	Amido/10%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido	Alcalino (NaOH)		Moldagem por injeção	21,1 (0,63)	7,3 (0,8)	1,115 (19)
	Amido/20%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido	Alcalino (NaOH)		Moldagem por injeção	23,8 (0,58)	3,3 (0,4)	1,680 (25)
	Amido/30%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido	Alcalino (NaOH)		Moldagem por injeção	23,3 (0,55)	2,0 (0,2)	2,490 (23)
	Amido/30%juta	Juta (fios cortados a um comprimento de 10 mm)	Amido	Fenil mono-isocianato (Ph-NCO)		Moldagem por injeção	11,5 (0,45)	0,9 (0,1)	1,930 (17)

Ma et al. (2010)	95%poli (ácido láctico) (PLA)/ 5%juta processados a 200°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	23,63	6,42	0,50416
	90%poli (ácido láctico) (PLA)/ 10%juta processados a 200°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	38,16	5,66	0,70558
	85%poli (ácido láctico) (PLA)/ 15%juta processados a 200°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	44,78	5,76	0,79114
	95%poli (ácido láctico) (PLA)/ 5%juta processados a 210°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	24,6	5,65	0,56861
	90%poli (ácido láctico) (PLA)/ 10%juta processados a 210°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	35,68	5,58	0,73132
	85%poli (ácido láctico) (PLA)/ 15%juta processados a 210°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	44,62	5,15	0,88663
	95%poli (ácido láctico) (PLA)/ 5%juta processados a 220°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	23,74	5,59	0,47645
	90%poli (ácido láctico) (PLA)/ 10%juta processados a 220°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	28,73	5,16	0,6388
	85%poli (ácido láctico) (PLA)/ 15%juta processados a 220°C	Juta (fibras cortadas a um Comprimento de 3mm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		<i>Filmstacking</i>	38,14	5,38	0,73301
Ishiaku et al. (2005)			Poli butileno succinato			Moldagem por injeção	39,8	185	0,6
			Poli butileno succinato (PBS)			Moldagem por injeção - Weld-lines (solda- linhas)	19,8	5,25	0,62
	Poli butileno succinato (PBS)/juta	Juta (cortadas a um Comprimentos de 2- 3 mm)	Poli butileno succinato (PBS)	Alcalino (NaOH)		Moldagem por injeção	35,9	8,78	1,26
	Poli butileno succinato (PBS)/juta	Juta (cortadas a um Comprimentos de 2- 3 mm)	Poli butileno succinato (PBS)	Alcalino (NaOH)		Moldagem por injeção - Weld-lines (solda- linhas)	25,8	3,44	1,14
Reddy et al. (2011)	40%proteína de soja/60%fibra juta	Juta	Proteína de soja (nome comercial: Pro Fam 646)			Moldagem por compressão	61,0 (7,7)		5,4 (0,3)
	50%proteína de soja/50%fibra juta	Juta	Proteína de soja (nome comercial: Pro Fam 646)			Moldagem por compressão	69,7 (14,3)		5,9 (0,8)
	60%proteína de soja/40%fibra juta	Juta	Proteína de soja (nome comercial: Pro Fam 646)			Moldagem por compressão	67,0 (14,6)		6,4 (0,6)

	70%proteína de soja/30%fibra juta	Juta	Proteína de soja (nome comercial: Pro Fam 646)			Moldagem por compressão	36,5 (5,8)		4,2 (1,4)
Maffezzolia <i>et al.</i> (2011)	Cardanol/fibra juta	Juta	Cardanol (subproduto da castanha de caju)		Resole	Moldagem por compressão	20,6 (2,3)	2,9 (0,5)	0,4891 (6,21)
	Cardanol/fibra juta	Juta	Cardanol (subproduto da castanha de caju)	Mercerização	Resole	Moldagem por compressão	13,07 (1,8)	6,6 (2,7)	2,006 (888)
	Cardanol/fibra juta	Juta	Cardanol (subproduto da castanha de caju)	Silano	Resole	Moldagem por compressão	9,38 (0,5)	12,02 (0,6)	
	Cardanol/fibra juta	Juta	Cardanol (subproduto da castanha de caju)			Moldagem por compressão			
Reddy <i>et al.</i> (2011)	60%Zeína/40% fibra juta	Juta	Zeína (proteína do milho) (nome comercial: (F-4000))		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	64,0 (6,1)		24,58 (824)
Campos <i>et al.</i> (2011)	Amido termoplástico		Amido termoplástico			Moldagem por compressão	0,8 (0,05)	12,5 (2,65)	0,1546 (11,70)
	Policaprolactona (PCL)		Policaprolactona (PCL)			Moldagem por compressão	33,1 (8,48)	798,2 (119,04)	0,2148 (56,14)
	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)		Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)			Moldagem por compressão	2,2 (0,09)	11,9 (0,24)	0,1520 (9,69)
	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)	Lavagem		Moldagem por compressão	2,6 (0,37)	6,5 (0,44)	0,1330 (16,32)
	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)	Cicloexano/etanol		Moldagem por compressão	1,8 (0,57)	6,0 (0,57)	0,1160 (5,24)
	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)			Moldagem por compressão	2,8 (0,51)	4,8 (0,45)	0,1320 (24,80)
	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido termoplástico/ Policaprolactona (PCL)	Alcalino (NaOH)/peróxido de hidrogênio		Moldagem por compressão	3,7 (0,27)	3,6 (0,21)	0,1370 (23,50)
Alvarez <i>et al.</i> (2003)	Celulose e amido	Sisal	Celulose e amido			Moldagem por compressão			0,945 (0,1)
	Celulose e amido/5%sisal	Sisal	Celulose e amido			Moldagem por compressão			1,39 (0,15)
	Celulose e amido/10%sisal	Sisal	Celulose e amido			Moldagem por compressão			1,87 (0,17)
	Celulose e amido/15%sisal	Sisal	Celulose e amido			Moldagem por compressão			2,20 (0,18)
	Celulose e amido/5%sisal	Sisal	Celulose e amido	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão			1,41 (0,16)
	Celulose e amido/10%sisal	Sisal	Celulose e amido	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão			1,91 (0,18)
	Celulose e amido/15%sisal	Sisal	Celulose e amido	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão			2,26 (0,21)
Corradini <i>et al.</i> (2006)	Amido de milho/glúten		Amido de milho e glúten		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	2,53 (0,23)	3,30 (0,36)	0,161 (22)
	Amido de milho/glúten/ Fibra coco	Coco (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,45 (0,30)	2,19 (0,31)	0,331 (55)
	Amido de milho/glúten/ Fibra coco	Coco (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten	Mercerização	Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,82 (0,59)	1,43 (0,35)	0,504 (47)
	Amido de milho/glúten/ Fibra juta	Juta (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,71 (0,39)	1,49 (0,04)	0,466 (45)
	Amido de milho/glúten/ Fibra juta	Juta (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten	Mercerização	Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,89 (0,66)	1,48 (0,34)	0,538 (54)
	Amido de milho/glúten/ Fibra sisal	Sisal (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	4,80 (0,43)	1,08 (0,12)	0,621 (54)
	Amido de milho/glúten/ Fibra sisal	Sisal (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten	Mercerização	Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	3,79 (0,52)	1,49 (0,45)	0,404 (58)
	Amido de milho/glúten/ Fibra sisal	Sisal (cortadas em 7mm)	Amido de milho e glúten			Moldagem por compressão			

Campos <i>et al.</i> (2012)	Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)		Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)		Plastificante: glicerol	Extrusão	0,6	63,9	0,0646
	Policaprolactona (PCL)		Policaprolactona (PCL)		Plastificante: glicerol	Extrusão	4,3	12,8	0,1151
	Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)/Policaprolactona (PCL)		Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)/Policaprolactona (PCL)		Plastificante: glicerol	Extrusão	1,7	13,1	0,0622
	Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)/Policaprolactona (PCL)/5%sisal	Sisal	Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)/Policaprolactona (PCL)		Plastificante: glicerol	Extrusão	3,8	5,3	0,2051
	Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)/Policaprolactona (PCL)/10%sisal	Sisal	Amido de milho termoplástico (amidex 3001) (TPS)/Policaprolactona (PCL)		Plastificante: glicerol	Extrusão	3,6	2,9	0,2557
Cyras <i>et al.</i> (2004)	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)		Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)			Extrusão e moldagem por injeção	9,81 (0,6)	89,1 (20,1)	0,123 (6)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)	Lavagem		Extrusão e moldagem por injeção	16,7 (0,7)	10,1 (0,5)	0,373 (26)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)	Acetilação		Extrusão e moldagem por injeção	12,2 (0,1)	69,2 (5,1)	0,166 (5)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	14,2 (0,1)	24,2 (1,5)	0,219 (6,4)
Cyras <i>et al.</i> (2001)	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/sisal		Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)			Extrusão e moldagem por injeção	7,3 (1,3)	859 (89)	0,037 (0,9)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/10%sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)			Extrusão e moldagem por injeção	10,9 (0,9)	545 (44)	0,138 (13)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/20%sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)			Extrusão e moldagem por injeção	12,7 (0,5)	8,0 (9,0)	0,257 (17)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/30%sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)			Extrusão e moldagem por injeção	14,4 (1,6)	4,1 (0,8)	0,687 (119)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/10%sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	6,4 (0,8)	608 (53)	0,112 (16)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/20%sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	8,8 (0,9)	11,2 (1,5)	0,221 (24)
	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)/30%sisal	Sisal	Amido (MaterBi-Z ZF03)/ policaprolactona (PCL)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	10,9 (2,1)	6,1 (0,5)	0,410 (36)
Zou <i>et al.</i> (2012)	Poli (ácido láctico) (PLA)		Poli (ácido láctico) (PLA)			Moldagem por compressão	58 (3,2)	2,5 (0,20)	3,3 (0,22)
	Poli (ácido láctico) (PLA)/fibra sisal	Sisal	Poli (ácido láctico) (PLA)			Moldagem por compressão	75 (4,0)	1,6 (0,18)	5,2 (0,43)
	Poli (ácido láctico) (PLA)/fibra sisal mercerizada	Sisal	Poli (ácido láctico) (PLA)	Mercerização		Moldagem por compressão	89 (3,3)	1,2 (0,15)	5,9 (0,41)
	Poli (ácido láctico) (PLA)/fibra sisal silano	Sisal	Poli (ácido láctico) (PLA)	Silano		Moldagem por compressão	92 (4,6)	1,3 (0,13)	6,6 (0,54)
	Poli (ácido láctico) (PLA)/fibra sisal acetilada	Sisal	Poli (ácido láctico) (PLA)	Acetilação		Moldagem por compressão	95 (5,4)	1,4 (0,12)	6,3 (0,52)
	Poli (ácido láctico) (PLA)/fibra sisal permanganato	Sisal	Poli (ácido láctico) (PLA)	Permanganato		Moldagem por compressão	82 (4,1)	1,1 (0,12)	6,5 (0,48)

Ali <i>et al.</i> (2003)	Mater-Bi Z		Mater-Bi Z			Moldagem por compressão	4,027 (0,679)		27,5 (8,1)
	Mater-Bi Z/fibra sisal	Sisal	Mater-Bi Z			Moldagem por compressão	10,39 (1,444)		222,0 (24,2)
	Mater-Bi Z/fibra sisal	Sisal	Mater-Bi Z	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão	13,03 (1,676)		292,2 (31,8)
	Mater-Bi Y		Mater-Bi Z			Moldagem por compressão	17,70 (3,32)		704,6 (16,9)
	Mater-Bi Y/fibra sisal	Sisal	Mater-Bi Z			Moldagem por compressão	14,15 (0,92)		1032,2 (39,7)
	Mater-Bi Y/fibra sisal	Sisal	Mater-Bi Z	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão	22,35 (0,21)		1249,5 (13,6)
Campos <i>et al.</i> (2012a)	Amido de milho		Amido de milho (nome comercial: amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Extrusão	0,6 (0,1)	64 (8,0)	0,0646 (2,4)
	Amido de milho		Amido de milho (nome comercial: amidex 3001)		Plastificante: glicerol/irradiação UV-C		1,1 (0,2)	39,3 (11,3)	0,647 (3,5)
	Policaprolactona (PCL)		Policaprolactona (PCL)		Plastificante: glicerol	Extrusão	4,3 (1,0)	12,8 (2,3)	0,1151 (19,4)
	Policaprolactona (PCL)		Policaprolactona (PCL)		Plastificante: glicerol/irradiação UV-C	Extrusão			
	80%amido de milho/20%policaprolactona		Amido de milho/policaprolactona		Plastificante: glicerol	Extrusão	1,7 (0,2)	13,1 (1,9)	0,0622 (1,8)
	80%amido de milho/20%policaprolactona		Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol/irradiação UV-C	Extrusão	1,8 (0,2)	23,2 (3,1)	0,0627 (2,1)
	Amido de milho/policaprolactona/5%fibra sisal	Sisal	Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol	Extrusão	3,2 (0,2)	14,5 (1,2)	0,0685 (2,6)
	Amido de milho/policaprolactona/5%fibra sisal	Sisal	Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol/irradiação UV-C	Extrusão	2,8 (0,4)	10,0 (2,8)	0,0641 (4,0)
	Amido de milho/policaprolactona/10%fibra sisal	Sisal	Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol	Extrusão	2,3 (0,1)	19,5 (3,4)	0,0634 (1,1)
	Amido de milho/policaprolactona/10%fibra sisal	Sisal	Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol/irradiação UV-C	Extrusão	1,9 (0,4)	12,8 (200)	0,0624 (1,6)
	Amido de milho/policaprolactona/20%fibra sisal	Sisal	Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol	Extrusão	3,8 (0,5)	9,9 (1,3)	0,1035 (7,1)
	Amido de milho/policaprolactona/20%fibra sisal	Sisal	Amido de milho/policaprolactona	Alcalino (NaOH)/branqueamento	Plastificante: glicerol/irradiação UV-C	Extrusão	4,9 (0,4)	7,2 (0,5)	0,0622 (2,7)
Kim <i>et al.</i> (2010)	Resina de soja/58,1%fiber sisal	Sisal	Resina da proteína de soja	<i>unmercerized</i>		Moldagem por compressão	15,53 (15,93)	12,71 (9,02)	2,79 (7,99)
	Resina de soja/56,7%fiber sisal	Sisal	Resina da proteína de soja	<i>slack mercerized</i>		Moldagem por compressão	11,72 (19,81)	10,55 (17,42)	3,36 (5,75)
	Resina de soja/54,4%fiber sisal	Sisal	Resina da proteína de soja	Mercerização		Moldagem por compressão	11,04 (14,28)	8,61 (5,97)	3,80 (8,84)
Gomes <i>et al.</i> (2007)	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)/curauá	Curauá	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)			Moldagem por compressão	216	1,53	13
	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)/curauá	Curauá	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)			Método de pré-formação (Pre-forming method)	275	1,24	29
	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)/curauá	Curauá	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)			Método de chapa pré-impregnado (Prepreg sheet method)	327	1,16	36
	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)/curauá	Curauá	Amido de milho/Prolicaprolactona (PCL)	10%alcalino (NaOH)		Método de pré-formação (Pre-forming method)	276	2,78	26

	Amido de milho/ Prolicaprolactona (PCL)/curauá	Curauá	Amido de milho/ Prolicaprolactona (PCL)	10% alcalino (NaOH)		Método de chapa pré-impregnado (Prepreg sheet method)	334	1,74	32
	Amido de milho/ Prolicaprolactona (PCL)/curauá	Curauá	Amido de milho/ Prolicaprolactona (PCL)	15% alcalino (NaOH)		Método de chapa pré-impregnado (Prepreg sheet method)	300	3,05	24
Gomes <i>et al.</i> (2004)	Amido de milho/curauá	Curauá	Amido de milho			Moldagem por compressão	124	0,0148	6,94
	Amido de milho/curauá	Curauá	Amido de milho	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão	137	0,0304	6,97
Gutiérrez <i>et al.</i> (2012)	Acetato de celulose		Acetato de celulose		Plastificante: 30% triacetato de dioctilo (DOP)	Extrusão e moldagem por injeção			0,494 (7) (Young's modulus)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose		Plastificante: 30% triacetato de dioctilo (DOP)	Extrusão e moldagem por injeção			0,540 (10)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose	Acetona	Plastificante: 30% triacetato de dioctilo (DOP)	Extrusão e moldagem por injeção			0,550 (13)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose	Mercerização	Plastificante: 30% triacetato de dioctilo (DOP)	Extrusão e moldagem por injeção			0,531 (10)
	Acetato de celulose		Acetato de celulose		Platificante: 30% acetato de trietilo (TEC)	Extrusão e moldagem por injeção			0,532 (18)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose		Platificante: 30% acetato de trietilo (TEC)	Extrusão e moldagem por injeção			0,534 (18)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose	Acetona	Platificante: 30% acetato de trietilo (TEC)	Extrusão e moldagem por injeção			0,589 (11)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose	Mercerização	Platificante: 30% acetato de trietilo (TEC)	Extrusão e moldagem por injeção			0,559 (19)
	Acetato de celulose		Acetato de celulose		Plastificante: 30% glicerol (GTA)	Extrusão e moldagem por injeção			0,530 (19)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose		Plastificante: 30% glicerol (GTA)	Extrusão e moldagem por injeção			0,504 (18)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose	Acetona	Plastificante: 30% glicerol (GTA)	Extrusão e moldagem por injeção			0,459 (18)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras moídas de 10-30 mm de	Acetato de celulose	Mercerização	Plastificante: 30% glicerol (GTA)	Extrusão e moldagem por injeção			0,545 (11)
		Acetato de celulose		Acetato de celulose		Platificante: 30% acetato de trietilo (TEC)	Extrusão e moldagem por injeção		
	Acetato de celulose		Acetato de celulose		Plastificante: 30% triacetato de dioctilo	Extrusão e moldagem por injeção			494 (17)
	Acetato de celulose/10% curauá	Curauá (fibras cortadas 3-6 mm De comprimento)	Acetato de celulose		Platificante: 30% acetato de trietilo (TEC)	Extrusão e moldagem por injeção			534 (28)

Gutiérrez <i>et al.</i> (2012a)	Acetato de celulose/10%curauá	Curauá (fibras cortadas 3-6 mm De comprimento)	Acetato de celulose		Plastificante: 30% triacetato de dioctilo (DOP)	Extrusão e moldagem por injeção			540 (20)
	Acetato de celulose/10%curauá	Curauá (fibras cortadas 3-6 mm De comprimento)	Acetato de celulose	Dióxido de carbono supercrítico	Platificante: 30% acetato de trietilo (TEO)	Extrusão e moldagem por injeção			550 (15)
	Acetato de celulose/10%curauá	Curauá (fibras cortadas 3-6 mm De comprimento)	Acetato de celulose	Dióxido de carbono supercrítico	Plastificante: 30% triacetato de dioctilo (DOP)	Extrusão e moldagem por injeção			502 (17)
Hamnecker <i>et al.</i> (2012)	Ecovio/5% fibra curauá	Curauá	Ecovio (poli (butileno adipato)- co-poli (tereftalato de butileno) (P (BA-co-BT)))	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	13,6 (1,3)	18,6 (2,1)	0,001175 (32)
	Ecovio/15% fibra curauá	Curauá	Ecovio (poli (butileno adipato)- co-poli (tereftalato de butileno) (P (BA-co-BT))) e poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	17,7 (0,9)	10,5 (0,8)	0,001772 (38)
	Ecovio/20% fibra curauá	Curauá	Ecovio (poli (butileno adipato)- co-poli (tereftalato de butileno) (P (BA-co-BT))) e poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e moldagem por injeção	14,5 (0,6)	11 (0,3)	0,002580 (53)
	Ecovio/5% fibra curauá	Curauá	Ecovio (poli (butileno adipato)- co-poli (tereftalato de butileno) (P (BA-co-BT))) e poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)/agente de acoplamento: anidrido maleico polipropileno enxertado (MA-g-PP)		Extrusão e moldagem por injeção	14,8 (0,7)	14 (0,8)	0,001250 (12)
	Ecovio/15% fibra curauá	Curauá	Ecovio (poli (butileno adipato)- co-poli (tereftalato de butileno) (P (BA-co-BT))) e poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)/agente de acoplamento: anidrido maleico polipropileno enxertado (MA-g-PP)		Extrusão e moldagem por injeção	19,3 (1,5)	7,8 (0,5)	0,001971 (20)
	Ecovio/20% fibra curauá	Curauá	Ecovio (poli (butileno adipato)- co-poli (tereftalato de butileno) (P (BA-co-BT))) e poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)/agente de acoplamento: anidrido maleico polipropileno enxertado (MA-g-PP)		Extrusão e moldagem por injeção	22,2 (1,3)	11,6 (0,5)	0,002767 (12)
	Poli (ácido láctico) (PLA)		Poli (ácido láctico) (PLA)			Moldagem por	39,3	2,53	1,17
Shih <i>et al.</i> (2011)	Poli (ácido láctico) (PLA)/ 20% fibra de banana	Banana (fibras cortadas com Diâmetro médio de 20 µm e 1 cm de	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)/agente de acoplamento silano (triétoxi-vinilsilano)		Moldagem por compressão	53,8	1,29	2,35
	Poli (ácido láctico) (PLA)/ 40% fibra de banana	Banana (fibras cortadas com Diâmetro médio de 20 µm e 1 cm de	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)/agente de acoplamento silano (triétoxi-vinilsilano)		Moldagem por compressão	78,6	0,24	7,2

	Poli (ácido láctico) (PLA)/ 60%fibra de banana	Banana (fibras cortadas com Diâmetro médio de 20 µm e 1 cm de	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)/agente de acoplamento silano (trietoxi-vinilsilano)		Moldagem por compressão	65,1	0,08	11,35
	Poli (ácido láctico) (PLA)/ 20%fibra de banana	Banana (fibras cortadas com Diâmetro médio de 20 µm e 1 cm de	Poli (ácido láctico) (PLA)	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão	46,3	0,23	6,63
Bastos e Simão (2007)	Amido de milho termoplástico	Banana	Amido de milho termoplástico		Plastificante: glicerol	Extrusão	4,4 (0,4)	92,2 (0,4)	0,00045 (0,17)
	Amido de milho termoplástico/ 1%fibra de banana	Banana	Amido de milho termoplástico		Plastificante: glicerol	Extrusão	4,5 (0,3)	51,3 (7,9)	0,00050 (0,07)
Jandas <i>et al.</i> (2012)	Poli (ácido láctico) (PLA)		Poli (ácido láctico) (PLA)			Moldagem por compressão	38,00 (35)	2,91 (0,32)	0,03546 (36,66)
	90%poli (ácido láctico) (PLA)/ 10%fibra banana	Banana (fibras cortadas Num comprimento de 13-15 cm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Agente de acoplamento 3-aminopropiltriétoxissilano (EPA)		Moldagem por compressão	10,55 (42)	1,45 (0,26)	0,03963 (44,58)
	80%poli (ácido láctico) (PLA)/ 20%fibra banana	Banana (fibras cortadas Num comprimento de 13-15 cm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Agente de acoplamento 3-aminopropiltriétoxissilano (EPA) E [bis-(3-trietoxissilylpropyl) tetrasulfane] (Si69)/mercerização/		Moldagem por compressão	13,00 (55)	1,14 (0,61)	0,04210 (56,12)
	70%poli (ácido láctico) (PLA)/ 30%fibra banana	Banana (fibras cortadas Num comprimento de 13-15 cm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Agente de acoplamento 3-aminopropiltriétoxissilano (EPA) E [bis-(3-trietoxissilylpropyl) tetrasulfane] (Si69)/mercerização/		Moldagem por compressão	14,61 (44)	1,08 (0,28)	0,04631 (38,26)
	60%poli (ácido láctico) (PLA)/ 40%fibra banana	Banana (fibras cortadas Num comprimento de 13-15 cm)	Poli (ácido láctico) (PLA)	Agente de acoplamento 3-aminopropiltriétoxissilano (EPA) E [bis-(3-trietoxissilylpropyl) tetrasulfane] (Si69)/mercerização/		Moldagem por compressão	7,76 (45)	0,90 (0,51)	0,04705 (33,91)
	70%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerol		Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	1,54 (0,42)	70,14	0,082 (2,87)
	45%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerol/25%fibra banana	Banana	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	2,21 (0,58)	1,85	0,3725 (27,2)
	40%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerol/30%fibra banana	Banana	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	3,75 (1,10)	2,27	0,4079 (10,5)

Guimarães (2010)	45%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerina/25%fibra banana	Banana	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	3,5 (1,03)	0,71	0,9585 (34,8)
	40%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerina/30%fibra banana	Banana	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,22 (0,35)	0,2	0,90560 (26,74)
	35%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerina/35%fibra banana	Banana	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	0,95 (0,29)	0,9	0,87512 (53,67)
	45%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerol/25%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	6,84 (1,91)	3,11	0,6084 (42,5)
	40%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerol/30%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	7,00 (2,57)	5,96	0,6030 (67,5)
	35%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerol/35%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerol	Moldagem por compressão	3,35 (0,98)	5,3	0,3792 (64,7)
	45%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerina/25%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,11 (0,31)	0,51	0,6421 (21,9)
	40%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerina/30%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,49 (0,42)	0,53	0,5776 (17,2)
	35%amido de milho (amidex 3001)/30%glicerina/35%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Amido de milho (amidex 3001)		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	0,62 (0,17)	1,35	0,3970 (20,4)
	70%torta de mamona/30%glicerina		Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	0,58 (0,17)	0,32	0,3892 (31,16)
	45%torta de mamona/30%glicerina/25%fibra de banana	Banana	Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	0,74 (0,2)	1,51	0,4179 (27,75)
	40%torta de mamona/30%glicerina/30%fibra de banana	Banana	Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,2 (0,4)	1,47	0,4853 (10,35)
	35%torta de mamona/30%glicerina/35%fibra de banana	Banana	Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,47 (0,43)	1,78	0,5958 (50,4)
	45%torta de mamona/30%glicerina/25%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,43 (0,36)	1,57	0,4627 (12,4)
	40%torta de mamona/30%glicerina/30%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	0,54 (0,29)	1,43	0,4083 (53,4)
	35%torta de mamona/30%glicerina/35%cana-de-açúcar	Cana-de açúcar	Torta de mamona		Plastificante: glicerina	Moldagem por compressão	1,3 (0,33)	1,59	0,3031 (27,6)
Jandas <i>et al.</i> (2011)	Ácido poliláctico (PLA)/fibra banana	Banana	Ácido poliláctico (PLA)			Moldagem por compressão	14,61 (1,6)	1,08 (00,2)	4,631 (36)
	Ácido poliláctico (PLA)/fibra banana	Banana	Ácido poliláctico (PLA)	Alcalino (NaOH)		Moldagem por compressão	16,01 (1,9)	0,67 (00,3)	3,622 (55)
	Ácido poliláctico (PLA)/fibra banana	Banana	Ácido poliláctico (PLA)	Acetilação		Moldagem por compressão	12,40 (1,5)	0,29 (00,6)	2,835 (54)
	Ácido poliláctico (PLA)/fibra banana	Banana	Ácido poliláctico (PLA)	3-aminopropiltriétoxisilano		Moldagem por compressão	17,45 (0,63)	0,85 (00,5)	3,703 (22)

	Ácido poliláctico (PLA)/fibra banana	Banana	Ácido poliláctico (PLA)	bis-(3-trietoxi-sililpropil) tetrasulfane (Si69)		Moldagem por compressão	34,44 (0,95)	2,31 (00,2)	4,015 (29)
Santos (2011)	Amido de milho (Ecobras™)		Amido de milho (Ecobras™)			Extrusão e injeção	5,29 (0,09)	63,42 (8,80)	0,09372 (5,10)
	Amido de milho (Ecobras™)/5%palha de arroz	Palha de arroz	Amido de milho (Ecobras™)			Extrusão e injeção	3,89 (0,15)	14,89 (0,41)	0,09981 (2,49)
	Amido de milho (Ecobras™)/10%palha de arroz	Palha de arroz	Amido de milho (Ecobras™)			Extrusão e injeção	4,31 (0,18)	11,80 (0,29)	0,016928 (11,05)
Carvalho (2011)	Polihidroxibutirato (PHB)		Polihidroxibutirato (PHB)			Prensagem a quente	28,69 (0,93)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)			Prensagem a quente	17,49 (1,01)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)	1%alcalino (NaOH)		Prensagem a quente	17,37 (0,63)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)	3%alcalino (NaOH)		Prensagem a quente	15,71 (1,00)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)	5%alcalino (NaOH)		Prensagem a quente	21,62 (1,23)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)	Acetilação		Prensagem a quente	20,35 (1,37)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)	Peróxido de hidrogênio		Prensagem a quente	25,32 (1,21)		
	Polihidroxibutirato (PHB)/fibra da Folha da camaúba	Folha da camaúba	Polihidroxibutirato (PHB)	Permanganato		Prensagem a quente	18,70 (1,7)		
Avella et al. (2000)	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)					Moldagem por compressão	19 (2)	2,4 (0,5)	1,4 (0,2)
	90%Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) PHBV/10% fibra palha de trigo	Palha de trigo (fibras de 2 a 3mm de comprimento)	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)	Steam explosion treatment		Moldagem por compressão	11 (2)	1,3 (0,3)	1,1 (0,1)
	80%Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) PHBV/20% fibra palha de trigo	Palha de trigo (fibras de 2 a 3mm de comprimento)	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)	Steam explosion treatment		Moldagem por compressão	9 (2)	1,1 (0,3)	1,2 (0,3)
	70%Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) PHBV/30% fibra palha de trigo	Palha de trigo (fibras de 2 a 3mm de comprimento)	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)	Steam explosion treatment		Moldagem por compressão	9 (1)	1,0 (0,2)	1,3 (0,2)
Leyva et al. (2012)	Glúten de trigo		Glúten de trigo		Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	34,2 (2,8)	2,4 (0,3)	0,0164 (0,7)
	Glúten de trigo/1,2% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por corte	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	33,7 (2,0)	2,9 (0,1)	0,0144 (1,3)
	Glúten de trigo/5,2% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por corte	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	29,8 (3,7)	1,4 (0,2)	0,0198 (1,1)
	Glúten de trigo/11,1% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por corte	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	40,9 (2,3)	1,8 (0,2)	0,0255 (0,9)
	Glúten de trigo/1,2% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por impacto	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	31,5 (2,9)	1,9 (0,2)	0,0188 (0,6)
	Glúten de trigo/5,1% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por impacto	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	32,0 (0,7)	1,8 (0,1)	0,0201 (0,4)
	Glúten de trigo/11,1% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por impacto	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	40,8 (3,1)	2,0 (0,2)	0,0232 (0,4)

	Glúten de trigo/1,2% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por esferas	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	41,7 (3,4)	2,6 (0,3)	0,0184 (2,3)
	Glúten de trigo/5,2% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por esferas	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	39,9 (2,6)	2,3 (0,1)	0,0199 (0,8)
	Glúten de trigo/11,1% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Glúten de trigo	Moagem por esferas	Plastificante: glicerol	Processo termomecânico	35,9 (4,5)	1,6 (0,2)	0,0237 (1,3)
Ahankari <i>et al.</i> (2012)	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)		Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato)			Extrusão e injeção	23 (0,2)	5,5 (0,4)	1,11 (0,03)
	70%poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)/30% fibra palha de milho	Palha de milho	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)			Extrusão e injeção	23,3 (0,6)	1,07 (0,1)	3,65 (0,07)
	70%poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)/30% fibra palha de trigo	Palha de trigo	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)			Extrusão e injeção	24,9 (0,6)	2,0 (0,2)	3,81 (0,05)
	70%poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)/30% fibra palha de trigo	Palha de trigo	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)	Alcalino (NaOH)		Extrusão e injeção	25,6 (0,4)	1,45 (0,1)	3,76 (0,06)
	60%poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)/40% fibra palha de milho	Palha de milho	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)			Extrusão e injeção	19 (0,4)	1,1 (0,11)	4,18 (0,11)
	61%poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)/40% fibra palha de trigo	Palha de trigo	Poli (3-hidroxibutirato-co-hidroxicvalerato) (PHBV)			Extrusão e injeção	19,9 (0,4)	1,31 (0,12)	4,26 (0,08)
Pfister <i>et al.</i> (2010)	Resina de linhaça/50% fibra de palha de trigo	Palha de trigo (2mm de comprimento)	Resina de linhaça		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	5,4 (0,4)		958 (42)
	Resina de linhaça/60% fibra de palha de trigo	Palha de trigo (2mm de comprimento)	Resina de linhaça		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	5,8 (1,3)		1426 (80)
	Resina de linhaça/70% fibra de palha de trigo	Palha de trigo (2mm de comprimento)	Resina de linhaça		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	6,7 (0,7)		1398 (59)
	Resina de linhaça/80% fibra de palha de trigo	Palha de trigo (2mm de comprimento)	Resina de linhaça		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	7,6 (1,1)		1662 (114)
	Resina de linhaça/90% fibra de palha de trigo	Palha de trigo (2mm de comprimento)	Resina de linhaça		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	2,5 (0,5)		968 (96)
Bénézet <i>et al.</i> (2012)	Amido de batata		Amido de batata			Extrusão		3,45 (0,56)	126 (27)
	Amido de batata/10% fibra palha De trigo	Palha de trigo	Amido de batata			Extrusão		2,86 (0,45)	151 (17)
Pfister <i>et al.</i> (2010a)	Resina de soja/20% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	2,7 (0,6)		291 (38)
	Resina de soja/30% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	3,5 (0,7)		386 (58)
	Resina de soja/40% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	3,7 (0,5)		429 (67)
	Resina de soja/50% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	3,7 (0,4)		601 (57)

	Resina de soja/60% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	4,2 (0,5)		841 (88)
	Resina de soja/70% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	4,8 (0,4)		1117 (47)
	Resina de soja/80% fibra palha De milho	Palha de milho (2mm de comprimento)	Resina de soja		Divinilbenzeno (DVB)	Moldagem por compressão	3,7 (0,3)		927 (79)

APÊNDICE E - PROPOSTA CONCEITUAL DE APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS EM VASOS PARA PLANTAS

O objetivo desta proposta conceitual é apresentar o desenvolvimento de um produto com foco na aplicação de compósitos biodegradáveis. Desta forma, é apresentado o desenvolvimento de vasos para plantas, pois, esta aplicação adequou-se as características dos compósitos biodegradáveis, como as técnicas, estéticas, simbólicas, que serão explicitadas no desenvolvimento do projeto.

1. A metodologia projetual

Procedimentos metodológicos são seguidos para todo tipo de projeto, independente do design, que pode ser para móveis, luminárias, automóveis, eletrodomésticos e outros. Além de necessários são fundamentais para guiar e auxiliar o desenvolvimento de produtos, (STEPHAN, 2010).

No desenvolvimento de produto é possível seguir um modelo ou utilizar mais de um na medida em que podem ser adaptados para determinado caso. Neste intento, o presente trabalho segue o método de desenvolvimento de produto proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), além de partes da metodologia elaborada por Baxter (2000) e Löbach (2001), com o intuito de construir um modelo específico para que abarque as intenções do presente projeto.

Geralmente, os modelos para o desenvolvimento de projeto de produto estão direcionados para o produto a ser projetado, no entanto, por tratar-se de um novo material a ser utilizado no projeto do produto deste trabalho, é necessário inicialmente focar o projeto no material, para posteriormente, a partir das características deste, determinar a aplicação. Deste modo, a metodologia para este projeto pode ser visualizada na figura 46:

Sistematização do processo de desenvolvimento de produto

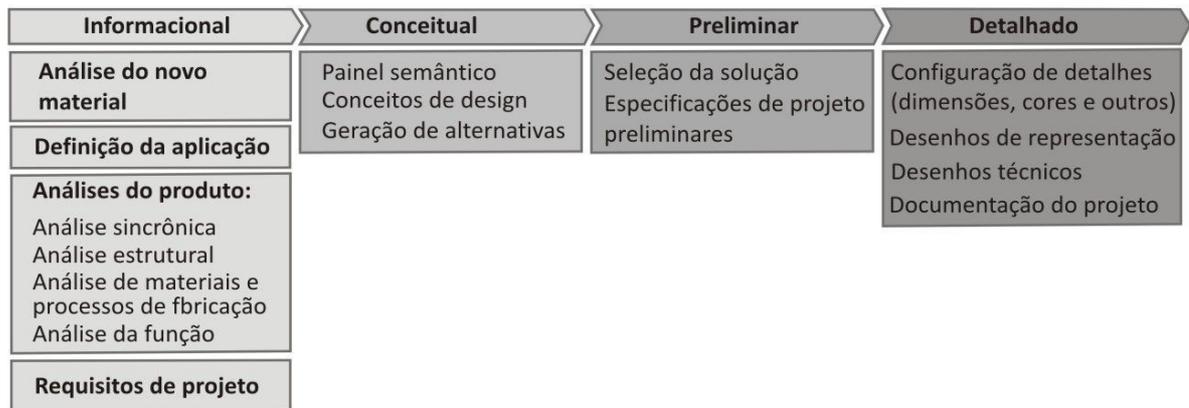


Figura 46: Sistematização da metodologia para o projeto de produto com foco em novos materiais para o presente trabalho.

Neste sentido, as etapas do projeto dividem-se em: Informacional, Conceitual, Preliminar e Detalhada. Na primeira etapa, Informacional, podem ser realizadas uma série de análises com o intuito de definir especificações de projeto. Diversos autores da área, como, Bonsiepe *et al.* (1984), Bomfim (1984), Munari (1998), Baxter (2000), Löbach (2001), Rozenfeld *et al.* (2006), elaboraram análises para serem realizadas nesta fase. Assim, cabe ao designer selecionar quais delas são relevantes e mais importantes para determinado projeto.

Desta forma, na presente etapa, inicialmente são coletadas informações acerca do novo material por meio da análise de materiais e processos de fabricação para verificar suas características e a partir disso, definir a aplicação adequada para o mesmo. Após a determinação da aplicação, são realizadas análises em torno do produto, Löbach (2001) propõe as seguintes:

- **Análise sincrônica:** ou também conhecida como de mercado, são reunidos e revistos grande parte dos produtos da mesma classe que são oferecidos no mercado. Assim, o designer pode analisar o que já existe em termos de tecnologia utilizada, função dos produtos, configuração, e outras características, para posteriormente propor inovações.
- **Análise Estrutural:** tem como objetivo tornar visível a estrutura interna de um produto, para mostrar a sua complexidade estrutural. A partir dessa análise, os produtos podem ser repensados e otimizados, pois ela permite a visualização de peças que podem ser retiradas ou juntadas. Deste modo,

muitas vezes, pode-se melhorar o funcionamento de um produto por meio desta análise de forma pormenorizada.

- Análise de materiais e processos de fabricação: consiste em verificar quais materiais e processos de fabricação são os mais adequados para determinado produto. Deste modo, pode-se selecionar materiais a partir de suas características físicas, como, as propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, quanto a toxicidade do material, a resistência a intempéries e outros e também por questões simbólicas, sensoriais, estéticas, dependendo da aplicação. Nesta análise, é importante pensar no processo de fabricação, pois o material está intimamente relacionado com a maneira como será conformado.
- Análise da função: fornece informações sobre o tipo de função técnica de um produto, isto é, a forma como determinado produto trabalha. Desse modo, esta análise pode ser uma maneira de estruturar as características técnicas funcionais de um produto, assim, é possível decompor as funções do produto, isto é, a função primária, secundária e as que forem necessárias.

A partir destas análises são estabelecidos requisitos para a solução almejada. Estes são a base para a fase seguinte, a Conceitual, em que é construído um painel semântico que segue o conceito de design e que pode auxiliar no processo criativo durante a geração de alternativas. Em geral, a produção de ideias é concebida através de desenhos e esboços. Na próxima etapa, Preliminar, estas alternativas são estudadas detalhadamente para a seleção da solução que seja capaz de atingir os requisitos definidos na fase anterior. Após a seleção da alternativa mais adequada, iniciam-se as especificações do projeto. Na fase de Detalhamento, é realizada a configuração de detalhes como, definição de dimensões, cores e outros, através de desenhos de representação, desenhos técnicos, prototipagem, e por fim a documentação do projeto.

1.1 Etapa informacional

Pelo fato de que será empregado um novo material, ou seja, os compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido lático) (PLA) e fibras de curauá no projeto do produto, o levantamento de informações parte da verificação das características deste material. Assim, a etapa informacional inicia-se com a análise destes materiais.

1.1.1 Análise dos compósitos biodegradáveis

De acordo com o estudo de caso realizado no presente trabalho, acerca dos compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e poli(ácido lático) (PLA) e fibras de curauá, foi possível verificar os atributos tangíveis e intangíveis que podem fazer parte do perfil destes materiais, como pode ser observado na figura 47.

Perfil dos compósitos biodegradáveis à base de biopolímero poli(butileno-adipato-co-tereftalato) e poli(ácido lático) com fibras de curauá

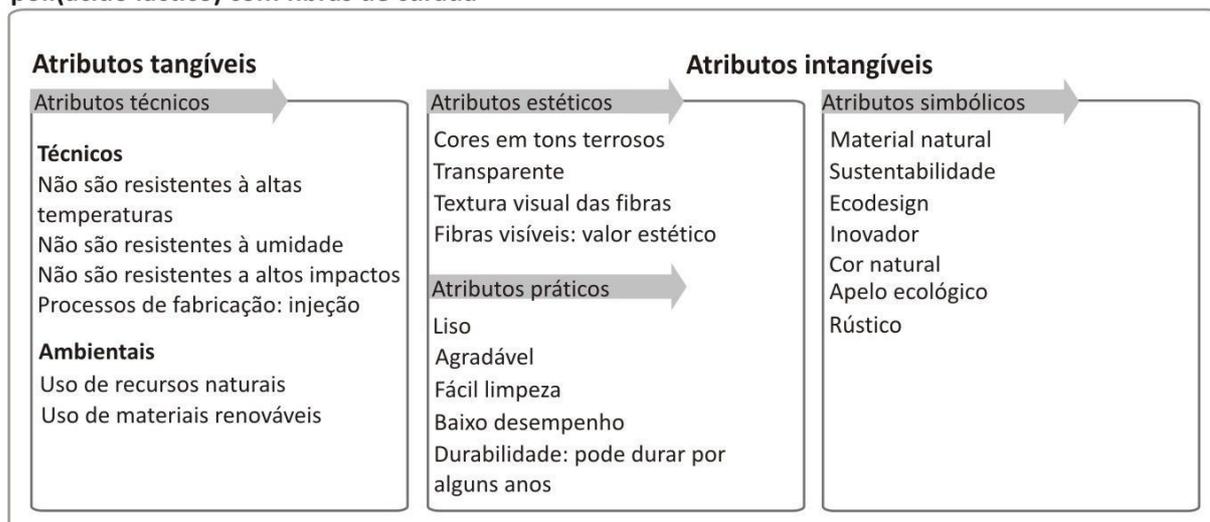


Figura 47: Atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos biodegradáveis.

Assim, a partir da verificação dos atributos dos compósitos biodegradáveis é possível concluir que não são resistentes a altas temperaturas, umidade e impactos mecânicos. Quanto aos processos de produção, podem ser injetados,

assim, permitem a fabricação de produtos injetáveis. Em relação aos aspectos estéticos, destaca-se o valor estético que é ocasionado pela aparência das fibras vegetais. No que diz respeito aos atributos simbólicos, o material remeteu ao natural através da cor e pelas fibras, sendo associado a sustentabilidade, ao ecodesign e ao apelo ecológico.

1.1.2 Definição da aplicação

Com base na análise de materiais e processos de fabricação em torno dos compósitos biodegradáveis, é possível determinar a aplicação para estes materiais. Desta forma, o material é adequado para aplicações que não requeiram altos desempenhos, ou seja, que não serão submetidos a esforços mecânicos e expostos à umidade e a altas temperaturas por um tempo prolongado. Além disso, é importante destacar que as aplicações não devem ter um longo período de vida útil, pois o material pode não resistir. Em relação a estética e a questões simbólicas, o material remeteu ao apelo ecológico e a rusticidade.

Além destas características, procurou-se levar em consideração as sugestões dos designers de produto entrevistados no presente trabalho em relação às aplicações. Assim, definiu-se vaso para plantas, para o desenvolvimento do projeto de produto com foco nos compósitos biodegradáveis. Esta escolha parte principalmente das características do material em adequar-se a esta aplicação, pois, vaso para plantas pode ser considerados produtos de baixa complexidade, que segundo Gomes Filho (2006) são aqueles de uso simples, constituídos por poucas unidades físicas e de baixa complexidade configuracional, tecnológica e de fabricação. Além disso, os compósitos podem durar por alguns meses, assim podem ser utilizados para plantas que não tenham um longo período de vida, como as flores adquiridas em floriculturas, como tulipas, lírios, gérberas e outras, ou, os vasos podem ser utilizados para plantas que serão replantadas, como é o caso das mudas, e assim podem ser enterrados no solo junto com a planta, já que são biodegradáveis.

1.1.3 Análises do produto

Para o presente trabalho, realizou-se a análise sincrônica, estrutural, de materiais e processos de fabricação e da função, para compreender o produto e determinar os requisitos de projeto.

Análise sincrônica

A presente análise centra-se em vasos fabricados com material polimérico, pelo fato de que os compósitos biodegradáveis podem substituir este material. Deste modo, a análise sincrônica busca levantar modelos destes vasos encontrados no mercado atualmente. As imagens da figura 48 apresentam os vasos comumente disponíveis no mercado.



Figura 48: Modelos de vasos para plantas comumente encontrados no mercado.

Fonte: Google imagens (2013).

Os formatos dos vasos predominam as formas geométricas, ou seja, redondos, quadrados e retangulares, e alguns possuem detalhes em alto relevo e/ou na borda. Em relação ao tamanho, são variados, geralmente um mesmo modelo é fabricado em 3 ou 4 tamanhos diferentes, pois o vaso precisa estar

adequado para o tamanho da planta que será alocada no mesmo, segundo Revista Casa e Jardim (2013), os vasos possuem dimensões padrões, que variam conforme o volume que o vaso comporta, as principais medidas podem ser visualizadas na figura 49.

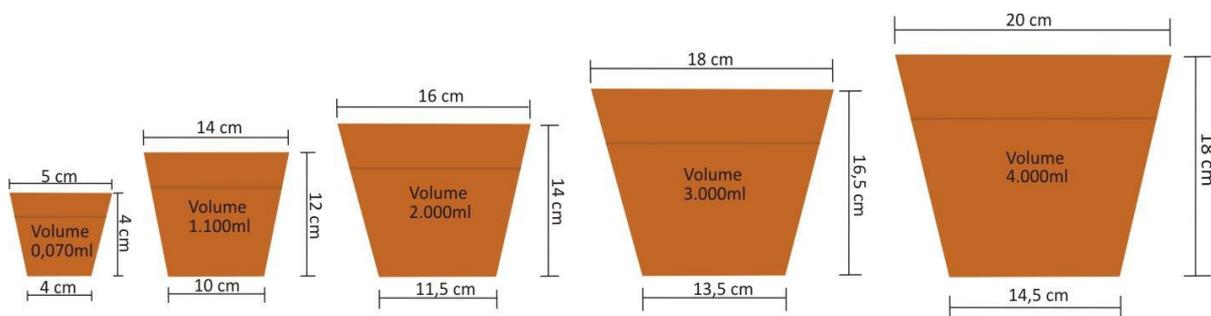


Figura 49: Medidas padrões de vasos para plantas.

Fonte: Revista Casa e Jardim (2013).

A coloração dos vasos normalmente adequa-se a tons terrosos, cinza e preto, em que, pode-se considerar que estas cores são neutras. Observa-se que alguns vasos acompanham pratos, no entanto, verificou-se que no varejo os vasos estão sendo comercializados sem os pratos, com a justificativa de que podem ser meios de reprodução do mosquito *Aedes aegypti* que transmite a dengue.

Análise Estrutural

Os vasos para plantas podem ser considerados produtos de baixa complexidade, pois geralmente são formados por uma única unidade física, com exceção dos que possuem pratos. Foi adquirido no varejo um vaso polimérico para analisar sua estrutura, na figura 50 pode ser visualizado o referido produto em diferentes vistas.

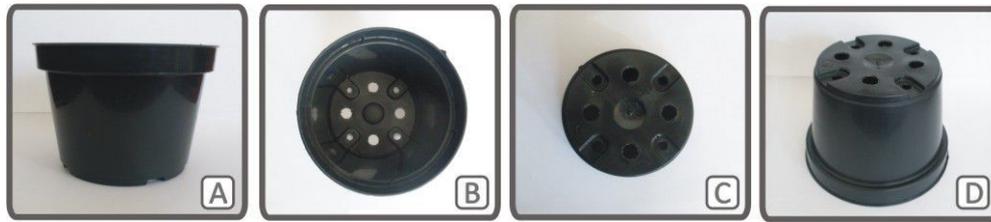


Figura 50: A) Vista frontal, B) Vista interna, C) Vista posterior, D) Em perspectiva.

Nota-se que a estrutura do vaso é simples sendo formada por uma única unidade física em formato circular. Na imagem B da figura 58, podem ser observados furos na base do vaso, estes permitem que o excesso de água escoe para fora do pote para não acumular-se e prejudicar a planta.

Análise de materiais e processos de fabricação

O vaso adquirido no varejo, figura 58, segundo o fabricante é produzido com polímero polipropileno pelo método da injeção. De acordo com Lesko (2004) o polipropileno faz parte da classificação dos polímeros termoplásticos, devido ao fato do material amolecer e fundir quando aquecido e resfriar rapidamente. Em função deste comportamento, o polipropileno pode ser moldado por injeção, o que também favorece a reciclagem do material, contudo este processo demanda gastos energéticos e resíduos que na maioria das vezes são eliminados no meio ambiente.

Em se tratando de questões relacionadas à praticidade do material, pode-se observar que o polipropileno possui uma ampla gama de aplicações em objetos do cotidiano. Assim, ele pode ser considerado um material prático, tanto por questões relativas ao processo de fabricação, por ser facilmente conformado, quanto a questões de durabilidade, qualidade no acabamento, permite pigmentação, possui boa resistência e é de fácil limpeza. No entanto, este polímero demora em média 100 anos para decompor-se na natureza (CALLISTER, 2002). Assim, a proposta deste trabalho centra-se na substituição deste material por compósitos biodegradáveis em vasos para plantas.

Em relação ao método de fabricação por injeção com material polimérico, são utilizados moldes que darão origem aos vasos. De acordo com Lefteri (2009) este processo pode transformar o polímero em uma variedade produtos, como embalagens, brinquedos e outros. Segundo Mohanty *et al.* (2005), os compósitos biodegradáveis podem ser injetados, sendo que estes materiais são menos prejudiciais aos equipamentos de fabricação. Desta forma, os vasos produzidos com compósitos biodegradáveis podem ser confeccionados com os mesmos processos de fabricação de materiais poliméricos.

Análise da função

Na presente análise, as características funcionais de vasos para plantas foram estruturadas. Estas funções foram organizadas de forma gráfica esquemática com as funções ordenadas de maneira decrescente de importância configurando a chamada “árvore funcional”. Este esquema pode ser visualizado na figura 51.

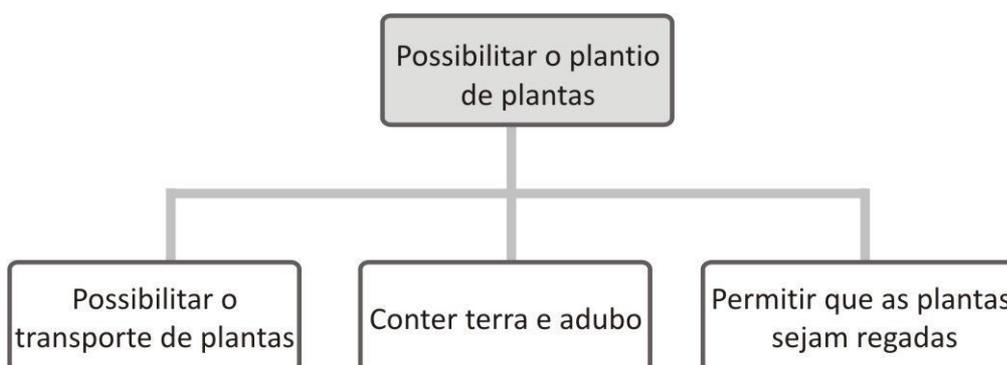


Figura 51: Árvore funcional de vasos para plantas.

De acordo com a figura 59, a função principal dos vasos para plantas é possibilitar o plantio de plantas, como funções secundárias espera-se que o produto possa conter terra e adubo para que a planta possa desenvolver-se, que permita que sejam regadas e que possibilite o transporte das mesmas. Deste modo, estas características funcionais serão levadas em consideração no projeto de vasos com compósitos biodegradáveis. Além disso, pretende-se projetar vasos simples que tenham também a função de decorar.

1.1.4 Requisitos de projeto

A partir das análises realizadas na primeira etapa do projeto, foram delimitados requisitos de projeto que irão guiar as próximas fases. Deste modo, cada análise resultou nos requisitos apresentados na figura 52.

Análises	Requisitos
Sincrônica	Conjunto de 3 vasos de diferentes tamanhos
Estutural	Sem prato Com pequenos furos na base
Materiais e processos empregados	Compósitos biodegradáveis Processo: Injeção
Função	Possibilitar o plantio de plantas Conter terra e adubo Permitir que as plantas sejam regadas Possibilitar o transporte de plantas Decorativa

Figura 52: Requisitos de projeto resultantes das análises da etapa informacional.

1.2 Etapa Conceitual

Nesta etapa é apresentado o conceito de design que norteia a criação dos painéis semânticos para que estes auxiliem a geração de alternativas.

1.2.1 Conceito de design

O presente projeto tem como foco o emprego de compósitos biodegradáveis em vasos para plantas. Partindo das características destes materiais, como a biodegradabilidade e a estética remeterem ao natural, define-se como conceito de



Figura 55: Painel semântico vasos inusitados para plantas.
 Fonte: Google imagens (2013).

1.2.2 Geração de alternativas

A partir dos requisitos de projeto, do conceito de design e dos painéis semânticos, foram geradas alternativas para vasos de plantas. Esta etapa consiste no processo criativo do projeto, em que foram criadas alternativas de vasos por meio de esboços, conforme pode ser observado na figura 56 e 57.

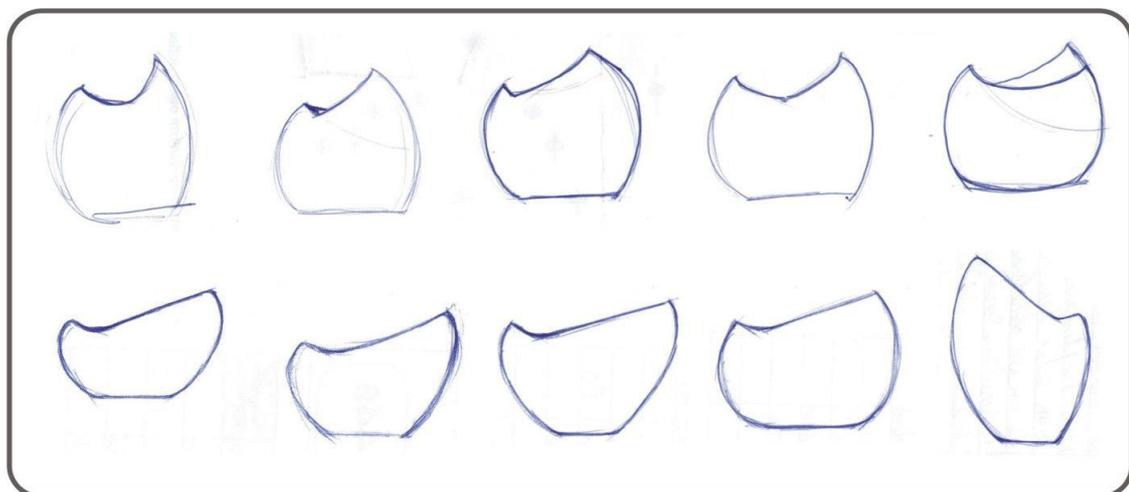


Figura 56: Geração de alternativas.

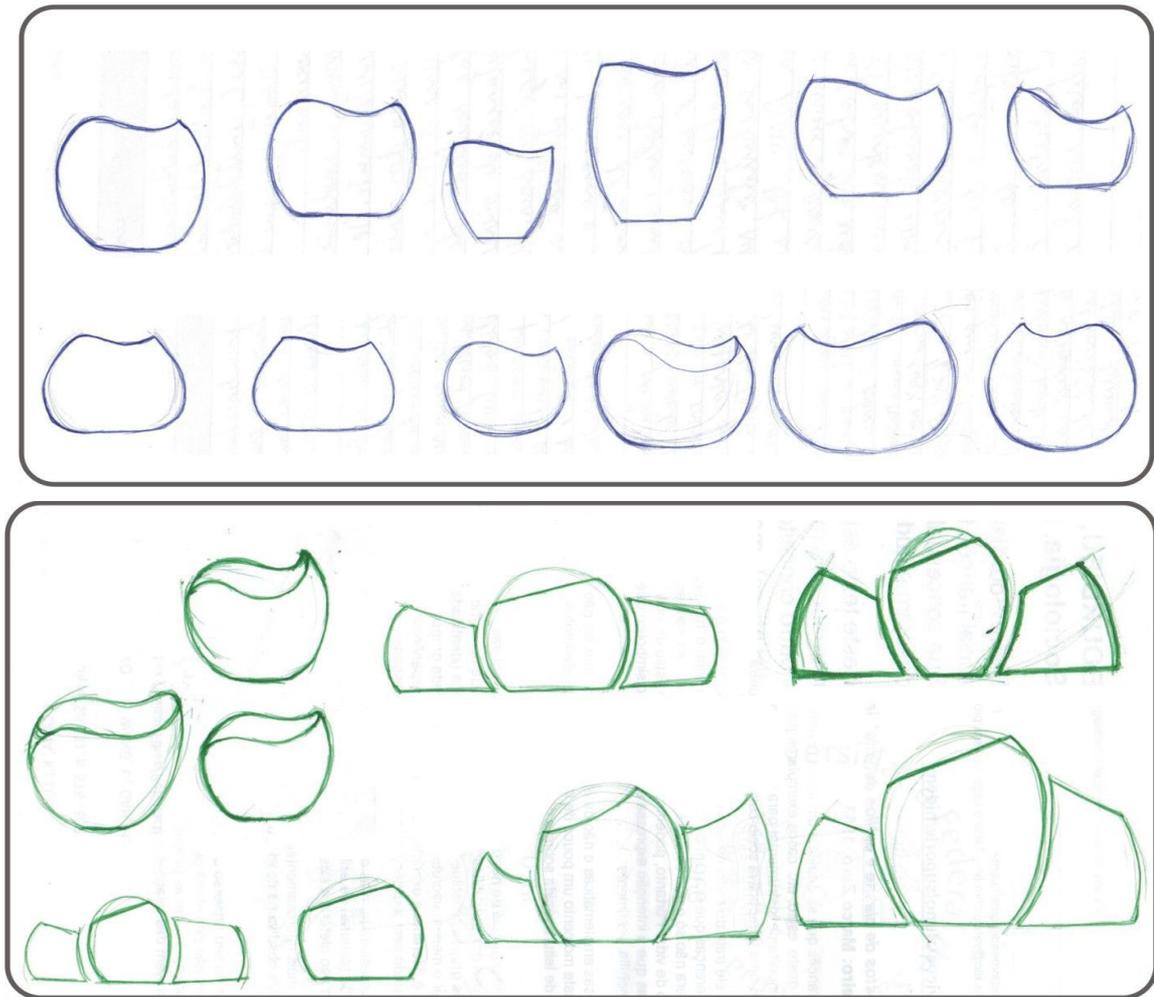


Figura 57: Geração de alternativas.

1.2.3 Etapa Preliminar

Nesta etapa, foi realizada a seleção da alternativa mais adequada para o projeto. Desta forma, as alternativas foram analisadas frente aos requisitos de projeto e ao conceito de design. Em relação ao requisito, conjunto de três vasos com tamanhos distintos, todas as alternativas podem ser desenvolvidas em três diferentes tamanhos, em relação ao prato e aos furos na base dos vasos, todas as alternativas podem conter os furos e não possuir pratos. Quanto ao material, e ao processo de fabricação ser por injeção, acredita-se que todas as alternativas podem ser produzidas com compósitos biodegradáveis por meio deste processo. No que diz respeito à função dos vasos, pode-se afirmar que em todas as alternativas é possível plantar plantas, que o vaso contenha terra e adubo e regar

as plantas, além disso, o transporte é permitido por todas as alternativas. Em relação, a função decorativa, acredita-se que a solução formal mais adequada seja a apresentada na figura 58, pois apresenta formas orgânicas que remetem a natureza e por consequência ao conceito ecológico.

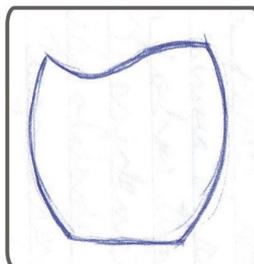


Figura 58: Alternativa selecionada.

1.3 Etapa de Detalhamento

Nesta etapa, o projeto é detalhado através de desenhos de representação e desenho técnico. Os desenhos de representação mostram a forma e a estrutura do vaso, além da simulação visual do material, como pode ser visto na figura 59. Além disso, na figura 60 é possível observar os desenhos de representação do conjunto de três vasos em tamanhos diferentes.



Figura 59: Desenhos de representação da alternativa selecionada.

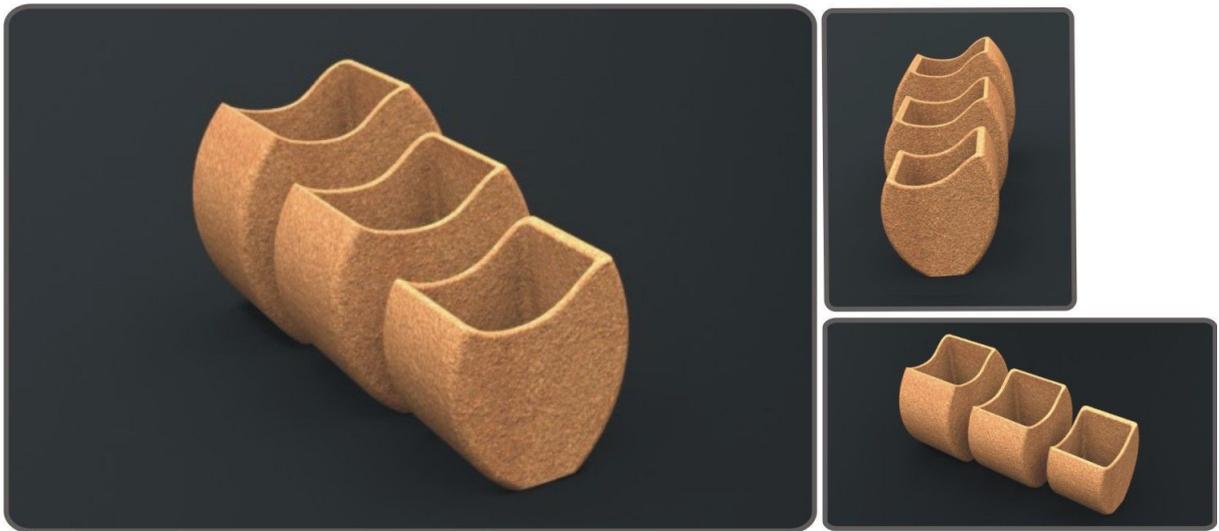


Figura 60: Desenhos de representação da alternativa selecionada em três tamanhos.

1.4 Considerações sobre o projeto

O projeto de vasos para plantas realizado neste trabalho teve como objetivo demonstrar o uso de compósitos biodegradáveis no design de produto. Por tratar-se do emprego de um novo material, houve a necessidade de adaptação de uma metodologia projetual para o desenvolvimento deste produto. Desta forma, a metodologia privilegia, inicialmente, a coleta de informações sobre o novo material para que o projetista possa conhecer suas possibilidades e limitações, e assim, alcançar o melhor resultado possível para o projeto.

O processo de design foi conduzido por requisitos resultantes de análises de informações da primeira etapa, além do conceito de design e painéis semânticos que auxiliaram o processo criativo. Como resultado, buscou-se criar um produto iconograficamente conciso que situa-se dentro da proposta em que foi desenvolvido.

ANEXOS

ANEXO 1 - AUTORIZAÇÃO DA EQUIPE ULBRA PARA A REALIZAÇÃO DA PRESENTE PESQUISA COM AS AMOSTRAS DOS COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE BIOPOLÍMERO POLI(BUTILENO ADIPATO CO-TEREFTALATO) E POLI(ÁCIDO LÁCTICO) COM FIBRAS DE CURAUÁ

Universidade Luterana do Brasil – ULBRA
PPGEMPS - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais
e Processos Sustentáveis
Av. Farroupilha, 8001 Prédio 14 sala 215
Canoas - RS - Brasil
Fone: (51) 34779285



Porto Alegre, RS, 17 de maio de 2013.

Autorizo a estudante da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Eliana Paula Calegari a realizar a pesquisa de mestrado com as amostras do material compósito biodegradável à base dos biopolímeros: poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAi) e poli (ácido láctico) (PLA) com nome comercial Ecovio® (BASF, Alemanha) e fibras vegetais de curauá confeccionadas pela equipe da ULBRA.

Prof. Drª Denise Maria Lenz

ANEXO 2 - PARECER DA COMISSÃO DE PESQUISA DA FACULDADE DE ARQUITETURA / UFRGS



COMISSÃO DE PESQUISA
FACULDADE DE ARQUITETURA

Autora: Branca Freitas de Oliveira/ Eliana Paula Calegari

Título: *Design e materiais: aplicação de compósitos biodegradáveis no design de produto*

PARECER

O projeto de pesquisa orientado pela Professora BRANCA FREITAS DE OLIVEIRA da aluna de mestrado Eliana Paula Calegari, intitulado "DESIGN E MATERIAIS: APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS NO DESIGN DE PRODUTO" está bem estruturado com introdução, objetivo geral, objetivos específicos, metodologia, orçamento, cronograma e referências bibliográficas. O projeto também contém a autorização para o uso do material estudado, modelo das entrevistas e modelo do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

A temática é de interesse do Departamento de Design e Expressão Gráfica e da Faculdade de Arquitetura.

Em virtude desses elementos considera-se o projeto de pesquisa aprovado e o mesmo deverá ser submetido à Comissão de Ética por envolver entrevistas com pessoas. É o parecer.

Porto Alegre, 17 de junho de 2013

DANIELA MARZOLA FIALHO
Coordenadora da COMPESQ/ARQ