



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

TESE DE DOUTORADO

**RESÍDUOS DE PAPÉIS DA INDÚSTRIA GRÁFICA UTILIZADOS
NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS:
UMA POSSIBILIDADE PARA O DESIGN.**

JUSSARA SMIDT PORTO

PORTO ALEGRE
2019

JUSSARA SMIDT PORTO

**RESÍDUOS DE PAPÉIS DA INDÚSTRIA GRÁFICA UTILIZADOS
NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS:
UMA POSSIBILIDADE PARA O DESIGN.**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós- Graduação em Design com ênfase em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Design.

Orientação: Prof^a Lauren da Cunha Duarte

PORTO ALEGRE

2019

CIP- Catalogação na Publicação

Porto, Jussara Smidt

Resíduos de papéis da indústria gráfica utilizados no desenvolvimento de materiais compósitos: uma possibilidade para o design / Jussara Smidt Porto. -- 2019.

162 f.

Orientadora: Lauren da Cunha Duarte.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Compósito. 2. Resíduo de papel. 3. Poliéster. 4. Amido. 5. Design de Produto. I. da Cunha Duarte, Lauren, orient. II. Título.

JUSSARA SMIDT PORTO

**RESÍDUOS DE PAPÉIS DA INDÚSTRIA GRÁFICA UTILIZADOS NO
DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS: UMA POSSIBILIDADE
PARA O DESIGN**

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

Porto Alegre, 13 de novembro de 2019.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientadora: Prof.^a Dra. Lauren da Cunha Duarte
Departamento de Mineralogia e Petrologia – DEMIPE

Prof.^a Dra. Carmen Iara Walter Calcagno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense – IFSUL
– Examinador Externo

Prof.^a Dra. Branca Freitas de Oliveira
Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG - Examinador Interno

Prof. Dr. Rafael de Avila Delucis
Centro de Engenharias – Universidade Federal de Pelotas
– Examinador Externo

Prof.^a Dra. Jocelise Jacques de Jacques
Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG – Examinador Interno

Mãe, dedico a ti minha pesquisa, com um desejo muito intenso de que, de alguma forma, esse trabalho possa devolver o brilho do teu olhar.

AGRADECIMENTOS

À UFRGS, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Design, pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa, por acolher esta ideia e por possibilitar a materialização e visibilidade ao trabalho de pesquisa que vem sendo desenvolvido através dos projetos da Gráfica da UFRGS. À Gráfica da UFRGS, em especial aos meus colegas do quadro e colegas terceirizados, que me incentivaram e me apoiaram em todas as etapas desta pesquisa. Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial a minha orientadora Prof.^a Dra. Lauren da Cunha Duarte, que indicou caminhos e respeitou o meu tempo. Ao Prof. Dr. Sandro Campos Amico, por abrir as portas do GCOMP – UFRGS e disponibilizar o laboratório para a realização dos experimentos e ensaios, e por todo o apoio durante este trabalho. À Prof.^a Dra. Carmen Iara Walter Calcagno do DIMP – IFSUL agradeço pelo acolhimento, pelo apoio e, principalmente, por acreditar na possibilidade de criar, reciclar e renovar sempre. Ao querido Gustavo Cardoso, que sempre esteve presente em todos os experimentos do DIMP. Que o teu comprometimento, tua curiosidade e criatividade te abram todas as portas que desbravares. Agradeço ao colega Gabriel Barbieri pelo auxílio na realização do MEV. Um agradecimento muito especial a duas amigas que esta caminhada me presenteou: Dra. Clarissa Coussirat Angrizani e Prof.^a Dra. Eliana Paula Calegari. À Clarissa Coussirat Angrizani que não tenho palavras pra agradecer, pois quem faria o que ela fez? Quem se proporia a ficar ao meu lado para sanar todas as minhas dúvidas, que foram inúmeras? Quem ficaria nos laboratórios me auxiliando, analisando e desvendando os mistérios de todos aqueles ensaios? Quem teria a paciência de submeter todos os artigos para as revistas? E as traduções? Como posso agradecer a esta pessoa tão especial? Muito obrigada é muito pouco! Dizer que terá sempre minha gratidão, amizade, respeito e admiração é o mínimo; e desejar a ti um caminho de realizações e reconhecimento é falar o que já está escrito. Então minha amiga, firmamos aqui as combinações feitas ao longo destes anos, vamos sim, ao cinema, a Gramado e muitos passeios mais, que tantas vezes programamos para o final da tese!! À Eliana Paula Calegari, pesquisadora voraz que me ensinou os caminhos da academia. Meu muito obrigado pela parceria e auxílio em todas as etapas deste trabalho. Aos meus maiores incentivadores que, literalmente, me empurraram para o doutorado: Dra. Maria da Conceição Soares Beltrão Filha e Prof. Dr. Flávio Antônio Porcello. Meu muitíssimo obrigada! À minha família “FERA” que me apoiou e incentivou em todos os momentos...”VALEU.”

RESUMO

Atualmente, a destinação correta de resíduos sólidos e seu reaproveitamento são preocupações para a indústria mundial. A reutilização desses resíduos permite transforma-los em novos materiais promovendo a preservação de recursos naturais. Nesse contexto, com o propósito de estudar novas possibilidades de reutilização do resíduo de aparas de papéis gerados na Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), esta pesquisa tem como objetivo sugerir o uso de dois tipos de resíduos gerados na gráfica, identificados como Papel Menor (PME) e Papel Maior (PMA), como cargas para compósitos de matrizes poliméricas. No caso, o Poliéster (PO) e o Amido (A). A adição dos resíduos de papéis à resina poliéster insaturada originou os compósitos Poliéster/Papel Menor (PO/PME) e o Poliéster/Papel Maior (PO/PMA); e a adição do papel menor ao amido termoplástico originou o compósito Amido/Papel Menor (A/PME). A metodologia adotada nesta pesquisa foi o desenvolvimento destas três famílias de compósitos para a análise das características tangíveis e intangíveis, a fim de compará-los a materiais similares já existentes no mercado e sugerir o seu uso em produtos. Para apurar as propriedades tangíveis, os materiais foram caracterizados pelos ensaios de absorção de água, condutividade térmica, dureza Shore D, flexão, impacto, tração. Para a análise das características intangíveis dos materiais, levou-se em consideração aspectos estéticos, práticos e simbólicos dos materiais. Além disso, os compósitos PO/PME e PO/PMA foram submetidos ao estudo de intemperismo natural, onde o material esteve sujeito às intempéries, para análise do seu comportamento em relação ao ambiente externo. Em relação ao compósito A/PME, optou-se por impermeabilizar um conjunto de amostras, pois se observou que este material era suscetível à água. Ainda, foi analisado o comportamento dos três compósitos em relação às técnicas para fabricação. Em relação aos resultados obtidos, pode-se afirmar que os compósitos PO/PME e PO/PMA, apresentaram propriedades mecânicas mais elevadas do que a resina pura. O PO/ME absorve menos água que o PO/PMA. No estudo de intemperismo, as propriedades mecânicas não sofreram alterações significativas, mas identificou-se mudança na coloração dos compósitos. Em relação à condutividade térmica, tanto o PO/PME e PO/PMA quanto o A/PME são isolantes. Verificou-se ainda que os compósitos PO/PME e o PO/PMA podem ser submetidos a processos de fabricação utilizados na produção de móveis pois não foi observado danos aparentes quando em contato com os equipamentos utilizados em indústrias moveleiras. Quanto ao compósito A/PME, pode-se afirmar que, em geral, possui propriedades mecânicas superiores aos dos materiais utilizados como embalagens e a impermeabilização pode aumentar a sua vida útil. Em relação às características intangíveis, nos três compósitos foram identificadas características como forma, textura, identificação, usabilidade, conforto, sustentabilidade, confiabilidade, valor social, associação que os personalizam a um estilo próprio. Por fim, buscou-se fazer um comparativo destes novos materiais com materiais similares e produtos existentes no mercado. Com os resultados desta comparação, aliada aos resultados das características tangíveis e intangíveis, foi possível identificar atributos que permitem afirmar que estes três novos materiais compósitos têm propriedades particulares e relevantes, que os tornam uma nova opção de matéria-prima para uso no desenvolvimento de produtos.

Palavras-chave: resíduos de papéis, poliéster, amido, compósitos, produtos.

ABSTRACT

Currently, the correct disposal of solid waste and its reuse are concerns for the global industry. The reuse of these wastes allows them to be transformed into new materials promoting the preservation of natural resources. In this context, with the purpose of studying new possibilities for the reuse of paper scrap residues generated in the printing industry of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), this research aims to suggest the use of two types of waste generated in printing industry, identified as Small Paper (PME) and Large Paper (PMA), as filler for composites of polymeric matrices with different properties, in this case, Polyester (PO) and Starch (A). The addition of paper waste to unsaturated polyester resin originated Polyester/Small Paper (PO/PME) and Polyester/Large Paper (PO/PMA) composites; and the addition of the small paper to thermoplastic starch originated Starch/Small Paper (A/PME) composite. The methodology adopted in this research was the development of three families of composites for the analysis of tangible and intangible characteristics in order to compare them to similar materials already on the market and to suggest their use in products. In order to establish the tangible properties the materials were characterized by physical tests of water absorption and thermal conductivity; and by mechanical tests of Shore D hardness, flexure, impact, tensile. For an analysis of the intangible characteristics of the materials the physical, practical and symbolic aspects of the materials were considered. In addition, the PO/PME and PO/PMA composites were subjected to the study of natural weathering, where the material was subjected to bad weather, to analyze its behavior in relation to the external environment. Regarding to A/PME composite, it was decided to waterproof a group of samples, as it was observed that this material was susceptible to water. Also, the behavior of the three composites in relation to the techniques for fabrication was analyzed. Regarding the results obtained it can be stated that PO/PME and PO/PMA composites, in general, presented higher mechanical properties than pure resin. PO/PME absorbs less water than PO/PMA. In the bad weather study, the mechanical properties did not change significantly, but a change in the coloration of the composites was identified. Regarding thermal conductivity, both PO/PME and PO/PMA as well as A/PME are insulating. It was also verified that PO/PME and PO/PMA composites can be submitted to manufacturing processes used in furniture production because no apparent damage was observed when in contact with the equipment used in furniture industries. As for the A/PME composite, it can be said that, in general, it has superior mechanical properties than the materials used as packaging and waterproofing can increase its useful life. Regarding the intangible characteristics, in the three composites, characteristics such as shape, texture, identification, usability, comfort, sustainability, reliability, social value, and association that customize them to their own style were identified. Finally, we sought to make a comparison of these new materials with similar materials and existing products in the market. With the results of this comparison, combined with the results of tangible and intangible characteristics, it was possible to identify attributes that allow us to state that these three new composite materials have particular and relevant properties that make them a new raw material option for use in product development.

Keywords: paper waste, polyester, starch, composites, products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Setores de Acabamento e Impressão offset da Gráfica da UFRGS	22
Figura 2 – Fluxograma de entradas de insumos e saídas de resíduos nas etapas do processo produtivo da Gráfica da UFRGS	24
Figura 3 – Destinação das aparas de papel recolhidas da Gráfica da UFRGS na ATUT: etapas de triagem do material e trituração (da esq. para a dir.)	26
Figura 4 – Classificação dos biocompósitos	36
Figura 5 – Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície do amido granular (a) e do amido termoplástico com grãos desestruturados (b)	40
Figura 6 – Exemplos de produtos: a) cadeira Tafira; b) Mesa Cone; c) produtos da empresa Padreca; d) cadeira de Shigeru Ban; e) produtos da empresa Eu Amo Papelão	46
Figura 7 – Outros exemplos de produtos: biombo (a); painel de Heloísa Crocco (b); palets (c); banco de Domingos Tótora (d)	46
Figura 8 – Fluxograma do processo de reciclagem industrial de papel	50
Figura 9 – Paper PP Alloy, produto feito com papel reciclável e polipropileno como componentes do Computador a) Sem adição de cores, b) com adição de cores	52
Figura 10 – Diferentes tamanhos e formatos de sobras de papéis dos materiais produzidos no processo gráfico a) refile residual da resma do papel cortado pela guilhotina, b) resíduos oriundos da furadeira, de livros com papéis mistos, c) resíduos oriundos da coladora de livros, papel branco, d) resíduo de impressos, papel misto e) resíduo de livro f) resíduo de livros com papéis brancos da furadeira	56
Figura 11 – Equipamentos que geram resíduos: a) Máquina de colar lombada de livros, b) máquina de perfurar papel da Gráfica da UFRGS	57
Figura 12 – Resíduos provenientes de cada equipamento: a) papel maior - PMA e b) papel menor - PME	57
Figura 13 - Composições efetuadas com as cargas e as matrizes escolhidas	58
Figura 14 - Procedimentos: a) equipamento para secagem dos papéis, b) resíduo de papel menor, c) resina Poliéster, d) iniciador, e) material após a mistura colocado no molde, f) extração do compósito após a cura na prensa hidráulica	60
Figura 15 – Dimensões dos corpos de prova: a) Tração, b) Flexão, c) Impacto e d) Absorção de água	61
Figura 16 – Preparação dos corpos de prova para o ensaio de tração: (a) corte da placa de poliéster/fibra de vidro para a confecção dos tabs, (b) tabs cortados, (c) lixamento dos tabs, (d) lixamento das amostras na região de colagem do tab e (e) corpos de prova de tração com os tabs colados.	61
Figura 17 – Equipamentos utilizados para os ensaios mecânicos: a) tração, b) flexão, c) dureza e d) impacto	62
Figura 18 – Ensaio de condutividade térmica. a) Preparação para o ensaio, b) Detalhe da fonte de calor, c) Amostra posicionada sobre a fonte de calor, d) material sob análise	63
Figura 19 – Diferentes equipamentos utilizados para avaliar o comportamento dos materiais: a) serrote, b) serra fita, c) disco de serra da esquadrejadeira, d) fresadora, e) furadeira manual, f) lixadeira de disco e fita	67

Figura 20 – Suporte ao ar livre para a realização do estudo de intemperismo natural	68
Figura 21 – Condições climáticas diárias no período de estudo.....	69
Figura 22 – Etapas de processamento para obtenção do material amido/papel: a) gelatinização do amido; b) inserção do amido gelatinizado sobre papel e amido seco; c) mistura final dos dois tipos de amido com papel; d) material no laminador; e) secagem do material; f) aparência final do material após secagem da água	71
Figura 23 – Aspecto visual das placas (17 x 27cm ²) dos compósitos obtidos: PO/PME e b) PO/PMA.....	75
Figura 24 – Valores médios de resistência à tração (a), módulo de elasticidade (b) e resistência à flexão (c).....	76
Figura 25 – Microscopia eletrônica de varredura dos compósitos PO/PME (a,b - Figura b representa um aumento da região pontilhada na Figura 25a) e PO/PMA (c,d - Figura d representa um aumento da região pontilhada da Figura 25c).....	79
Figura 26 – Gráfico de absorção de água do PO, PO/PME e PO/PMA.....	80
Figura 27 – Foto das amostras antes e depois de submetidas ao ensaio de absorção de água do PO(a), PO/PME(b) e PO/PMA(c)	81
Figura 28 - Detalhamento das amostras dos compósitos. a) PO/PME com ampliação. b) PO/PMA com ampliação	82
Figura 29 – Corte com serrote: operação de corte na amostra PO/PMA (a), superfície superior (b) e superfície inferior da amostra cortada detalhando imperfeições (c).....	85
Figura 30 – Corte com serrote: operação de corte na amostra PO/PME (a), superfície superior (b) e superfície inferior da amostra cortada (c).....	85
Figura 31 – Corte com serra fita da amostra PO/PMA: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b).....	86
Figura 32 – Corte com serra fita da amostra PO/PME: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b).....	86
Figura 33 – Corte com esquadrejadeira na amostra PO/PMA: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b).....	87
Figura 34 – Corte com esquadrejadeira na amostra PO/PME: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b).....	87
Figura 35 – Corte com usinagem na amostra PO/PMA: operação de corte (a) e aparência da superfície do corte (b)	88
Figura 36 – Corte com usinagem na amostra PO/PME: operação de corte (a) e aparência da superfície do corte (b)	88
Figura 37 – Operação de furação do PO/PMA: furo com broca (a), aparência do furo (b) e parafuso fixado no PO/PMA (c)	90
Figura 38 – Operação de furação do PO/PME: furo com broca (a), aparência do furo (b) e parafuso fixado no PO/PME (c)	90
Figura 39 – Processo de lixamento: lixamento da amostra PO/PMA (a) e bordas aparentes (b).91	
Figura 40 – Processo de lixamento: lixamento da amostra PO/PME (a) e bordas aparentes (b) 91	
Figura 41– Amostras expostas.....	92
Figura 42 – Mudança no aspecto visual de amostras dos compósitos PO/PMA (A, B) e PO/PME (C, D) antes (A, C) e após (B, D) intemperismo	93

Figura 43 – Vista lateral das amostras em que se verifica que a degradação ocorre somente nas camadas superficiais dos compósitos. a) PO/PMA e b) PO/PME	94
Figura 44 – Resistência à tração dos materiais compostos antes e após o intemperismo.....	96
Figura 45 – Módulo em tração os materiais compostos antes e após o intemperismo	97
Figura 46 – Resistência à flexão dos materiais compostos antes e após o intemperismo	98
Figura 47 – Papéis de revista (a), papel menor (b) e papel maior (c).....	100
Figura 48 – Amido gelatinizado sem grumos (A), Grumos presentes no amido durante o processamento (B) e no material final (C) identificados pelo círculo.....	101
Figura 49 – Resultado do processamento com máxima (a) e mínima (b) incorporação do reforço deste estudo	101
Figura 50 – Diferentes aspectos visuais devido à maior (b) e menor (a, c) intensidade no trabalho mecânico manual de mistura do amido com o papel.....	102
Figura 51 – Amido/PME após o processamento escolhido para ser utilizado na pesquisa	103
Figura 52 – Superfície superior do material desenvolvido	106
Figura 53 – Superfície de fratura do ensaio de tração	106
Figura 54 – Compósito com papel de revista/amido (a) Compósito papel maior/amido (b) Compósito papel menor/amido (c)	110
Figura 55 – Incorporação do pigmento ao amido gelatinizado (a) com posterior adição de papel (b). A cor incorporada ao material (c)	111
Figura 56 – Amostra da aderência do amido/papel, com os três pigmentos	111
Figura 57 – Aparência do amido possibilitando associações com outros materiais a) A/PME, b) Amido/revista	112
Figura 58 – Apresentação de diferentes modelos geométricos (a,b) e possibilidade de montagem de formas variáveis (c).....	112
Figura 60 – As mostras após serem cortadas com estilete, faca e tesoura, respectivamente (a); destaque para face cortada (b); e amostra após a furação(c).....	116
Figura 61 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante	119
Figura 62 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante V	120
Figura 63 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante A.....	121
Figura 64 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante U	122
Figura 65 – Comparação da absorção de água dos impermeabilizantes para 3 demãos/24 horas	123
Figura 66 – Foto das amostras impermeabilizadas	124

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Metodologia de Percepção dos Materiais pelos Usuários (Permatius), proposto por Dias (2009)	32
Tabela 2 – Propriedades física e mecânicas para poliésteres insaturados comerciais	38
Tabela 3 – Composição e nomenclatura dos materiais estudados	59
Tabela 4 – Relação das técnicas de fabricação e dos aspectos analisados.....	66
Tabela 5 – Composição e nomenclatura dos materiais estudados	71
Tabela 6 – Descrição dos corpos de prova com os respectivos impermeabilizantes	73
Tabela 7 – quadro dos ensaios para cada material.....	74
Tabela 8 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza e impacto dos compósitos	78
Tabela 9 – Resultados obtidos nos ensaios de condutividade térmica e densidade dos compósitos	81
Tabela 10 – Valor médio da massa das famílias para corpos de prova com dimensões de 0,5 cm × 2,5 cm × 17,5 cm	94
Tabela 11 – Dureza e resistência ao impacto dos materiais compostos.....	99
Tabela 12 – Composição associada a gelatinização do amido e os diferentes reforços	104
Tabela 13 – Resistência à tração e módulo de elasticidade do material desenvolvido comparado à literatura	105
Tabela 14 – Resistência à flexão do material desenvolvido comparado à literatura.....	107
Tabela 15 – Resistência ao impacto do material desenvolvido comparado à literatura.....	108
Tabela 16 – Dureza do material desenvolvido comparado à literatura	109
Tabela 17 – Resultados obtidos na operação de corte	117
Tabela 18 – Valores médios em percentual de absorção de água dos materiais desenvolvidos.....	118
Tabela 19 – Características Tangíveis dos Materiais PO, PO/PME e PO/PMA versus Materiais Tradicionais.....	130
Tabela 20 - Características Tangíveis do Material Amido/Papel Versus Tradicionais	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produtos comercializados que podem ser desenvolvidos com os materiais criados	135
Quadro 2 – Sugestões de produtos a partir dos materiais desenvolvidos	138

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAME – Conselho Nacional do Meio Ambiente

LASSU – Laboratório de Sustentabilidade

Escola Politécnica (POLI) da Universidade da São Paulo (USP)

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

PROINFRA – Pró-Reitoria de Infraestrutura

COMPLANA – Comissão de Planejamento Ambiental da UFSM

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

CDS – Centro de Desenvolvimento Sustentável

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos ()

UnB – Universidade de Brasília

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 GRÁFICA DA UFRGS	21
1.2 OBJETIVOS	27
1.2.1 Objetivo Geral	27
1.2.2 Objetivos Específicos	27
1.3 JUSTIFICATIVA	27
2 ESTADO DA ARTE	29
2.1 MATERIAIS E DESIGN	29
2.2 CARACTERÍSTICAS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS DOS MATERIAIS	30
2.3 COMPÓSITOS	32
2.4 BIOCOPÓSITOS	34
2.5 MATRIZES	36
2.5.1 Polímeros	36
2.5.2 Poliéster	38
2.5.3 Amido	39
2.6 CARGA (REFORÇO)	41
2.6.1 Papel	42
2.6.2 Resíduos e Reciclagem de Papéis	47
2.6.3 O Uso do Resíduo de Papel como Carga	51
2.6.4 Resíduos de Gráficas	52
2.7 CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS	52
2.8 DEGRADAÇÃO DE COMPÓSITOS	54
2.9 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS	54
3 MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.1 MATERIAIS	56
3.1.1 Carga	56
3.1.2 Matrizes	58
3.2 MÉTODOS	58
3.2.1 Preparação dos compósitos Poliéster/Papéis	59
3.2.1.1 <i>Análise das Características Tangíveis - ensaios realizados com os</i> <i>compósitos Poliéster/Papéis</i>	62

3.2.1.2 <i>Análise das Características Intangíveis - aspectos subjetivos dos compósitos Poliéster/papéis</i>	65
3.2.1.3 <i>Processos de fabricação dos compósitos Poliéster/Papéis</i>	65
3.2.1.4 <i>Intemperismo Natural dos compósitos Poliéster/Papéis</i>	68
3.2.2 Preparação do biocompósito Amido/Papel	69
3.2.2.1 <i>Testes preliminares na preparação do biocompósito Amido/Papel</i>	70
3.2.2.2 <i>Preparação das amostras do biocompósito Amido/Papel</i>	71
3.2.2.3 <i>Análise das Características Tangíveis dos biocompósitos Amido/Papel</i> ..	72
3.2.2.4 <i>Análise das Características Intangíveis dos biocompósitos Amido/Papel</i>	72
3.2.2.5 <i>Processos de Fabricação dos biocompósitos Amido/Papel</i>	72
3.2.2.6 <i>Impermeabilização dos biocompósitos Amido/Papel</i>	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1 RESULTADOS COMPÓSITO POLIÉSTER/PAPEL	75
4.1.1 Características tangíveis dos compósitos Poliéster/Papel	76
4.1.2 Características Intangíveis dos compósitos Poliéster/Papel	82
4.1.3 Processos de fabricação	84
4.1.3.1 <i>Ensaio para avaliação do corte no material</i>	84
4.1.3.2 <i>Ensaio para a avaliação da perfuração e fixação de parafuso no material</i>	89
4.1.3.3 <i>Ensaio para avaliação de lixamento do material</i>	91
4.1.4 Intemperismo natural Compósito Poliéster /Papel	92
4.1.4.1 <i>Análise visual das amostras</i>	92
4.1.4.2 <i>Quantificação mássica das amostras</i>	94
4.1.4.3 <i>Influência do envelhecimento natural nas propriedades mecânicas</i>	95
4.2 RESULTADOS COMPÓSITO AMIDO/PAPEL	99
4.2.1 Testes preliminares na preparação do compósito Amido/Papel	99
4.2.2 Características tangíveis do compósito Amido/Papel	103
4.2.3 Características Intangíveis dos compósitos Amido/papel	109
4.2.4 Processo de fabricação	116
4.2.5 Impermeabilização do compósito Amido/papel	117
4.2.5.1 <i>Análise comparativa entre os impermeabilizantes utilizados</i>	122
5 INOVAÇÕES PARA O DESIGN A PARTIR DOS NOVOS MATERIAIS	125
5.1 RESINA POLIÉSTER	126

5.1.1 Características tangíveis/intangíveis X possibilidades de aplicações dos compósitos Poliéster/papel	127
5.2 ESCOLHA DO AMIDO	131
5.2.1 Características tangíveis/intangíveis X possibilidades de aplicações dos compósitos Amido/papel	132
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
7 SUGESTÃO PARA CONTINUIDADE DESTA PESQUISA	145
REFERÊNCIAS	147

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais marcos da evolução tecnológica aconteceu no período da Revolução Industrial. Para atender ao avanço desse período, houve uma busca por novos materiais e conseqüentemente elevou-se a procura por recursos naturais e produtos manufaturados, provocando danos à natureza e um aumento da quantidade de resíduos gerados (LIU et al., 2015).

No desenvolvimento de novos materiais, a abordagem sustentável já compreende todo o ciclo de vida do mesmo, considerando-se os impactos causados, desde a matéria-prima até o destino final do produto (CARVALHO, 2011). Ao mesmo tempo que, a reciclagem e a reutilização dos resíduos gerados, viabilizam novas aplicações destes materiais, e conseqüentemente o aumento da vida útil e a redução do volume de resíduos nos aterros.

Nesse contexto, não é possível ficar indiferente às exigências da sociedade e das questões ambientais. Segundo Ribeiro e Rosis Filho (2008), o processo de reciclagem exige refletir e perceber o meio natural, social e cultural. Os novos produtos que são desenvolvidos pela ação de reciclar, levam a pensar sobre benefícios sociais e econômicos que podem trazer, tanto para o país quanto para a natureza.

Lá em 2005, Kazazian afirmou que vivemos uma época 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 econômicos ou natural.

Para Calegari (2013), o reaproveitamento de resíduos surge como um desafio ao designer que busca soluções para o desenvolvimento de projetos desta natureza. Na visão de Krucken (2009), é a percepção sistêmica que caracteriza e estimula a atuação do designer na busca de novos padrões de produção e consumo sustentável. A criação de projetos sustentáveis por designers e o seu desenvolvimento por empresas e por instituições de ensino tem aumentado ao longo dos últimos anos, gerando uma crescente demanda e expansão da pesquisa nesta área.

Para tanto, políticas ambientais que contemplem essas demandas, são questões de responsabilidade da sociedade e dos governos, haja vista a Resolução nº 313 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na qual afirma que as indústrias devem responsabilizar-se pela geração de seus resíduos (Resolução nº

313, 2002). E também, a lei 12305, artigo 3º capítulo 12 que trata da logística reversa, na qual se constitui por um conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor industrial para o seu reaproveitamento e a melhor destinação destes resíduos.

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), as organizações de diferentes segmentos, já se preocupam em atingir e demonstrar um desempenho ambiental correto, controlando o impacto de suas atividades, de seus produtos e serviços, considerando suas políticas e seus objetivos ambientais (CENTRO SEBRAE DE SUSTENTABILIDADE, 2016).

No Brasil, vários projetos de pesquisas, com tentativas de reciclar e reutilizar resíduos gerados pelas próprias universidades estão sendo elaborados pelas instituições acadêmicas com o intuito de promover o desenvolvimento de uma forma mais harmoniosa com a natureza. Estas pesquisas, sejam no desenvolvimento de projetos de inclusão social ou de educação ambiental, sejam na reciclagem de resíduos ou na pesquisa de novos materiais, buscam dar uma destinação apropriada a estes materiais residuais.

Nesse sentido, podem-se citar como exemplos, algumas ações desenvolvidas em universidades do Brasil que visam alcançar os objetivos citados anteriormente. O Projeto Eco Eletro, realizado em parceria entre o Laboratório de Sustentabilidade (LASSU) da Escola Politécnica (POLI) da Universidade da São Paulo (USP), capacita catadores à reciclagem de computadores. Mais de 260 catadores já foram capacitados, entre 2011 e 2015, sendo esta experiência reunida em um livro que foi lançado em novembro de 2015 (PORTELA, 2015).

Outra iniciativa é o projeto da Coleta Seletiva Solidária na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), integrante da campanha “UMA: UFSM Sustentável – Universidade Meio Ambiente”, que entrou em vigor este ano, é vinculado à Pró-Reitoria de Infraestrutura (PROINFRA) e organizado pelos professores membros da Comissão de Planejamento Ambiental da UFSM (COMPLANA). A coleta é realizada semanalmente, por quatro associações da cidade, habilitadas em processo público aberto pela UFSM. (LOURENCI, et al, 2016).

O Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB) é um espaço acadêmico que visa formar competências e produzir novos conhecimentos no campo da sustentabilidade. Foi criado em dezembro de 1995, pelo

professor Cristovam Buarque, como um centro interdisciplinar e hoje é reconhecido como uma unidade de ensino, pesquisa e extensão com ênfase na pós-graduação. Os projetos são desenvolvidos no âmbito de Redes, Laboratórios e Observatórios que se ocupam de mudanças climáticas, políticas públicas, unidades de conservação, energias alternativas, sustentabilidade e inclusão social, na construção civil, no turismo e na tecnologia social (NASCIMENTO, et al, 2013).

Seguindo essa tendência, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como uma instituição de ensino que estimula a pesquisa e a inovação, desenvolve programas de pesquisa que atendem aos aspectos sustentáveis, em âmbito social, econômico e ambiental. Como exemplo, pode ser citada a pesquisa do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (Norie) que estuda a produção de cimento a partir de resíduos industriais, coordenada pela professora Ana Paula Kirchheim. Ressalta-se também, o Projeto Gráfica Sustentável realizado na Gráfica da UFRGS que busca contribuir para os novos paradigmas desta instituição de ensino, seguindo a tendência das principais universidades do país, que contribuem para o desenvolvimento ambiental sustentável. Este projeto desenvolve ações, através do seu Núcleo de Desenvolvimento de Projetos em Papel (NDePP), que visam promover o reaproveitamento dos resíduos de papéis gerados pelo processo produtivo da Gráfica da UFRGS.

Assim, no sentido de dar continuidade a projetos dessa natureza e divulgar a pesquisa desenvolvida na Gráfica da UFRGS, uma parte integrante deste projeto será apresentada nesta tese, salientando-se portanto, que este projeto não iniciou e nem se encerra aqui, mas que é de fundamental importância para um projeto maior, pois dará um aporte técnico para alcançar o objetivo final que é o reaproveitamento deste resíduo e a sua possível reutilização no desenvolvimento de produtos.

Para tanto, neste trabalho de doutorado pretende-se apresentar um dos estudos que foi desenvolvido pelo NDePP que contou com a interação e apoio do Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL) da UFRGS e do Laboratório de Desenvolvimento Integrado de Materiais e Produtos (DIMP) do Instituto Federal Sul-Riograndense (IFSul/ Sapucaia do Sul) visando a troca de conhecimento/experiências.

O trabalho de pesquisa abordado nesta tese constitui-se na apresentação do desenvolvimento de dois novos materiais compósitos criados a partir da reutilização do material residual proveniente da Gráfica da UFRGS. Para o desenvolvimento destes

compósitos utilizou-se o material residual de papel de dois equipamentos distintos que serviu como carga dos compósitos, na qual, agregados a duas matrizes diferentes, o amido termoplástico e o poliéster insaturado, foram produzidos dois materiais (Poliéster/Papéis e Amido/Papel) com propriedades e finalidades distintas.

Assim, para o desenvolvimento desta pesquisa, optou-se por desenvolver e caracterizar estes dois novos materiais em função da oportunidade disponibilizada pelos dois laboratórios citados anteriormente, que auxiliaram no desenvolvimento do Amido/papel no DIMP e Poliéster/papéis no LAPOL e possibilitaram explorar ao máximo este resíduo, em uma linha mais próxima possível de materiais sustentáveis.

A seguir, para o desdobramento efetivo deste trabalho, será contextualizada a origem desta pesquisa. Iniciando-se pela apresentação da estrutura, das rotinas da Gráfica da UFRGS e o andamento do Projeto Gráfica Sustentável, seguindo-se com a descrição das metas e ações voltadas para uma gestão sustentável que possibilitaram a pesquisa apresentada aqui.

1.1 GRÁFICA DA UFRGS

A Gráfica da UFRGS está situada no Campus da Saúde, na Rua Ramiro Barcelos, nº 2500, em Porto Alegre/RS. Ela iniciou sua trajetória em 1948, nos porões da Faculdade de Direito e em 1954 mudou-se para o prédio da Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação (FABICO) e recebeu o nome de “Gráfica da Universidade”.

Neste período, ela passou por diversas mudanças, tanto relacionada ao espaço físico quanto institucionais, crescendo e expandindo seus serviços. Em 2006 foi construído um local específico para o funcionamento da gráfica, que é utilizado até hoje. A aquisição de novas máquinas e a ampliação do quadro de colaboradores foi consequência dessa expansão. Atualmente, a gráfica conta com cerca de 50 funcionários. Sua origem está vinculada ao intuito de servir à comunidade acadêmica imprimindo materiais como o Jornal da Universidade, a Agenda Cultural do Departamento de Difusão Cultural, livros editados pela Editora da UFRGS, além de todo o material de expediente, teses, dissertações e periódicos produzidos pela Universidade.

A Gráfica da UFRGS tem como objetivo uma gestão de qualidade com

eficiência, tecnologia, sobretudo com compromisso de serviços gráficos sustentáveis. Os valores da sustentabilidade não estão apenas no desenvolvimento dos produtos, mas também no processo produtivo, no processo de gestão, na ética, nos recursos humanos e na gestão ambiental, para buscar-se a excelência no material de divulgação da Universidade.

Para tanto, a Gráfica está organizada nos seguintes setores: direção; administração, financeiro e compras; recepção; atendimento ao cliente, orçamento; editoração, revisão; pré-impressão; impressão digital; impressão offset; acabamento; almoxarifado; expedição; Núcleo de Desenvolvimento de Projetos em Papel (NDePP). Na Figura 1 podem ser vistos o almoxarifado, acabamento e impressão offset.

Os principais pontos geradores de resíduos sólidos do processo produtivo da Gráfica são os setores de impressão offset e do acabamento. Contudo, todos os setores da Gráfica da UFRGS geram resíduos.

Figura 1 – Setores de Acabamento e Impressão offset da Gráfica da UFRGS



Fonte: Fotos de Michele Bandeira

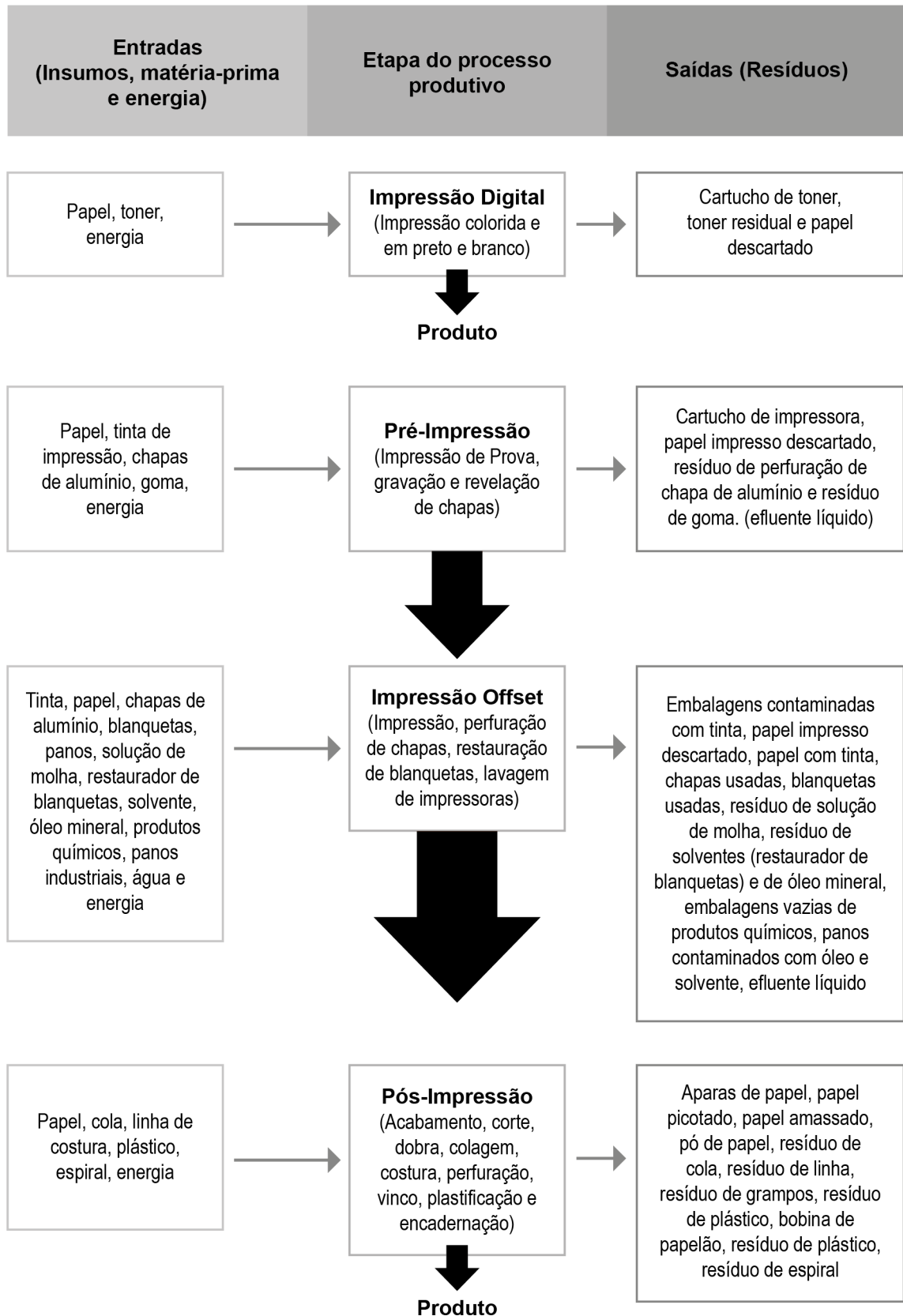
Desde 2007, com o início do Projeto de Desenvolvimento Institucional e Qualificação para a Gestão Sustentável da Gráfica da UFRGS (mais conhecido como Projeto Gráfica Sustentável, como já foi citado), estuda-se formas de minimizar este passivo ambiental, através de estudos que visam promover práticas de gestão sustentável. Entre as ações implementadas pode-se citar:

- educação ambiental para clientes e colaboradores;
- substituição de produtos poluentes por insumos que não agredam o ambiente;
- destinação correta dos resíduos químicos, doação dos resíduos de papéis;
- aquisição de equipamentos voltados para o conceito de produção mais limpa;
- incentivo a reutilização e reciclagem dos resíduos de papéis através de pesquisas para o desenvolvimento de materiais gráficos e de novos materiais;

- visitas guiadas da comunidade discente, criação do Núcleo de Desenvolvimento de Projetos em Papel;
- o desenvolvimento do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS);
- atendimento aos jovens do Programa de Prestação de Serviços à Comunidade;
- desenvolvimento de novos materiais a partir do resíduo de papel proveniente do processo produtivo da gráfica;
- apoio ao desenvolvimento de ONGs para produção e comercialização de produtos oriundos a partir dos resíduos gerados em Gráficas.

Em 2011, iniciou-se o PGRS, que estabelece e descreve ações relativas ao manejo de resíduos sólidos gerados no processo produtivo gráfico, na qual foram identificados os pontos geradores de resíduos (figura 2), e após, feita a caracterização, classificação e quantificação dos resíduos sólidos gerados. Em paralelo, foi desenvolvido um programa para o seu manuseio, segregação, acondicionamento, armazenamento, destinação, transporte e sua disposição final ambientalmente adequada (MARQUES, 2013).

Figura 2 – Fluxograma de entradas de insumos e saídas de resíduos nas etapas do processo produtivo da Gráfica da UFRGS



Fonte: Marques (2013)

Através do PGRS, foi possível identificar e quantificar os resíduos gerados na Gráfica. Verificando-se que havia uma quantidade significativa de resíduos sólidos, 900 Kg /mês, e que deveriam ser implantadas mudanças nos procedimentos internos para que houvesse a possibilidade da prática dos 3Rs: reduzir, reutilizar e reciclar.

Assim, para promover a pesquisa de reutilização do resíduo de papel, foi criado o Laboratório de Reciclagem de Papel (LRP), cujo objetivo inicial era a produção de papel artesanal a partir das aparas (como são chamados os excedentes de papel gerados na indústria gráfica). Em 2008, iniciou-se o uso da técnica de papel machê na confecção de diversos tipos de objetos. Devido à evolução da pesquisa, em 2010, o Laboratório transformou-se no Núcleo de Desenvolvimento de Projetos em Papel (NDePP), ampliando seus objetivos para o desenvolvimento de materiais e produtos a partir de resíduos gerados na Gráfica da UFRGS.

Conforme Curtis (2011), diante da natureza da atividade da Gráfica, a redução de resíduos e a preservação do ambiente são aspectos que demandam atenção. Com efeito, a questão ambiental é um fator determinante no contexto da produção gráfica e os resíduos gerados podem ser utilizados para o desenvolvimento de novos materiais.

Assim, em 2012, foram intensificadas as pesquisas que promoveram a redução e a reutilização dos resíduos de papéis oriundos dos vários segmentos do seu processo de impressão. Devido à complexidade da construção deste conhecimento, procurou-se estimular a formação de grupos de pesquisa que dialogassem com outras áreas, criando grupos interdisciplinares, na busca de informações e respostas aos novos desafios que as ações estavam gerando.

Os grupos de pesquisa criados desenvolveram conhecimento para o uso das aparas. Iniciou-se com o uso do resíduo de papel como carga na massa do papel machê. Pesquisou-se a impermeabilização e os processos de tingimento em papel machê (PICCOLI, et al 2014). Foram oferecidas oficinas para o ensino e desenvolvimento das técnicas pesquisadas e os resultados alcançados foram apresentados na dissertação de mestrado de Porto (2013). Neste estudo, verificou-se que este material produzido possuía baixa resistência ao impacto, alta sensibilidade à água e processo de secagem lento. Com base nestes indicativos, concluiu-se que se necessitava de novas pesquisa em relação a inserção de cargas para serem incorporadas a este resíduo com a finalidade de obter características mais favoráveis.

Outra destinação do resíduo resultante do processo de produção da Gráfica da UFRGS foi a doação das aparas de papéis para a Associação dos Trabalhadores da Unidade de Triagem (ATUT) do Hospital Psiquiátrico São Pedro de Porto Alegre. Essa associação faz o trabalho de reinserção social de pacientes psiquiátricos e reverte a venda do material em renda para os beneficiados.

A parceria com a ATUT permite à Gráfica destinar suas aparas de forma ambientalmente correta (garantindo a reciclagem dos resíduos) e socialmente responsável, já que a venda destes materiais é revertida em benefícios econômicos aos associados. A figura 3 mostra a destinação dessas aparas que são recolhidas aproximadamente duas vezes por semana pelos membros da associação, entre chapas de alumínio e papéis.

Figura 3 – Destinação das aparas de papel recolhidas da Gráfica da UFRGS na ATUT: etapas de triagem do material e trituração (da esq. para a dir.)



Fonte: Marques (2013)

A parceria com esta associação e os resultados das pesquisas anteriores despertou interesse pela pesquisa de desenvolvimento de compósitos com diferentes matrizes agregadas ao resíduo de papel, no sentido de viabilizar outras possibilidades no reaproveitamento destes resíduos.

Portanto, a pesquisa apresentada nesta tese é uma das metas do Projeto Gráfica Sustentável, delimitando a abordagem, apresenta um recorte do projeto, com desenvolvimento de compósitos, cujas matrizes escolhidas foram o amido e o poliéster agregados aos resíduos de papéis resultantes do material residual do processo de produção do setor de acabamento da Gráfica da UFRGS. Para tanto, a seguir serão expostos os objetivos, geral e específico e a justificativa que reforçam a importância desta pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa constitui-se em desenvolver e caracterizar compósitos poliméricos tendo como carga as aparas de papéis proveniente dos resíduos do processo produtivo da Gráfica da UFRGS, combinados a matrizes de poliéster insaturado e de amido termoplástico.

1.2.2 Objetivos Específicos

Desenvolver compósitos de Poliéster/papel.

Desenvolver compósitos de Amido/papel.

Caracterizar os compósitos desenvolvidos através de ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto e dureza) e absorção de água.

Fazer a análise do intemperismo nos compósitos PO/PME e PO/PMA.

Fazer a análise da impermeabilização nos compósitos A/PME.

Analisar as características intangíveis destes novos materiais.

Comparar com materiais/produtos similares existentes e sugerir aplicações como matéria-prima alternativa às utilizadas nos produtos comerciais.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, segundo a Lei 12.305/2010 a respeito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), as empresas precisam elaborar seus devidos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos informando como pretendem destinar os resíduos gerados no seu processo produtivo (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

As gráficas, no seu trabalho diário, geram diferentes tipos de aparas, oriundas dos diversos equipamentos que são utilizados na produção dos materiais impressos. Essas aparas são produzidas, desde o refile inicial da resma, para o início do trabalho de impressão, ao refile final do trabalho já impresso, produzindo as mais variadas formas e tamanhos de resíduos de papéis. E apesar das tentativas para reduzir o volume gerado, neste tipo de produção, sempre haverá resíduo no final do processo.

O resíduo de papel gerado na indústria gráfica geralmente é destinado para

o desenvolvimento de novos papéis. O percentual de reaproveitamento é de 37% (RECICLAGEM, 2018) , portanto, 63% ainda tem potencial para ser reaproveitado na própria indústria de papel ou, como no caso desta pesquisa, na criação de novos materiais.

Neste sentido, esta pesquisa justifica-se à medida em que atende a resolução da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) na qual sugere novas aplicações para o material residual, e ainda, pelas possibilidades de intervir no ciclo de vida do papel, dando-lhe uma nova destinação, reaproveitando e possibilitando à evolução dos materiais em seus processos de produção.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, para fundamentar este estudo, pesquisou-se em livros, trabalhos e artigos acadêmicos as principais referências sobre este assunto, com o objetivo de buscar conceitos, classificações e estudos já existentes no sentido de obter-se um embasamento teórico que promova um conhecimento prévio e contextualize toda esta pesquisa.

2.1 MATERIAIS E DESIGN

Os materiais têm uma importância fundamental no processo de concepção dos produtos, a ponto de se tornar a interface imediata entre o produto e o homem (MANZINI, 2008). Nesse sentido, o material pode contribuir no funcionamento, percepção estética, na identidade e valorização da marca dos produtos. A busca por um maior conhecimento em relação às características dos materiais tem aproximado o designer da área de ciências dos materiais. Para Karana et al (2008), os designers devem ter conhecimento dos atributos dos materiais para entender as possíveis variáveis do processo e poder valorizar suas características no momento de projetar o artefato.

Segundo Lindbeck (1995), o conhecimento das características e a maneira pela qual os materiais reagem são critérios relevantes para determinar qual material usar em uma aplicação específica. Os requisitos relacionados às propriedades físicas (ponto de fusão do material, densidade, teor de umidade, porosidade e textura da superfície); propriedades químicas (resistência à corrosão e dissolução); propriedades térmicas (condutividade térmica, resistência ao calor); propriedades elétricas (condutividade dos materiais e resistência a cargas elétricas); propriedades acústicas (reações dos materiais ao som) e propriedades óticas (reações de materiais à luz) devem ser pesquisadas para a seleção apropriada de materiais, porque estas propriedades podem indicar resistência, produtividade e durabilidade.

Para Budinski (1996), características como o tamanho disponível, forma, acabamento e tolerâncias em materiais, que não se enquadram nas categorias ressaltadas por Lindbeck (1995), são muitas vezes os fatores de seleção mais importantes reconhecidas pelo usuário, porque podem criar experiências sensoriais transmitir significados e provocar emoções.

Sob este aspecto, foi mencionado por Ashby e Johnson (2002), que é importante avaliar os atributos estéticos dos materiais para possibilitar uma seleção adequada de materiais no design do produto. Além dos atributos estéticos de materiais, eles definem dois papéis fundamentais dos materiais que é a funcionalidade técnica e a possibilidade de o material personificar o produto.

Atualmente, alguns pesquisadores da área do design e da área da engenharia dos materiais exploram propriedades sensoriais e as questões intangíveis como percepções, associações e emoções, porque elas podem definir-se como características limitantes do projeto, dependendo das necessidades e expectativas dos designers de produtos. O conjunto das propriedades tangíveis (físicas, químicas, térmicas, elétricas, acústicas e óticas) e intangíveis, avaliadas nos materiais, podem proporcionar ao designer um conhecimento ampliado das reais possibilidades técnicas e qualitativas que o auxiliarão na qualificação e personalização do produto no momento de sua criação.

2.2 CARACTERÍSTICAS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS DOS MATERIAIS

Os materiais diferenciam-se uns dos outros por possuírem características particulares. Cada material possui atributos que podem ser definidos como características tangíveis e intangíveis.

Atributos tangíveis constituem o perfil objetivo ou técnico dos materiais, que visam quantificar o comportamento quanto aos atributos físicos, mecânicos, térmicos, podem ser medidos e possuem valores exatos. 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, temperatura, fluxo de calor, ciclo de vida, que asseguram os requisitos funcionais, técnicos, ambientais e econômicos estabelecidos para o projeto (Ashby e Johnson, 2010).

Já os atributos intangíveis, são características que definem o perfil subjetivo dos materiais, onde o material é definido por significados atribuídos e emoções evocadas que não podem ser exclusivamente identificadas por valores numéricos ou quantitativos. As características são definidas pelas questões relacionadas com a estética e o simbólico percebido pelas pessoas, são atributos que precisam ser

compreendidos em termos socioculturais, na medida em que são construídos socialmente (Dias, 2009).

Os designers apontam os aspectos intangíveis como sendo fatores de grande relevância para a seleção de materiais. Em relação às propriedades sensoriais, eles salientam o tato, a visão e a relação destes com a percepção de conforto e a sensação de agradabilidade que um material pode transmitir. Conforme afirma 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, induz o usuário a uma percepção que é única e particular.

Na literatura, as características intangíveis, apesar de inicialmente, não receberem esta denominação, já foram apresentadas, segundo Dias (2009), por Manzini em 1986, que comentava que os materiais possuem significados culturais intrínsecos, mais tarde por Ferrante, em 2000, como aspectos não técnicos dos materiais, bem como por Conran, em 2005, que comentava sobre questões menos tangíveis dos materiais.

Embora estas características já tenham sido ressaltadas por vários autores e existam até classificações destes atributos, ainda não existem fontes de consulta que destaquem estas características, como as catalogações existentes para as características tangíveis dos materiais, nesse sentido, portanto, há uma deficiência na caracterização dos materiais por este aspecto que não beneficia aos designer de produtos (Hodgson 2004, Karana, 2008, Zuo, 2004).

Nesta pesquisa, optou-se por evidenciar algumas características, tanto tangíveis quanto intangíveis, para que pudessem se destacar e personalizar os materiais criados. Para a análise destas características seguiu-se a caracterização proposta por Dias(2009), utilizando como critério o modelo Permatius – Percepção dos materiais pelo usuário, que aqui será exposta completa, mas na tese foram escolhidas algumas para ana na Tabela 1.

Tabela 1 – Metodologia de Percepção dos Materiais pelos Usuários (Permatius), proposto por Dias (2009)

<i>Caracterizações Tangíveis (Perfil Objetivo)</i>			<i>Caracterizações Intangíveis (Perfil Subjetivo)</i>		
Atributos técnicos			Atributos Estéticos	Atributos Práticos	Atributos Simbólicos
Classe Técnico	Classe Ambiental	Classe Estética			
Atributos mecânicos: Ensaio de tração, flexão, dureza e impacto	Disponibilidade, Resíduos industriais, Conteúdo de material reaproveitado	Atributos de processos conformação, usinagem, junção e superfície	Forma, Cor, Transparência, Brilho, Táctil, Textura, Cheiro, Som, Sabor, Temperatura	Identificação, Usabilidade, Ergonomia, Contexto de uso, Conforto, Segurança e proteção, Limpeza e higiene, Saúde e salubridade, Sustentabilidade, Qualidade, Desempenho, Confiabilidade, Resistência, Eficiência energética, Durabilidade	Cultura e tradição, Memória, Envelhecimento, Natural e artificial, Autêntico e imitação, Artesanal e industrial, Inovação, Identidade, Preço, Valor social, Valor sentimental, Associação, Padrões, Estilo de design, Personalidade
Atributos físicos: Ensaio de absorção de água ensaio de ângulo de contato					

Fonte: Dias (2009).

2.3 COMPÓSITOS

Na natureza são encontrados diversos materiais compósitos que são utilizados pelo homem. O uso de argila reforçada com madeira ou outras fibras naturais e o papel machê, usado pelos egípcios na antiguidade, são alguns exemplos de uso e formulação de compósitos (PASSOS, 2005). Pode-se citar ainda como exemplos de compósitos naturais a madeira, cuja matriz de lignina é reforçada com fibras celulósicas, e os ossos, em que a matriz é composta por minerais e reforçada com fibras colágenas (JAREK, 2014).

Além deles, ao longo do tempo, foram sendo utilizados metais, polímeros e cerâmicos, que, para algumas aplicações específicas, observou-se que não apresentavam propriedades ideais, particularmente em tecnologias modernas. Assim, para haver uma maior compatibilidade entre as propriedades do projeto e aplicação, começou-se a utilização de fibras sintéticas ou materiais metálicos/cerâmicos como reforço em matrizes cerâmicas, metálicas ou poliméricas, levando a criação de outra classe de materiais que se designou como materiais compósitos (GUIMARÃES, 2010).

Conforme a norma ASTM D3878 – 95, os materiais compósitos são definidos como um material formado de dois ou mais constituintes: a matriz (fase contínua) e o

reforço (fase dispersa), insolúveis entre si, com distintas composições, propriedades e estruturas. São classificados em compósitos reforçados com partículas, com fibras e compósitos estruturais (CALLISTER, 2007). O objetivo de desenvolver um compósito é que as combinações dos seus constituintes resultem em um material com propriedades distintas das matérias-primas de origem (CARVALHO, 2005). A matriz tem a função de agrupar os materiais de reforço, conservar a integridade do compósito e transferir o esforço mecânico ao material de reforço, já o material de reforço deve suportar a força aplicada (JAUHARI, et al, 2015). Geralmente o material de reforço é mais rígido e resistente que a matriz. O material de reforço pode estar na forma de fibras ou partículas, e pode ser de origem sintética ou natural. Para projetar-se um compósito deve-se analisar os materiais, o processamento, a performance e finalidades (NETO & PARDINI, 2006).

Após a fabricação do compósito obtêm-se produtos com diferentes propriedades, entre elas, propriedades térmicas (condutividade térmica), elétricas (condutividade elétrica) e mecânicas (ductilidade, densidade, dureza e resistências ao impacto, à tração, à flexão). Conforme as propriedades atribuídas ao compósito, podem orientar os designers o seu empregado em diversas áreas, como a indústria aeronáutica, aeroespacial, marítima, automotiva, equipamentos esportivos, pavimentação e construção civil (MOTTA, 2014),

Por volta de 2000, com os movimentos relacionados à sustentabilidade, onde um dos tópicos era a substituição de materiais de origem sintética por materiais de fontes renováveis ou resíduos de processos produtivos (fibras vegetais, aparas de papéis, casca de grãos, resíduos da indústria têxtil e calçadista, entre outros), tornou-se relevante o uso e a pesquisa das fibras naturais (JAWAID & KHALIL, 2011).

Os compósitos reforçados com fibras são materiais tecnologicamente importantes usados muitas vezes em aplicações estruturais, devido sua alta resistência e alta rigidez em relação ao peso (CALLISTER, 2007). Podem ser classificados de acordo com a orientação e o comprimento das fibras, e esses dois fatores influenciam as propriedades mecânicas do material. Geralmente são fibras contínuas (que podem ter orientação preferencial ou estar dispostas na matriz de modo aleatório) e fibras descontínuas (que geralmente estão dispostas de modo aleatório).

Apesar da maioria dos compósitos serem utilizados com o reforço na forma de fibra, com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas, também existem

os compósitos reforçados com partículas cujo enfoque não é o mesmo, este visa aplicações que necessitam de um bom isolamento térmico, acústico, ou simplesmente pelo apelo estético ou ecológico. Materiais particulados também são utilizados em polímeros, geralmente, para reduzir o preço final do produto, podendo-se citar como exemplo resíduos de processos industriais. Estes materiais, geralmente, não alteram as propriedades da matriz, não tendo um comportamento efetivo como reforço no compósito, e sim como carga.

Os compósitos podem ser fabricados por uma gama de processos. Os principais processos de fabricação industriais de compósitos são a Pultrusão; Moldagem por Injeção; Moldagem por compressão; RTM (Resin Transfer Molding); SRIM (Structural Reaction Injection Molding); Laminação; Enrolamento (Filament Winding; Manual (Hand Lay-Up); Moldagem à Pistola (Spray-up) (CERCHIARO, 2010). A moldagem por compressão é um dos processos mais usados para obtenção de compósitos e consiste em transformar dois ou mais materiais, depositando-os na cavidade de um molde para a aplicação de pressão com ou sem aquecimento (CANEVAROLO JR., 2002). Ele é um dos mais utilizados para a conformação de compósitos particulados devido ao baixo custo.

Candido (2014) afirma que as vantagens de se produzir compósitos, sob o ponto de vista tecnológico e social, é que podem ser gerados novos materiais baseados em modelos mais sustentáveis e com menor custo de produção. Ainda, sob o ponto de vista ambiental, a sua produção pode contribuir com a redução do volume disposto em aterros, os riscos de contaminação do solo e degradação da paisagem urbana.

2.4 BIOCAMPÓSITOS

A busca por materiais mais sustentáveis tem gerado pesquisas de novos materiais que procuram contemplar o uso de matérias primas de fonte renovável em toda massa do compósito, tanto na matriz, quanto no reforço. Com base nessas considerações, compósitos com matriz polimérica biodegradável reforçados com fibras vegetais, produzidos a partir do amido, celulose ou outros recursos renováveis, tendo em sua fase dispersa fibras naturais ou resíduos industriais sólidos (da indústria coureiro-calçadista, têxtil, papelreira e agronegócio), são chamados de compósitos biodegradáveis, compósitos verdes ou biocompósitos (NAM et al, 2011). Com esta

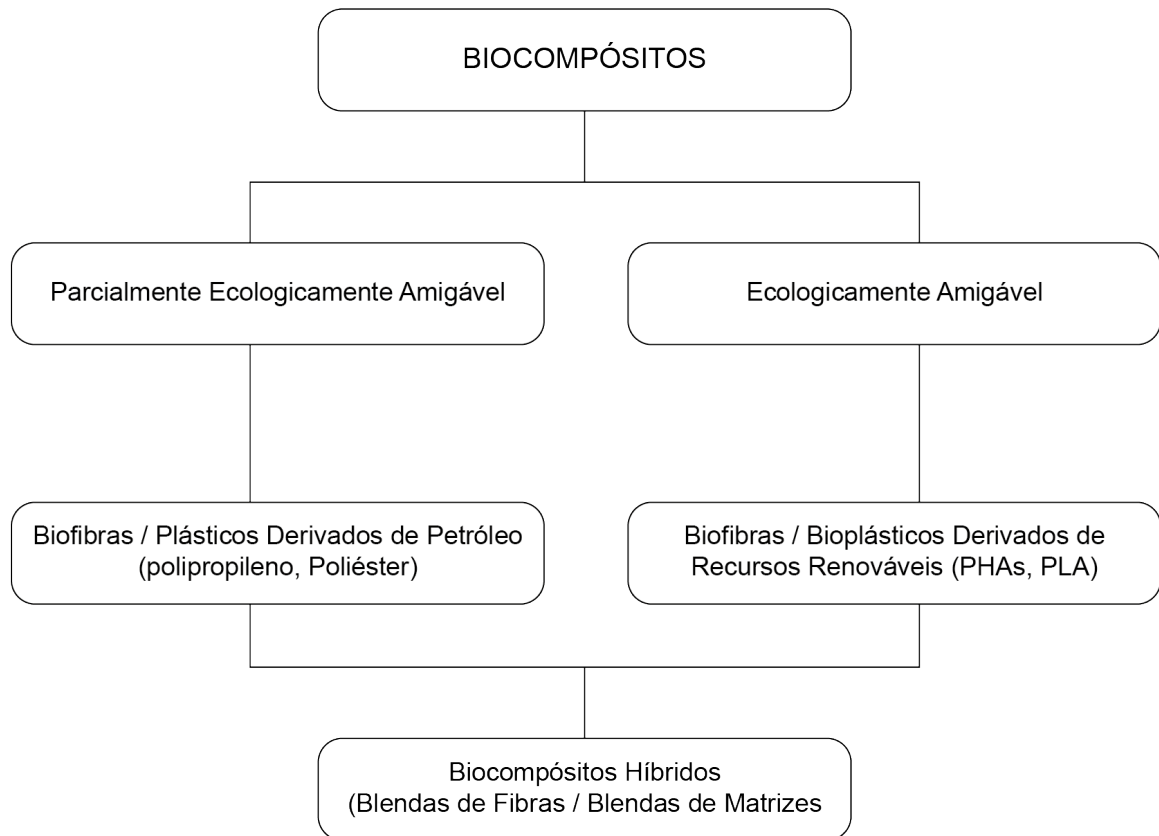
combinação, espera-se que estes compósitos tenham, no final da vida útil do produto, um tempo de degradação menor. Esse material é constituído de polímeros de fontes renováveis que atuam como matriz e o reforço geralmente são compostos de fibras vegetais, como de sisal, coco, juta, curauá de bananeira e outras (AVÉROUS & BOQUILLON, 2004).

Segundo Mohanty et al. (2005), esses polímeros biodegradáveis sofrem uma cisão na cadeia induzida microbiologicamente, conduzindo à fotodegradação, oxidação e hidrólise, que podem alterar o polímero durante o processo de degradação. Eles ainda podem sofrer decomposição, principalmente através da ação enzimática de micro-organismos em dióxido de carbono, metano, compostos inorgânicos ou biomassa num período de tempo específico.

Para estes autores, o desafio de substituir plásticos convencionais por materiais biodegradáveis é projetar materiais que tenham estabilidade estrutural e funcional na sua vida útil, e serem suscetíveis à degradação microbiana e ambiental somente após a eliminação, sem ocasionar qualquer impacto ambiental significativo. Os biocompósitos geralmente possuem matrizes formadas por polímeros biodegradáveis, que são plásticos que podem ser convertidos em gás carbônico, metano ou componentes celulares microbianos, quando em presença de micro-organismos de origem natural como bactérias, fungos e algas.

Pode-se citar como exemplo de classificação de biocompósitos a Figura 4, na qual fibras lignocelulósicas foram combinadas com polímeros como polipropileno (PP) e polietileno (PE), que, segundo a classificação de Silva et al, 2009, podem ser parcialmente ecologicamente corretos (amigáveis, mudado na figura 4), ou com biopolímeros como ácido polilático (PLA), ésteres de celulose, poli-hidroxicanoatos e bioresinas à base de óleo vegetal (MOHANTY et al., 2005).

Nesse contexto, encontra-se na literatura autores que salientam que existe benefícios no uso do poliéster com fibras, pelo baixo custo e densidade destes compósitos tendem a aumentar as possibilidades de aplicação (BORSOI et al. 2011). Além disso, os autores como Fowler et al. (2006), afirma que deste modo causam menor impacto ambiental e Huda et al. (2008) afirmam que há um menor risco à saúde quando comparadas ao uso de fibras de vidro; prerrogativas que corroboram também, para o estímulo da utilização de fibras naturais em compósitos.

Figura 4 – Classificação dos biocompósitos

Fonte: Criado pela autora adaptado de SILVA et al. (2009)

2.5 MATRIZES

Os polímeros serão as matrizes que farão parte dos compósitos estudados nesta pesquisa. Este estudo pretende trabalhar com duas matrizes poliméricas distintas, amido termoplástico e poliéster insaturado, que comporão, com os reforços das aparas de papéis, os compósitos criados. Os polímeros e as matrizes poliméricas usadas nesta pesquisa serão estudadas nas seções a seguir.

2.5.1 Polímeros

A palavra polímero originou-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas unidades de repetição, denominados meros, ligados por ligações covalentes. A matéria prima para a produção de um polímero é um monômero, isto é, uma molécula com uma unidade de repetição (CANEVAROLO JR., 2002).

Os polímeros são constituídos de moléculas formadas pelo encadeamento de milhares ou milhões de átomos. Por serem muito longas, estas cadeias se entrelaçam formando um emaranhado que interage fortemente. Esta é uma das razões da grande resistência mecânica dos polímeros, o que possibilita que sejam utilizados na confecção de muitos objetos, tais como móveis, eletrodomésticos, peças automotivas e peças para construção civil. Se as cadeias de macromoléculas estiverem entrelaçadas e unidas através de ligações químicas, as chamadas ligações cruzadas, a resistência mecânica aumenta, permitindo a confecção de peças e objetos mais resistentes (CANEVAROLO JR., 2002).

De acordo com seu comportamento mecânico, os polímeros podem ser classificados como elastômeros, fibras, plásticos e quanto às características térmicas podem ser termoplásticos e termorrígidos (PIATTI & RODRIGUES, 2005). Os polímeros termorrígidos ou termofixos são aqueles que endurecem quando submetidos ao efeito da temperatura e da pressão e podem assumir a forma do molde. Caso sofra uma nova exposição à temperatura e pressão, o material não altera sua forma. Isso ocorre devido à formação de ligações cruzadas entre as cadeias adjacentes, acarretando uma maior resistência da cadeia aos movimentos vibracionais e rotacionais gerados em elevadas temperaturas (CALCAGNO & FAGUNDES, 2019). Epóxi e algumas resinas Poliéster são exemplos desse polímero (CANEVAROLO JR., 2002).

Os polímeros termoplásticos podem ser moldados várias vezes quando submetidos aos efeitos da temperatura e pressão. Essa característica se deve às forças de ligação secundárias que são diminuídas quando há um aumento de temperatura, facilitando o movimento relativo das cadeias quando uma tensão é aplicada. Como exemplo desses polímeros existem: o Polipropileno, o Policloreto de Vinila, o Poliestireno e o Polietileno (CALCAGNO & FAGUNDES, 2019).

Para determinar-se como os polímeros podem ser utilizados, deverão ser estudadas as propriedades como resistência mecânica, resistência térmica, estabilidade frente a substâncias químicas, resistência elétrica, permeabilidade a gases etc. Silva (2003) comenta que o uso de matrizes termofixas apresenta um enorme potencial para a utilização das fibras vegetais, pois, podem-se utilizar métodos de processamento simplificados e menos onerosos. Isso é uma grande vantagem quando se pensa na sua aplicação para a geração de empregos em plantas industriais alternativas. Os autores Cerchiaro (2010) e Passos (2005), em suas pesquisas de

mestrado e doutorado, respectivamente, também avaliam a aplicação de materiais compósitos para estes fins.

2.5.2 Poliéster

Os poliésteres são polímeros de cadeia heterogênea, cuja ligação característica é a ligação éster –CO-O-, que podem gerar cadeias saturadas (formando termoplásticos) ou insaturadas (gerando termofixos) dependendo do tipo de monômero inicial empregado (CANEVAROLO JR., 2002). As resinas poliésteres insaturadas presentes no mercado, podem ser divididas em: bisfenólica, que possui um bom desempenho químico e térmico; isoftálica, que, além do bom desempenho químico e térmico, possui um bom desempenho mecânico; ortoftálica que tem boa resistência física e menor custo, sendo utilizada em fins menos nobres e tereftálicas que possui boa resistência física e baixa resistência a radiação Ultra Violeta (MARINUCCI, 2011).

A resina poliéster usada nesta pesquisa é a insaturada ortoftálica, cujas principais propriedades incluem facilidades de manipulação, cura rápida, cores claras, estabilidade dimensional e, geralmente, um bom balanço de propriedades mecânicas (Tabela 2), elétricas e químicas (CAVALCANTI, 2006). A principal aplicação desta resina é em compósitos reforçados com fibra de vidro, que são usadas nas indústrias náutica, esportiva, automotiva, moveleira e de transportes em geral.

Tabela 2 – Propriedades física e mecânicas para poliésteres insaturados comerciais

Resina	Densidade (g/cm ³)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Alongamento (%)
Poliéster	1,2–1,5	40–90	2,0–4,5	2,0

Fonte: Cavalcanti (2006).

O uso da matriz poliéster insaturada ortoftálica nesta pesquisa é devido, além da boa resistência física da resina, facilidade de manipulação, cura rápida e menor custo, a elevada capacidade de inserção de carga (80% de resíduo de papel), que dá ao material um caráter mais sustentável no seu uso.

Os processos de moldagem e de produção desta resina são variados indo de processos manuais de molde aberto (hand lay-up), semimanuais com pistola (spray up), à processos de molde fechado como a prensagem a frio ou de transferência de

resina, que permitem maior controle dimensional e melhor qualidade aos produtos. Estes processos de molde aberto ou fechado usam a cura a frio que é o sistema de cura mais usado nas pequenas e médias indústrias pela simplicidade e baixo custo dos moldes (MOTTA, 2014). A moldagem oferece menor desperdício de material e menor material residual.

2.5.3 Amido

O amido é um carboidrato que, além do seu uso na produção de alimentos, é empregado na indústria de papel, têxtil, farmacêutica e outras. A maior parte do amido produzido na indústria é proveniente do milho, existindo ainda outras fontes, como a mandioca, a batata, o trigo e o arroz (SUGIH, 2008).

O amido é considerado um polímero natural, classificado como um polissacarídeo composto de amilose e amilopectina que podem ser facilmente hidrolisadas, produzindo carboidratos de baixo peso molecular. A amilose possui estrutura essencialmente linear, e em solução, adota uma estrutura helicoidal, devido à conformação das unidades de glicose contínuas pelos enlaces $-\alpha$ (COLLINS & FERRIER, 1995). Na hélice, as hidroxilas estão voltadas para o exterior, e por isso, são responsáveis pelo caráter hidrofílico do amido, contudo, os átomos de hidrogênio localizados no interior da hélice produzem um caráter hidrofóbico (WOEHL, 2009).

Em relação à amilopectina, a sua estrutura é de cadeias curtas altamente ramificadas em que seus segmentos estão arranjosados como duplas hélices de forma paralela e estabilizada por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila. Assim, a amilopectina é considerada o principal componente cristalino do amido granular. A amilopectina é estrutural e funcionalmente mais importante do que a amilose já que sozinha pode formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose (CORRADINI et al., 2007).

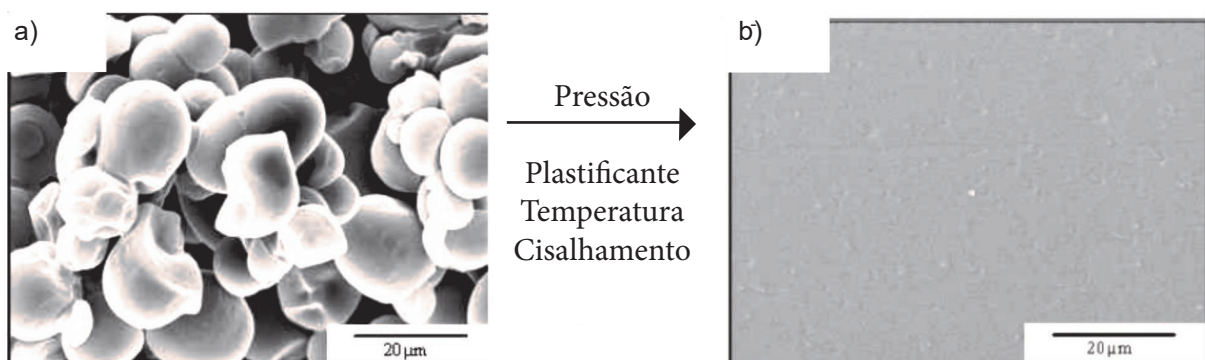
O amido de milho é composto por 75% amilopectina e 25% amilose, existindo mutantes naturais cuja composição chega a 99% amilopectina (seroso-waxy) ou até 50% amilose (amilose-extender). A variação na proporção de amilose e amilopectina no amido está relacionada com a região onde é produzido (GUIMARÃES, 2010). É possível encontrar uma ampla variação das dimensões dos grânulos de amido e distribuição de tamanho desses grãos na natureza. Existem variações na granulometria que podem

variar de 1 a 100 μm de diâmetro, a forma dos grãos pode ser redonda, lenticular e poligonal, o tamanho de distribuição e associação pode ser individual (simples) ou por agrupamentos de grânulos (composto), e em relação à composição pode possuir α -glucanos, lipídios, umidade, conteúdo de proteínas e minerais, sendo que estas características dependem da origem botânica do amido (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). Segundo Mali et al, (2010), as variações nas proporções podem afetar as suas aplicações industriais.

O amido encontrado na natureza quando submetido à condições adequadas de temperatura e pressão, além da adição de um agente plastificante, pode ser gelatinizado, e sob o efeito de cisalhamento transformar-se em um fundido, originando o amido termoplástico (CORRADINI et al., 2007). Esse processo de desestruturação ou plastificação pode ser realizado em equipamentos convencionais de processamento de polímeros, como injetoras, extrusoras, misturadores intensivos e outros (CARVALHO, 2005). Quando o amido é aquecido, as ligações de hidrogênio entre as unidades de glicose adjacentes são rompidas e o mesmo perde sua cristalinidade, ocorrendo o processo de gelatinização que produz um material amorfo (GONZALEZ, et al, 2003). A gelatinização é a transformação irreversível do amido granular em uma pasta viscoelástica. (VAN SOEST et al., 1996).

Na Figura 5, é possível observar micrografias do amido granular nativo e do processado (CORRADINI et al., 2007). Pode-se observar a destruição completa da estrutura granular do amido nativo transformada em uma morfologia contínua e homogênea.

Figura 5 – Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície do amido granular (a) e do amido termoplástico com grãos desestruturados (b)



Fonte: Corradini et al. (2007)

As propriedades do amido termoplástico são afetadas, principalmente, pelas condições de processamento, pelo teor de plastificante e pela cristalinidade (CORRADINI et al., 2007). Os plastificantes, em geral, são moléculas pequenas, pouco voláteis que são adicionados aos polímeros de alto peso molecular para amolecê-los ou baixar seu ponto de fusão durante o processamento, ou para conferir flexibilidade ao material (CANGEMI, et al, 2005).

O uso do amido termoplástico possui vantagens, tais como: disponibilidade natural, biodegradabilidade, baixo custo além da possibilidade de passar por modificações químicas, o que pode levar a diferentes aplicações. Contudo, possui propriedades mecânicas inferiores aos dos polímeros convencionais e alta sensibilidade à umidade, sendo estes os principais fatores limitantes para a sua aplicação (SANKRI et al., 2010).

Devido a essas propriedades, o amido termoplástico pode ser empregado na manufatura de produtos como copos, pratos e talheres descartáveis, embalagens para alimentos, sacos de lixo, vasos para plantas, cobertura temporária de mudas e outros produtos que não necessitem de uma longa vida útil. Além disso, o amido termoplástico proveniente do amido de mandioca já vem sendo estudado por pesquisadores brasileiros para a produção de embalagens biodegradáveis (OLIVEIRA, 2003, CEREDA, 2003; MALI et al, 2005).

2.6 CARGA (REFORÇO)

Reforços são constituintes que, ao unirem-se à matriz, alteram determinadas propriedades do compósito. Podem ser considerados reforços desde simples cargas minerais (tais como carbonato de cálcio), até fibras de boa resistência (tais como, fibra de vidro e fibra de carbono). As cargas minerais, muitas vezes incorporadas aos polímeros com o intuito de reduzir custos, proporcionam aumentos na rigidez, dureza e na resistência; os elastômeros proporcionam aumento na resistência ao impacto de matrizes poliméricas frágeis; as fibras, pelas suas características unidirecionais, incrementam acentuadamente a maior parte das propriedades mecânicas na direção longitudinal ao reforço (NETO & PARDINI, 2006).

Os reforços podem ser classificados quanto à sua natureza – na qual podem ser extremamente duros e promover o aumento na dureza e na resistência à abrasão;

resistentes à ruptura para proporcionar elevada resistência à tração, à flexão e ao cisalhamento; rígidos para incrementar o módulo elástico; extremamente flexíveis para aumentar a resistência ao impacto e extremamente resistente termicamente para aumentar a estabilidade térmica. Ainda, podem ser classificados quanto às características geométricas em reforços particulados e fibrosos. A quantidade do reforço e a adesão entre os componentes de um compósito são de fundamental importância para que haja transferência efetiva de tensões.

Geralmente as fibras vegetais são usadas na substituição parcial ou total das fibras de vidro para a obtenção de vantagens do ponto de vista de peso, custo e adesão fibra-matriz (CAVALCANTI, 2006). O emprego de fibras vegetais para reforçar os compósitos é também considerado uma boa alternativa para substituir o uso de fibras sintéticas em algumas aplicações técnicas, oferecendo vantagens como: caráter renovável, biodegradabilidade, fácil disponibilidade e preço relativamente baixo (AMICO, 2010).

Na formação dos compósitos, quando os materiais inseridos na matriz não alteram significativamente as propriedades da matriz, geralmente são chamados de carga. Nesta pesquisa, o material utilizado, que servirá como carga para as matrizes na formação dos compósitos, são as aparas de papel provenientes do descarte da produção editorial da Gráfica da UFRGS. A seguir será contextualizada a origem, histórico, constituição, processo de produção e utilização deste material.

2.6.1 Papel

A origem do nome papel é do latim papyrus, oriunda da planta que cresce às margens do rio Nilo no Egito, da qual se extraía fibras para a fabricação de cordas e barcos, sendo suas folhas usadas para a escrita (HAYASAKA & NISHIDA, 2011). O papel que é usado hoje, foi inventado na China, 105 anos D.C. por T'Sai Lun, que fragmentou em uma tina com água, casca de amoreira, cânhamo, restos de roupas, e cal, e bateu essa massa até formar uma pasta, peneirou-a e obteve uma fina camada que foi deixada para secar ao sol. Depois de seca, a folha de papel estava pronta. A maneira como T'sai Lun desenvolveu o papel naquela época, com a desintegração das fibras vegetais por fracionamento, para a formação da folha (retirando a pasta da tina por meio de forma manual, procedendo ao deságue e posteriormente, ao

aquecimento para secagem), ainda é usada até hoje (BARROSO, 2006).

Somente por volta do séc. XVII que a fabricação mecânica começou e até meados do séc. XIX a matéria-prima fundamental eram os panos (tecidos), quando estes começaram a escassear, iniciaram a utilização da polpa de madeira (MORAES et al., 2016). No Brasil, a produção de papel foi incentivada com a vinda de Dom João VI para o Rio de Janeiro em 1809, onde o frei José da Conceição Veloso, foi o precursor da produção nacional, utilizando a embira (um arbusto) como matéria prima. Em 1850, o desenvolvimento da cultura do café traz muito progresso para Província de São Paulo que, com a chegada dos imigrantes europeus, começa um grande desenvolvimento industrial, gerando vários empreendimentos. Dentre eles, a fábrica de Papel Paulista, inaugurada em 1889 pela empresa Melchert & Cia. Essa foi oficialmente a primeira fábrica de papel do Brasil, instalada na Vila de Salto de Itu, que funciona até hoje, produzindo papéis especiais, sendo uma das poucas fábricas do mundo fabricante de papéis para a produção de dinheiro (BARROSO, 2006). Mas somente pelos anos 1920 e 1930 que as fábricas de celulose e papel começaram a prosperar no Brasil (COLACICCO, 2006). E em 1956 ocorreram investimentos governamentais significativos para o setor. Em 1968, com o investimento de uma empresa norueguesa no Rio Grande do Sul, iniciou-se a descoberta da potencialidade da estrutura brasileira na produção de papel (RECICLAGEM INDUSTRIAL DE PAPEL, 2016). O Brasil é bastante competitivo no mercado mundial, está entre os quatro maiores produtores de celulose e o 11º maior produtor mundial de papel, além de ser um dos 15 maiores mercados mundiais consumidores desses produtos (FERREIRA, 2012).

O papel é um material constituído por elementos fibrosos de origem vegetal, e é fabricado de fibras de celulose extraídas de árvores com um alto teor de celulose (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013). Praticamente qualquer árvore pode ser utilizada para produzir celulose. A partir do uso da madeira como matéria prima, o papel passou de um artigo de luxo, de qualidade e baixo volume de produção para um bem produzido em grande escala, a preços acessíveis e mantendo a qualidade (BARROSO, 2006).

A celulose é um polissacarídeo linear de alto peso molecular, formado de unidades de glicopirranose-D, ou simplesmente, de 37 glicose-D, que é o principal constituinte estruturante, que dá estabilidade e resistência às fibras (PASSOS, 2005). As árvores mais usadas no Brasil para a fabricação de papel são o pinus e o eucalipto.

Cada espécie produz fibras de celulose com características específicas, que conferem ao papel propriedades diferenciadas. As propriedades das fibras dependem do teor de celulose. Fibras com maior conteúdo de celulose exibem alta resistência à tração e rigidez (CANDIDO, 2014). Do pinus são extraídas as fibras longas e do eucalipto são extraídas as fibras curtas (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013). Toda a produção vem de florestas plantadas, de recursos renováveis. Em 2014, a produção de papéis no Brasil, totalizou 10,39 milhões de toneladas (SILVA et al, 2016). O Brasil é o maior produtor mundial de celulose de fibra curta, pois o clima brasileiro favorece o plantio de eucalipto, nos demais países produtores, a produção de celulose de fibra longa é maior, pois o clima favorece as florestas de pinus (DEPEC – BRADESCO, 2017).

O processo de fabricação de celulose se dá pela transformação da madeira em material fibroso, denominado pasta, polpa ou celulose industrial. A preparação da pasta celulósica consiste na separação das fibras dos demais componentes constituintes do organismo vegetal, em particular da lignina, que atua como um cimento, ligando as células entre si, proporcionando rigidez à madeira (BARROSO, 2006).

O processo de produção de papel consiste em três etapas principais, partindo-se da matéria-prima que pode ser a celulose (obtida por processo químico ou mecânico) ou reaproveitamento de papéis usados. A primeira etapa é a preparação da massa, que começa com a desagregação da celulose. Em um liquidificador a celulose é misturada com água e passa pelo refinamento da celulose, permitindo uma maior absorção de água. Essa fase determinará a natureza do papel, se a duração do refino for curta, o papel será macio, espesso e opaco, se a duração for maior, o papel será duro, fino, liso e menos opaco. Após a mesma vai para a depuração, nesta etapa do processo serão removidas as impurezas da massa; e finalmente, vão para a preparação da receita, propriamente dita, em que a massa celulósica é misturada com diversos componentes como cargas, produtos químicos e aditivos que irão determinar a qualidade do papel desejada. A segunda etapa é a máquina de papel, onde as fibras são distribuídas sobre a tela formadora (artefato que promove a drenagem da água e o entrelaçamento das fibras) de maneira uniforme e é definida a gramatura da folha; passando para as prensas com feltros para a retirada da água que ainda está presente na folha; logo após vai para a secagem que remove a água por calor através de cilindros secadores; seguindo para a colagem, aplicação facultativa de cola (amido) na superfície do papel, quando desejada a obtenção de certo tipo de papel cuja folha apresente maior resistência. Após

aplicação da cola o papel passa novamente pelo processo de secagem; finalmente, passa para a calandragem: cilindros aquecidos e pressurizados, pelos quais o papel passa para uniformizar sua espessura e dar um acabamento superficial. A terceira etapa consiste no acabamento, na qual o papel passa pela enroladora, que enrola o papel em bobinas, a cortadeira, que corta o papel no formato desejado e a embaladeira, que embala os fardos de papel (BARROSO, 2006).

Os papéis fabricados são basicamente para escrever e/ou para impressão, como o papel sulfite, o couchê, o reciclato, o cartão; os que passam por processos diferenciados como para a fabricação do papel-moeda; os feitos de fibras têxteis; o papel carbono (empregado para cópias diretas por pressão); o papel-filtro que é bastante poroso; o papel crepom enrugado; o papel fotográfico que tem uma das superfícies coberta de substância fotossensível e o papel vegetal transparente (BARROSO, 2006).

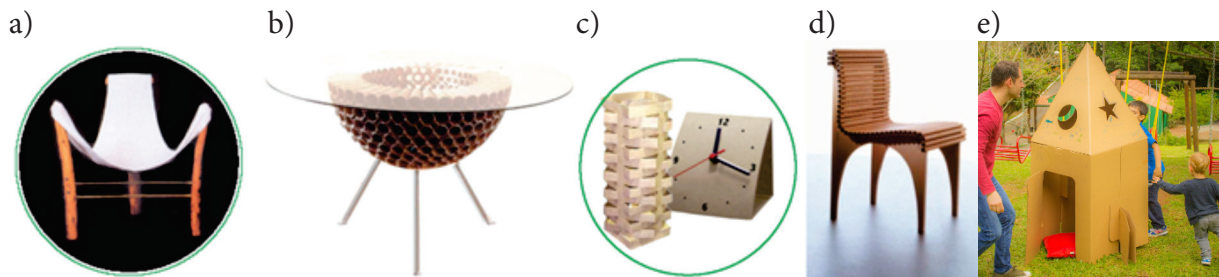
A indústria de papel produz papéis com alta confiabilidade/ uniformidade em relação a qualidade, ao comprimento da fibra, a origem e as propriedades mecânicas, asseguradas pelas restrições das normas da indústria de papel (PRAMBAUERA et al, 2015a).

As fibras com grande quantidade de celulose são econômicas e tecnicamente viáveis para serem usadas na produção de têxteis, papel e como reforços em compósitos (PASSOS, 2005). Hoje, a celulose é mais usada para a fabricação do papel, mas, segundo Barroso (2006), existem variados usos para este material que revelam possibilidades em relação à qualidade e inovação, da qual o designer pode produzir novos objetos. Alguns designers trabalham com o deslocamento da função do material, trazendo as mais diversas formas e utilidades tanto para o resíduo de papel, quanto do próprio resíduo da madeira.

Atualmente, designers estão utilizando esses materiais como matéria prima para o seu trabalho (Figura 6). É o caso do uso da madeira na poltrona Tafira de Ricardo Barroso, que utiliza galhos desprendidos naturalmente ou refugos de cortes de reflorestamentos. Também é o caso da Mesa Cone de Nido Campolongo, construída com cones de papel, que cria um novo conceito de produto ao introduzir o papel reciclado no design de móveis, diversificando o uso desse material na aplicação em decoração e design de interiores. A empresa Padreca, através de parceria com catadores de papel e empresas recicladoras, desenvolve novos produtos, com design

diferenciado e criativo, agregando maior valor aos mesmos. O arquiteto japonês Shigeru Ban, utiliza tubos de papelão como matéria prima para o desenvolvimento de produtos e aplicação na arquitetura. O papelão também é usado para a fabricação de móveis e brinquedos pela empresa Eu Amo Papelão de Porto Alegre.

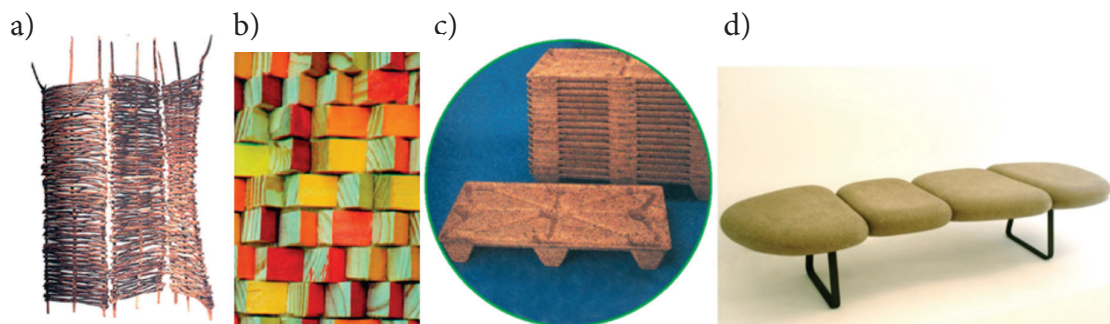
Figura 6 – Exemplos de produtos: a) cadeira Tafira; b) Mesa Cone; c) produtos da empresa Padreca; d) cadeira de Shigeru Ban; e) produtos da empresa Eu Amo Papelão



Fonte: Barroso (2006), (a,b,c,d) e Eu Amo Papelão (2019), (e)

Outros exemplos (Figura 7) são os biombos de Jason Griffith, utilizando variedades de resíduos de madeira para criar objetos através de técnicas artesanais tradicionais. Os projetos da artista plástica Heloísa Crocco, podem servir como exemplo de aplicação de refugos de madeira para confecção de novos produtos, o que antes era considerado lixo, ou fonte geradora de energia (através da queima), é transformado em objeto de alto valor agregado. As caixas (palets) desenvolvidas pela empresa alemã Werzalit AG+Co. que são fabricadas com o resíduo de madeira e resina sintética. Por fim, o designer Domingos Tótora, do interior de Minas Gerais, que desenvolve móveis a partir do resíduo de papelão (Barroso (2006); Domingos Tótora (2016). Através dos exemplos citados, verifica-se que a utilização da celulose vai desde a própria madeira, até o resíduo de papel já impresso.

Figura 7 – Outros exemplos de produtos: biombo (a); painel de Heloísa Crocco (b); palets (c); banco de Domingos Tótora (d)



Fonte: Barroso (2006) (a,b,c); Domingos Tótora (2016) (d)

2.6.2 Resíduos e Reciclagem de Papéis

Os resíduos sólidos têm sido um dos responsáveis pela degradação ambiental, devido à grande quantidade de volume produzido (MATOS & SCHALCH, 1997). Tendo em vista o desenvolvimento consciente e sustentável, minimizar estes resíduos deve tornar-se uma prioridade.

De acordo com Singh & Ordoñez (2016), resíduos são substâncias ou objetos que são eliminados ou devem ser eliminados, conforme as legislações nacionais, e podem ser sólidos, líquidos e gasosos. A reciclagem surgiu como uma maneira de recolocar no sistema uma parte da matéria (e da energia) que se tornaria lixo. Os resíduos coletados são separados e processados para serem usados como insumos na obtenção de novos bens, com o objetivo de diminuir a extração da matéria-prima virgem, preservando os recursos naturais (MORAES et al., 2015). Segundo Ribeiro & Rosis Filho (2008), a coleta é uma solução adotada por vários municípios para aumentar a vida útil dos aterros, proporcionando geração de renda, gerando empregabilidade e, ainda é uma forma de inclusão social.

Em relação aos resíduos orgânicos, os mecanismos para reduzir os impactos gerados vão desde sistemas de compostagem de resíduos sólidos orgânicos, com a finalidade de produzir fertilizantes orgânicos para aplicações na agricultura (Gestão de Resíduos Orgânicos, 2019) até a transformação do resíduo em energia através da digestão anaeróbica, que converte a matéria orgânica, depositada em aterros, em CH₄ (metano) para produção de energia (Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário, 2019).

Mancini (1999) classifica resíduo como: resíduo reutilizável é aquele que pode ser reaproveitado de forma inteira, sem a destruição do objeto em que consiste, e, geralmente, adaptado a uma nova função; resíduo reciclável, pode servir como matéria-prima para confecção de novos produtos, através dos processos de reciclagem (resíduo reciclável seco) e compostagem (resíduo reciclável úmido); resíduo inservível, é aquele que num determinado contexto (local e época) não pode ser reutilizável e nem reciclado.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, através do Plano de Ação para a Produção e Consumo Sustentáveis, o aumento do consumo significa o aumento da geração de resíduos e da necessidade de aumentar a capacidade de tratá-

los. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), dispõe sobre a gestão, incluindo disposição e destinação final ambientalmente adequada de resíduos sólidos de diversas origens, define princípios e objetivos relacionados a não geração, reutilização, redução, reciclagem e tratamento dos mesmos, especifica conceitos pertinentes, tais como logística reversa e responsabilidade compartilhada, institui instrumentos de planejamento, atribui responsabilidades e obrigações ao gerador de resíduo.

No caso da reciclagem de resíduos sólidos como papel, polímeros, vidro e metais, os mesmos, retornam ao setor produtivo como matéria-prima, substituindo total ou parcialmente o material virgem. As indústrias de papel e celulose contribuem significativamente para a produção de resíduos. Nos últimos anos, a reciclagem de papel em escala industrial tornou-se uma atividade estabelecida, não apenas por ser uma prática economicamente interessante, mas também por diminuir o consumo de recursos naturais e impedir seu acúmulo em aterros sanitários (JAREK, 2014).

Os impactos ambientais devem ser avaliados na indústria gráfica. As empresas devem buscar melhorias no seu desempenho ambiental e reduzir os potenciais impactos de suas atividades. Problemas como controle de qualidade, produção, tratamentos de efluentes e resíduos devem ser analisados e haver maior predisposição para implantação de ações para reduzi-los e/ou eliminá-los.

Considera-se como resíduo para reciclagem do papel, materiais do pré consumo - que são desperdiçados na produção do papel na indústria; e pós consumo que corresponde aos papéis descartados pelos usuários finais, após a utilização, que é caracterizado pelo termo aparas, que surgiu para designar as rebarbas do processamento do papel em fábricas e em gráficas e passou a ter uma abrangência maior, designando, todos os papéis coletados para serem reciclados (MORAES et al., 2015).

Segundo Ribeiro & Rosis Filho (2008) na indústria gráfica, os resíduos de papéis enquadram-se como reutilizável e reciclável, por ser um resíduo seco e pode ser transformado em novos produtos. O principal produto que se recicla é o papel maculado e branco. O papel é um material orgânico que pode ser biodegradável, mas em aterro com pouca umidade o processo de degradação se torna lento, chegando a demorar de 03 meses a 100 anos, porque não há contato suficiente com o ar e a água. A maior destinação do resíduo do papel é para a produção do papel reciclado, mas

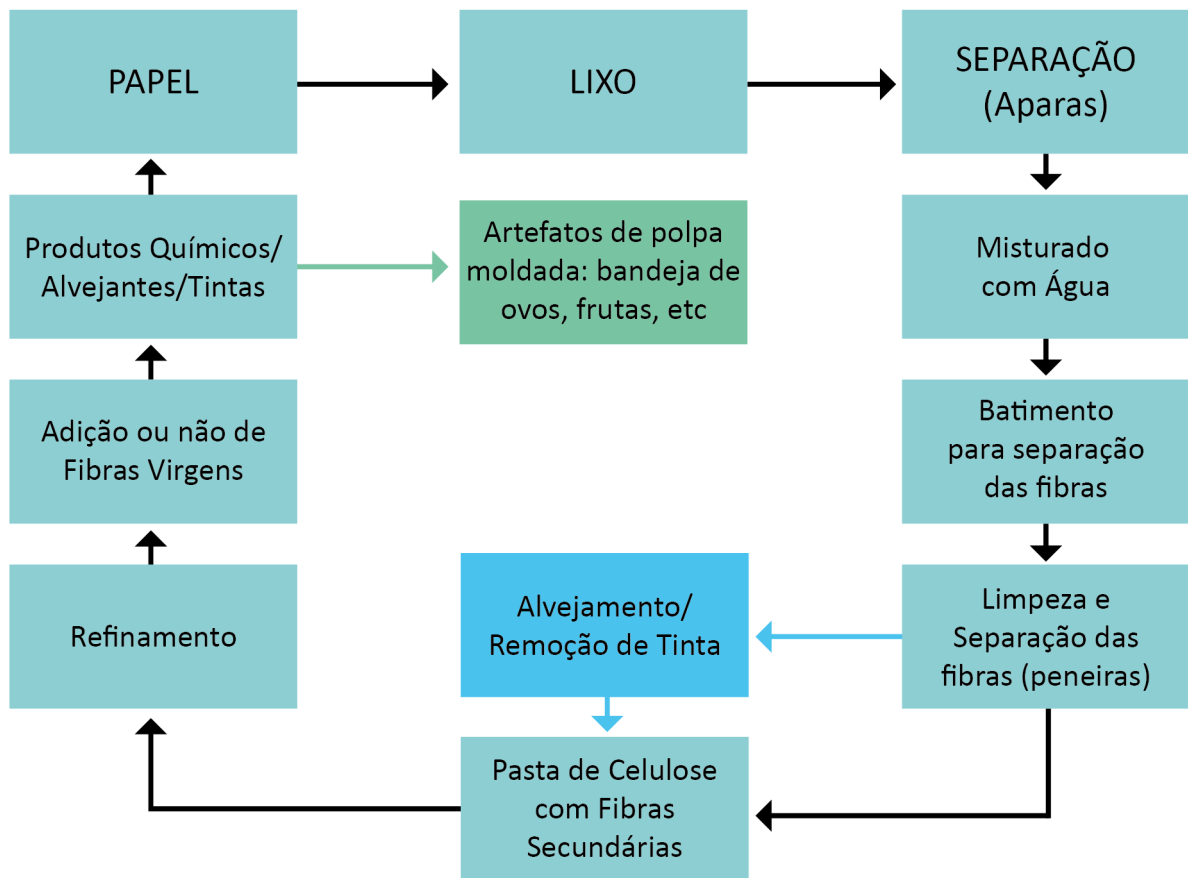
para este processo é necessária a utilização de vários produtos químicos para retirar as impurezas do papel, como a tinta e a cola.

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), a reciclagem é uma excelente oportunidade para alavancar novos empreendimentos, traduzindo-se em geração de emprego e renda para diversos níveis da pirâmide social. Desta forma, incentivos para a reciclagem abrangem não só aspectos econômicos como, também, de sustentabilidade. O setor de papéis vem apresentando um aumento significativo no uso de reciclados, no ano de 2000, o uso de recicláveis representou 45% da produção mundial de papel. No Brasil, apenas 37% do papel produzido é reciclado, de todo o papel reciclado, 80% é destinado à confecção de embalagens, 18% para papéis sanitários e apenas 2% para a impressão (RECICLAGEM, 2016).

Reciclar e reutilizar o papel, ao invés de fabricá-lo a partir da celulose, pode levar a uma redução de consumo de energia, emissão de poluentes e do uso da água, além de redução da percentagem de papel descartado como resíduo sólido (RECICLAGEM, 2016). Mas, para a reutilização do papel pela indústria papelreira, segundo Ribeiro & Rosis Filho (2008), dependendo do tipo de papel, apenas a massa reciclada é insuficiente para garantir a resistência e durabilidade do novo papel, por isso a indústria opta por incluir fibra virgem no processo.

No processo industrial de reciclagem de papel (Figura 8) é produzida a pasta de celulose que se obtém com as aparas, misturadas com água e desintegrada em pulpers (liquidificadores). Os contaminantes (como o plástico e o metal) presentes no papel são separados através de telas limpadores e as tintas são retiradas através da combinação de água, calor e energia mecânica. Este processo também gera poluição, pois suas etapas requerem o consumo de energia, água, insumos químicos e efluentes.

Figura 8 – Fluxograma do processo de reciclagem industrial de papel



Fonte: Modificado de reciclagem Industrial de Papel (2016)

O uso do resíduo como insumo na indústria do papel é a forma mais usada para a reutilização das aparas de papel. A reciclagem apresenta muitas vantagens, entre elas menores quantidades de matéria-prima virgem no setor industrial; redução do consumo de água e energia, evitando as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) para a atmosfera; a criação de novos postos de trabalho; aumento da vida útil dos aterros; redução das despesas públicas para o tratamento de resíduos nas áreas de deposição e, principalmente a inclusão social dos cidadãos menos qualificados no mercado de trabalho (LINO&ISMAIL, 2011).

Atualmente, já se observa que além desta destinação, é possível encontrar na literatura pesquisas que buscam outras formas de reutilização deste material, visando à produção de novos materiais alternativos para que possam ser inseridos como ferramentas inovadoras no desenvolvimento industrial (CEMPRE, 2007).

2.6.3 O Uso do Resíduo de Papel como Carga

Nesta pesquisa, o resíduo de papel é o constituinte majoritário para o desenvolvimento de compósitos utilizando matrizes de diferentes naturezas. O uso deste material, como componente de reforço em compósitos, já vem sendo estudado em pesquisas científicas.

Em 2005, na tese de Passos (2005) já havia o destaque de alguns autores que demonstraram interesse. O autor salienta que em 1982, Harper estudou placas reforçadas com fibras de vários materiais como, cerâmica, fibras de carbono, plásticos, celulose e metal. Wistara et al, 1999, estudaram as propriedades e os tratamentos de fibras de papel após processos de reciclagem. Na literatura ainda, há relatos sobre o uso de papel reciclado como elemento base para a formação de chapas de fibras: Chih e Szu, 2003, obtiveram um compósito de papel reciclado reforçado com resina de fenol-formaldeído com 11% de resina. Grigoriou, 2003, desenvolveu chapas com partículas de madeira e flocos de papel reciclado.

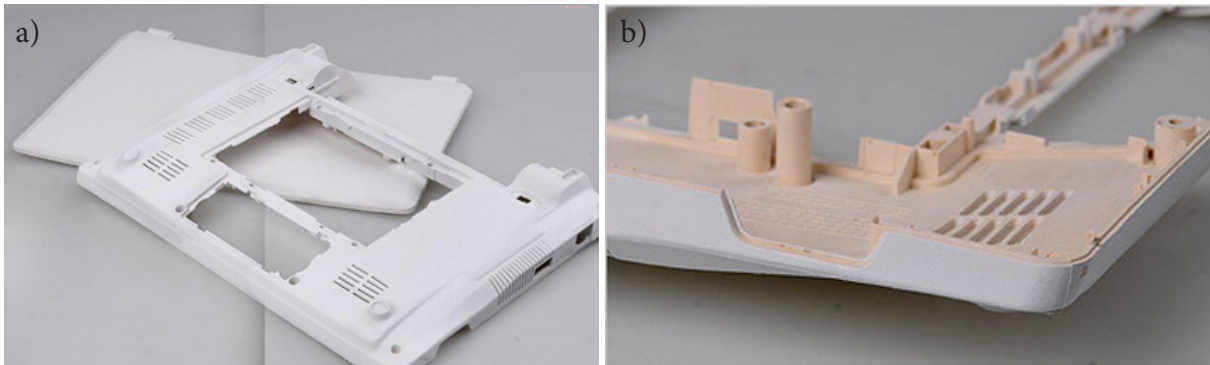
Em estudos mais recentes, pode-se identificar o uso resíduo de papel, nos trabalhos de Žmak et al. (2015) e Prambauera et al. (2015). Nos estudos de Žmak et al. (2015) foram analisadas as propriedades térmicas de compósitos de acetato de polivinila/resíduos de papel (jornal, papel offset e papel cartão). Neste estudo ele observou que a condutividade térmica reduz com o aumento percentual de papel, independentemente do tipo de papel.

Prambauera et al. (2015) usaram o polipropileno e o papel como reforço (jornal, offset, filtro) para o desenvolvimento de compósitos laminados. Neste foram analisadas as propriedades de impacto, tração e flexão. Houve evidencia que o papel offset e o jornal obtiveram melhores propriedades com o aumento da quantidade em volume da carga para 30 e 40%. As propriedades de impacto não foram muito satisfatórias comparadas com tração e flexão. De um modo geral os autores afirmam que o compósito PP/papel pode ter diversas aplicações, devido às boas propriedades mecânicas (tração e flexão), sustentabilidade, disponibilidade e benefícios econômicos do papel.

Como exemplo de produtos desenvolvidos por empresas pode-se citar a Pega DeE, "PEGA Design and Engineering", que criaram produtos eletrônicos menos agressivos ao meio ambiente e foram premiados em 2010 pelo desenvolvimento de um novo material com papel reciclado para ser utilizado na produção de laptops.

Chamado de “Paper PP Alloy” (Figura 9), a nova criação utiliza uma combinação de papel reciclável e polipropileno. O produto foi desenvolvido para ser resistente, forte, sustentável e uma alternativa ao plástico comum (EcoD, 2012). Segundo a empresa, o novo material pode ser facilmente moldado a partir da utilização de métodos de moldagem por injeção e também pode ser adaptado sem alterar os processos de fabricação dos produtos eletrônicos.

Figura 9 – Paper PP Alloy, produto feito com papel reciclável e polipropileno como componentes do Computador a) Sem adição de cores, b) com adição de cores



Fonte: EcoDesenvolvimento.org (2012)

2.6.4 Resíduos de Gráficas

O Brasil possui uma grande disponibilidade deste resíduo para disponibilizar como reforço na fabricação de outros materiais, segundo Reciclagem, 2016, de todo o resíduo de papel gerado nas indústrias gráficas nacionais, 63% desse material não é reaproveitado, podendo, ser reutilizados para a fabricação de novos papéis, ou como reforço de materiais compósitos. Diversos tipos de sobras de papel são disponibilizados após a elaboração de materiais gráficos, como livros, folders, calendários, cadernos, cartazes, entre outros. Estas sobras estão disponíveis dos mais diversos formatos e tamanhos, como rebarbas do corte inicial, refile dos livros, resíduos de perfurações de garras e espirais para elaboração de blocos e calendários, fresa nas lombadas de livros para cola da capa, malas da impressão (gerando resíduo com tinta), entre outros.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS

A caracterização dos compósitos é verificada pelos ensaios onde é possível analisar seu desempenho em relação às propriedades mecânicas e físicas. Estes

ensaios podem evidenciar a eficácia e as possíveis aplicabilidades do material em determinados produtos (SANTOS, 2007).

As propriedades mecânicas dos compósitos são verificadas por resistência à tração, flexão, impacto e dureza. O ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em uma amostra específica (conforme a norma padronizada) até a sua ruptura. Os principais parâmetros mecânicos medidos pelo ensaio de tração são a resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade (Oliveira, 2015). No ensaio de flexão podem ser observadas as propriedades de resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão. Já no ensaio de impacto é possível analisar a tenacidade do material, que confere a energia necessária para rompê-lo. No ensaio de dureza verifica-se a resistência à penetração ou ao risco dos materiais.

Para análise das propriedades físicas podem ser realizados ensaios como absorção de água, molhabilidade (por meio do ângulo de contato), propriedades térmicas (condutividade térmica e difusividade térmica). Pode-se utilizar ainda como método de análise a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

A absorção de água é um ensaio fundamental para a caracterização dos materiais, pois a absorção de umidade pela atmosfera ou quando imersos em água podem afetar suas propriedades comprometendo sua eficiência, levando à perda das propriedades físicas e mecânicas, e da estabilidade dimensional. O ensaio térmico é um método transitório que determina a condutividade térmica do material e determina as características isolantes ou condutoras do mesmo. Para a análise da condutividade térmica pode-se afirmar que materiais com altos valores para esta propriedade são denominados condutores, enquanto materiais com baixa condutividade térmica são denominados isolantes (SEBIO, 2003). A condutividade térmica é a propriedade física dos materiais que é descrita como a habilidade dos mesmos em conduzir calor (CALLISTER, 2006). A condução de calor pelo material depende da sua estrutura molecular e é influenciada por grupos químicos polares e apolares, o grau de cristalinidade, orientação molecular e outras propriedades físicas dos polímeros (SOMBATSOMPOP, 1997).

A condutividade térmica de polímeros é bem baixa, quando comparada com a condutividade de materiais metálicos, e de alguns materiais cerâmicos. Do ponto de vista de processamento, a baixa condutividade térmica cria alguns problemas reais: ela limita a taxa com a qual o polímero pode ser aquecido e plastificado. No resfriamento, a baixa condutividade pode provocar não uniformidade e encolhimento. Isto pode

resultar em tensões residuais e vazios no moldado. Já a análise da difusividade térmica, que mede a rapidez com que o calor se propaga através de um material, pode ser usada onde os materiais são expostos em altas temperaturas por um pequeno intervalo de tempo (CANEVAROLO Jr, 2004).

2.8 DEGRADAÇÃO DE COMPÓSITOS

A análise da degradação do material pela ação do intemperismo, indica características relevantes, porque esta análise possibilita medir a reação do material sob efeito de intempéries como umidade, temperatura, radiação ultravioleta e atividades de microorganismos, que podem provocar a degradação nos materiais, gerando alterações irreversíveis.

A degradação dos materiais pode dar indicativos para a aplicação, ou não, dos materiais em ambientes externos, esta análise promove aos designs conhecimento e alternativas para o uso destes materiais. A análise dos resultados obtidos pela caracterização dos aspectos tangíveis e intangíveis após o material passar pelo ensaio de degradação, podem servir de parâmetros para guiar o designer na escolha de materiais.

As alterações que podem ocorrer no material, resultantes do processo de degradação, são o amarelamento da superfície, a perda de brilho com mudança de cor, a perda de translucidez, o fissuramento, o afloramento de fibras e a perda das propriedades mecânicas dos compósitos.(BORRELLY, 2002)

A análise da degradação dos materiais pode ser observada pelo intemperismo natural, onde as amostras podem estar expostas em estações de exposição ambiental, ou pelo método artificial, onde são analisadas em laboratórios (DEL CARPIO, 2009).

A degradação dos materiais, segundo De Paoli (2008), pode ocorrer com base no processo de iniciação das reações químicas e pode ser classificada como térmica, mecânica, fotodegradação, radiação de alta energia, química, stree-cracking, química e hidrolítica.

2.9 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS

Para o desenvolvimento de novos materiais, considera-se que o conhecimento de seu comportamento e de suas propriedades sejam fundamentais para caracteriza-

los. Já para utiliza-los no desenvolvimento de produtos, o bom desempenho dos materiais quando submetidos aos processos de fabricação de produtos, será fator primordial para a escolha destes materiais no momento de sua utilização.

No processo de fabricação de artefatos ocorre a transformação de materiais em produtos com o uso de ferramentas. A fabricação de um produto envolve atividades diversificadas com diferentes níveis de complexidade, com processos intermediários necessários para a produção e integração dos componentes do produto, como processos de corte, união e acabamento (KARANA et al., 2008).

O conhecimento do comportamento do material em relação ao corte, furação e acabamento no momento de sua aplicação, é imprescindível para que designers e profissionais da área possam indicá-los como alternativas de produtos. Para a utilização de compósitos, Guimarães et al. (2009) comentam que, com o crescente uso destes materiais nos mais variados tipos de estruturas, faz-se necessário o conhecimento das possibilidades de processamento, após a moldagem, para viabilizar uma melhor aplicabilidade.

Segundo Durão et al. (2013), a ineficácia de um material frente a essas técnicas de fabricação pode causar rejeição da peça ou diminuição da sua vida útil. Lopresto et al. (2016) também salientam que técnicas de fabricação, tais como torneamento, furação e fresamento são cada vez mais necessários para a fabricação dos compósitos e podem ser aplicados com sucesso, se usadas as ferramentas corretas e se forem alcançadas as condições de usinagem adequadas.

No design, o desenvolvimento de produto está relacionado diretamente com os processos de fabricação, já que é através deles que um projeto de design pode ser concretizado (CALEGARI, 2018). Nos processos de fabricação de produtos, principalmente para a fabricação de móveis, são utilizados equipamentos que vão desde o serrote, serra de fita, esquadrejadeira e furadeiras, aos processos de acabamento, como lixas, vernizes, etc.

Dando prosseguimento à pesquisa, após o embasamento teórico, que procurou evidenciar os aspectos considerados mais relevantes para um bom entendimento desta tese, segue-se o capítulo de materiais e da metodologia utilizados no desenvolvidos neste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

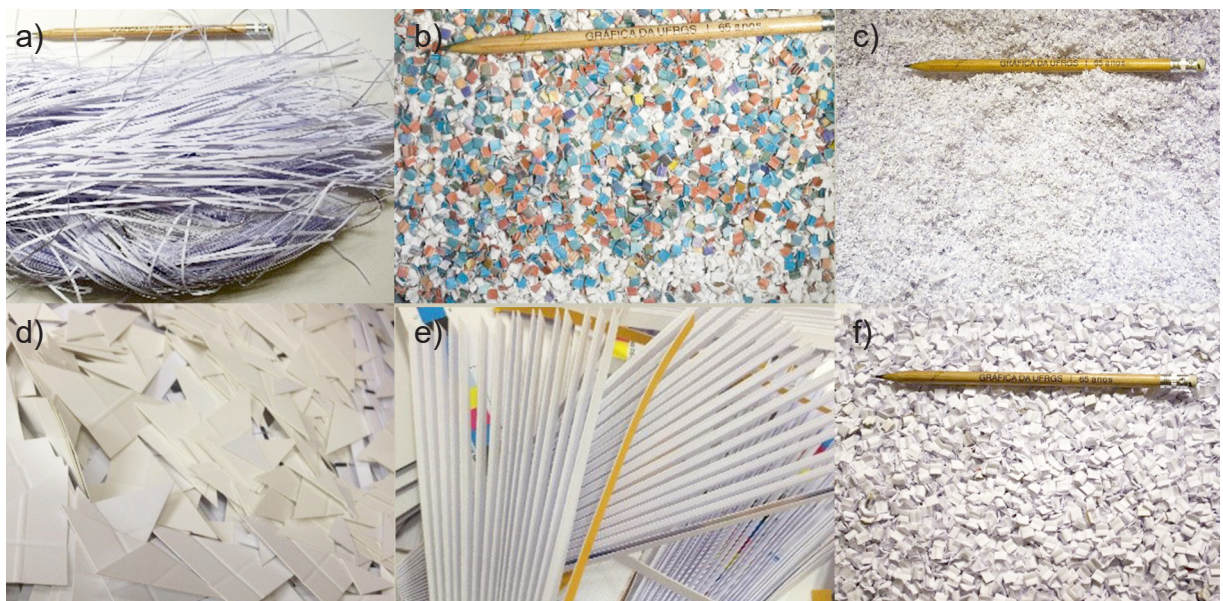
Neste capítulo serão descritos os materiais e os procedimentos analíticos. Primeiramente, serão apresentados os resíduos de papéis que foram utilizados como carga na composição dos compósitos e logo após as matrizes. Seguindo-se das composições resultantes da união carga+matriz e suas respectivas caracterizações.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Carga

As aparas de papéis, utilizadas como carga para os compósitos desenvolvidos, são provenientes dos processos de impressão da Gráfica da UFRGS. Buscou-se aparas de papel com pigmentos e sem pigmento, com formato quadrado e redondo, usadas in natura, triturados e sem passar por processos de trituração, com resíduos e que não tivessem outros resíduos misturados, como plásticos, tintas, por exemplo, e com tamanhos e formas diferentes (Figura 10).

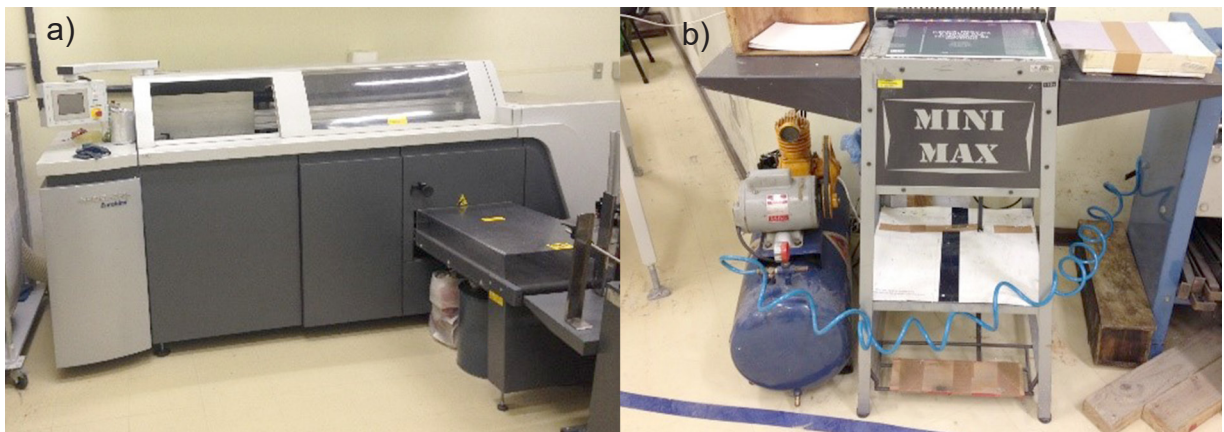
Figura 10 – Diferentes tamanhos e formatos de sobras de papéis dos materiais produzidos no processo gráfico a) refile residual da resma do papel cortado pela guilhotina, b) resíduos oriundos da furadeira, de livros com papéis mistos, c) resíduos oriundos da coladora de livros, papel branco, d) resíduo de impressos, papel misto e) resíduo de livro f) resíduo de livros com papéis brancos da furadeira



Fonte: Autora

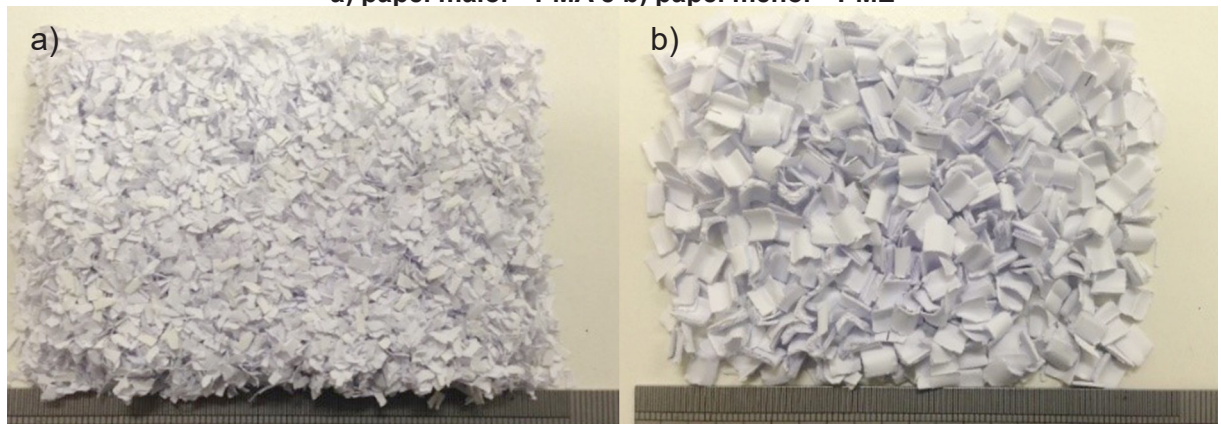
Para tanto, verificou-se todos os tipos de resíduos de papel descartados na Gráfica da UFRGS e, para esta pesquisa, foram escolhidos dois deles. Os materiais escolhidos para fazer parte desta pesquisa são provenientes da máquina de colar lombada de livros e da máquina de perfurar papéis (Figura 11), que foram denominados como papel maior (PMA) da máquina de colar lombadas de livros e papel menor (PME) da máquina de perfurar papel (Figura 12).

Figura 11 – Equipamentos que geram resíduos: a) Máquina de colar lombada de livros, b) máquina de perfurar papel da Gráfica da UFRGS



Fonte: Autora

Figura 12 – Resíduos provenientes de cada equipamento: a) papel maior - PMA e b) papel menor - PME



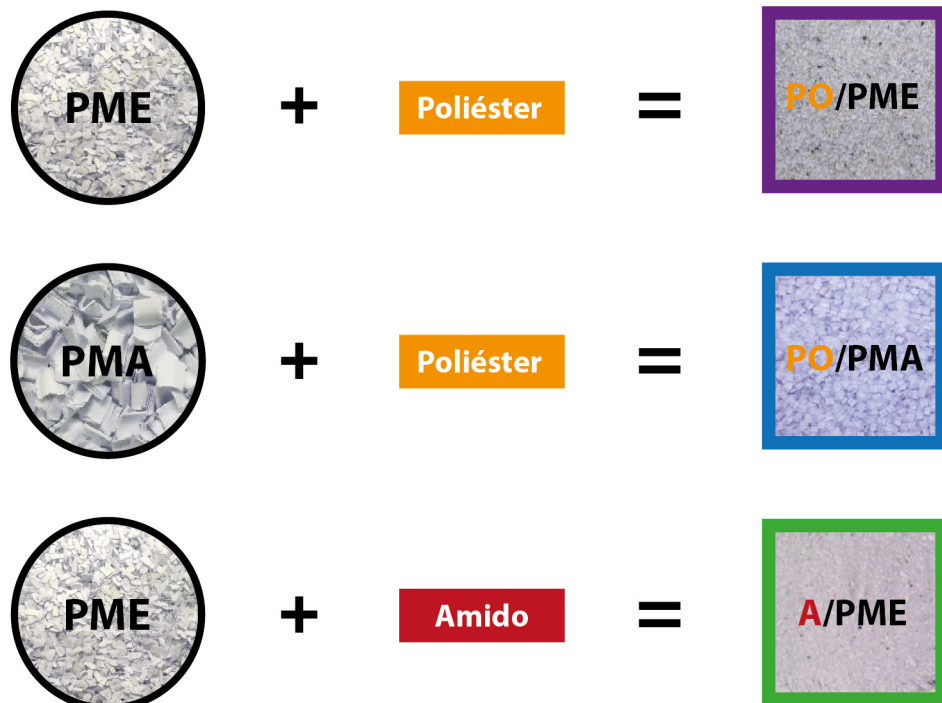
Fonte: Autora

A matéria prima destas aparas é o papel offset da International Paper, cuja gramatura é de 75 g/m² e o teor de umidade é de 6%, o papel menor (PME) tem dimensões de 2 mm e o papel maior (PMA), com dimensões de 5 mm.

3.1.2 Matrizes

Para o desenvolvimento do compósito Poliéster/Papéis, utilizou-se a resina Poliéster Insaturada Ortoftálica (PO) da marca Raicholp e iniciador Butanox M-50 (1,3% v/v), adquiridos na empresa Comfibras na cidade de Porto Alegre. Para o desenvolvimento do compósito Amido/Papel foram utilizados a água e o amido de mandioca (polvilho doce) para obtenção do amido termoplástico. Os compósitos desenvolvidos e a nomenclatura utilizada podem ser visualizados na figura 13.

Figura 13 - Composições efetuadas com as cargas e as matrizes escolhidas



Fonte: Autora

3.2 MÉTODOS

Os procedimentos desenvolvidos nesta tese a caracterizam como estudo de caso, pesquisa aplicada experimental e interdisciplinar, por apresentar resultados práticos, descrever os experimentos e envolver diferentes áreas do conhecimento como engenharia dos materiais e design. Na sequência será apresentada a metodologia adotada para o desenvolvimento dos compósitos Poliéster/Papéis e a metodologia adotada para o desenvolvimento do compósito Amido/Papel, com a apresentação dos equipamentos utilizados para os procedimentos.

3.2.1 Preparação dos compósitos Poliéster/Papéis

Foram confeccionadas placas com as aparas de papéis utilizando como matriz a resina Poliéster (PO), criando-se os compósitos Poliéster/Papel Menor (PO/PME) e Poliéster/Papel Maior (PO/PMA), ver Tabela 3, e outra placa somente com o poliéster (PO) a fim de comparação nos ensaios. A fim de obter-se uma mistura homogênea, foram feitas várias combinações da carga e matriz, chegando-se a proporção 20X80

Após chegar a proporção definitiva, iniciou-se o procedimento da elaboração das placas para a realização dos ensaios. As aparas de papéis foram levadas à estufa com circulação de ar (marca Deleo – A5 AFD) por 2 h a 60 °C para secagem. A cera de carnaúba (marca Tec Glaze-N adquirida na empresa Comfibras) foi passada no molde metálico (dimensões: 17×27 cm) para servir de desmoldante. Os materiais (Tabela 3) foram pesados, a resina Poliéster foi misturada ao resíduo de papel e, após estarem completamente envolvidos pela resina, foram adicionadas as gotas de iniciador, conforme recomendação do fabricante.

Tabela 3 – Composição e nomenclatura dos materiais estudados

Material	Identificação	Volume da matriz (%)	Volume carga (%)
Poliéster	PO	100	0
Poliéster/ Papel Menor	PO/PME	20	80
Poliéster/ Papel Maior	PO/PMA	20	80

Fonte: Autora

Na sequência, o material foi colocado na cavidade inferior do molde (Figura 14a), e conduzido à prensa hidráulica (marca Marconi modelo MA 098/A) para moldagem por compressão a quente, a 3 bar por 75 min (80°C), e cura do compósito. Após, o compósito foi extraído do molde com o uso do dispositivo. Essa sequência pode ser visualizada na Figura 14. E por fim, o compósito foi conduzido à estufa por 4 h a 60 °C para realizar a pós-cura.

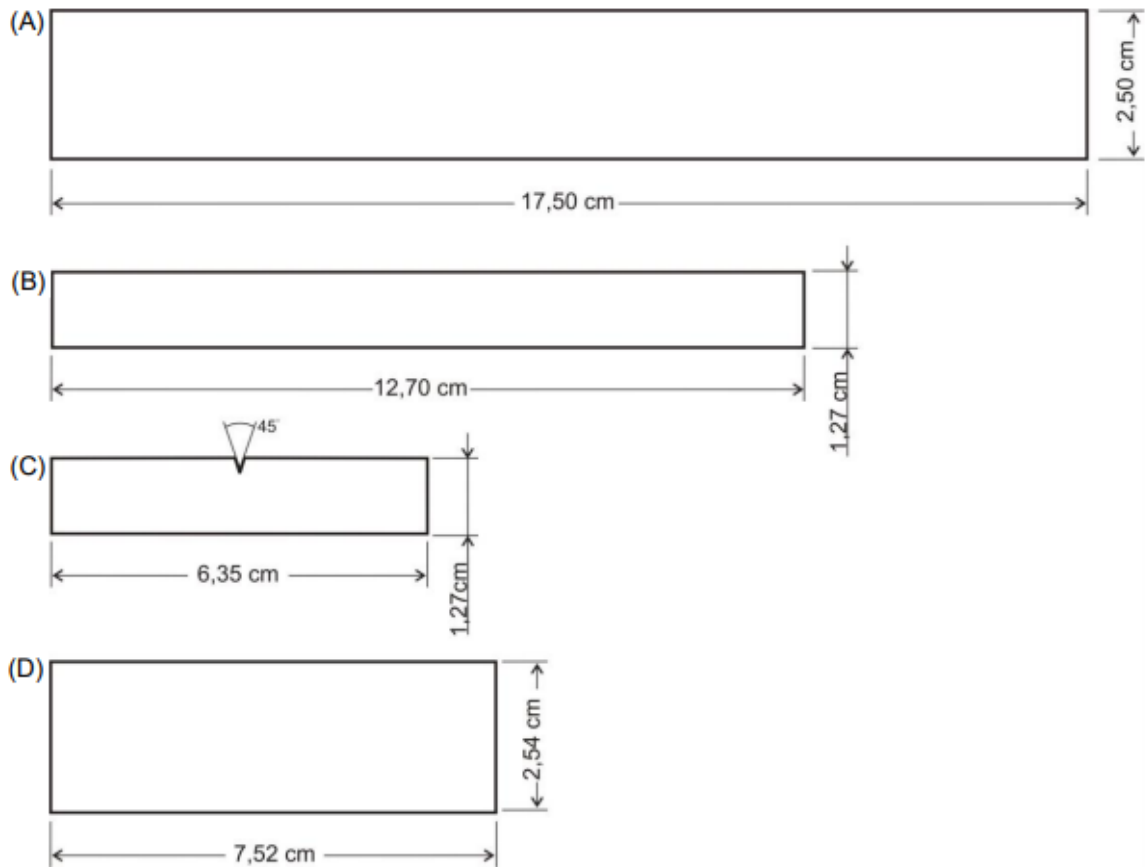
Figura 14 - Procedimentos: a) equipamento para secagem dos papéis, b) resíduo de papel menor, c) resina Poliéster, d) iniciador, e) material após a mistura colocado no molde, f) extração do compósito após a cura na prensa hidráulica



Fonte: Autora

Após a confecção das placas moldadas, foi utilizado o equipamento de corte a laser (marca Automotisa, modelo Mira 3007) para obter os corpos-de-prova para os ensaios (tração, flexão, absorção de água e impacto). Os desenhos das amostras para o corte a laser, conforme figura 15, foram produzidos conforme as dimensões e formatos estabelecidos nas normas dos ensaios.

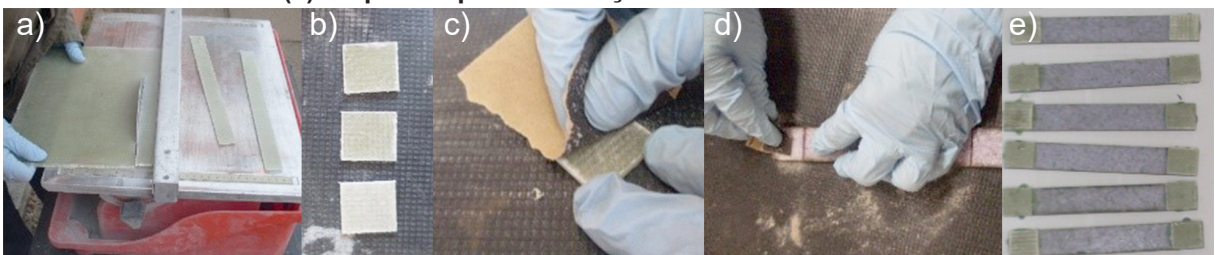
Figura 15 – Dimensões dos corpos de prova:
a) Tração, b) Flexão, c) Impacto e d) Absorção de água



Fonte: Autora

Para o ensaio de tração foram colados tabs no formato quadrado nas extremidades das amostras, para evitar o rompimento da amostra na região de contato da garra do equipamento. Para este procedimento, primeiramente, foram cortadas placas de compósitos de fibra de vidro (2,50 cm × 2,50 cm), lixadas para melhor adesão aos corpos de prova e após coladas nas extremidades das amostras, conforme figura 16.

Figura 16 – Preparação dos corpos de prova para o ensaio de tração:
(a) corte da placa de poliéster/fibra de vidro para a confecção dos tabs, (b) tabs cortados, (c) lixamento dos tabs, (d) lixamento das amostras na região de colagem do tab e (e) corpos de prova de tração com os tabs colados.



Fonte: Autora

3.2.1.1 Análise das Características Tangíveis - ensaios realizados com os compósitos Poliéster/Papéis

Para a análise dos aspectos tangíveis dos materiais, a caracterização dos atributos mecânicos foi realizada através dos ensaios de resistência à tração, módulo de elasticidade, resistência à flexão, dureza e resistência ao impacto dos compósitos desenvolvidos. Foram utilizadas pelo menos cinco amostras de cada família de compósito para cada ensaio. Os ensaios mecânicos e físicos (exceto condutividade térmica) foram realizados no Laboratório de Materiais Poliméricos (Lapol) junto ao Grupo de Materiais Compósitos e Nanocompósitos Poliméricos (GCOMP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

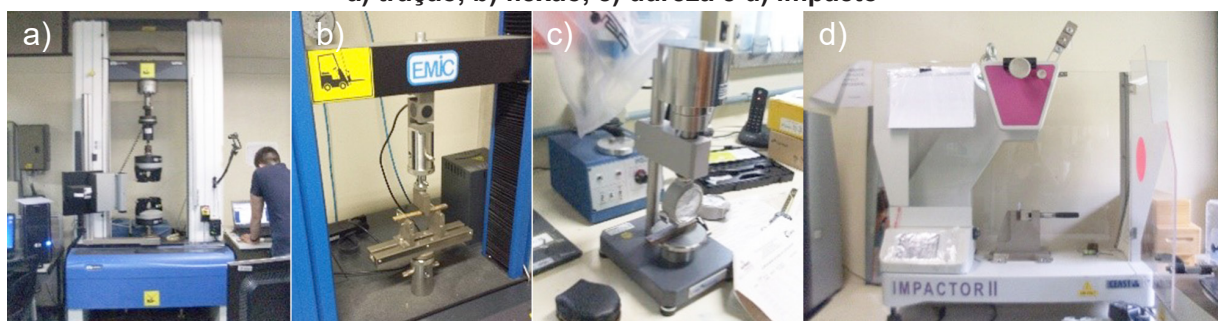
O ensaio de tração foi realizado de acordo com a norma ASTM D3039 na máquina universal de ensaios Instron 3382 (célula de carga de 100 kN) com uma velocidade de 2 mm/min. O módulo de elasticidade foi obtido com um vídeo-extensômetro.

O ensaio de flexão foi realizado de acordo com a norma ASTM D790 na máquina universal de ensaios EMIC 23-5D com célula de carga de 5 kN.

O ensaio de Dureza Shore D foi realizado de acordo com a norma ASTM D2240 em equipamento da marca Bareiss. Os resultados médios reportados foram determinados a partir de 20 leituras feitas com espaçamento entre si e das bordas da amostra de, no mínimo, 3 mm.

O ensaio de Impacto IZOD foi realizado de acordo com a norma ASTM D256 usando um equipamento da marca CEAST modelo Impactor II. A entalhadora utilizada para produzir os entalhes foi da marca CEAST modelo NOTCHVIS. Foi utilizado o martelo de 2,75 J. Os equipamentos utilizados nos ensaios são apresentados na figura 17, a seguir.

**Figura 17 – Equipamentos utilizados para os ensaios mecânicos:
a) tração, b) flexão, c) dureza e d) impacto**



Fonte: Autora

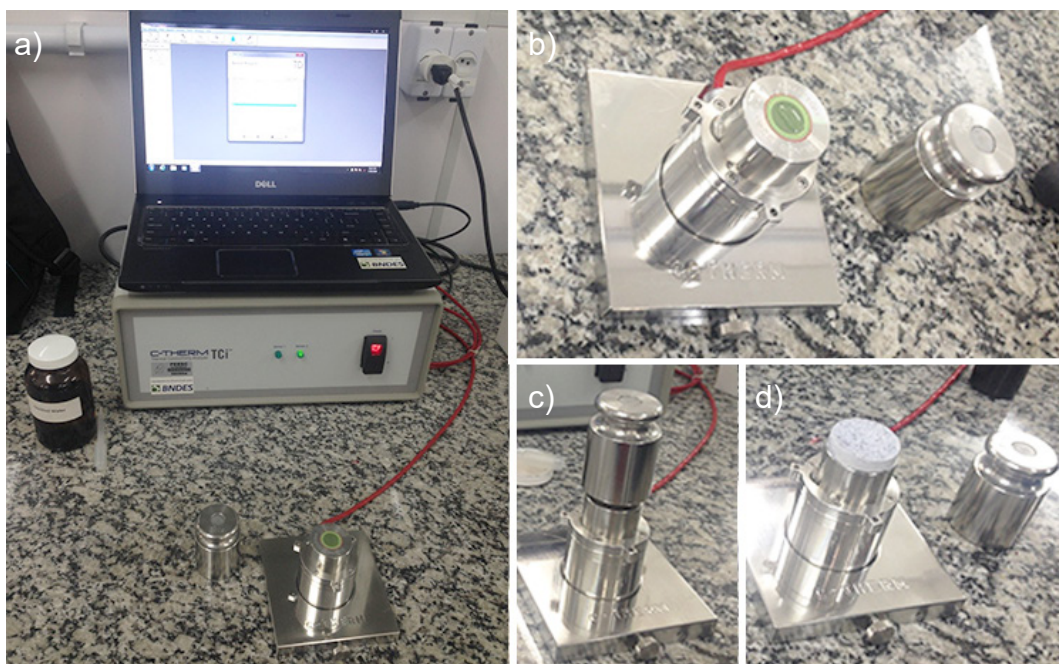
Para a avaliação dos atributos físicos foram realizados ensaios de absorção de água e condutividade térmica, e a determinação da densidade dos compósitos. No ensaio de absorção de água cinco amostras de cada família foram secas em uma estufa com circulação de ar e pesadas, seguindo a norma ASTM D570, numa balança digital (Analytical balance AY-220). Posteriormente as amostras foram imersas em água destilada à temperatura ambiente ($\approx 23^{\circ}\text{C}$) até atingirem a saturação. Nos tempos pré-determinados (7, 21, 35, 49, 63, 77 e 91 dias), as amostras foram retiradas da água e o excesso de água foi removido com papel toalha para serem pesadas. A absorção de água (A%) foi calculada de acordo com a Equação 1

$$A\% = \frac{100 \times (M_2 - M_1)}{M_1} \quad (1)$$

Onde M_1 é o peso inicial da amostra e M_2 é o peso após absorção de água.

O ensaio de condutividade térmica (Figura 18) foi realizado no equipamento Thermal Conductivity Analyser marca C-TERM, modelo TCI TM, conforme a norma ASTM D5930, no Laboratório de Materiais da Engenharia de Materiais (LABMAT) da UFSC. Este ensaio é um método transitório para determinar a condutividade térmica do material, consiste em posicionar uma fonte de calor localizada no centro da amostra em uma temperatura inicial constante.

Figura 18 – Ensaio de condutividade térmica. a) Preparação para o ensaio, b) Detalhe da fonte de calor, c) Amostra posicionada sobre a fonte de calor, d) material sob análise



Fonte: Autora

Condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais que é descrita como a habilidade dos mesmos em conduzir calor (CALLISTER, 2008). Para a condutividade unidimensional de calor a equação é dada como (Equação 2):

$$K = \frac{Qx}{A(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

Onde K é a condutividade térmica (W/mK), Q é o fluxo de calor (W), x é a seção transversal da amostra (m²), A é a diferença de temperatura (K), x é a espessura da amostra (m).

Durante a realização da medição, esta temperatura inicial resulta em uma onda de calor que se propaga na amostra. A taxa de propagação de calor está relacionada com a difusividade térmica do material, a partir daí é possível relacionar-se com a condutividade térmica do material. Para este ensaio foram utilizadas cinco amostras (30 mm de diâmetro) e foram realizadas duas medições em cada face da amostra. Foi utilizado como agente de acoplamento entre a amostra e o dispositivo de leitura o gel Wakefield Type 120 – Silicone.

A densidade aparente do material foi determinada a partir do uso de um paquímetro da marca Mitutoyo modelo Digimatic Caliper 500-172-20 com resolução de 0,01 mm para medir as dimensões, e uma balança de precisão da marca Marte modelo AY 220 com resolução de $\pm 0,2$ mg para medir a massa das amostras. A equação que determinou a densidade foi a Equação 3:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde ρ é a densidade aparente (g/cm³), m é a massa da amostra (g), V é o volume da amostra (geometria cilíndrica) (cm³).

Após a realização dos ensaios mecânicos, os resultados foram analisados estatisticamente com a Anova fator único no software Excell. A ferramenta Anova é usada para comparar e testar estatisticamente diferentes grupos, verificando, ainda, a semelhança entre os pares. Neste trabalho foi considerado um nível de confiança de 95%, sendo assim, se o valor de “p” for menor que 0,05 as famílias são diferentes (TARRÍO-SAAVEDRA et al., 2011). A Anova está representada nos gráficos e nas

tabelas de resultados por letras. Letras iguais significam que dentro deste teste não há diferença significativa entre as famílias de amostras e letras distintas indicam diferenças significativas.

3.2.1.2 Análise das Características Intangíveis - aspectos subjetivos dos compósitos Poliéster/papéis

Na caracterização do material sob o aspecto das características intangíveis analisa-se os aspectos subjetivos do material. As características são observadas durante todas as etapas do processamento, desde a preparação das placas até a sua caracterização, a partir da percepção dos autores a nível laboratorial, sob as características dos atributos estéticos e práticos (Dias, 2009). Tendo como principais referências o modelo Permatius - Percepção dos materiais pelo usuário - o estudo proposto por Dias (2009) e Ashby (2014), entre outras referências da literatura.

Para a determinação dos atributos estéticos, os compósitos serão analisados em relação a forma, cor, brilho, tátil, textura, temperatura e cheiro, sob a determinação dos atributos práticos foram identificados aspectos como identidade, usabilidade e sustentabilidade.

3.2.1.3 Processos de fabricação dos compósitos Poliéster/Papéis

A metodologia adotada para a análise dos experimentos das técnicas de fabricação baseou-se na investigação de aspectos tácteis e visuais, conforme a literatura. Os ensaios realizados foram: cortes de serrote, serra fita, fresadora convencional, perfuração com furadeira e teste com parafuso e lixadeira elétrica. A Tabela 4 apresenta os processos e os aspectos avaliados. Foram confeccionadas placas no formato retangular de 17 cm × 27 cm para a realização dos ensaios. A operação de fresamento foi realizada no Laboratório de Usinagem da Engenharia Mecânica da UFRGS. Já as operações de corte e de acabamento com as ferramentas aplicadas na produção de móveis em madeira (corte, perfuração, lixamento e união de parafusos) foram realizadas na empresa Confraria da Madeira em Porto Alegre.

Em relação ao corte, seguiu-se a metodologia de Oliveira et al. (2010) e Ferreira (2015) na qual analisaram aspectos como facilidade de corte, comportamento

do material em relação à operação com o equipamento, adesão reforço/matriz, aparecimento de vazios (tanto na superfície quanto internamente), delaminação, trincas, rebarbas, arrancamento do papel, danos térmicos (relativo ao aquecimento gerado durante o processamento) e acabamento por lixamento.

Em relação à perfuração, seguiu-se a recomendação de Lachaud et al. (2001) que sugere a observação de delaminação (na entrada e na saída da ferramenta na peça), e de defeitos geométricos e térmicos (aumento da temperatura do material devido ao atrito entre os resíduos de papel e também da ferramenta com a parede do furo).

Os furos foram observados a olho nu para análise da ocorrência de defeitos nos compósitos. Para a colocação dos parafusos, optou-se por usar broca de torção padrão, baixa taxa de avanço e alta velocidade de corte (rotação) para reduzir o risco de delaminação, conforme recomendado também por Melentiev et al. (2016).

O lixamento é uma operação que resulta na retirada de material de uma peça para se obter uma forma ou uma determinada superfície, este processo é feito com lixas que são constituídas de papéis abrasivos como mencionado por Alves et al. (2010). Segundo Varasquim (2014) as lixas são usadas para adequar o material aos limites geométricos da peça e para nivelar e refinar a superfície. O lixamento a seco foi utilizado neste estudo para simular o acabamento após uma operação de corte, e assim preparar o material para o uso de vernizes, tintas, seladores, revestimentos, etc.

Tabela 4 – Relação das técnicas de fabricação e dos aspectos analisados

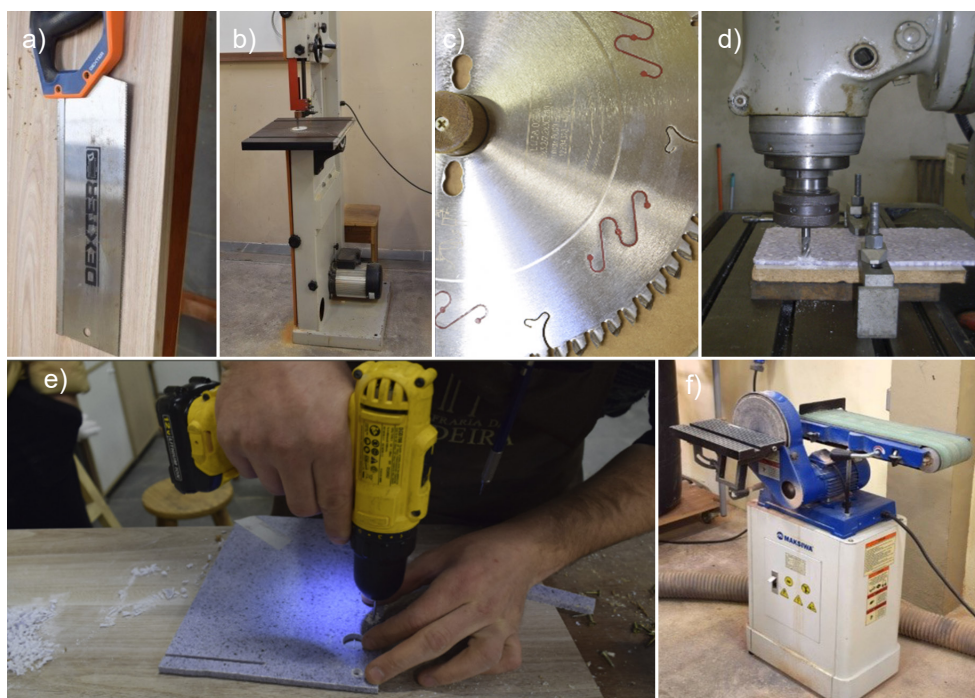
Corte	Furação	Fixação de parafuso	Lixamento
<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de corte; - Comportamento do material em relação ao equipamento; - Adesão reforço/ matriz; - Observação de vazios (na superfície e internamente); - Rebarbas; - Lascas; - Trincas; - Deslocamento fibra/matriz; - Arrancamento das fibras; - Modificações químicas devido ao aquecimento do material. 	<ul style="list-style-type: none"> - Delaminação; - Defeitos geométricos; - Modificações químicas devido ao aquecimento do material; - Comportamento do material em relação ao equipamento; 	<ul style="list-style-type: none"> - Integridade do compósito durante e após a fixação do parafuso; - Geração de rebarbas; - Geração de lascas; - Geração de trincas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Preparação da superfície; - Qualidade da superfície, lisa/ áspera, opaca/ brilho.

Fonte: Autora

Os equipamentos utilizados na experimentação das técnicas de fabricação foram:

- Serrote da marca Dexter, com lâmina de aço de comprimento de 35 cm, com 12 dentes por polegada;
- Serra fita da marca Tekna modelo SF 400T, com comprimento da lâmina de 295 cm, velocidade de 10 m/s;
- Esquadrejadeira da marca Maksiwa modelo ESQ – 3000 I, motor de 5 CV e velocidade de 3510 rpm, utilizando um disco da marca Freud modelo LU3A-0200 com diâmetro externo de 250 mm, furo de 30 mm e 80 dentes alternados E/D 38°.
- Fresadora da marca WMW modelo FUW, com velocidade de corte de 220 mm/min e rotação de 355 rpm; utilizando uma fresa de aço rápido de 10 mm de diâmetro.
- Furadeira/aparafusadeira da marca DeWalt modelo DCD700, com bateria de tensão 12 V, com broca de torção padrão 4 mm de diâmetro. Para realizar os furos, foi utilizado parafuso para madeira de cabeça chata, tipo Philips, de 3,5 mm de diâmetro. Além disso, foi utilizada uma fresa de 10 mm na furadeira/aparafusadeira do tipo Forstner.
- Lixadeira de disco e fita da marca Maksiwa, com velocidade de 1700 rpm. A lixa de fita utilizada foi da marca Indasa modelo PH de grão 60.

Figura 19 – Diferentes equipamentos utilizados para avaliar o comportamento dos materiais: a) serrote, b) serra fita, c) disco de serra da esquadrejadeira, d) fresadora, e) furadeira manual, f) lixadeira de disco e fita



Fonte: Autora

3.2.1.4 Intemperismo Natural dos compósitos Poliéster/Papéis

Os compósitos PO/PMA e PO/PME foram submetidos à análise de intemperismo natural. As amostras foram pesadas antes e após a exposição ao meio ambiente na balança digital da marca Quimis modelo Q-500L201c. Os compósitos foram analisados sob os aspectos qualitativos, considerando alterações de cor, brilho e algumas imperfeições observadas ao longo dos seis meses de exposição das amostras e quantitativo com a realização de ensaios mecânicos de tração, flexão, dureza e impacto, seguindo as normas específicas para cada ensaio.

Para avaliar os efeitos do intemperismo nos ensaios mecânicos, os corpos de prova referentes aos ensaios foram colocados em uma estrutura de ferro, sob uma rede de nylon (conforme a Figura 20) em frente ao Instituto de pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH), com inclinação de 45°, norma ASTM D 1435 (2013), no período de estudo de 180 dias (6 meses), de 23 de janeiro de 2017 a 23 de julho de 2017, na cidade de Porto Alegre.

Este período compreendeu as estações meteorológicas verão, outono e inverno, e a posição geográfica foi: latitude (30° 05' Sul); longitude (51° 11' Oeste) e altitude (174 m), que permite incidência normal da radiação solar sobre toda a superfície das amostras expostas. Nestas condições foi fixada a estrutura metálica com dimensões de 1m de largura, 1,20m de altura e 0,40m de profundidade, e 0,61m de altura do solo, conforme a norma.

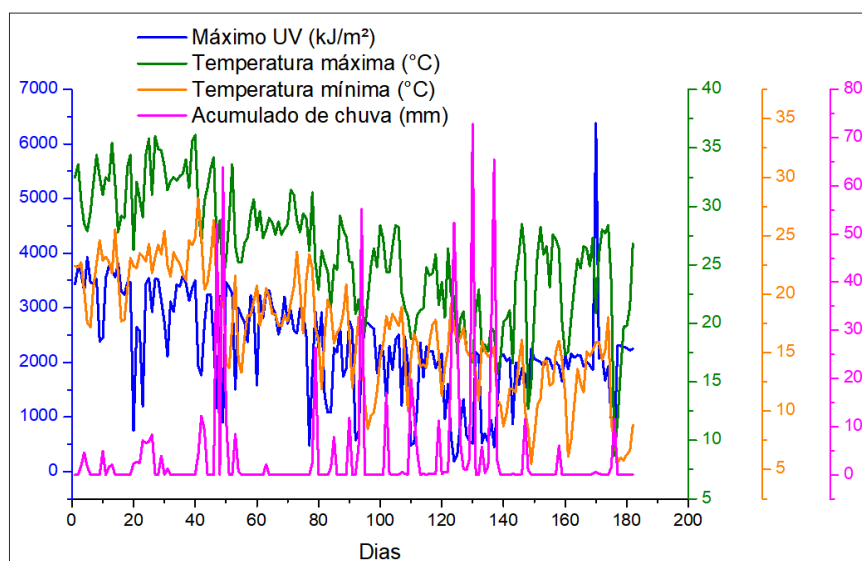
Figura 20 – Suporte ao ar livre para a realização do estudo de intemperismo natural



Fonte: Autora

Os dados das condições climáticas, como o índice de radiação ultravioleta, a temperatura e a precipitação, foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/>), da estação meteorológica localizada na cidade Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A Figura 21 mostra um resumo das condições climáticas durante o período de exposição dos corpos de prova, com os valores de índice radiação ultravioleta (UV), precipitação e a temperatura máxima e mínima registradas durante os 6 meses de exposição dos corpos de prova.

Figura 21 – Condições climáticas diárias no período de estudo



Fonte: Autora

3.2.2 Preparação do biocompósito Amido/Papel

Para a preparação do compósito amido/papel, primeiramente iniciou-se com a gelatinização do polímero a base de amido. Após a gelatinização do amido foi misturado aos papéis e foram feitos testes para encontrar a melhor proporção, estes procedimentos foram realizados no Laboratório de Desenvolvimento Integrado de Materiais e Produtos (DIMP) do Instituto Federal Sul-Riograndense (IFSul/ Sapucaia do Sul). Ao final dos testes, escolhida a proporção ideal, o biocompósito foi caracterizado no Laboratório de Materiais Poliméricos (Lapol) junto ao Grupo de Materiais Compósitos e Nanocompósitos Poliméricos (GCOMP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Para a preparação do polímero, iniciou-se com a gelatinização do amido, ocasionada pela ruptura da sua estrutura cristalina, por meio do seu aquecimento em

um recipiente com água em uma temperatura de 90 °C, que possibilitou transformá-lo em um material no estado de gel. Para este procedimento utilizou-se um termômetro da marca Digital Thermometer. Uma estufa da marca DELEO 2A SED foi usada para a secagem do material. Para manter uma espessura constante o material foi passado em uma laminadora de marca ARKE SF-300. Foram confeccionados moldes em acrílico na impressora 3D, marca 3D CLONER, utilizando como matéria-prima o biopolímero ácido poliláctico (PLA), para as amostras dos ensaios tração, flexão, dureza shore D e impacto. Utilizou-se ainda, ferramentas de corte (estilete, faca, tesoura), parafuso e uma furadeira manual da marca DWT modelo SBM-600 para experimentação dos processos de fabricação.

3.2.2.1 Testes preliminares na preparação do biocompósito Amido/Papel

A metodologia adotada para o desenvolvimento do biocompósito Amido/Papel, consistiu no desenvolvimento de placas, através da moldagem manual da mistura de amido e papel, para a obtenção de um novo material.

Inicialmente, os testes foram realizados com papel de revistas picadas e dois tipos diferentes de resíduos (PMA e PME), com proporções que variaram em percentual mássico de amido/ papel para se chegar na consistência ideal.

Os primeiros procedimentos da mistura foram com a incorporação de papel seco e papel molhado. O papel foi imerso durante 02 dias em água. Nas situações em que o papel ficou imerso em água, previamente, foi necessário a retirada do excesso da água manualmente antes da inserção do amido.

Para estes primeiros procedimentos, foram realizadas triplicatas com três amostras de 25, 35 e 40% papel, com três pessoas diferentes, cada uma testando um tipo de papel. A seguir são apresentadas as composições e quantidades das três amostras:

- 50% amido gelatinizado (3 gramas) / 25% amido seco (1,5 gramas) / 25% de papel seco (1,5 gramas) em massa.

- 43% amido gelatinizado (3 gramas) / 22% amido seco (1,5 gramas) / 35% de papel seco (2,42 gramas) em massa.

- 45% amido gelatinizado (2,88 gramas) / 15% amido seco (1 grama) / 40% de papel seco (2,54 gramas) em massa.

3.2.2.2 Preparação das amostras do biocompósito Amido/Papel

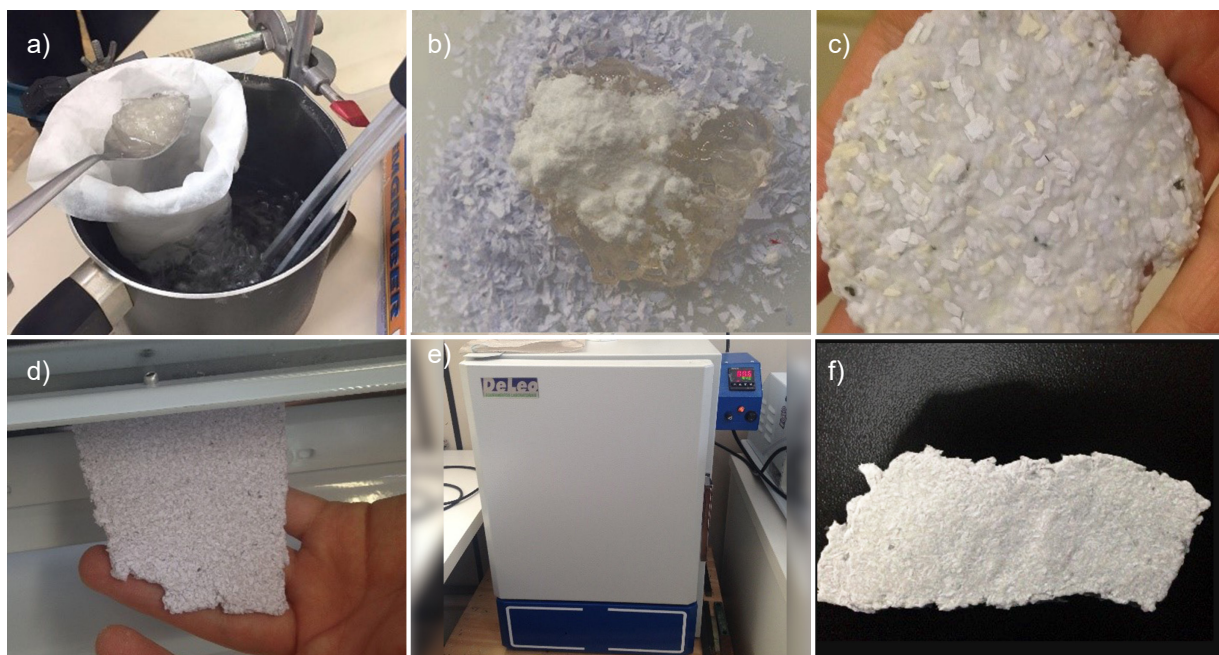
O amido gelatinizado, ainda quente em estado de gel, foi incorporado ao papel e ao amido seco (Figura 22). Este processo foi manual, e misturou-se de uma forma rápida e constante, buscando chegar às proporções ideais dos componentes. O percentual mássico, que foi trabalhado nesta pesquisa, é apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Composição e nomenclatura dos materiais estudados

Material	Identificação	Percentual volumétrico da matriz	Percentual volumétrico da carga
Amido/papel menor	A/PME	64	36

Fonte: Autora.

Figura 22 – Etapas de processamento para obtenção do material amido/papel: a) gelatinização do amido; b) inserção do amido gelatinizado sobre papel e amido seco; c) mistura final dos dois tipos de amido com papel; d) material no laminador; e) secagem do material; f) aparência final do material após secagem da água



Fonte: Autora

Após a mistura, o material foi laminado (Figura 22d) para garantir uma espessura constante. Em seguida, foram confeccionados os corpos de prova, com os moldes desenvolvidos em uma impressora 3D, conforme as normas exigidas para cada ensaio. A área interna do molde foi projetada considerando a contração volumétrica do composto após a extração da água na estufa, porque, diferentemente da preparação dos compósitos Poliéster/Papel, as amostras foram confeccionadas

ainda úmidas. Os moldes foram desenvolvidos para os ensaios de tração, flexão e impacto. Em algumas amostras foram incorporados pigmentos coloridos ao material. Foram utilizados os corantes alimentícios nas cores, azul, chlorella e vermelho bordô. O corante foi agregado ao amido gelatinizado antes da adição do papel.

3.2.2.3 Análise das Características Tangíveis dos biocompósitos Amido/Papel

Foram realizados os ensaios mecânicos de tração, flexão, dureza shore D e impacto no Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL/GCOMP) do Curso de Engenharia de Materiais da UFRGS, e de condutividade térmica no Laboratório de Materiais da Engenharia de Materiais (LABMAT) da UFSC. Para cada ensaio mecânico foram utilizados cinco corpos de prova.

A metodologia utilizada para a realização dos ensaios de tração, flexão, dureza Shore D, Impacto e condutibilidade térmica foram descritas na seção 3.2.1.1, ocorrendo o mesmo para a Análise Estatística.

No compósito Amido/papel, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi utilizada para analisar a superfície do biocompósito e a região de rompimento da amostra após ensaio de tração (as amostras foram recobertas com ouro), para esta análise utilizou-se o equipamento Phenon World, Modelo PRO X, operando em 15 KeV.

3.2.2.4 Análise das Características Intangíveis dos biocompósitos Amido/Papel

Assim como os compósitos de matriz Poliéster, as características intangíveis dos biocompósitos Amido/Papel, foram observadas durante todas as etapas do processamento, desde a gelatinização do amido até o pós-processamento, utilizando como critério o modelo Permatius – Percepção dos materiais pelo usuário, da pesquisa proposta por Dias (2009). Foram analisadas as características estéticas, práticas e simbólicas.

3.2.2.5 Processos de Fabricação dos biocompósitos Amido/Papel

A possibilidade de inserção de furos, encaixes, parafusos, são exemplos de como os materiais podem influenciar os aspectos de uso e manuseio. O material

passou por testes como operações de corte (com estilete, faca e tesoura) e furação, descrita na seção 3.2.1.3.

3.2.2.6 Impermeabilização dos biocompósitos Amido/Papel

Para a elaboração deste ensaio, a mistura do amido/papel foi laminada, processo utilizado para garantir uma espessura constante e melhor uniformidade, após colocou-se o material em uma superfície plana, e com o auxílio de um paquímetro digital (marca Digimess resolução 0.02 mm) e um estilete cortou-se os corpos de prova, que foram levados a estufa da marca DELEO 2A SED para a secagem do compósito, à 90 °C/1 hora para evaporação da água.

Foram confeccionadas um total de 39 amostras, sendo utilizado 03 amostras para cada família, conforme a Tabela 6. Organizadas em 05 grupos, denominados amostra sem impermeabilizante (AP), amostra com resina AGT 1315 (A), amostra com resina UG 132 A (U), amostra com verniz Ecolac (E) e amostra com verniz marítimo (V). A primeira coluna da Tabela 6 apresenta a identificação dos corpos de prova, as letras maiúsculas referem-se ao tipo de material, o número representa a quantidade de demãos e a letra minúscula é a identificação do corpo de prova dentro da família. Para revestir os corpos de prova com os impermeabilizantes utilizou-se um pincel. Antes e após cada demão as amostras foram pesadas e medidas.

Tabela 6 – Descrição dos corpos de prova com os respectivos impermeabilizantes

Identificação dos corpos de prova	Recobrimento (demão)	Impermeabilizantes
AP0a AP0b AP0c	Sem recobrimento	-
E1a, E1b, E1c; E2a, E2b, E2c; E3a, E3b, E3c;	1 demão 2 demão 3 demão	Ecolac (E)
V1a, V1b, V1c; V2a, V2b, V2c; V3a, V3b, V3c;	1 demão 2 demão 3 demão	Verniz marítimo (base de poliuretano) (V)
A1a, A1b, A1c; A2a, A2b, A2c; A3a, A3b, A3c;	1 demão 2 demão 3 demão	Resina poliuretana à base de óleo de mamona AGT1315 (A)
U1a, U1b, U1c; U2a, U2b, U2c; U3a, U3b, U3c;	1 demão 2 demão 3 demão	Resina poliuretana à base de óleo de mamona UG 132A (U)

Fonte: Autora.

O ensaio de absorção de água, utilizando a norma ASTM D570, foi utilizado com o intuito de analisar a eficiência do impermeabilizante, tendo em vista que este material é hidrofílico e sua aplicação é vulnerável à decomposição. Os corpos de prova possuem dimensões de aproximadamente 50 mm x 50 mm. E as amostras preparadas conforme a Tabela 6 foram pesadas na balança analítica (marca Pantec modelo FA2104N). Os corpos de prova identificados na coluna 1 da Tabela 6 foram imersos em água à temperatura ambiente. Após 2 horas de imersão as amostras foram retiradas do recipiente e removido o excesso de água com auxílio de papel toalha, logo após, foi realizada novamente a pesagem. Em seguida foram recolocadas no recipiente com água por mais 22 horas para completar às 24 horas de imersão e realizado o mesmo procedimento anterior, finalizando o ensaio. Os valores de absorção de água foram obtidos a partir da Equação 1.

A seguir será apresentado, na tabela 7, os procedimentos e ensaios realizados neste trabalho que possibilitaram o conhecimento das características tangíveis dos materiais Poliéster/Papel e Amido/papel.

Tabela 7 – quadro dos ensaios para cada material

Procedimentos/Ensaio	Poliéster/papel	Amido/papel
Papéis utilizados	Papel menor e papel maior	Papel menor
Percentual carga/matriz	80 X 20	64 X 36
Processo manual de mistura	SIM	SIM
Cura	Na prensa (compressão à quente)	Na estufa
Ensaio de absorção de água	SIM	SIM
Ensaio de tração, flexão, dureza shore D e impacto	SIM	SIM
Condutividade térmica	SIM	SIM
Técnicas de fabricação	SIM	SIM
Intemperismo natural	SIM	
Gelatinização		SIM
Impermeabilização		SIM
Caracterização intangível	SIM	SIM
Análise estatística	SIM	SIM

Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

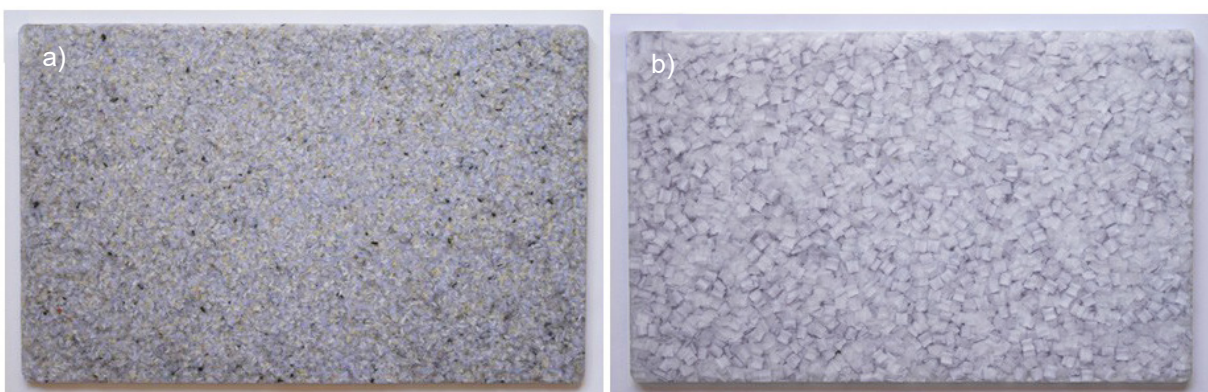
Neste capítulo serão analisados os resultados das características tangíveis e intangíveis dos materiais desenvolvidos. Primeiramente, apresenta-se os compósitos Poliéster/Papel (PO/PME e PO/PMA) e após o compósito Amido/ Papel (A/PME).

4.1 RESULTADOS COMPÓSITO POLIÉSTER/PAPEL

Optou-se por usar os dois tipos de aparas (PME e PMA), pela grande quantidade gerada, pela qualidade do material e pela diferença da granulometria das mesmas. Para o desenvolvimento do compósito com a matriz Poliéster, foram utilizados os dois tipos de papéis, tanto o menor quanto o maior, porque o aspecto visual destacou-se nos dois e houve uma boa interação entre o papel e o poliéster devido a matriz encontrar-se no estado líquido.

No desenvolvimento dos compósitos, a fração volumétrica de cada material foi determinada visando à proporção máxima de saturação dos papéis, na qual mantivessem uma mistura homogênea com o maior reaproveitamento possível dos resíduos. Para a preparação das placas para os ensaios, utilizou-se a proporção de 80% de papel para 20% de resina, que atendia a estes propósitos. Apesar do compósito PO/PMA apresentar maior dificuldade no molhamento do papel pela matriz no processo manual de mistura, optou-se por manter as mesmas proporções nos dois compósitos para o estudo comparativo das características.. A composição Poliéster e resíduos de papéis originaram os compósitos: PO/PME e PO/PMA que podem ser visualizados na figura 23.

Figura 23 – Aspecto visual das placas (17 x 27cm²) dos compósitos obtidos: PO/PME e b) PO/PMA



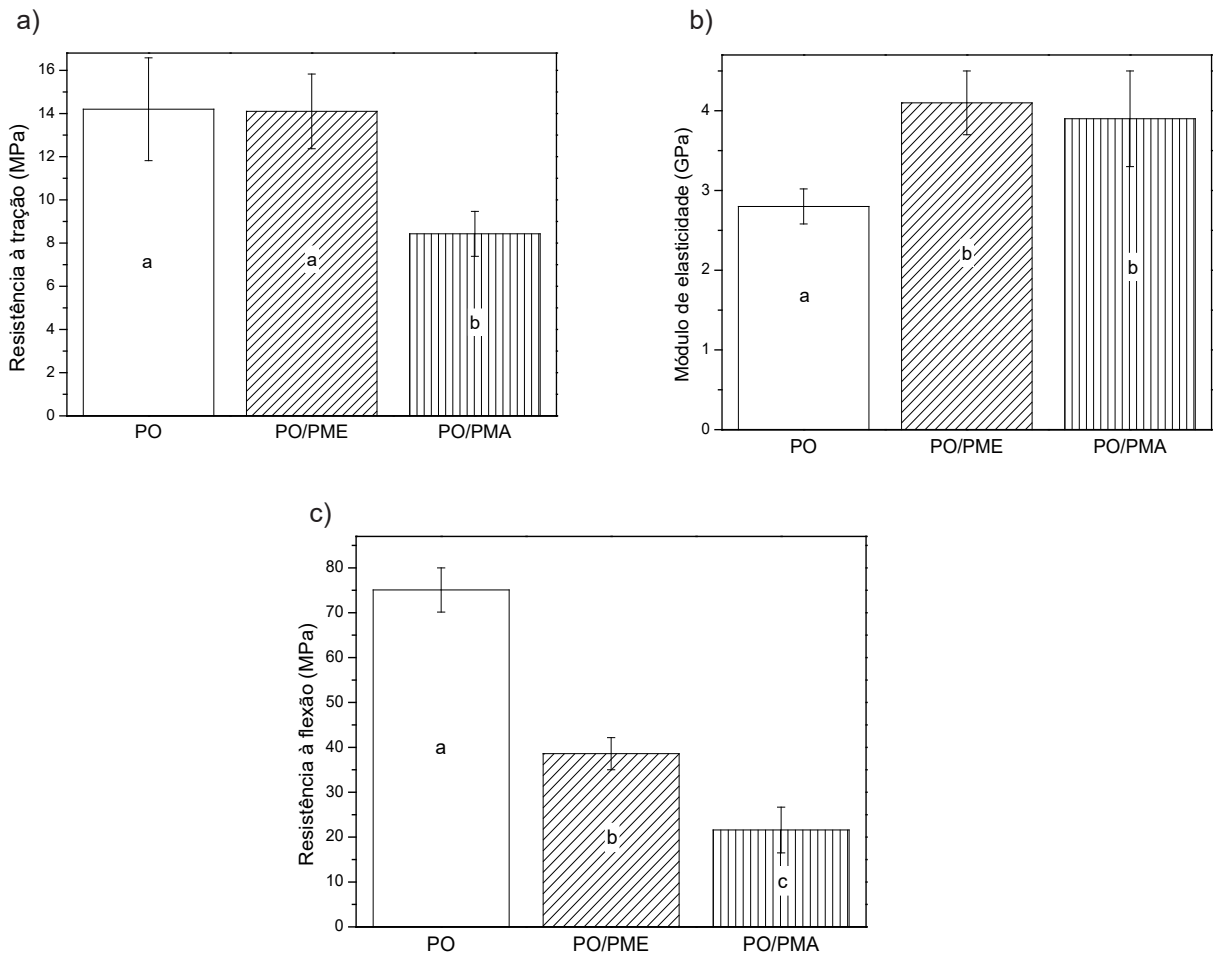
Fonte: Autora

4.1.1 Características tangíveis dos compósitos Poliéster/Papel

As características tangíveis foram analisadas pelo estudo das propriedades físicas e mecânicas. Nas propriedades mecânicas as características foram verificadas através dos ensaios de tração, flexão, dureza e impacto.

Na análise dos resultados em tração (Figura 24a), constatou-se que ocorreu uma queda de resistência em relação à matriz pura, para o compósito PO/PMA. Valores de tração similares também foram encontrados na literatura, como ocorreu no estudo de Rossi, (2014), ao analisar os resultados em tração nos compósitos poliéster/açaí e poliéster/curauá, e também nos estudos de Sanchez et al. 2010 para compósitos poliéster/bagaço de cana- de-açúcar.

Figura 24 – Valores médios de resistência à tração (a), módulo de elasticidade (b) e resistência à flexão (c)



Fonte: Autora

A queda da resistência em relação à matriz para o PO/PMA foi atribuída às dimensões do papel, ocorrendo dificuldade de molhamento da resina poliéster nos resíduos de papel de maior dimensão, ocasionando vazios no material. Observa-se ainda, que muitos papéis contêm uma camada de gesso para melhorar o acabamento superficial, o que também pode prejudicar suas propriedades mecânicas, como afirma VALENTE et al. (2017). Provavelmente o resultado do compósito PO/PME (Figura 24a), conforme apresentado pela ANOVA, que manteve valores similares em relação ao poliéster puro em resistência à tração, deveu-se a maior adesão do resíduo de papel ao poliéster, facilitado pelo menor tamanho da partícula.

Para Marur, 2004, pode haver falhas, nucleação e crescimento de vazios em compósitos particulados, que acarretam a perda de adesão, influenciando na resistência à tração. Ele afirma ainda que estas características são influenciadas pelo tamanho, formato e fração volumétrica de partículas, o que corrobora as análises descritas anteriormente.

Ainda, comparando-se os resultados encontrados na literatura, no trabalho de Prambauera et al. (2016), que utilizou a folha de papel inteira (papel sulfite, com gramatura 80 g/m²) para fabricação do compósito, com gramatura similar à desta pesquisa, a resistência à tração alcançou 88 MPa devido ao formato de reforço utilizado e à quantidade não-excessiva de reforço, 40% em volume. Estes compósitos de papel com um teor em papel de 40% em volume exibiram discreta melhora para os resultados em módulo de elasticidade que foi de 6,837 GPa e resistência à tração que foi de 88 MPa. O estudo realizado por DAS (2017), que utilizou uma quantidade de matriz de 50% (em volume), também obteve valores mais elevados em flexão, mas a disposição das folhas de papel distribuídas em lâminas, preenchendo toda área do molde, também pode ter acarretado nesta diferença, devido à disposição do reforço.

Em relação ao módulo de elasticidade, (Figura 24b), pode-se observar uma variação, de acordo com a Anova, com a inserção das cargas, tanto no PO/PME quanto no PO/PMA. Segundo PRAMBAUERA et al, (2015b) pode ser justificado pela maior rigidez das cargas (papel > 4 GPa) em relação à matriz.

Estes valores encontrados para resistência à tração e módulo elástico (Figura 24 a - b) também justificam-se pela sensibilidade da amostra de poliéster puro que, durante a fixação do corpo de prova na garra pneumática, pode ter ocasionado um dano, assim gerando um alto desvio padrão nestas propriedades.

Nos resultados de flexão, os compósitos (Figura 24c) apresentaram resistência bastante inferior ao poliéster puro, o que pode ser um fator limitante no desenvolvimento de produtos que exijam esta característica.

Os melhores resultados obtidos para o compósito PO/PME, atribui-se ao comprimento de $\approx 0,2$ mm dos resíduos de papéis, que acarretou em uma mistura mais homogênea, permitindo um melhor encapsulamento pela resina e aparente melhor adesão. Atribui-se os resultados bastante inferiores dos compósitos em flexão ao fato de haver somente 20% (em massa) de resina, que permitiu a incidência de porosidade significativa, acarretando em defeitos consideráveis no compósito.

Os valores médios de dureza dos compósitos (Tabela 8) indicam que esta propriedade foi melhorada pela inserção da carga, como mostrado pela análise de ANOVA. No ensaio de impacto, cujos resultados estão na Tabela 8, houve um aumento na resistência em relação ao poliéster puro, que pode indicar uma boa adesão do poliéster ao papel dificultando a propagação da trinca. Na literatura, Andrew et al. (2019), afirma que a resina frágil, tal como o poliéster, tem baixa resistência ao impacto. Portanto, com a inserção do papel nesta resina, e a relativa melhora na resistência do material criado, ocorreu um retardo da propagação da trinca. E ainda, segundo A.K. Bledzki et al, 2010, a resistência ao impacto de um compósito é influenciada por muitos fatores, incluindo as propriedades de tenacidade do reforço, considera-se portanto, que a natureza da carga influenciou nas propriedades de impacto do compósito. Além disso, acredita-se que o compósito PO/PMA apresentou a resistência ao impacto superior devido a maior dimensão da carga em relação ao compósito PO/PME, porque a trinca necessitou percorrer uma maior área, antes da ruptura do compósito.

Tabela 8 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza e impacto dos compósitos

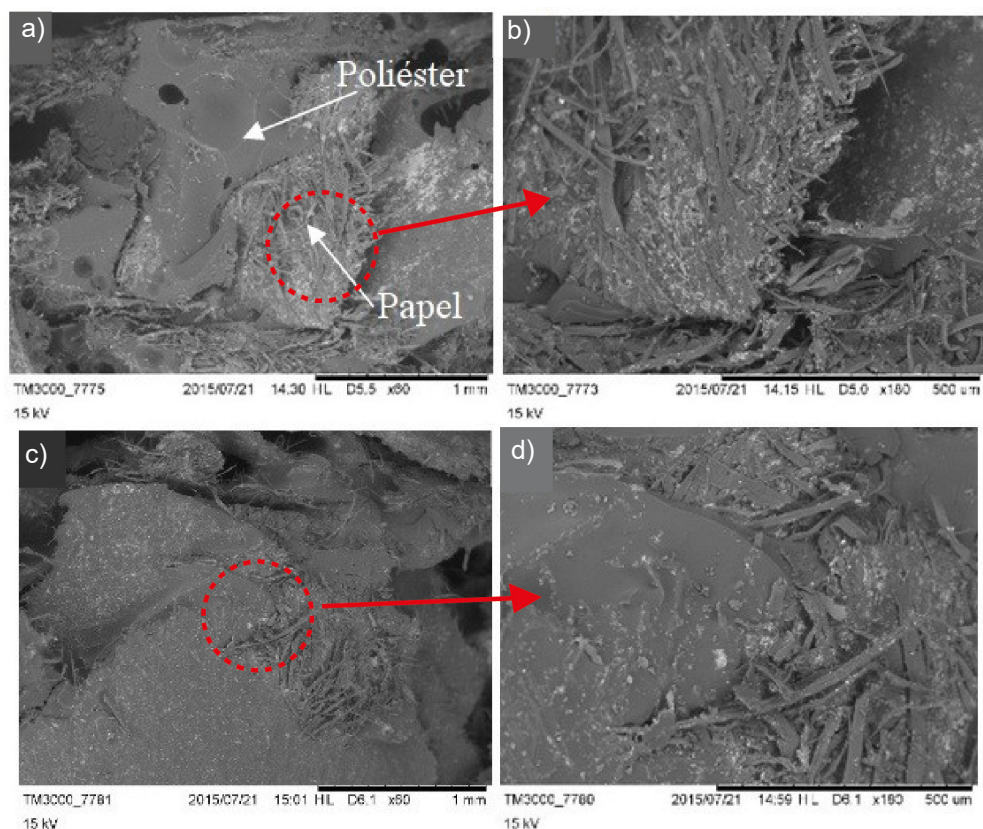
	DUREZA SHORE D	RESISTÊNCIA AO IMPACTO (kJ/m²)
Poliéster (PO)	76 ± 1^a	0,69 ± 0,06^d
PO/PME	83 ± 1^b	1,67 ± 0,17^e
PO/PMA	85 ± 1^c	2,25 ± 0,22^f

Fonte: Autora.

Observando-se os resultados encontrados na literatura, na qual utilizaram os mesmos materiais desta pesquisa, como no trabalho de Prambauera et al. (2016), que obteve resistência à tração de 88 MPa e módulo de elasticidade de 6,837 GPa e de Sekhar que obteve valores mais elevados em flexão, observa-se que estes resultados obtiveram melhores faixas de variações. Estes melhores resultados podem ser justificados pela utilização da folha de papel inteira para fabricação dos compósitos e pela distribuição em lâminas que preencheram toda a área do molde, diferentemente do arranjo elaborado nesta pesquisa que priorizou a reutilização de resíduos menores.

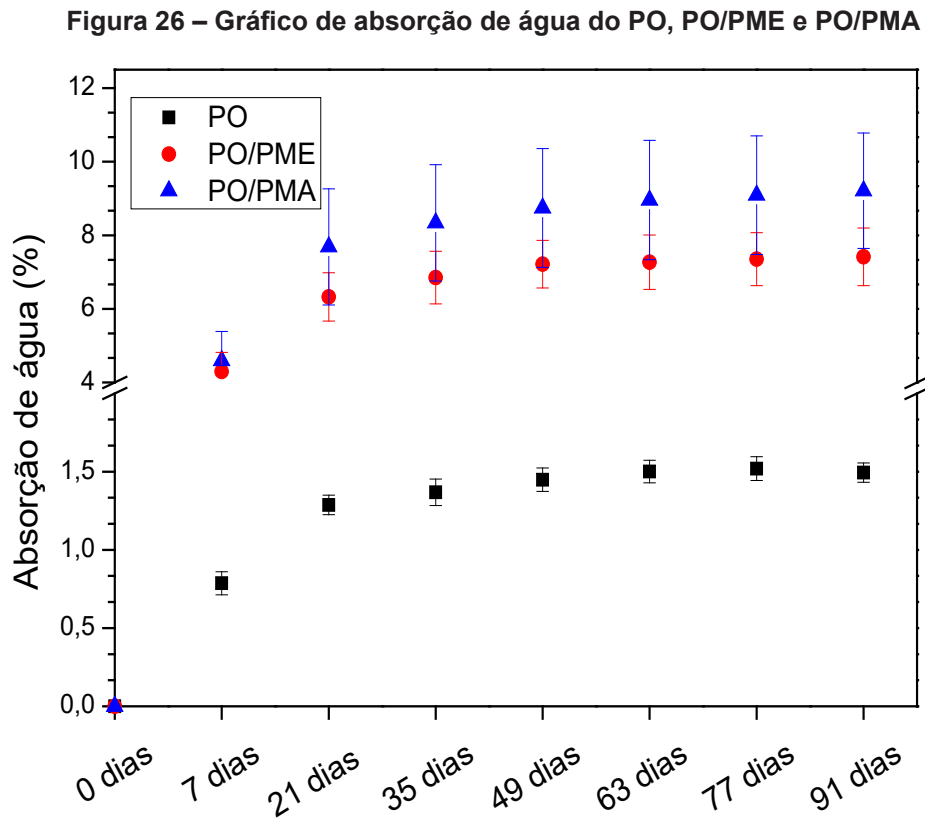
Na análise de microscopia, pode-se observar as características da adesão da carga à matriz (Figura 25) dos dois compósitos. As regiões escuras aparentes no MEV representam vazios nas placas. Observa-se ainda, que há grandes áreas de concentrações tanto do papel quanto do poliéster, ocorrendo uma distribuição não uniforme dos componentes. Estas imagens corroboram para as afirmações anteriores tanto para resistência à tração quanto para a resistência à flexão, que, em função dos vazios e da baixa homogeneidade da resina com o papel, não houve aumento significativo dos valores para os dois compósito (PO/PME e PO/PMA).

Figura 25 – Microscopia eletrônica de varredura dos compósitos PO/PME (a,b - Figura b representa um aumento da região pontilhada na Figura 25a) e PO/PMA (c,d - Figura d representa um aumento da região pontilhada da Figura 25c)



Fonte: Autora

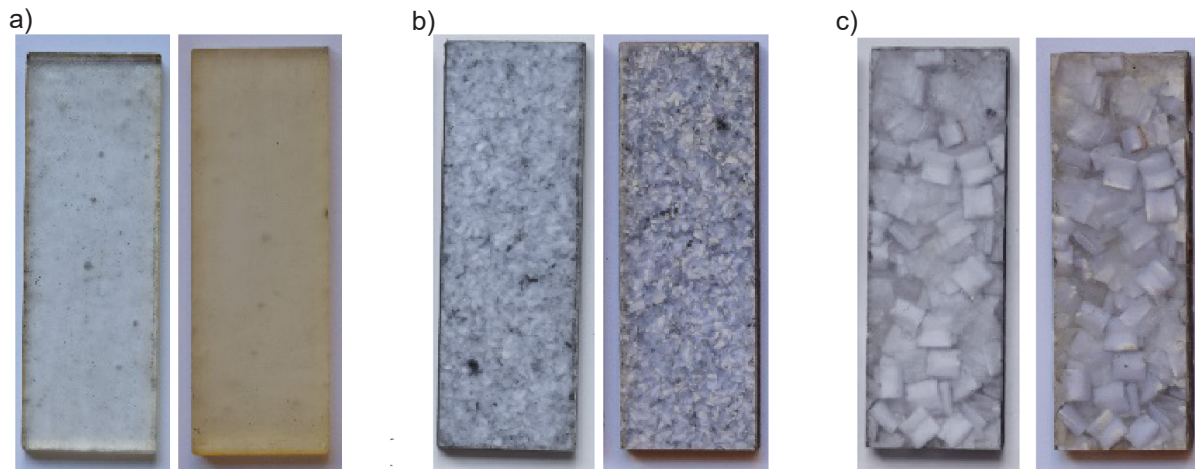
No ensaio de absorção de água (Figura 26), observou-se que houve um aumento percentual em massa do PO/PMA em relação ao PO/PME, principalmente a partir de 21 dias de ensaio.



Fonte: Autora

Ao final do tempo de imersão dos corpos de prova (91 dias), observou-se um percentual de absorção de água de equilíbrio de 1,5%; 7,4% e 9,2% (em massa) para poliéster puro, PO/PME e PO/PMA, respectivamente. Tendo em vista que os mesmos foram confeccionados com o mesmo tipo de papel, só que resíduo de máquinas diferentes, e com a mesma fração volumétrica de papel, estes valores deveriam ser semelhantes, mas, estes resultados podem ser justificados pela menor densidade (Tabela 9) encontrada para o compósito PO/PMA comparado ao PO/PME, que supõem-se que haja mais vazios no PO/PMA, que podem ter ocorrido pela mistura manual e pela maior granulometria do papel. Quanto ao aspecto das amostras após o ensaio pode-se perceber, conforme a Figura 27, que houve alteração da cor do poliéster, modificando tanto a amostra do poliéster puro, quanto o PO/PME e PO/PMA.

Figura 27 – Foto das amostras antes e depois de submetidos ao ensaio de absorção de água do PO(a), PO/PME(b) e PO/PMA(c)



Fonte: Autora

Em relação à condutividade térmica dos materiais criados, observa-se que, com a inserção da carga de papel, que propaga energia e apresenta características cristalinas (DAS, 2017), houve um aumento na condutividade térmica dos materiais compósitos quando comparados à resina poliéster (PO) conforme a ANOVA (Tabela 9). Isto é decorrente da característica amorfa apresentada pelo PO e os compósitos apresentarem características semicristalinas após a mistura.

Quanto à densidade dos materiais, o PO/PME apresentou resultados maiores que o PO/PMA, isto se deve, provavelmente, ao menor tamanho da partícula que facilitou a obtenção de uma mistura mais homogênea durante o preparo do material, proporcionando um material mais denso. Já, em relação ao PO/PMA, conforme a ANOVA, a densidade deste é semelhante à resina poliéster, ocasionada, com certeza, pelos vazios decorrentes da maior dificuldade de misturar o papel maior à resina, que não permitiu uma maior densidade deste material.

Tabela 9 – Resultados obtidos nos ensaios de condutividade térmica e densidade dos compósitos

	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)	DENSIDADE(g/cm ³)
Poliéster (PO)	0,37 ± 0,02 ^a	1,19 ± 0,02 ^d
PO/PME	0,60 ± 0,06 ^b	1,32 ± 0,02 ^e
PO/PMA	0,73 ± 0,03 ^c	1,22 ± 0,02 ^d

Fonte: Autora.

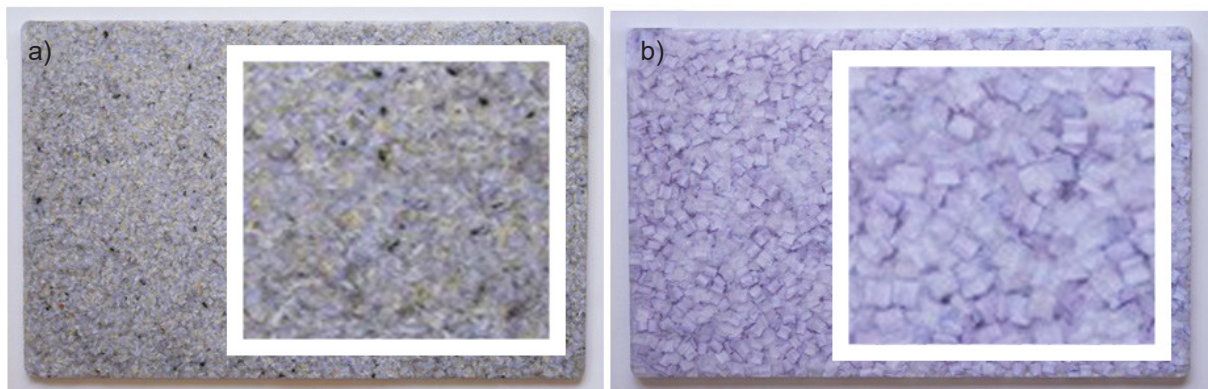
4.1.2 Características Intangíveis dos compósitos Poliéster/Papel

Para a discussão dos resultados das características intangíveis dos materiais, a experiência baseou-se em alguns critérios contidos nos atributos estéticos e atributos práticos (DIAS, 2009) para os compósitos processados, conforme evidenciado na tabela 1 seção 2.2.

Quanto aos Atributos Estéticos, os compósitos foram analisados em relação a forma, cor, brilho, tátil, textura, temperatura e cheiro. Segundo Marcovich (2001), compósitos com cargas particuladas tiveram uma grande aceitação em diferentes aplicações devido a sua boa processabilidade e moldabilidade. Estas características são observadas também, nos compósitos desenvolvidos neste trabalho. A resina poliéster, em seu estado líquido, isto é, antes da cura, agregada ao papel, beneficia aos processos de moldagem, porque pode adaptar-se aos mais variados tipos de geometrias, dependendo das necessidades do produto e das dimensões dos moldes.

A cor predominante apresentada pelos materiais foi a do papel devido à transparência do poliéster (tons de cinza para o PO/PME e tons de branco para o PO/PMA) conforme a Figura 12 (cap. Materiais e Métodos) e da proporção de 0,8:0,2 (papel/ poliéster). Essa transparência valoriza o material, no caso do compósito PO/PME, estando na cor natural ocorre a valorização pela possível associação com o aspecto do granito e em relação ao PO/PMA, o tamanho do papel cria tons, texturas e simetrias únicas que dão ao material um aspecto inovador (Figura 28).

Figura 28 - Detalhamento das amostras dos compósitos.
a) PO/PME com ampliação. b) PO/PMA com ampliação. esc. 1.1 e 2.1



Fonte: Autora

O poliéster incorporado ao papel dá um aspecto brilhoso aos materiais, portanto o brilho é um elemento inerente tanto ao PO/PME quanto ao PO/PMA. Esta é uma das características que aproxima o material PO/PME a aparência do granito. Alguns recursos como escovação, jato de areia, texturização podem alterar ou retirar completamente o brilho dos materiais, podendo ser uma boa opção para dar um caráter exclusivo ao material.

Os novos materiais apresentam superfícies e texturas diferenciadas que provocam a curiosidade do consumidor, podendo ser um quesito muito valorizado, dependendo do produto criado (DIAS, 2009). No caso dos materiais produzidos, principalmente do PO/PMA, pode despertar curiosidade tátil devido a sua textura, aspecto e relevo. Através do contato com o material pode-se identificar sensações de temperatura, suavidade e textura, que podem proporcionar sensação de bem estar ou não, tornando-se um recurso para os designers direcionarem suas criações. Os materiais quando manuseados transmitem a sensação de um material frio, o que reforça a associação com pedras, principalmente o granito, esta associação se deve também em função da sua semelhança visual.

Todo o material possui uma textura particular segundo sua composição, neste caso, os pedaços de papéis no PO/PMA resultam em uma maior irregularidade na superfície do material. No PO/PME os papéis pequenos conferem ao material uma superfície com relevo mais uniforme. A textura nos dois materiais pode ser percebida pela visão e/ou pelo tato. Segundo Zuo et. al (2001), os materiais, em função de sua textura, podem ter uma aparência densa, derrapante, escorregadia, robusta, pesada; e, sob a dimensão emocional pode aparentar ser agradável, alegre, de bom gosto, cara, limpa, forte, moderna. No PO/PME (figura 28a), o seu aspecto visual, pode lhe conferir características encontradas no granito, associando-o à atributos como durabilidade, dureza, condutividade térmica, entre outras (FILHO, 2014). Na análise do PO/PMA (figura 28b), sob a dimensão emocional, em função do movimento criado pela repetição visível do papel, confere-o um aspecto alegre, moderno e inovador.

Sob análise olfativa, os materiais desenvolvidos não apresentam cheiro após a cura do compósito, que é um aspecto característico em materiais artificiais.

Os materiais também foram analisados sob o ponto de vista práticos na qual, usabilidade, identidade própria, sustentabilidade, foram alguns dos quesitos analisados.

A possibilidade da criação de um novo material em laboratório possibilita

a escolha das matérias- prima. Neste caso, optou-se por um material que fosse possível a sua reinserção no processo produtivo(papel) e ainda, que as proporções nas misturas possibilitassem reduzir o uso da matriz escolhida (poliéster), para gerar materiais mais amigáveis à natureza. Outro aspecto que poderá reduzir o impacto do uso deste material é a produção em moldes propiciando que o produto já seja moldado no formato final, minimizando o resíduo produzido.

Quanto a identidade deste material, após o processamento se identifica uma aparência que remete ao granito (PO/PME). Atualmente, segundo Manzini(1986), com o aumento do desenvolvimento de novos materiais, as novas aparências que surgem, nos permite no máximo dizer com “o que se parecem”, mas é difícil afirmar de que são feitos. Esta característica pode valorizar os novos materiais devido a sua semelhança a matérias mais nobres, podendo ter custos mais baixos e ser mais ambientalmente amigável. Este material pode tornando-se mais acessível ao usuário e apresentar melhoria em relação ao meio ambiente, mas é necessário observar, sempre, a aplicabilidade deste material, uma vez que as propriedades mecânicas são bem inferiores ao granito.

4.1.3 Processos de fabricação

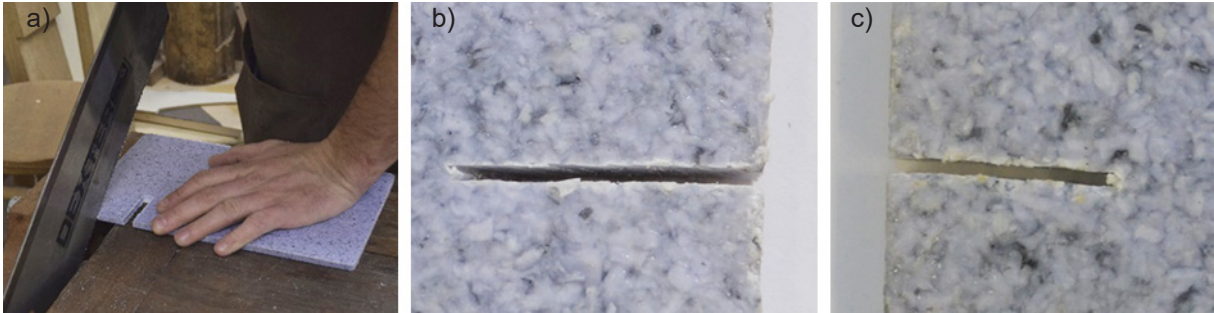
Nesta etapa buscou-se avaliar o comportamento dos materiais compósitos para diferentes processos de fabricação. Nesta seção serão apresentados os ensaios realizados com cortes de serrote, serra fita, fresadora convencional, perfuração com furadeira e teste com parafuso e lixadeira elétrica. A Tabela 4 (seção 3.2.1.5), descreve os processos e os aspectos avaliados. Os procedimentos foram realizados nas duas amostras (PO/PME e PO/PMA), cujos resultados serão apresentados a seguir.

4.1.3.1 Ensaio para avaliação do corte no material

No corte com serrote não houve dificuldade no uso do serrote nas duas amostras (PO/PMA e PO/PME). A força empregada na execução desta operação foi moderada, quesito importante visto que a operação é manual, sendo similar ao esforço empregado para o corte da madeira. Nas duas placas de prova dos materiais, tanto do PO/PMA quanto do PO/PME, obteve-se um acabamento razoável do corte com essa ferramenta manual (Figuras 29-30), apesar do corte não ficar completamente

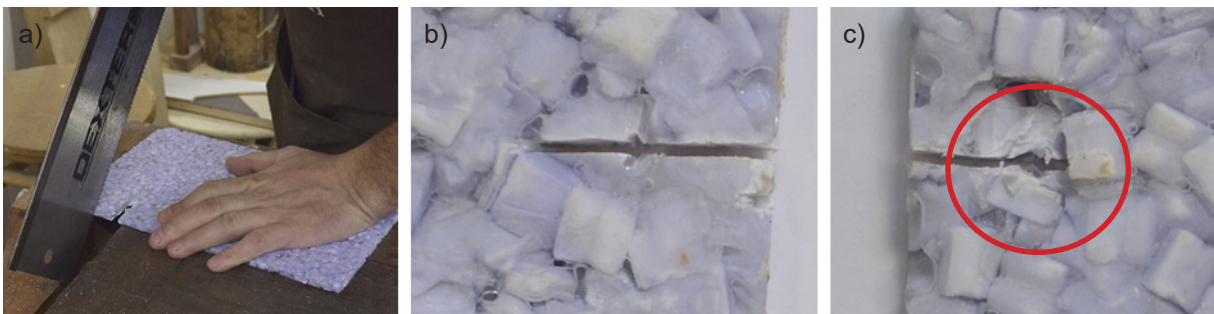
retilíneo, pode-se considerar satisfatório por se tratar de uma ferramenta manual que exige coordenação motora do operador.

Figura 29 – Corte com serrote: operação de corte na amostra PO/PMA (a), superfície superior (b) e superfície inferior da amostra cortada detalhando imperfeições (c)



Fonte: Autora

Figura 30 – Corte com serrote: operação de corte na amostra PO/PME (a), superfície superior (b) e superfície inferior da amostra cortada (c)



Fonte: Autora

No compósito PO/PMA, surgiram algumas rebarbas em função do lascamento na região do corte, que deixaram visíveis os resíduos de papel (Figura 29b-29c). O mesmo não ocorreu no compósito PO/PME apesar dos dois compósitos terem fração volumétrica de 80% em papel, provavelmente porque esse compósito possui partículas menores que facilitam a molhabilidade do papel pela resina poliéster, melhorando a adesão e reduzindo os vazios no material.

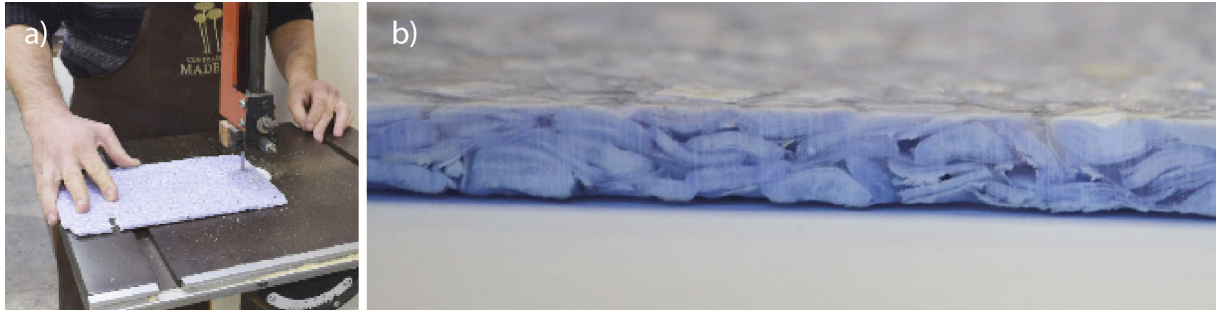
Para o compósito PO/PME, manteve-se a integridade do material durante e após o corte (Figura 30b-304c), e não foram observadas trincas e lascas. Já para o compósito PO/PMA, ocorreram lascas na superfície inferior do corte, resultando em imperfeições na sua superfície. Isto deve-se provavelmente à menor adesão do papel maior ao poliéster, como pode ser visto pelas bolhas superficiais aparentes no compósito PO/ PMA (Figura 29b-c).

Assim, apesar do corte com serrote ter resultado em um acabamento “grosseiro” nas duas amostras, não sendo recomendada para um trabalho que requeira corte e acabamento precisos, pode-se concluir por análise visual que o compósito PO/PME apresentou melhor acabamento nesta operação.

O corte com serra de fita, diferentemente do corte com serrote, é realizada com uma máquina elétrica. A velocidade usada foi de 10m/s, semelhante à velocidade de corte para operações em madeira de espessura semelhante ao material desta pesquisa. Observando-se a operação, não houve vibração da lâmina de corte, aparentando facilidade no corte.

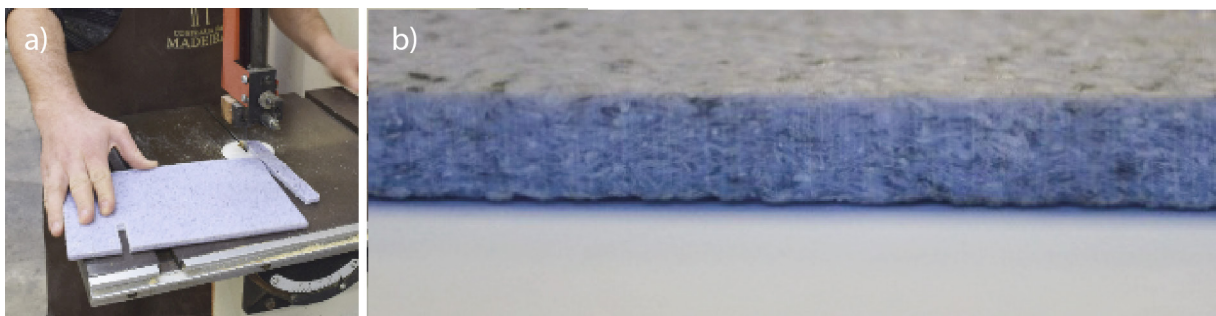
Pode-se observar no corte com serra de fita uma boa integridade dos compósitos PO/PMA e PO/PME durante e após o corte, não havendo trincas no material ou geração de rebarbas e lascas (Figuras 31a-b e 32a-b). Os materiais foram cortados com bastante facilidade e a parede da superfície cortada não apresentou irregularidades e mudança de cor, sendo observadas apenas ranhuras (marcas verticais) do corte nas amostras.

Figura 31 – Corte com serra fita da amostra PO/PMA: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b)



Fonte: Autora

Figura 32 – Corte com serra fita da amostra PO/PME: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b)

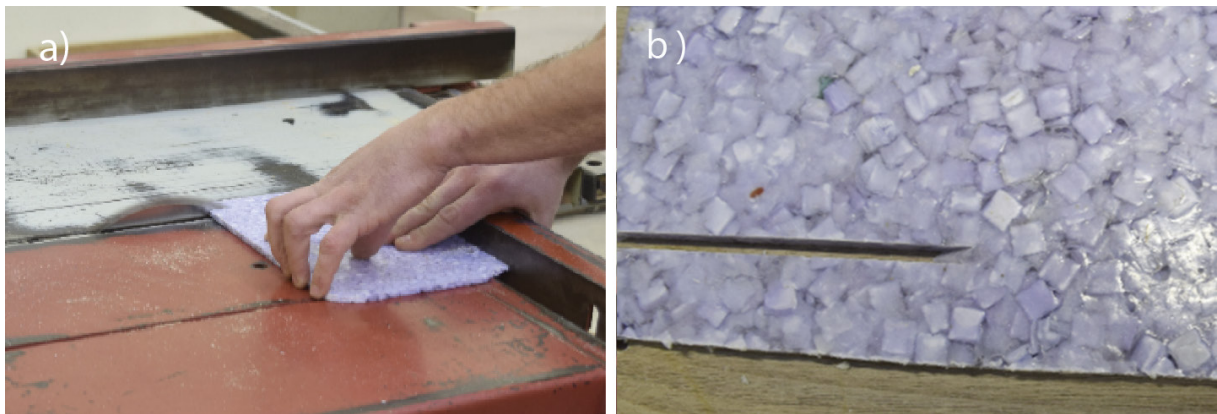


Fonte: Autora

O corte dos compósitos PO/PMA e PO/PME (Figuras 33a-b e 34a-b) com a esquadrejadeira apresentou um acabamento melhor em relação aos outros dois

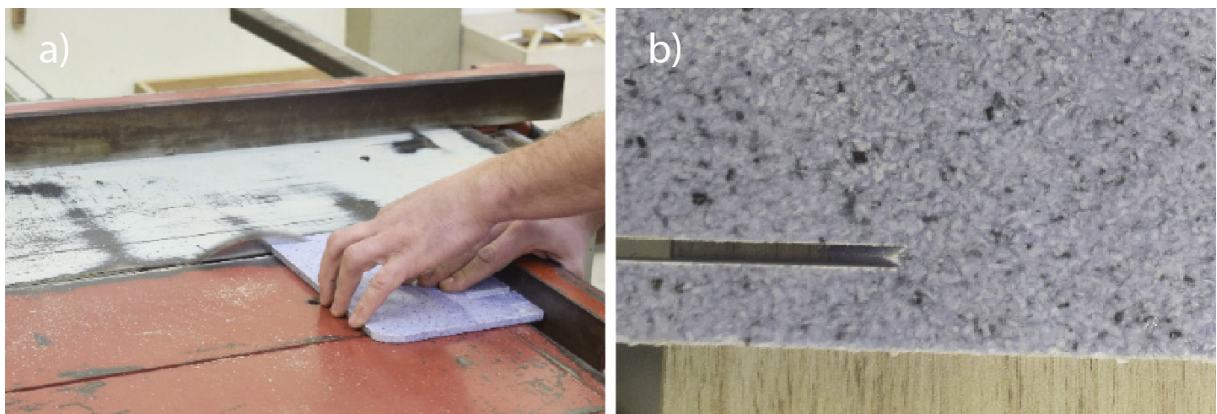
cortes (serrote e serra de fita) possivelmente devido à velocidade do corte (≈ 46 m/s) ser maior. Observou-se também que as faces dos cortes ficaram mais uniformes em relação aos procedimentos anteriores. Assim, para um processo de fabricação mais sofisticado e maior velocidade, há uma tendência à melhoria da qualidade da peça, com menos danos decorrentes da fabricação e reduzindo a necessidade de retrabalho.

Figura 33 – Corte com esquadrejadeira na amostra PO/PMA: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b)



Fonte: Autora

Figura 34 – Corte com esquadrejadeira na amostra PO/PME: operação de corte (a) e superfície da amostra cortada (b)



Fonte: Autora

Já para o corte com fresadora convencional, segundo Ritter & Farias (2010), durante o processo de usinagem, aspectos como força da ferramenta contra a peça, atrito da superfície de incidência da ferramenta com a peça, calor gerado no processo de corte e vibração da ferramenta podem ser responsáveis por alterações nas propriedades do material, afetando a qualidade da superfície de corte das peças. Por outro lado, os resultados da usinagem com a fresa convencional apresentaram

imperfeições no corte do material PO/PMA, resultando também modificações na cor (tonalidade mais amarelada) (Figura 35b) provavelmente devido à força da ferramenta contra a peça e da temperatura alcançada durante o processo. As alterações químicas (escurecimento devido ao super aquecimento que alguns equipamentos podem causar) podem ser visualizadas na superfície do corte (análise visual). As rebarbas resultantes do corte ficaram bem visíveis nas faces superior e inferior do corte, ocorrendo imperfeições que podem comprometer o desempenho e o acabamento da peça, e que necessitariam de operações de lixamento para o acabamento do material. Todos estes detalhes podem ser observados na Figura 35 a- b.

Em relação ao compósito PO/PME (Figura 36a-b), a mudança da tonalidade do material já não foi tão evidente e a formação de rebarbas foi bem menos acentuada em relação ao ocorrido no PO/PMA. Esta característica deve-se, provavelmente, ao tamanho do resíduo de papel inserido no compósito, que torna o PO/PME mais homogêneo possibilitando uma melhor usinagem.

A operação de usinagem, em relação aos dois compósitos, não resultou no aparecimento de trincas ou no descolamento dos resíduos de papel no material. Mas ao se comparar os dois materiais, vê-se um melhor acabamento na superfície do corte no PO/PME, ocorrendo um corte mais retilíneo, com poucas rebarbas, o que não ocorreu para o PO/PMA que necessitaria de um lixamento na superfície usinada.

Figura 35 – Corte com usinagem na amostra PO/PMA: operação de corte (a) e aparência da superfície do corte (b)



Fonte: Autora

Figura 36 – Corte com usinagem na amostra PO/PME: operação de corte (a) e aparência da superfície do corte (b)



Fonte: Autora

Segundo Ritter & Farias (2010), a usinagem é utilizada devido à liberdade nas geometrias que podem ser obtidas, com uma elevada exatidão dimensional e um bom acabamento superficial, sem promover mudanças significativas nas propriedades do material, como foi observado neste trabalho para o PO/PME. Mas estes autores salientam ainda que, apesar de uma série de vantagens, a usinagem apresenta baixa velocidade, necessitando de um período de produção maior. A escolha deste processo para o PO/PME, que teve maior adequação, dependerá de fatores como tempo disponível, complexidade do produto, quantidade de produção e custo gerado.

Diferentemente dos relatos na literatura para compósitos fibrosos, onde Lopresto et al. (2016) citam que a orientação da fibra pode causar dificuldade nos processos de usinagem, provocando danos severos na peça. A performance das amostras de PO/PME e PO/PMA, nos três tipos de corte, foi beneficiada por se tratar de cargas particuladas de orientação aleatória, não interferindo no manuseio nem acarretando uma aparência irregular e gerando um acabamento melhor em relação aos compósitos reforçados com fibras. Mesmo para o PO/PMA não houve influência, apesar deste material possuir partículas maiores.

4.1.3.2 Ensaio para a avaliação da perfuração e fixação de parafuso no material.

A furação, uma operação de uso frequente em compósitos, é particularmente difícil porque o material pode lascas ou até mesmo dividir-se em camadas separadas (delaminação) na entrada e saída da ferramenta do furo, isso pode afetar a integridade estrutural e a confiabilidade em longo prazo do compósito (Xu et al., 2018).

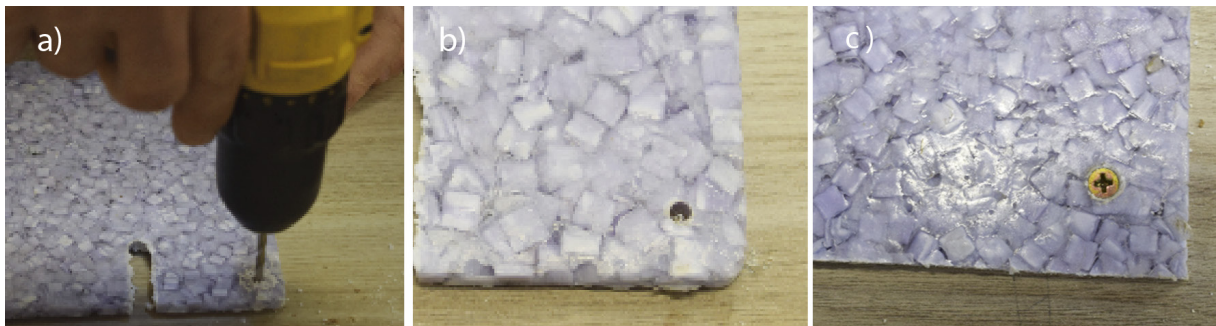
O processo de furação com a furadeira depende de parâmetros como a geometria das brocas e a forma como as arestas trabalham no interior da peça. Segundo Guimarães et al. (2009), a ação mecânica exercida pela broca deforma plasticamente a zona ao redor da superfície do furo, ocorrendo pequenas irregularidades que aumentam a probabilidade de se verificar uma iniciação de trincas devido ao aumento de tensões localizadas no interior do furo.

Segundo Sankar et al. (2014), dependendo da geometria da ponta da broca, pode ocorrer a redução da eficiência na fixação do parafuso e comprometer a qualidade da operação no compósito. Entretanto, como nos trabalhos de Eberhardt et al. (2010) e El-Sonbaty et al. (2004), pode-se fazer um pré-furo a fim de minimizar o efeito dos

gumes da broca, não comprometendo sua superfície.

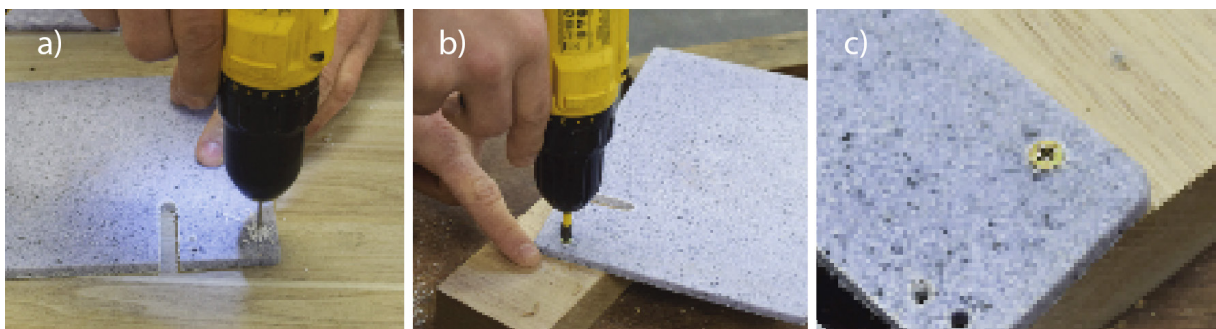
Nas Figuras 37a-c e 38a-c observa-se que a superfície dos materiais (PO/ PMA e PO/PME, respectivamente) mantiveram-se íntegras. Não ocorreu delaminação na entrada do furo, nem defeitos geométricos, ou algum dano relacionado à temperatura, na entrada e na saída do furo. O atrito da ferramenta com o compósito não provocou alterações no material que pudesse inutilizá-lo para a fixação de um parafuso. Observou-se também que não houve extração de papel que pudesse ocasionar consequências indesejáveis para a qualidade da superfície da peça nem mesmo para o PO/PMA que na operação de corte com a fresadora havia apresentado alterações (rebarbas) aparentes nas bordas das superfícies usinadas.

Figura 37 – Operação de furação do PO/PMA: furo com broca (a), aparência do furo (b) e parafuso fixado no PO/PMA (c)



Fonte: Autora

Figura 38 – Operação de furação do PO/PME: furo com broca (a), aparência do furo (b) e parafuso fixado no PO/PME (c)



Fonte: Autora

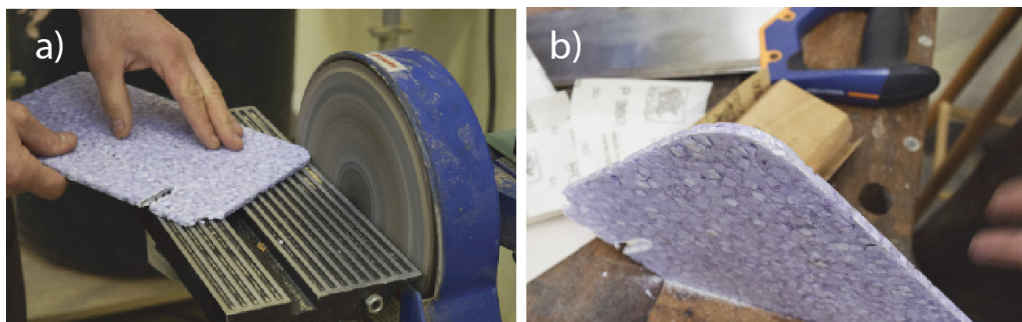
De acordo com Capello (2004), os furos podem ser realizados sem suporte, com amortecedor e com suporte sob a peça, porém o uso de suporte melhora significativamente a qualidade do furo, diminuindo o abaulamento do compósito causado pela força da broca sobre a peça. Neste procedimento, constatou-se que os dois materiais tiveram um comportamento satisfatório neste procedimento mesmo sem o uso de suporte para melhorar a qualidade do furo.

4.1.3.3 Ensaio para avaliação de lixamento do material

Os materiais produzidos (PO/PME e PO/PMA) passaram pelo processo de lixamento automático nas bordas (Figura 39a e Figura 40a). De modo geral, obteve-se padrões finais de acabamento adequados para receber revestimentos como selantes, tintas ou vernizes.

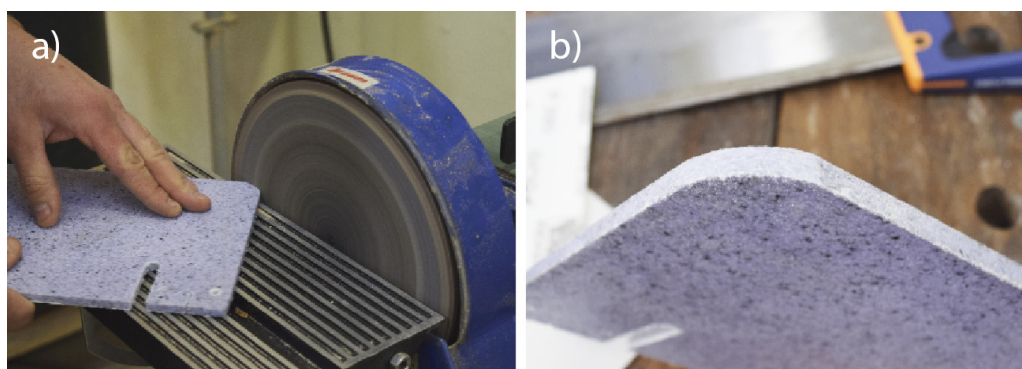
O material PO/PMA foi submetido ao procedimento de lixamento com lixadeira automática para lixamento das bordas das placas (Figura 39) e não apresentou dificuldades na execução do processo. Para este experimento, conforme as Figuras 39a e 40a, manteve-se um ângulo de contato com a lixa de aproximadamente 45° para reduzir a remoção do material. À medida que se aumentava a pressão do compósito sobre a lixa, aumentava a taxa de remoção do material, mas ainda assim não foi verificado arrancamento do papel e imperfeições nas bordas atritadas do compósito (Figuras 39b e 40b). Mesmo para o PO/PMA, que tem uma área maior de papel em relação ao PO/PME, a superfície lixada manteve-se íntegra, apresentando boa aparência, conforme observa-se nas Figuras 39b e 40b. Os dois materiais não apresentaram mudança na coloração, indicando um aumento não significativo da temperatura local no lixamento e uma adequada velocidade utilizada no equipamento.

Figura 39 – Processo de lixamento: lixamento da amostra PO/PMA (a) e bordas aparentes (b)



Fonte: Autora

Figura 40 – Processo de lixamento: lixamento da amostra PO/PME (a) e bordas aparentes (b)



Fonte: Autora

4.1.4 Intemperismo natural Compósito Poliéster /Papel

Por meio deste estudo de envelhecimento natural (Figura 41), no qual as amostras ficaram sob a influência dos fatores como, exposição à umidade, temperatura, radiação ultravioleta e ação de microrganismos, foi possível avaliar o desempenho do material em condições reais (AZWA et al., 2013). Após o ensaio, os compósitos foram analisados sob as características intangíveis, sob os aspectos visuais, considerando alterações de cor, brilho e algumas imperfeições observadas ao longo dos seis meses de exposição das amostras; e sob as características tangíveis, pela quantificação mássica e pela repetição dos ensaios mecânicos de tração, flexão, dureza e impacto após as amostras ficarem sob o efeito de intempéries pelo período de seis meses (Figura 41).

Figura 41– Amostras expostas



Fonte: Autora

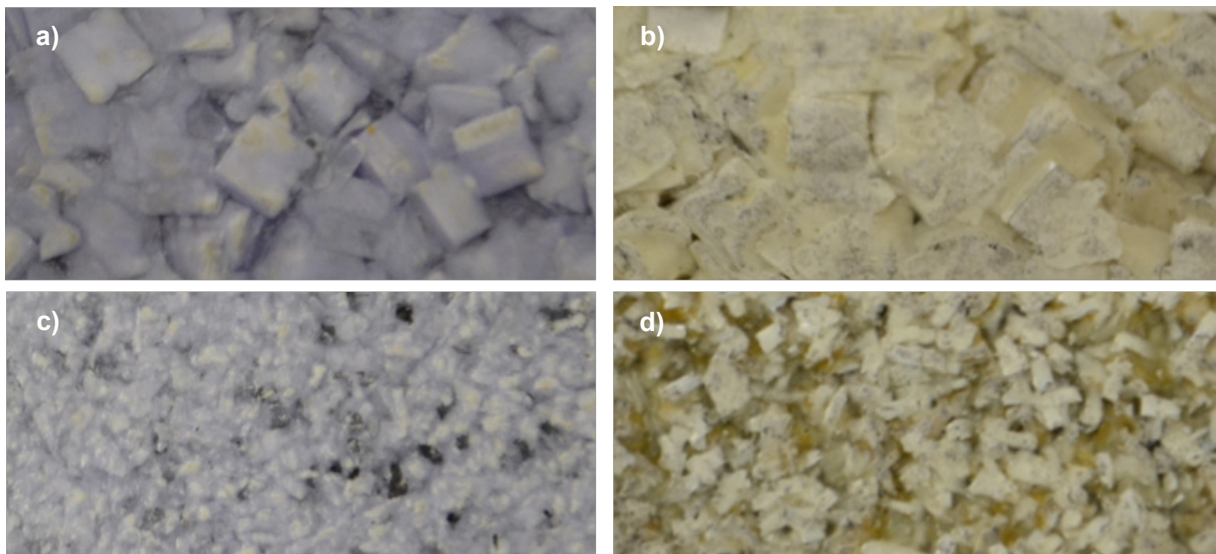
4.1.4.1 Análise visual das amostras

O material submetido ao intemperismo, durante o período de seis meses, foi analisado sob o ponto de vista visual. As alterações ocorridas em sua superfície, percebidas visualmente, podem afetar o desempenho do material, quando solicitado mecanicamente.

Por meio da inspeção visual nas amostras PO/PME e PO/PMA pode-se observar que a exposição ao intemperismo provocou alterações no aspecto visual dos constituintes (matriz e reforço). Em relação à matriz, observa-se que ocorreu

o amarelamento da resina poliéster (Figura 42 b,d), que deve ter sido causado, principalmente, pela radiação solar (Andrady et al., 1998) que incidiu no material durante o período exposto ao envelhecimento natural. Em relação ao reforço, a combinação dos fatores como chuva, radiação UV e temperatura, podem ter resultado na lixiviação da matriz, o que provocou uma maior exposição do resíduo de papel na superfície do compósito. A constituição do papel também provoca o amarelamento do mesmo.

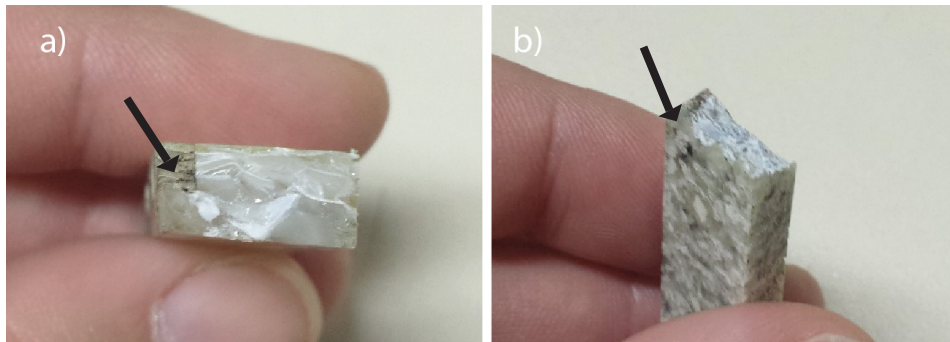
Figura 42 – Mudança no aspecto visual de amostras dos compósitos PO/PMA (A, B) e PO/PME (C, D) antes (A, C) e após (B, D) intemperismo. esc.1.1



Fonte: Autora

Ao analisar a superfície dos compósitos PO/PME e PO/PMA após o intemperismo observou-se que elas não apresentaram trincas, empenamento e delaminação quando comparadas às amostras anteriores ao envelhecimento natural. Por outro lado, algumas características como textura, perda de brilho, aspecto opaco do material e amarelamento da superfície foram verificadas após os seis meses de exposição. Para autores como, Twe & Liao (2003) e Silva et al. (2017), estas características podem ocorrer devido à radiação UV, a ação da absorção de água, a degradação dos constituintes e a perda da interação entre eles. De acordo com Silva et al (2017) a degradação pela intensidade de radiação UV no material diminui no interior do mesmo, conforme se afasta da superfície de penetração dos raios UV, desta forma este tipo de degradação tende a ser um processo superficial. Este fenômeno foi observado na Figura 43.

Figura 43 – Vista lateral das amostras em que se verifica que a degradação ocorre somente nas camadas superficiais dos compósitos. a) PO/PMA e b) PO/PME



Fonte: Autora

Assim como neste estudo, Affzan et al. (2013) pesquisaram o envelhecimento natural de compósitos de fibra de kenaf/poliéster com 70% em massa de fibra, e perceberam que após 200 dias, o compósito apresentou mudança da cor e degradação nas propriedades mecânicas.

4.1.4.2 Quantificação mássica das amostras

Em relação à alteração da massa dos compósitos observada sob o efeito do intemperismo, pode-se afirmar, conforme Tabela 10, que não houve uma variação significativa de massa final em relação à massa anterior ao intemperismo. Entretanto, ao compararmos a massa das famílias PO, PO/PME e PO/PMA, antes/após o intemperismo, existe uma variação de massa média significativa entre os materiais, de 1/3(%), podendo-se afirmar que esta diferença é por causa da natureza hidrofílica do papel (DAS, 2017) que facilita a absorção de água. Ao compararmos o PO/PMA com o PO/PME verifica-se que o primeiro apresenta um ganho em massa superior, isso pode ser devido a maior área do papel que dificultou o molhamento do mesmo pela resina, gerando assim mais vazios e facilitando a absorção de água.

Tabela 10 – Valor médio da massa das famílias para corpos de prova com dimensões de 0,5 cm × 2,5 cm × 17,5 cm

Material	Densidade antes intemperismo (g/cm ³)	Massa antes intemperismo (g)	Massa após intemperismo (g)	Varição da massa (%)
PO	1,19 ± 0,02	17,8 ± 2,0	17,9 ± 2,0	1
PO/PME	1,32 ± 0,02	24,5 ± 2,5	24,8 ± 2,6	2
PO/PMA	1,22 ± 0,02	29,3 ± 1,2	30,1 ± 1,2	3

Fonte: Autora.

4.1.4.3 Influência do envelhecimento natural nas propriedades mecânicas.

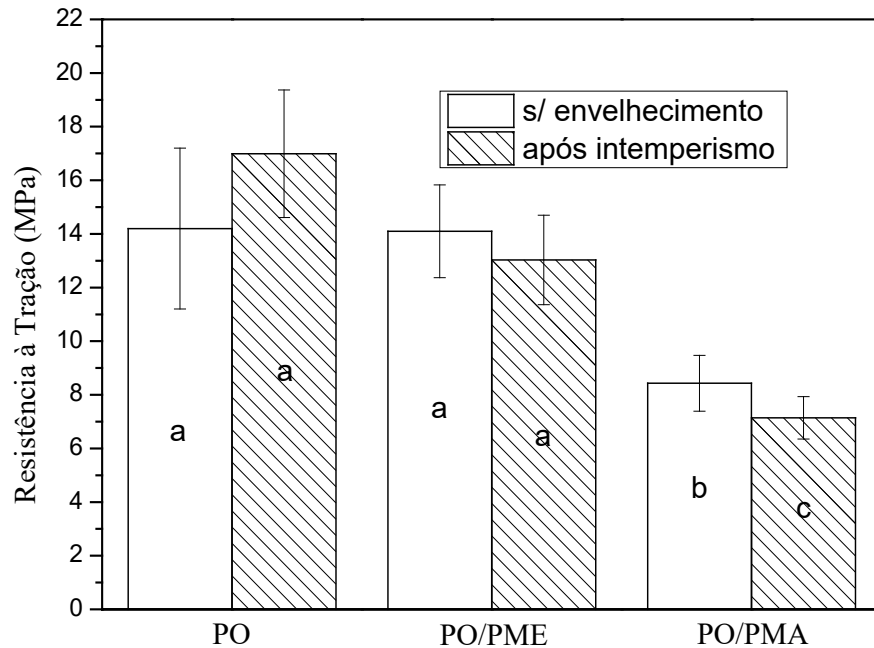
As propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados por resíduos de origem vegetal, em geral, são muito afetadas pelo intemperismo natural devido ao seu caráter hidrofílico.

No ensaio de resistência à tração (Figura 44), constata-se que houve alteração nos resultados somente para amostra PO/PMA, comparando-se os resultados das amostras antes de serem submetidas ao ensaio de intemperismo, segundo a ANOVA. A queda na resistência do PO/PMA deve ter ocorrido, provavelmente, pelo maior teor de vazios resultante da dificuldade da molhabilidade do resíduo de papel pela resina poliéster. Isso não foi verificado no compósito PO/PME devido a menor dimensão do resíduo. Sendo assim, a maior quantidade de vazios facilitou a absorção de água.

No intemperismo natural ocorrem a degradação hidrolítica, foto-oxidativa e térmica, que podem resultar em cisões de algumas cadeias do polímero, afetando diretamente a resistência à tração do material (CALEGARI, 2018). O material da carga dos compósitos, que é hidrofílico, pode reduzir a adesão com a matriz e propiciar o excesso de umidade, característica esta, também observada no trabalho de Silva et al. (2017), que também trabalhou com material hidrofílico.

Nos compósitos submetidos ao intemperismo, a interface carga/matriz é uma região crítica, onde a água pode difundir por capilaridade. Como o material de reforço deste compósito é de origem vegetal, a água absorvida cria pontes de hidrogênio reduzindo as interações entre carga e matriz (AKIL et al., 2014). Estatisticamente a resistência à tração das famílias PO e PO/PME não reduziu após o intemperismo, diferentemente da família PO/PMA, o que pode ser atribuída a maior quantidade de vazios do compósito (Tabela 10) que facilitou a entrada de água no interior do material.

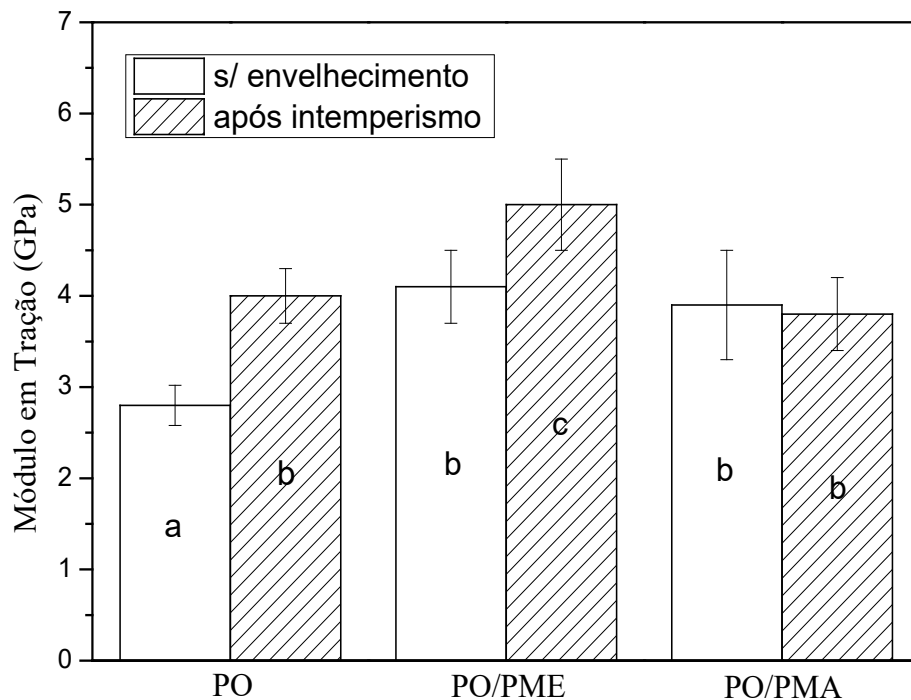
Figura 44 – Resistência à tração dos materiais compostos antes e após o intemperismo



Fonte: Autora

A elevação dos resultados quanto ao módulo de tração, após o intemperismo, apresentados para o PO e o PO/PME, deve-se a um maior grau de reticulação da resina ocorrido durante a exposição, fenômeno também observado no trabalho Albuquerque et. al., 2000. Quanto à amostra PO/PMA, observa-se que não houve redução do módulo de tração após o ensaio, segundo a ANOVA, apesar desta amostra apresentar o maior aumento percentual em massa após o intemperismo, como demonstrado anteriormente na tabela 10. Este resultado pode ter ocorrido, principalmente, pela dificuldade de umidificação dos resíduos de papel pela resina durante o processo manual de mistura na preparação das amostras, que pode ter resultado em um maior número de vazios, favorecendo a entrada de umidade no interior do compósito e influenciando no resultado do ensaio.

Figura 45 – Módulo em tração os materiais compostos antes e após o intemperismo

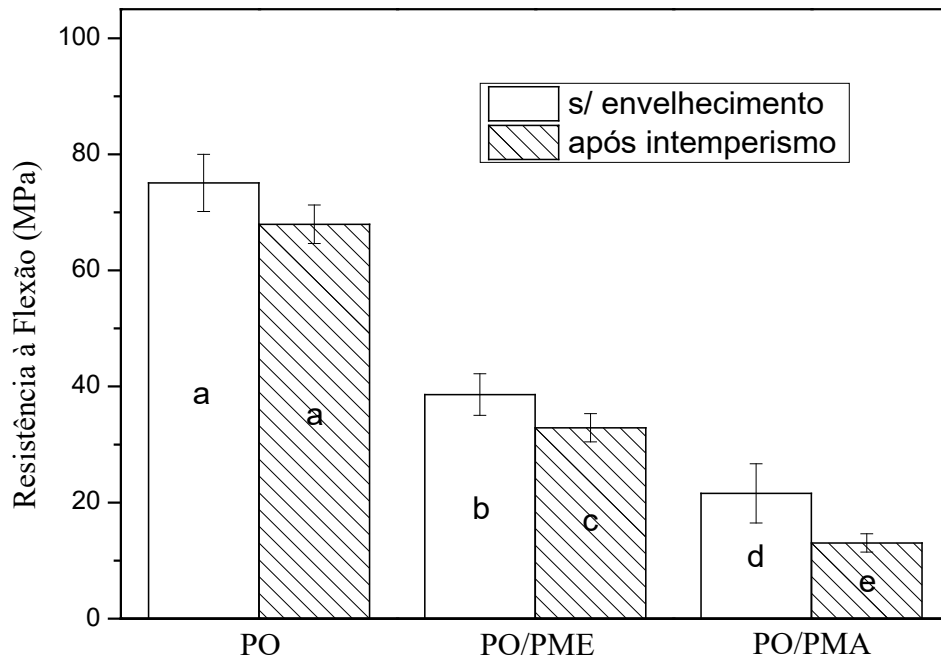


Fonte: Autora

De acordo com os valores apresentados na Tabela 10, observando-se o ganho de massa das amostras após o intemperismo verifica-se a seguinte sequência: PO/PMA > PO/PME > PO, esta sequência está relacionada com o decréscimo da resistência à flexão que foi de 9,5%, 14,8% e 39,6% para o PO, PO/PME e PO/PMA respectivamente. Diante disso, verificou-se que, para este tipo de solicitação mecânica, quando a amostra absorve umidade, esta, facilita a deformação do material polimérico. Comparando-se as amostras PO/PME e PO/PMA que possuem a mesma quantidade de resíduo de papel verifica-se que, quanto maior a absorção de água, pior a adesão carga/matriz. Esta consequência da perda de adesão em flexão também foi verificada por AKIL et al. (2009) que estudou compósitos juta/poliéster submetidos a diferentes tipos de envelhecimento.

Na literatura, o estudo do intemperismo natural foi realizado por Affzan et al. (2013) em um compósito com matriz de poliéster reforçado com 70% em peso de fibras de kenaf. Os pesquisadores observaram que ocorreu a redução significativa nas propriedades em compressão e flexão, o que pode ter sido ocasionada pelo repetido processo de aquecimento solar, a umidade da chuva e do orvalho, que podem ter levado ao descolamento da fibra e enfraquecimento da interface da fibra e da matriz do compósito.

Figura 46 – Resistência à flexão dos materiais compostos antes e após o intemperismo



Fonte: Autora

No ensaio de impacto (Tabela 11) houve um aumento na resistência dos compósitos em relação ao poliéster puro porque a inserção dos resíduos de papel tornou o material mais tenaz (RAQUEZ et al., 2010). A divergência no comportamento ao impacto das amostras sem e com intemperismo pode ser explicada pela natureza hidrofílica dos resíduos de papel e pela presença de vazios no compósito, que possibilita a absorção de umidade dos materiais, justificada pelo aumento de massa na Tabela 10. Assim, quando os materiais foram expostos à umidade (intemperismo), eles tornaram-se mais dúcteis o que conseqüentemente aumentou sua tenacidade em relação ao material sem envelhecimento (ZIVKOVIC et al., 2017).

Já, para Mejri et al. (2018), afirmam que, em relação à resistência ao impacto, um curto período de absorção de água ou uma baixa absorção, pode aumentar a mobilidade da cadeia polimérica e resultar no aumento na resistência ao impacto, entretanto, se ocorrer alta absorção de água, este fenômeno desaparece fazendo com que a resistência ao impacto seja reduzida. Essa afirmação, uma vez que houve ocorrência de chuva no período do ensaio, bem como a natureza hidrofílica da carga, podem justificar os menores valores de dureza (Tabela 11), encontrados após o envelhecimento natural, justificando, também, os resultados do PO/PMA que absorveu mais umidade que o PO/PME.

Tabela 11 – Dureza e resistência ao impacto dos materiais compostos

Material	Dureza (Shore D)	Resistência ao impacto (kJ/m ²)
PO	76 ± 0 ^a	0,69 ± 0,06 ^e
PO envelhecido	81 ± 0 ^b	1,39 ± 0,13 ^f
PO/PME	83 ± 1 ^c	1,67 ± 0,17 ^g
PO/PME envelhecido	83 ± 1 ^c	3,98 ± 0,61 ^h
PO/PMA	85 ± 1 ^d	2,25 ± 0,22 ⁱ
PO/PMA envelhecido	81 ± 0 ^b	3,54 ± 0,69 ^h

Fonte: Autora

De uma maneira geral, identificou-se que os compósitos submetidos ao intemperismo natural tiveram influência de umidade sobre a carga e a interface partícula/matriz promovendo um efeito deletério na resistência a tração e flexão do compósito. Este mesmo fenômeno pode ter causado efeito positivo para a resistência ao impacto, e redução da dureza nos compósitos, uma vez que a absorção de umidade foi pequena e o material tornou-se tenaz. Já a influência da umidade na matriz, causando a reticulação, resultou na melhora do módulo de elasticidade. Mas, apesar destes resultados, pela análise visual, este estudo constatou que este material não é recomendado para compor produtos de uso externo, pois pode ocorrer alteração na sua superfície em relação a sua coloração.

4.2 RESULTADOS COMPÓSITO AMIDO/PAPEL

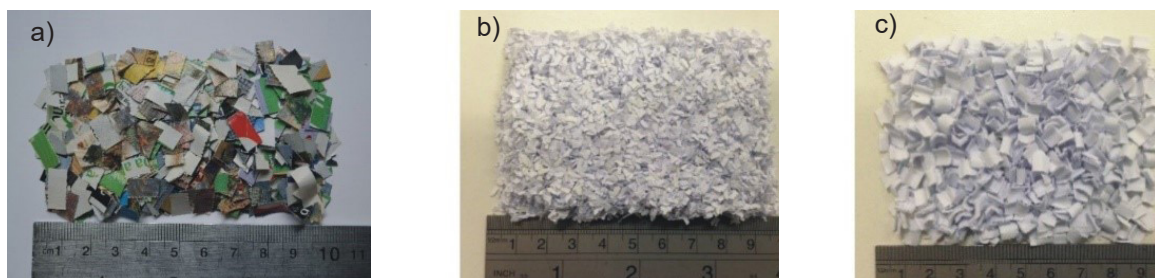
4.2.1 Testes preliminares na preparação do compósito Amido/Papel

Para a criação deste biocompósito Amido/Papel, primeiramente, foi misturado o amido com a água que resultou na gelatinização do amido. Neste processo, a água e o aumento da temperatura atuam como agentes promotores para disponibilização da amilose e da amilopectina, que afetam diretamente as propriedades do amido

(Campos et al, (2011) e ocorre a gelatinização.

Inicialmente, para o desenvolvimento deste estudo, optou-se por trabalhar com três diferentes tipos de resíduos (Figura 47). Utilizou-se papéis de revistas picados (47 a) e resíduos de papéis obtidos na Gráfica da UFRGS: papel menor (47 -b) e papel maior (47-c).

Figura 47 – Papéis de revista (a), papel menor (b) e papel maior (c)



Fonte: Autora

Foram realizados diferentes testes para chegar às proporções que resultassem uma boa processabilidade e uma consistência rígida após a sua secagem a fim de estabelecer parâmetros que certificassem que a aparência e as proporções testadas eram as ideais. A sensação tátil, num primeiro momento, serviu como um balizador para os experimentos que contribuiu para a análise da consistência da mistura e as proporções dos elementos misturados. Esta característica serviu para orientar nos testes de saturação dos elementos, dimensionando as proporções ideais dos elementos na mistura. Assim, optou-se em utilizar 36% papel, 27% amido gelatinizado e 37% de amido seco em massa. Na fase do processamento, houve ainda a preocupação com a redução de energia, quando se optou por colocar o papel seco com o amido gelatinizado, dispensando um primeiro experimento que utilizou papel molhado adicionado ao amido.

A adesão do papel ao amido, somente foi possível em função da transformação do amido de mandioca em amido termoplástico, pois, ficando em um estado gelatinizado, facilitou a aderência entre eles. Na Figura 48a pode-se observar a aparência do amido gelatinizado sem a presença de grumos e na Figura 47b a presença de grumos que podem se formar na etapa da gelatinização. Essa consistência, diferente em relação ao restante do gelatinizado traz dificuldades na etapa de dispersão do papel no amido e, se os grumos não forem eliminados na etapa de mistura, ocasiona a formação

de heterogeneidades no material final (Figura 48c). Portanto, as características do amido gelatinizado devem ser observadas e é necessário que ele tenha aparência homogênea, para que não aja um comprometimento em relação a superfície e a consistência do material.

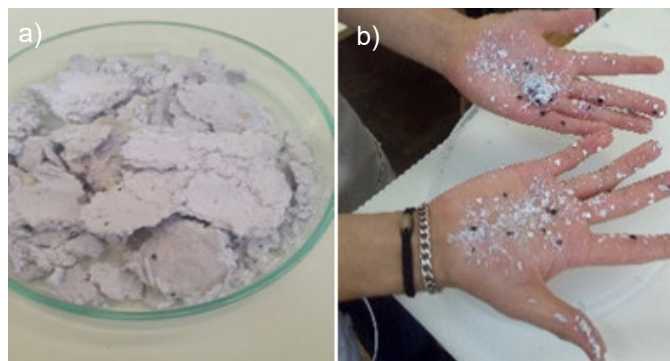
Figura 48 – Amido gelatinizado sem grumos (A), Grumos presentes no amido durante o processamento (B) e no material final (C) identificados pelo círculo



Fonte: Autora

Quanto aos testes de saturação de papel no amido gelatinizado, utilizou-se, inicialmente, 32% de papel e os teores foram aumentados até a saturação. A saturação se manifestou quando a operação de incorporação do papel no amido começou a originar uma mistura fragmentada, tornando-se quebradiça após a secagem, inviabilizando a fabricação do biocompósito. A Figura 49 ilustra a fragmentação (Figura 49a) e o aspecto visual do material após a secagem. Ao mesmo tempo, quando se colocou pouco papel (Figura 49b), a mistura manteve-se aderente, sem condições de moldagem. Nestas condições também não apresentou um aspecto visual homogêneo e, além disso, não se conseguiu chegar às condições mínimas de processabilidade.

Figura 49 – Resultado do processamento com máxima (a) e mínima (b) incorporação do reforço deste estudo

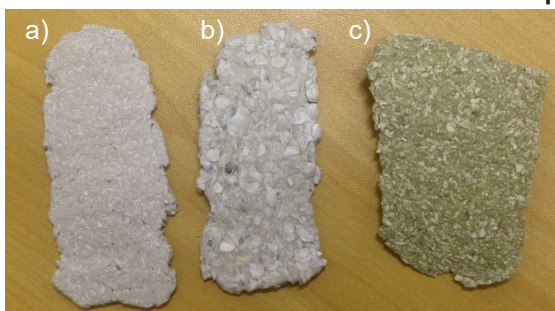


Fonte: Autora

O teor máximo de incorporação de papel no amido gelatinizado, com os métodos testados nesse trabalho, foi de 47% em massa de papel. Após esta etapa da escolha dos tipos de papéis e o estudo da máxima adição de papel pôde-se identificar as proporções ideais.

Com o resultado do trabalho feito por três pessoas, observou-se que, dependendo do esforço mecânico na qual eram misturados os materiais, as amostras apresentavam textura e visual diferenciados. À medida que se colocava mais esforço, mais macerava o papel, modificando seu aspecto visual e tornando o papel imperceptível (Figura 50 a, c); como também, diminuindo o trabalho mecânico, mantinha-se visível a aparência do papel na amostra (Figura 50 centro). Este detalhe será relevante observar, caso venha-se a utilizar um equipamento para fazer esta mistura, pois terá que cuidar-se a velocidade e o tempo de manuseio.

Figura 50 – Diferentes aspectos visuais devido à maior (b) e menor (a, c) intensidade no trabalho mecânico manual de mistura do amido com o papel. esc. 2.1



Fonte: Autora

Com os variados resultados apresentados, pode-se dizer que todas as amostras poderão trazer, pelo ponto de vista da construção, grande possibilidade de produção da massa do compósito, pois indicaram ter alcançado as características mínimas necessárias para serem moldadas sem se deformarem plasticamente após estarem secas. Mas, para fins de continuidade deste estudo, foi escolhida apenas a amostra (Figura 51) com as proporções de 64% amido e 36% papel em massa e continuar a pesquisa somente com o resíduo de papel menor (PME), por resultar em um material homogêneo, superfície lisa, onde não são identificados seus componentes, promovendo assim, uma identidade própria ao material.

Figura 51 – Amido/PME após o processamento escolhido para ser utilizado na pesquisa. esc.1.2



Fonte: Autora

4.2.2 Características tangíveis do compósito Amido/Papel

A análise das propriedades mecânicas de materiais que possuem em sua composição amido termoplástico é bastante complexa, pois há variação da razão amilose/amilopectina (constituintes do amido) e da massa molecular (ESPINACH, 2015).

Os resultados encontrados para módulo de elasticidade e resistência à tração dos compósitos estão expostos na Tabela 13. Para efeito de comparação com estudos da literatura, nesta tabela também são apresentadas as propriedades de biocompósitos desenvolvidos por alguns autores (MARENGO ET AL, 2013; CORRADINI ET AL, 2005; GIRONÈS ET AL, 2012)).

Nestes trabalhos observou-se que os plastificantes foram importantes no processamento e também modificam as propriedades mecânicas, pois ocorre o aumento da flexibilidade no material devido à redução das pontes de hidrogênio internas entre as cadeias poliméricas resultando em um aumento do espaço intermolecular (LIMA et al, 2007).

Agentes plastificantes como o glicerol (usado nos trabalhos citados na Tabela 12) resultam em um amido termoplástico flexível, que conseqüentemente reduz a fragilidade, diminui a tensão de escoamento, aumenta a flexibilidade, a tenacidade e resistência ao impacto (LIMA et al, 2007). Nas composições que contém estes plastificantes, eles permanecem no produto final e são os responsáveis pelas alterações das propriedades.

Tabela 12 – Composição associada a gelatinização do amido e os diferentes reforços

Composição da matriz e percentual mássico	Reforço	Referência
Amido termoplástico (amido (72), glicerol (18), água (10))/policaprolactona (80/20) *	Fibra de sisal	Campos et al., 2011
Amido (80 g/100 g de sólido), água (200 ml/ 100 g de sólido)	Bagaço de cana de açúcar	Marengo et al, 2013
Amido (80 g/100 g de sólido), água (150 ml/ 100 g de sólido)	Coco	Marengo et al, 2013
Amido (80 g/100 g de sólido), água (130 ml/ 100 g de sólido)	Farelo de soja	Marengo et al, 2013
Amido (35), glicerol (15), água (50)	Fibras de rami	Müller et al, 2009
Amido (71), glicerol (22), água (7)	Fibra de sisal	Gironès et al., 2012
Amido (71), glicerol (22), água (7)	Fibra de cânhamo	Gironès et al., 2012
Amido (77), glicerina (23)	Fibra de curauá	Santos et al., 2016
Amido termoplástico (Materbi® Y1014U/C)	Fibra alfa grama	Espinach et al., 2015
Amido termoplástico (Biopar®)	Fibra de linho	Cañigueral et al., 2009
Amido termoplástico (Ribawood)	Fibra de juta	Vilaseca et al., 2007
Ecobras RD 704 (blenda 48% PBAT/ 52% de amido)	Casca de arroz	Azevedo et al., 2016
Amido/breu/glicerol **	Fibra do bagaço da cana de açúcar	Mählmann et al., 2009
Amido (70)/ gelatina (15)/ glicerol (15)	-	Sebio, 2003

Fonte: Autora.

* Amostra contém outros materiais que não foram considerados na tabela devido aparecerem em proporções mínimas em relação ao todo.

** Os autores não disponibilizaram informações sobre o percentual mássico da composição.

Assim, pelos resultados expostos na Tabela 13, observa-se que um dos motivos para os valores mais altos das propriedades de tração e do módulo de elasticidade no amido termoplástico/papel pode ser inerente à ação de processamento diferenciado realizado neste experimento, na qual utiliza a água para a gelatinização do amido e a mesma é eliminada da constituição do material no final do processamento. O uso de plastificantes, nos experimentos encontrados na literatura (Tabela 12), podem

reduzir as propriedades de tração e o módulo de elasticidade. Além disso, se há pouca umidade no amido, o material torna-se frágil, por outro lado, o excesso de umidade o torna muito flexível (AZEVEDO et al, 2001).

Tabela 13 – Resistência à tração e módulo de elasticidade do material desenvolvido comparado à literatura

Material	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Referências
Amido termoplástico/papel (64:36)*	13,2 ± 2,0	2000 ± 0	-
Amido termoplástico/ policaprolactona/ sisal (72:18:10)*	3,7 ± 0,3	137 ± 23	Campos et al, 2011
Amido termoplástico/bagaço de cana de açúcar (80:20)*	7,47	-	Marengo et al, 2013
Amido termoplástico/coco (80:20)*	12,40	-	Marengo et al, 2013
Amido termoplástico/farelo de soja (80:20)*	6,41	-	Marengo ET AL, 2013
Amido termoplástico/fibra de rami (90:10)*	-	32,5	Müller et al, 2009
Amido termoplástico/fibra de sisal (80:20)*	2,8 ± 0,3	151 ± 14	Gironès et al, 2012
Amido termoplástico/fibra de cânhamo (80:20)*	4,0 ± 0,6	182 ± 35	Gironès et al, 2012
Amido termoplástico/fibra de curauá (80:20)*	5,71	5,7 ± 0,9	Santos et al, 2016

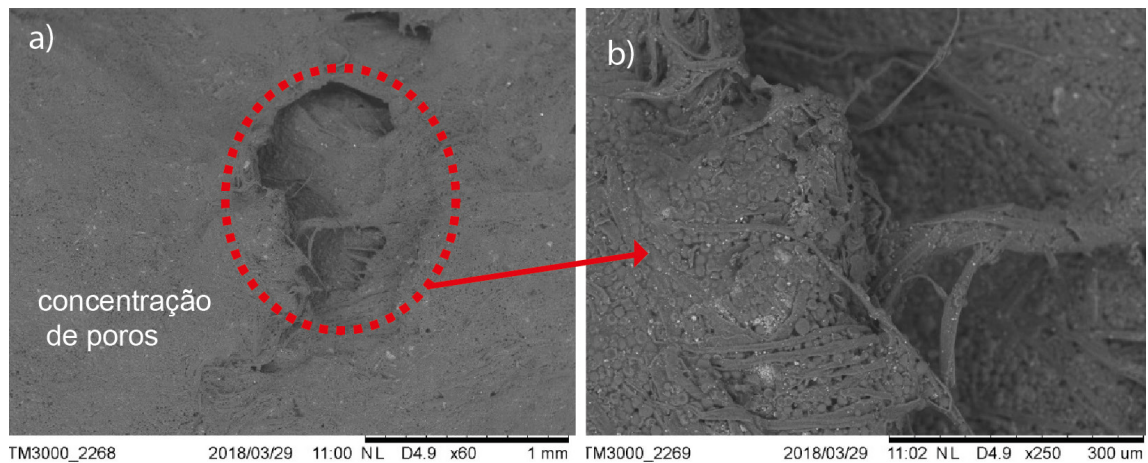
Fonte: Autora.

* Valores em percentual mássico

Outras justificativas para os valores mais altos destas propriedades pode ser pelas proporções das misturas, os estudos encontrados apresentaram uma fração mássica de reforço em 20% (Tabela 13), enquanto o amido termoplástico desenvolvido neste trabalho permitiu uma incorporação de 36% de carga; e pela maior contribuição do resíduo de papel nas propriedades deste material. Esta proporção máxima de papel na mistura manteve uma boa aderência ao amido, como pode ser verificado na microscopia eletrônica de varredura (Figuras 52 e 53).

Verifica-se ainda na Figura 52a a presença de poros (pontos escuros no material) que podem ser oriundos da evaporação da água durante o processamento do material. Na Figura 52 b é possível identificar grânulos de amido no material desenvolvido o que indica que o processo de transformação realizado pode não promover a gelatinização completa do amido utilizado na composição. Vale destacar também que, na estratégia de conformação utilizada é incorporado uma parte do amido que não sofre a gelatinização prévia e, tal procedimento, confere características na composição que facilitam a moldabilidade do material.

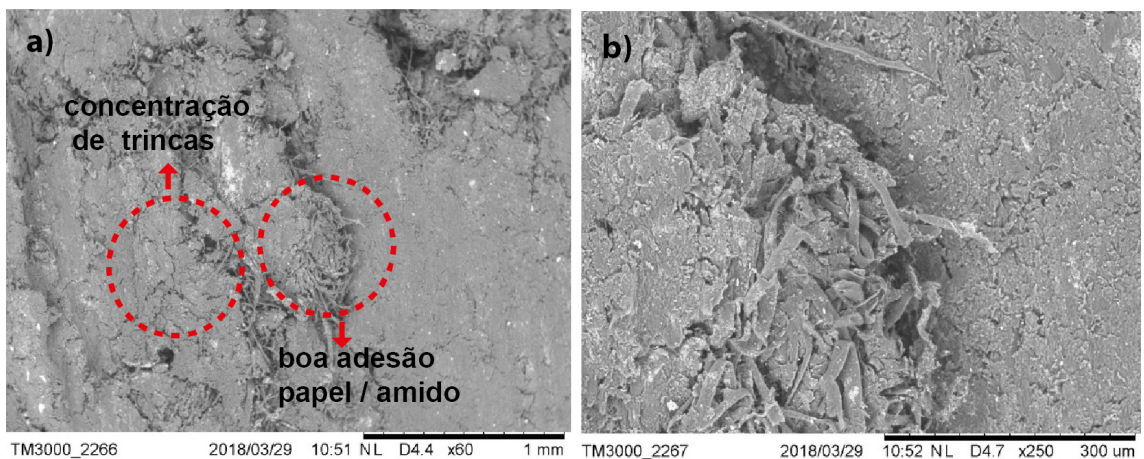
Figura 52 – Superfície superior do material desenvolvido



Fonte: Autora

A Figura 53 apresenta a região de fratura do corpo de prova do ensaio de tração, nesta verifica-se a ausência de arrancamento da carga na matriz e observa-se trincas no material, bem como a boa adesão da matriz com o papel (Figura 53 b).

Figura 53 – Superfície de fratura do ensaio de tração



Fonte: Autora

A Tabela 14 apresenta os valores de resistência à flexão do compósito estudado e compara com outros da literatura utilizando amido como matriz. Conforme López et al., (2015) a performance mecânica de biocompósitos a base de amido termoplástico e fibras naturais é fortemente influenciada por diversos fatores, tais como, origem botânica do amido, plastificante (tipo e concentração), características da carga (origem, razão de aspecto, dispersão, quantidade e orientação dentro da matriz), método de processamento e as condições ambientais (temperatura e umidade). Neste caso, acredita-se que a maior quantidade de carga comparado aos trabalhos apresentados na Tabela 14 possa ter levado a menores valores para esta propriedade. Além disso, a quantidade de carga e o procedimento para a retirada da água pode ter originado uma porosidade significativa (como apresentado na Figura 52), portanto, acredita-se que o aprimoramento no processo, em especial, associado às condições de eliminação da água pode resultar em amostras com menor porosidade, o que promoveu aumento nas propriedades avaliadas.

Tabela 14 – Resistência à flexão do material desenvolvido comparado à literatura

Material	Resistência à flexão (MPa)	Referências
Amido termoplástico/papel (64:36) *	15,7 ± 1,8	
Amido termoplástico/fibra alfa grama (80:20) *	52,8 ± 3,1	[17] Espinach ET AL, 2015
Amido termoplástico/fibra de linho (70:30) *	25,0 ± 0,6	[18] Cañigueral Et AL, 2009
Amido termoplástico/fibra de juta (70:30) *	36,4 ± 1	[19] Vilaseca et al, 2007

Fonte: Autora.

*Valores em percentual mássico

No ensaio de impacto tanto o reforço quanto a matriz influenciam diretamente nos resultados. O ensaio de impacto mede a resistência do material a propagação da trinca, assim, quando o reforço está na forma de partícula ele absorve menos energia do que na forma fibrosa, antes da fratura do compósito (DEBNATH et al., 2004). Na Tabela 15 estão apresentados os resultados de resistência ao impacto de materiais utilizando o amido como matriz. Na Tabela 15 verifica-se que os resultados apresentados na literatura são superiores ao resultado deste estudo, o que acredita-se ser devido ao tipo de reforço, do agente da gelatinização e dos agentes plastificantes existentes nos materiais pesquisados na literatura.

Ainda, de acordo com Bledzki et al. (2015) quando são utilizadas fibras de madeira macia ou partículas como cargas, estas são muito flexíveis e curtas para impedir eficientemente a propagação da trincas Calegari et al, (2017b). Além disso, a maior flexibilidade dos biocompósitos de amido gelatinizados por glicerol (Tabela 12), também devem contribuir para os maiores valores de resistência ao impacto obtidos na literatura, comparados ao deste estudo, ambos apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resistência ao impacto do material desenvolvido comparado à literatura

Material	Resistência ao impacto (kJ/m²)	Referências
Amido termoplástico/papel (64:36) *	2,7 ± 0,3	
Amido termoplástico/fibra de linho (70:30) *	16,3 ± 0,0	[18] Cañigueral Et AL, 2009
Amido termoplástico/fibra de juta (70:30) *	10,5 ± 0,8	[19] Vilaseca et al, 2007
Amido termoplástico/PBAT/casca de arroz (36,4:33,6:30) *	18,0	[20]Azevedo et al, 2016

Fonte: Autora.

*Valores em percentual mássico.

A Tabela 16 apresenta os valores de dureza de materiais que contém amido termoplástico em sua formulação. O ensaio de dureza é um ensaio superficial que mede a resistência à penetração do material. Müller et al. (2009) realizaram um estudo comparando as propriedades mecânicas do amido termoplástico com fibras de rami e verificaram que as fibras de rami aumentaram significativa a dureza do material, além disso, eles também averiguaram que quando o amido é gelatinizado com uma maior quantidade de glicerol o material torna-se mais flexível e, conseqüentemente, apresenta um valor de dureza inferior (CAMPOS et al., 2011).

Como o ensaio de dureza é um ensaio pontual, e diferentemente das demais propriedades estudadas neste trabalho obteve-se um resultado similar à literatura, acredita-se que nesta propriedade a dimensão do material de reforço tem menor influência do que no ensaio de impacto, reportado por Bledzki et al. (2015). Além disso, o fato de ter-se usado como meio de gelatinização a água, e a mesma não permanecer no material após o fim do processamento, diferentemente dos demais autores, que utilizaram outros materiais como meio de gelatinização, pode ter contribuído para um valor satisfatório nesta propriedade.

Tabela 16 – Dureza do material desenvolvido comparado à literatura

Material	Dureza (Shore D)	Referências
Amido termoplástico/papel (64:36) *	58 ± 2	
Amido termoplástico/fibra do bagaço de cana de açúcar (70:30) *	65	[21] Mählmann et al, 2009
Amido termoplástico/fibra de rami (90:10) *	47	[14] Müller et al, 2009

Fonte: Autora.

*Valores em percentual mássico.

A condutividade térmica média ($0,210 \pm 0,007$ W/mK) do material pesquisado neste trabalho, tal como o material desenvolvido por Sebio (2003), apresentaram uma condutividade térmica superior em relação aos polímeros sintéticos, isso se deve provavelmente à carga adicionada ao material polimérico Patnaik et al, (2010). Apesar destes resultados, os valores mensurados conferem ao material um baixo grau de transferência de calor, ainda podendo ser considerado um material isolante, como os materiais desenvolvidos por Dorbica et al.(2009), que trabalharam com amido termoplástico/resíduo de fibra de algodão com um percentual mássico de fibra de algodão de 5 %, e encontraram valores em condutividade térmica de 0,2 W/mK, e concluíram tratar-se de um material isolante.

4.2.3 Características Intangíveis dos compósitos Amido/papel

Como já foi explicado na seção 3.2.1.4, as características intangíveis foram analisadas ao longo do desenvolvimento do compósito. Alguns atributos estéticos, práticos e simbólicos foram-se evidenciando conforme ia-se manipulando ou avançando em seu desenvolvimento, que serão descritos na sequência da evolução desse desenvolvimento. Assim, desde a idealização do compósito, buscaram-se combinações que mantivessem o cuidado com a sustentabilidade ambiental. Este quesito envolveu decisões como a escolha dos recursos que causassem menor impacto ao meio ambiente. Para tanto, optou-se por utilizar o resíduo de papel como carga à matriz de amido de mandioca devido a este material ser de fonte renovável.

Para o material ser aceito, deve haver uma identificação. Com a mistura dos dois elementos e conforme seu processamento, este material pode perder a caracterização dos materiais de origem, criando uma nova identidade que o assemelha ao gesso, caso fique bem macerado ou com a aparência do granito, com uma maceração moderada.. Essa identificação que pode ser dada ao material, poderá ser um dos recursos quando for utilizado em um novo produto.

Na Figura 54 o material expressa os seus constituintes, no caso do papel de revista, da primeira etapa da pesquisa, na Figura 54b pode ser identificado os pedaços de papéis brancos e na Figura 54c com o papel menor, a mistura apresenta semelhança ao granito. A associação que se dá com estes materiais é devida a transparência do amido, que ressalta o papel matizado do resíduo.

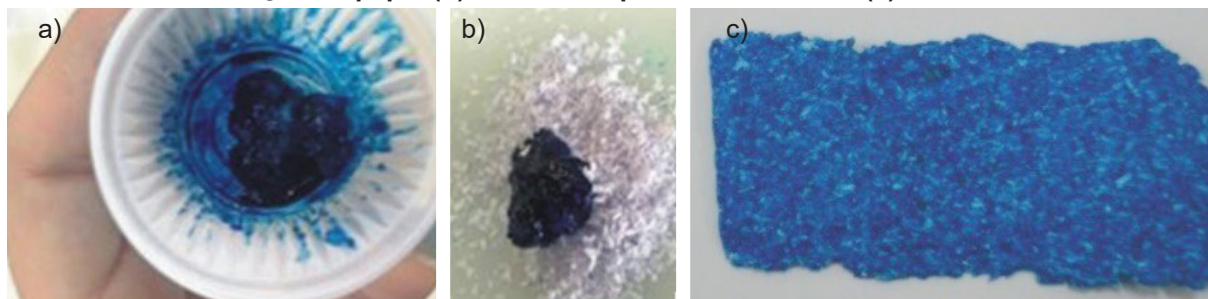
Figura 54 – Compósito com papel de revista/amido (a) Compósito papel maior/amido (b) Compósito papel menor/amido (c). esc 1.1



Fonte: Autora

Observou-se que se podem incorporar cores variadas a este material. Testou-se a incorporação da cor através da inserção de pigmentos ao amido gelatinizado e depois misturado ao papel. O recurso do uso da cor possibilita que aumente as aplicações do material, conforme a criatividade do designer e/ou as necessidades do produto/cliente. Neste sentido, buscou-se explorar o aspecto visual do material pela pesquisa da inclusão de cores, visando promover maiores possibilidades de recursos, e ainda para manter-se o foco no aspecto ambiental (sustentabilidade), procurando-se utilizar corantes naturais que pudessem ser agregados à mistura. Foram utilizados os corantes alimentícios nas cores, azul, chlorella e vermelho bordô. O corante foi agregado ao amido gelatinizado antes da adição do papel, conforme a Figura 55. Este procedimento de agregar cor no amido em um estado gelatinoso possibilita uma excelente incorporação do pigmento.

Figura 55 – Incorporação do pigmento ao amido gelatinizado (a) com posterior adição de papel (b). A cor incorporada ao material (c). esc 1.1



Fonte: Autora

Nos testes com pigmentação foi possível constatar também que pode-se aderir diferentes massas do material. Foram feitos testes com cores distintas no sentido de explorar os aspectos de aderência deste material. Este procedimento aconteceu com a união manual dessas massas e após passados pelo processo de laminação. Os resultados indicam que a união das amostras é viável uma vez que apresentaram boa adesão, não ocorrendo descontinuidade entre as massas, conforme verifica-se na delimitação de cada cor apresentada na Figura 56. A característica de boa adesão do material entre si, salienta a sua versatilidade, surgindo como mais uma característica positiva do material que poderá ser explorada pelos designers.

Figura 56 – Amostra da aderência do amido/papel, com os três pigmentos. esc 1.1

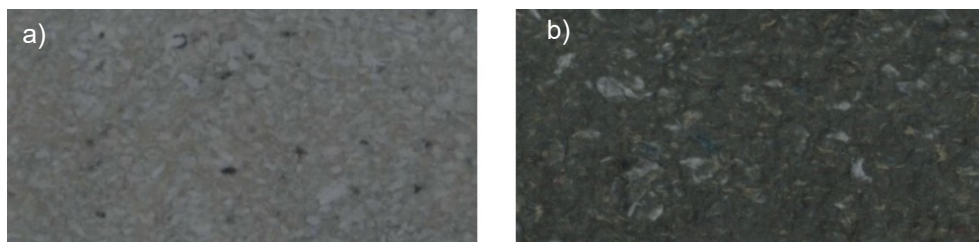


Fonte: Autora

Analisando as amostras sob o aspecto da transparência pode-se observar características do material que o diferenciam e o valorizam para possíveis utilizações em objetos de decoração. A qualidade da transparência é própria dos materiais que são capazes de deixar passar a luz. A transparência do material criado depende da quantidade de papel que é inserido ao amido, pois o amido gelatinizado deixa passar luz. A transparência da matriz polimérica permite visualizar as características geométricas e as cores próprias do resíduo inserido. Pela constituição final do

material, pode-se associar, pela sua aparência, ao granito e ao mármore, isto se dá pela transparência do amido, que ressalta o papel matizado do resíduo (Figura 57). O material criado, nas proporções que foram definidas, com 36% de papel, não é transparente. Na criação de um produto poderá ser explorado tanto a transparência quanto a opacidade, dependendo do projeto desenvolvido pelo designer.

Figura 57 – Aparência do amido possibilitando associações com outros materiais
a) A/PME, b) Amido/revista. esc 1.1



Fonte: Autora

Quanto à aparência do material, observa-se que o brilho não é um elemento inerente aos dois elementos incorporados, mas quando o amido é submetido ao processo de gelatinização, além de ficar transparente, permite que o composto adquira uma superfície lisa que possibilita refletir a luz, configurando um aspecto brilhoso ao material.

Os materiais foram observados nos processos de fabricação, como corte, lixamento e conformação. No material estudado foram exploradas múltiplas geometrias, e ao confeccionar as amostras manualmente, percebeu-se que estas poderão ser confeccionadas sob diferentes configurações, dependendo do contexto em que for explorado ou do molde que for utilizado porque alcançaram as características mínimas necessárias para serem moldadas sem se deformarem plasticamente após estarem secas. Após a extração da água na estufa o material apresentou uma contração volumétrica de 4,5%. Como pode ser visto na Figura 58, constata-se que a forma não irá limitar a configuração do produto, favorecendo a sua confecção nas mais variadas conformações e dimensões.

Figura 58 – Apresentação de diferentes modelos geométricos (a,b) e possibilidade de montagem de formas variáveis (c). esc 2.1



Fonte: Autora

A textura do material pode ser percebida pela visão e/ou pelo tato. Neste trabalho verificou-se que dependendo do esforço mecânico na qual eram misturados os materiais, as amostras apresentavam textura e visual diferenciados. À medida que se misturava os componentes, mais macerava o papel, modificando-se seu aspecto visual e tornando a geometria original do papel imperceptível no compósito (Figura 59a); ainda, diminuindo-se o tempo de mistura, mantinha-se visível a aparência do papel (Figura 59b). Assim, conforme a maceração do papel seu aspecto fica mais rústico, diminuindo o tempo de mistura, ou tornar-se mais sofisticado, aumentando o tempo de mistura.

Segundo Dischinger (2009) outra forma de analisar os materiais é pela associação de agradabilidade do material estar atrelada a uma suavidade do material/superfície, assim, através da maceração dos materiais, pode-se provocar sensação que os remete ao rústico ou ao sofisticado, dependendo do maior ou menor pressão sobre os materiais.

Figura 59 – Diferentes aspectos visuais devido à intensidade no trabalho mecânico da mistura do amido/papel: a) papel menor macerado e não macerado, b) papel maior macerado e não macerado c) papel de revista macerado e não macerado. esc 1.2



Fonte: Autora

Ao analisar-se o material quanto a sua temperatura, podem-se explorar as suas características em relação à estética. Os materiais mais quentes são mais agradáveis e tornam os produtos e espaços mais aconchegantes e os materiais frios são mais sofisticados e modernos (DIAS, 2009). A amostra desenvolvida com papel menor, principalmente a mais macerada e sem o acréscimo de cor, percebe-se como um material mais frio, pode dar uma conotação moderna e inovadora ao produto criado.

No desenvolvimento deste compósito observou-se ainda, que o uso do material constituído apenas pelo resíduo de papel e amido (colorido ou não) fica restrito às aplicações que não envolvam o uso de ambientes com umidade. No entanto, utilizando-se técnicas de impermeabilização no material, ampliam-se as possibilidades de uso, porque podem apresentar melhores qualidades de desempenho, confiabilidade e durabilidade, quesitos importantes para que o material possa ser considerado de qualidade, promovendo ainda a confiabilidade, na qual o material necessita para ser aceito e utilizado. A escolha do impermeabilizante menos agressivo à natureza, também é um quesito importante para que as características citadas anteriormente se mantenham e não cause nenhum prejuízo à saúde e ao ambiente. A impermeabilização também pode ser benéfica para a limpeza e a higiene, impedindo umidade, fungos e manchas no material.

Durante a experiência houve um cuidado com a inserção de outros elementos para que não ocorresse nenhum tipo de alteração física, pois este material, com as constituições utilizadas nos experimentos, não apresenta toxicidade e nem impurezas que possam provocar odor ao ser manuseado.

Na análise quanto aos atributos simbólicos, a questão da sustentabilidade tem valorizado o produto e levado a mudanças de hábito no consumo. Em função de esta característica ser muito forte no material que está sendo desenvolvido, pode-se dizer que este é um indicativo relevante para a quebra de paradigma, porque o usuário poderá sentir-se beneficiado com um novo produto que utiliza este material, em função de valores intrínsecos como reutilização, sustentabilidade e biodegradabilidade e provocar uma sensação positiva ao material e proporcionando uma maior aceitação deste material em novos produtos. A cultura e tradição do novo material vai depender de como ele se insere no mercado.

A característica de envelhecimento pode ser um atributo relevante ao material. Em função dos constituintes do material desenvolvido serem de origem vegetal, podem não resistir à ação do tempo e suas propriedades irem se modificando, acarretando o envelhecimento precoce do mesmo. O aspecto positivo é que pode propiciar ao desenvolvimento de produtos de vida curta, com um tempo pequeno de decomposição. Assim, dependendo do produto, esta característica de rápido envelhecimento através da degradação é uma vantagem que poderá beneficiar a que o produto se destina e ainda, irá conferi-lo como um produto biodegradável.

A expectativa de criar-se materiais que resultassem com melhor eficiência energética, fez com que se reduzisse uma etapa do processo, eliminando o procedimento de molha do papel e conseqüentemente a energia dispensada para a sua secagem.

As associações que este material pode evocar com outros materiais podem valorizá-lo, por exemplo, com a identificação com o granito ornamental, que pode remeter à durabilidade. Além disso, associação com o natural, biodegradável, podem colocar este material em segmentos do mercado na qual o valor sustentabilidade seja a prioridade.

O seu aspecto visual, a sensação tátil e os seus componentes de origem vegetal o remetem ao atributo natural. Este material tem a vantagem de ultrapassar as características e as possibilidades de uso de alguns materiais naturais, permitindo a redução de preço em relação a estes materiais, e ainda, possibilitando a sua multiplicação para atender um maior número de pessoas. Isso faz com que o atributo artificial seja vantajoso ao material.

Com relação aos atributos autêntico e imitação, observa-se que para o sucesso e afirmação deste novo material no mercado, as suas características devem ser bem especificadas e descritas para que sobressaiam a autenticidade do mesmo. Cada material deve ser usado de maneira que fortaleça seus atributos, sua aparência natural e suas qualidades intrínsecas (DIAS, 2009).

Segundo as experiências laboratoriais, o compósito desenvolvido pode ser obtido de forma artesanal ou industrial. Devido a sua consistência ser de fácil moldabilidade e adaptação, pode ser explorado positivamente nas duas formas de fabricação.

Assim, pelas características intangíveis observadas neste material, ele pode ser classificado um material inovador. Isto constata-se pelo caráter inédito de utilização dos componentes, pela possibilidade de reutilização e ainda, de poder gerar produtos inovadores. Acredita-se que, as características sustentáveis vislumbradas neste material, poderão reforçar a identidade dos produtos, e, agregar valor à imagem de qualquer produto produzido.

Analisando o atributo em relação ao preço, existe a possibilidade de o material ser acessível, uma vez que amido se encontra disponível a um custo baixo e o papel pode ser adquirido por doações (e.g. de órgãos públicos). Fazendo-se uma análise em relação à produção de materiais similares, tais como termoplásticos convencionais,

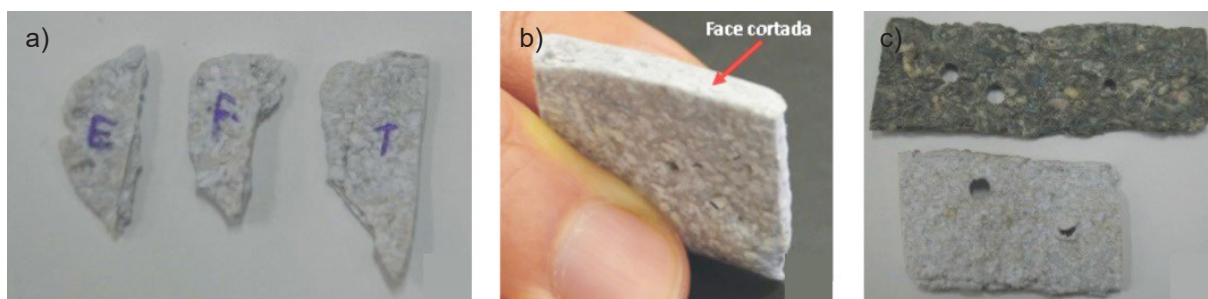
visto que o processo de produção não necessita de maquinário sofisticado, pode-se considerar que o material não terá um custo elevado. Verifica-se também, que ao utilizar um material de resíduo pré-consumo, elimina-se etapas de fabricação reduzindo o consumo de energia no transporte e nos custos.

Este material pode ter valor social no momento em que promove geração de serviços a diferentes segmentos, promovendo a integridade social e a geração de renda a comunidades de baixo poder aquisitivo.

4.2.4 Processo de fabricação

Os testes feitos com o material indicam que podem ser agregados alguns dos procedimentos Figura 60, como operações de corte com estilete, faca e tesoura (Figura 60a) e furação (Figura 60c). Observa-se que ao cortar o material, essa superfície perde o brilho (Figura 60b) e nos processos de lixamento e texturização podem conferir ao material aspecto brilhoso.

Figura 60 – As mostras após serem cortadas com estilete, faca e tesoura, respectivamente (a); destaque para face cortada (b); e amostra após a furação(c)



Fonte: Autora

O acabamento dos materiais cortados e furados obtiveram bons resultados, podendo-se afirmar que, para o desenvolvimento de produtos, caso seja necessário o corte ou furação, este novo material permite um padrão aceitável sob o ponto de vista de acabamento.

O acabamento dos materiais, especificados na Tabela 17, apresenta os resultados qualitativos em relação aos processos de corte (estilete, faca e tesoura) e furação (furadeira e parafuso).

Tabela 17 – Resultados obtidos na operação de corte

	Amido/Papel Jornal	Amido/Papel Pequeno	Amido/Papel Grande
Estilete	Difícil	Impossível	Impossível
Faca	Moderado	Moderado	Moderado
Tesoura	Fácil	Fácil	Fácil

Fonte: Autora.

O estilete foi a ferramenta com a qual, efetivamente, obteve-se maior dificuldade para cortar o material. Entre a tesoura e a faca, o corte com a tesoura apresentou um acabamento melhor.

Em relação à etapa de furação, as amostras com papel resíduo da gráfica apresentaram maior dificuldade para furar com parafuso em relação à amostra de papel de revista. No quesito corte com a furadeira todas as amostras apresentaram facilidade para obter o furo. Durante a operação de furação com a furadeira houve resvalo no início do contato da furadeira com o material de papel grande. Os três materiais no processo de furação com o parafuso apresentaram rebarba no lado oposto ao da entrada do parafuso.

Os experimentos identificaram que as amostras, apesar de constituírem-se de amido e papel, configuram-se como um material rígido e difícil de quebrar, demonstrando que, a partir da união destes dois materiais, pode-se agregar valor a estes dois constituintes. É possível ainda afirmar que peças com formatos mais complexos e de maiores espessuras deverão ser cortadas com equipamentos com maior potência, como serra elétrica, laser, etc.

4.2.5 Impermeabilização do compósito Amido/papel

Nos testes de impermeabilização realizados com o compósito Amido/Papel buscou-se analisar o comportamento do material em relação à absorção de água com quatro diferentes impermeabilizantes tendo-se como referência o comportamento das amostras sem o impermeabilizante. A escolha destes impermeabilizantes deve-se às características fornecidas pelos fabricantes, na qual fatores como, inexistência de metais pesados, substâncias não tóxicas e solubilidade em água, foram decisivos para a escolha, porque se aproximam dos aspectos sustentáveis do compósito

desenvolvido. A composição dos impermeabilizantes dos vernizes Ecolac (E) e Marítimo (V) são à base de água e os revestimentos com PU da Mamona AGT 1315 (A) e o revestimento PU da Mamona UG 132 A (U) são resinas de poliuretano vegetal a base de óleo de mamona.

A tabela 18 apresenta os valores médios de absorção de água em 2h e 24h encontrados para os ensaios feitos com Amido Puro (AP) e as amostras com os outros revestimentos. Logo após, são apresentadas as descrições dos comportamentos observados.

Tabela 18 – Valores médios em percentual de absorção de água dos materiais desenvolvidos

AP	2 Horas			24 Horas		
	1 Demão	2 Demão	3 Demão	1 Demão	2 Demão	3 Demão
	60,68 ± 10,90					
A	2,84 ± 0,85	0,51 ± 0,81	0,00 ± 0,00	28,90 ± 4,90	4,74 ± 3,72	0,04 ± 0,05
U	2,38 ± 0,10	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	24,80 ± 3,56	1,40 ± 0,13	0,04 ± 0,00
V	1,18 ± 0,24	0,61 ± 0,08	0,00 ± 0,00	27,49 ± 4,14	4,32 ± 0,02	2,20 ± ,17
E	11,63 ± 1,79	1,35 ± 0,20	0,11 ± 0,11	60,54 ± 11,51	8,19 ± 0,44	5,23 ± 0,12

Fonte: Autora.

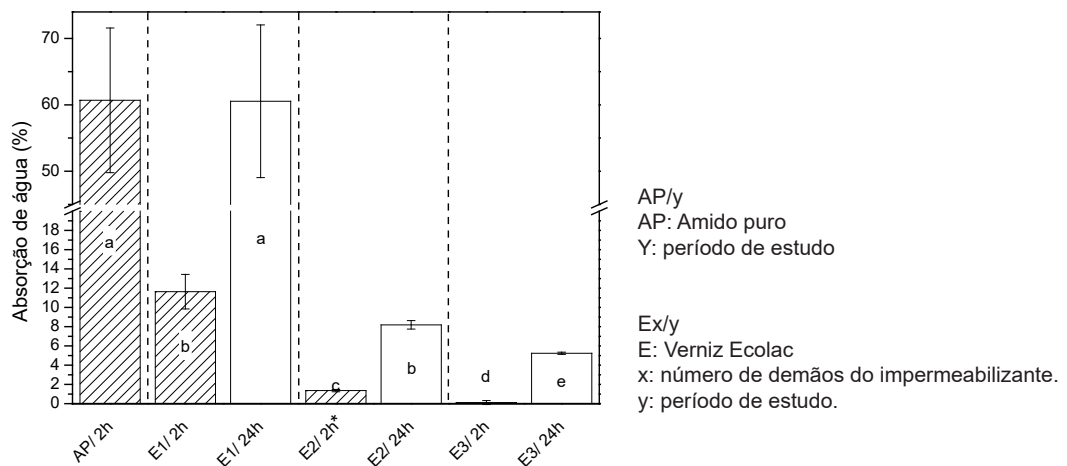
Primeiramente, foram submetidas ao ensaio de absorção de água as amostras que não passaram pelo processo de impermeabilização. Pela análise dos dados, pode-se observar que nas amostras sem recobrimento AP0a, AP0b, AP0c, após 2 horas inseridos na água, houve um aumento percentual médio de 60,68% em massa das amostras. O material perdeu sua consistência e houve dificuldade para verificar a massa das amostras que foram retiradas da água após 2 horas de imersão. Em função deste comportamento, as amostras sem impermeabilização não foram submetidas aos experimentos de 24 horas de imersão. Esses resultados evidenciam o caráter hidrofílico deste material.

O impermeabilizante **verniz Ecolac (E)**, entre todas as condições apresentadas na Tabela 18, foi o que demonstrou os piores resultados. Após 2h submersas em água, as amostras já apresentavam pegajosidade e proporcionaram uma sensação

de estarem úmidas. Em 24h, com uma demão, as amostras ficaram totalmente deformadas e um índice de absorção de 60,54 % de água foi constatado. Assim, houve um aumento considerável na absorção de água após 24h, o que evidencia a ineficiência deste impermeabilizante para reduzir a habilidade de absorção de água apresentada originalmente pelo compósito Amido/papel. Pelos resultados apresentados na ANOVA constata-se que com uma demão, em 24h, o material absorveu uma quantidade equivalente ao material sem recobrimento por 2h.

Conforme a Figura 61, em 24 horas, para duas e três demão as amostras apresentaram uma redução na absorção de água em relação a uma demão e, apesar das amostras manterem-se visualmente iguais ao estado inicial, absorveram até 60%, 8% e 5% de água, para uma demão, duas demão e três demão respectivamente.

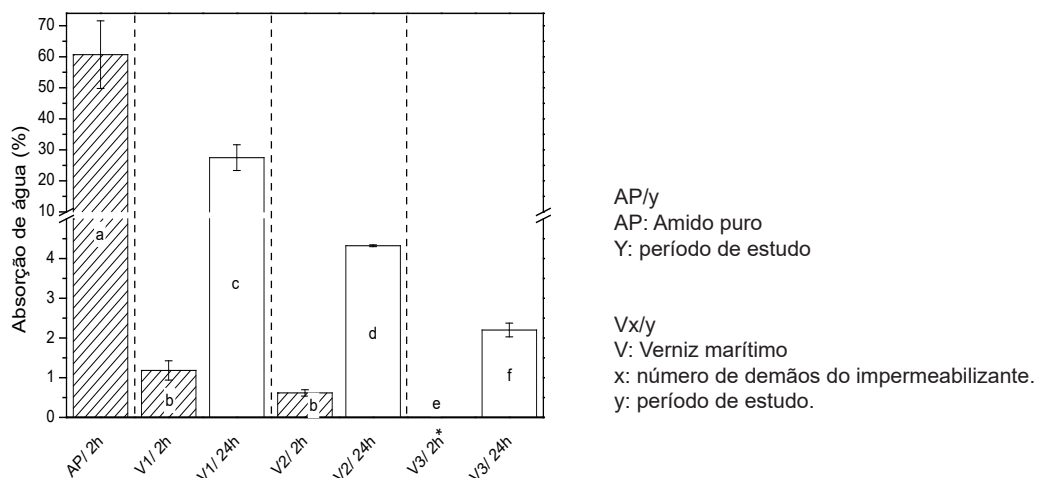
Figura 61 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante



Fonte: Autora

O impermeabilizante **verniz marítimo (V)** foi satisfatório, de acordo com a norma NBR 13.818 (INMETRO) para duas e três demão em 2h. Nos resultados obtidos em 24h, alcançou um índice inferior a 3% com três demão e apresentou uma absorção elevada para uma e duas demão (Figura 62). Quanto a aparência das amostras verificou-se que, para uma demão, ao término de 24h, houve um inchamento em algumas regiões próximas ao vértices das amostras. Já para duas e três demãos as amostras não apresentaram nenhuma alteração visível.

Figura 62 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante V



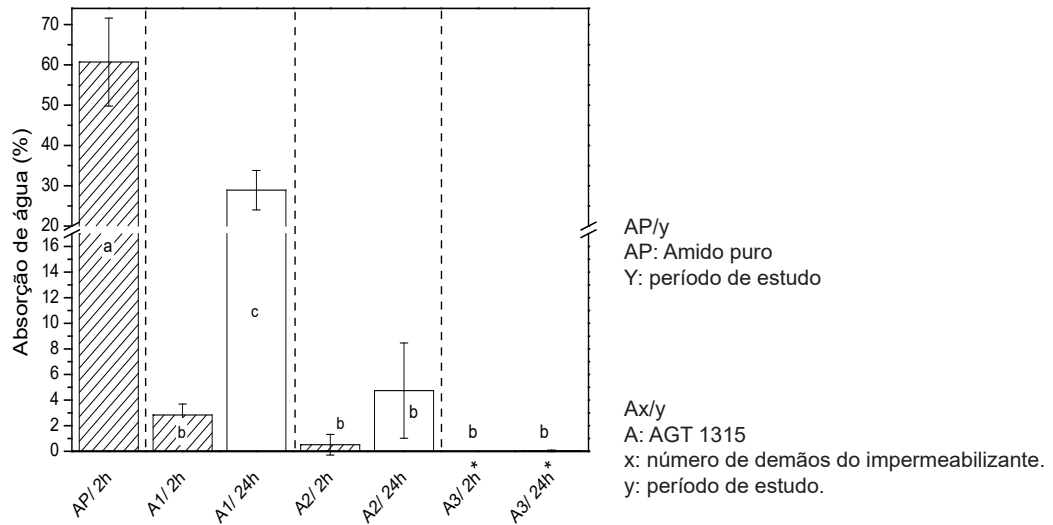
Fonte: Autora

Na análise do impermeabilizante **PU da mamona AGT 1315 (A)** observou-se que, com apenas uma demão, houve uma média de absorção da água de 2,84% quando os corpos de prova ficaram inseridos na água pelo período de 2h. Nestas condições, visualmente, não foram verificadas alterações aparentes na superfície das amostras provenientes da absorção de água, além disso, elas mantiveram-se iguais e não ficaram pegajosas. Já, quando foram inseridas por 24h, houve uma absorção de água média de 28,90%, e as amostras apresentaram-se deterioradas nos vértices.

Nas amostras com duas demão que foram submetidas a 2h de exposição á água, absorveram um valor médio 0,51% de água e na sua aparência não foram observadas deformidades em função dessa absorção. No período de 24h também não houve mudanças aparentes, isto é, as amostras se mantiveram iguais apesar do aumento de absorção de água que foi de 4,74 %, ocorrendo o mesmo comportamento nas amostras com três demão, em que foram encontrados valores médios de absorção de 0,00 e 0,04% nos períodos de 2h e 24h.

A Figura 63 apresenta os valores médios de absorção de água comparando a amostra sem recobrimento com as amostras impermeabilizadas com o revestimento PU da mamona AGT 1315, nos períodos de 2h e 24h. Pela análise da Figura 63, verifica-se que, a eficiência do impermeabilizante ocorreu com as amostras de duas demãos, apresentando resultado estatisticamente igual a partir de duas horas de imersão.

Figura 63 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante A



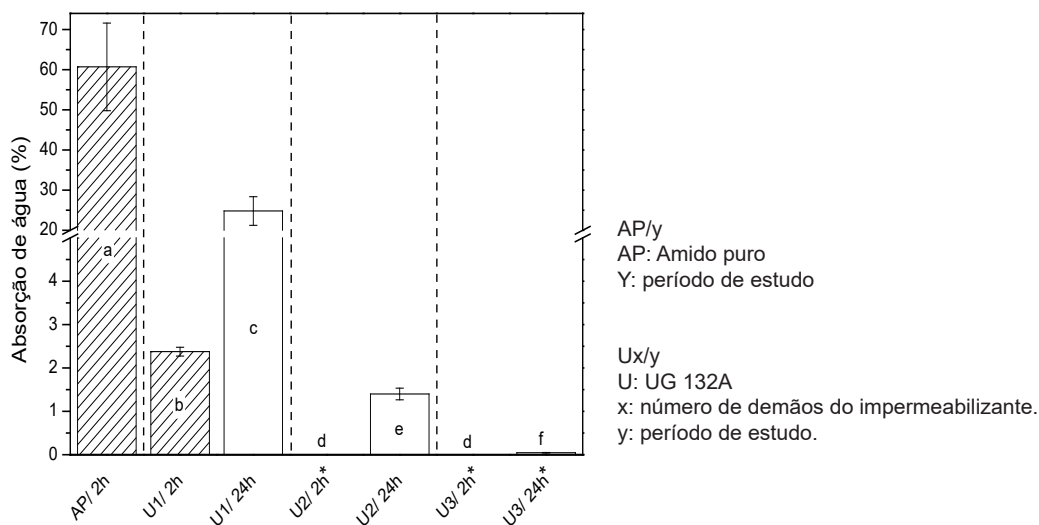
Fonte: Autora

No procedimento com o impermeabilizante **PU da mamona UG 132 A (U)** observou-se que nas amostras com uma demão de impermeabilizante, por 2h e 24h, os índices foram semelhantes ao impermeabilizante A. Obtiveram um índice acima de 2% para 2h e acima de 24% em 24h, não obtendo uma impermeabilização satisfatória em 24h. Nestas condições, visualmente, foram verificadas alterações na superfície das amostras, bem como pegajosidade após a absorção de água.

Nas amostras de duas e três demãos, para 2h e 24h, este produto apresentou características de baixa absorção de água de acordo com a metodologia utilizada neste trabalho. Sendo assim, pode-se afirmar que já para duas demão (2h=0,00 para 2 demão e 24h=1,40 para 2 demão) este material tem uma excelente eficiência sendo utilizado em contato com a umidade.

A Figura 64 apresenta os valores médios de absorção de água comparando a amostra sem recobrimento com as amostras impermeabilizadas com o revestimento PU da mamona UG 132 A (U) de acordo com as especificações da Tabela 6, nos períodos de 2h e 24h. Pela análise da Figura 64, no período estudado, verifica-se, a partir da análise da ANOVA, que a eficiência do impermeabilizante também ocorre a partir de duas demãos, tanto para 2h quanto para 24h, conforme a norma NBR 13.818 (INMETRO).

Figura 64 – Análise da absorção de água nas amostras após aplicação do impermeabilizante U



Fonte: Autora

4.2.5.1 Análise comparativa entre os impermeabilizantes utilizados

A grande absorção de água observada no material biodegradável produzido, a ordem de 60% em média, e a perda de integridade do mesmo com esse nível de absorção, evidenciam a necessidade de realizar procedimentos que o protejam dos efeitos da incidência de água. Caso contrário, teria um número muito restrito de produtos nos quais poderiam ser aplicados.

Os resultados obtidos neste estudo permitiram definir o impermeabilizante e o número de demãos necessárias para obter-se uma proteção eficiente em relação à absorção de água. Além disso, como apresentado na literatura, além de minimizar a absorção de água, o uso de impermeabilizantes pode evitar a ocorrência de micro organismos no material criado, que, em função da ação combinada da água e da temperatura, podem reduzir a vida útil do material durante o seu uso Koenig & Huang (1994).

Quanto aos impermeabilizantes estudados, pode-se afirmar que os resultados evidenciam que o uso de três demãos foram suficientes para alcançar uma cobertura eficiente para resistir à imersão em água por 2h, conforme demonstrado na tabela 18.

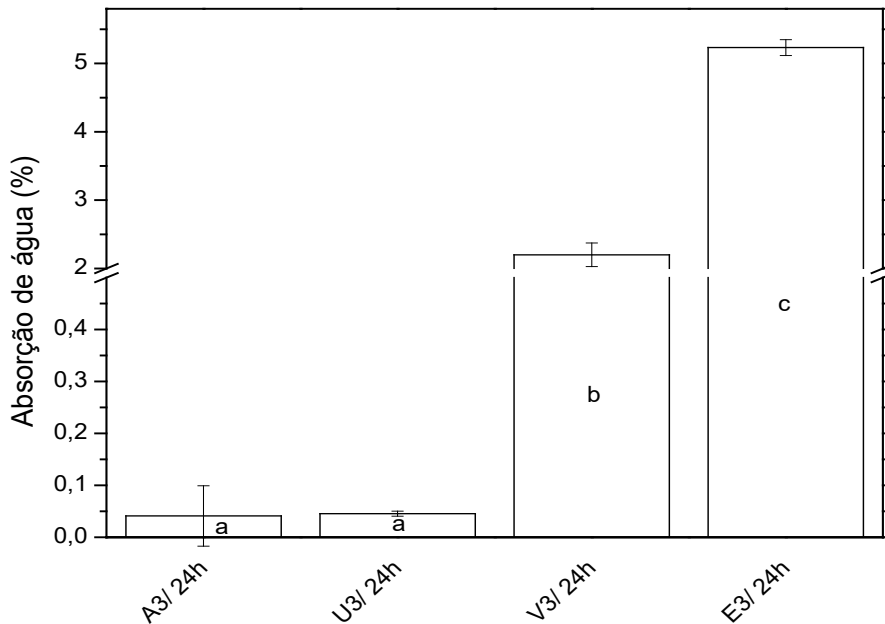
Os índices de absorção de água com uma demão, no período de 24h, foram altos para todas as amostras, evidenciando que, dependendo dos requisitos de resistência à água necessários para aplicação deste material, será inevitável a realização de

duas ou três demão de impermeabilizante para obter-se uma cobertura mais eficiente.

Comparando os resultados dos impermeabilizantes A, U, E com o V para 2 horas em uma demão, observa-se que este produto obteve os melhores resultados em relação aos demais, mas ressalta-se que os resultados de A e U ainda estão dentro dos padrões de baixa absorção (0 a 3%).

Já, com três demãos, entre os impermeabilizantes testados, conforme os resultados apresentados na Figura 65 os revestimentos A e U foram os que demonstraram o melhor desempenho conforme a ANOVA.

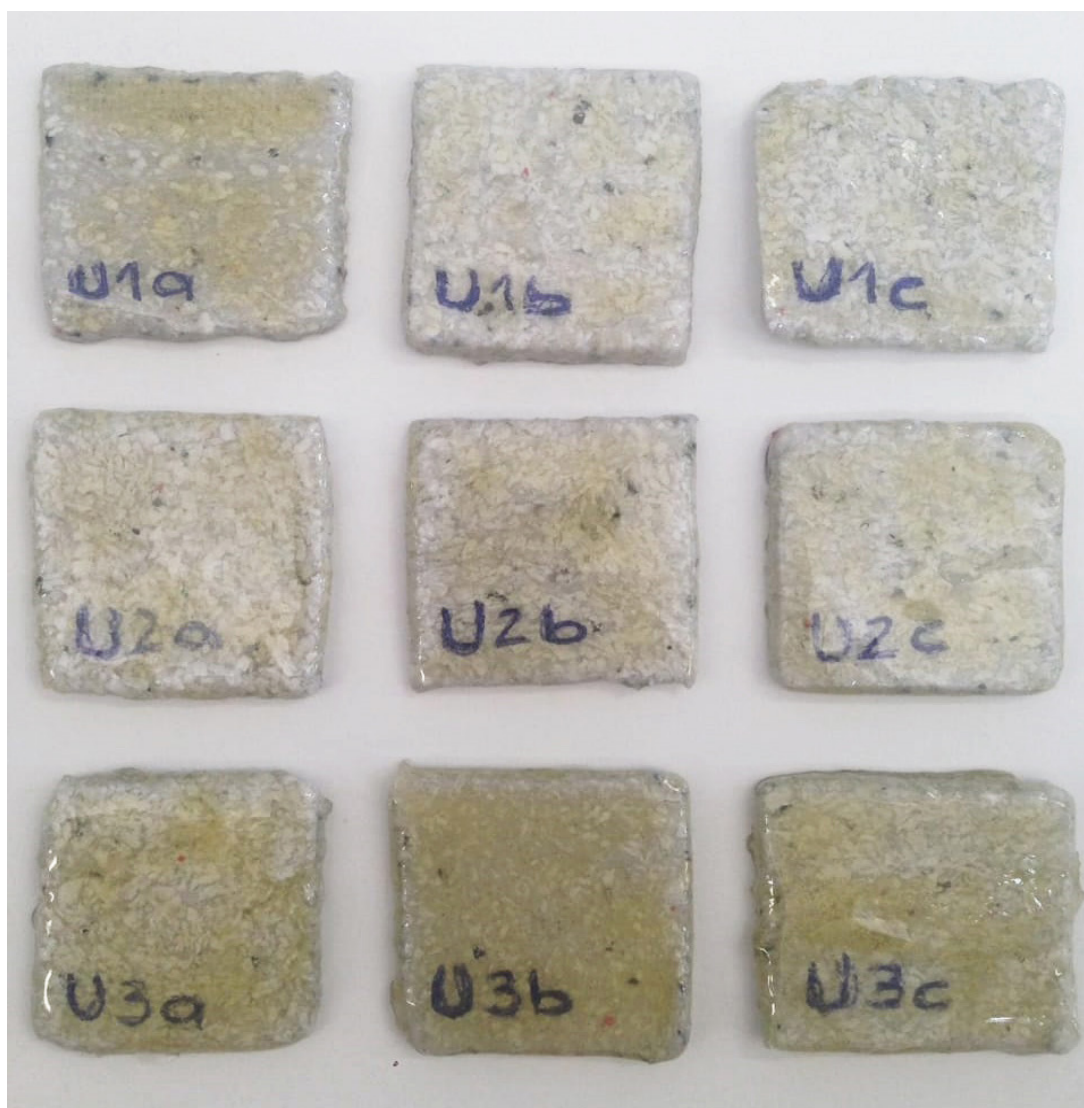
Figura 65 – Comparação da absorção de água dos impermeabilizantes para 3 demãos/24 horas



Fonte: Autora

Finalmente, na análise entre todos os impermeabilizantes com duas demãos em 24h, observa-se que o impermeabilizante U de acordo com a norma NBR 13.818 (INMETRO) apresenta baixa absorção, obtendo o melhor resultado (Figura 66). Além disso, para uma demão, 2 horas, foi o que apresentou o mais baixo padrões de absorção entre todos os impermeabilizantes testados. O impermeabilizante UG 132 A (U) tem ainda como benefício, conforme o fabricante, o fato de ser um material inerte e não tóxico, que pode ser utilizado em contato com água potável e alimentos (IMPERVEG,2019). Portanto, pode-se concluir que, entre todos os impermeabilizantes estudados, este apresentou as melhores condições para ser utilizados no compósito A/PME desenvolvido nesta tese.

Figura 66 – Foto das amostras impermeabilizadas. esc 1.1



Fonte: Autora

Após a exposição dos resultados evidenciados neste capítulo, serão discutidas as potencialidades investigadas ao longo do trabalho em relação aos compósitos Poliéster/Papel e Amido/Papel.

5 INOVAÇÕES PARA O DESIGN A PARTIR DOS NOVOS MATERIAIS

A utilização estratégica de materiais é um dos mais influentes meios em que os designers podem valer-se para comunicar e criar conexões entre os produtos e seus usuários. Desse modo, espera-se que os materiais devam ter, não só boas características físico/químicas, como também, características que valorizem o produto nos aspectos simbólicos, estéticos e práticos, para que ele possa ser lembrado pelo o que ele remete, pela relação com seu uso e sua aplicabilidade (DIAS, 2009).

Faruk et al. (2012), afirmam que devido aos problemas e às novas exigências ambientais, aumentou a demanda por materiais não-convencionais intensificando-se o desenvolvimento de compósitos. As indústrias automobilística, de construção e de embalagens, têm voltado-se para o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais que, sendo usadas com polímeros, tendem a aumentar as possibilidades de uso destes novos materiais.

Como já foi citado por Borsoy et al. (2011), Fowler et al. (2006) e Huda et al. (2008) o baixo custo e a densidade dos compósitos poliméricos ampliam as aplicações destes materiais e ainda causam menor impacto ambiental e reduzem o risco à saúde quando as fibras de vidro são substituídas por fibras vegetais.

Nesse sentido, a pesquisa de materiais tem impulsionado o desenvolvimento de materiais alternativos que procuram inovar quanto às questões de usabilidade, segurança, sustentabilidade e reciclagem. Segundo Sanjay et al. (2015), o desenvolvimento de compósitos, suas tecnologias relacionadas ao design e aos processos de manufatura são avanços importantes na história da engenharia dos materiais e muito utilizados em diversos segmentos da indústria (SILVA, 2010).

Já para Ashby e Johnson (2011), as áreas de pesquisas de engenharia de materiais e design complementam-se e se interligam-se na busca de novos materiais, ficando explícito o novo enfoque que é dado à engenharia dos materiais em função do design; e do interesse que é dado pelo design em relação ao material/processamento/propriedades. Nesse contexto, Karana et al. (2017) afirmam que os designers industriais possuem habilidades únicas para combinar propriedades técnicas e características intangíveis dos materiais no processo de desenvolvimento de produtos. E Sörensen (2019) vai além, reforça que no início do curso em design, os alunos têm preconceito em relação aos materiais, mas que eles precisam ser introduzidos ao processo de

seleção de material de uma maneira aberta, baseado em métodos de design científico, para que este conhecimento os capacitem nas escolhas futuras de novos materiais.

Assim, no processo de desenvolvimento de materiais, considera-se que o conhecimento do seu comportamento, propriedades e características, tanto tangíveis (caracterização física e mecânica) quanto intangíveis (caracterização subjetiva), sejam fundamentais para a compreensão do seu desempenho, uma vez que estes atributos poderão ser essenciais no processo de design de produto (ASHBY, 2014). A análise sob estes aspectos é importante para que designers e profissionais da área possam ter segurança na utilização destes materiais no projeto de novos artefatos, proporcionando uma visão sistêmica que os conduzem a novos padrões de produção.

Neste contexto, a opção por desenvolver compósitos, analisar suas características e possibilidades de fabricação, em uma pesquisa de doutorado em Design, pode ser positivo a medida que traz o conhecimento para impulsionar novas pesquisas e disponibilizar materiais alternativos para desenvolvimento de novos produtos.

Nesta pesquisa, especificamente, o estudo das características tangíveis e intangíveis desses materiais permitiram oportunizar um conjunto de atributos que poderão servir de banco de dados para estudos futuros. E, principalmente, este estudo permite viabilizar a reutilização dos resíduos gerados na própria instituição de ensino em que foi desenvolvida a tese, trazendo alternativas para o seu reuso dentro da política de sustentabilidade da Gráfica da UFRGS.

Para tanto, após o estudo das características tangíveis e intangíveis dos compósitos desenvolvidos, apresenta-se o estudo das possibilidades de aplicações a partir das matrizes utilizadas.

5.1 RESINA POLIÉSTER

Na literatura encontra-se referência de uso deste material para ser incorporado na formação de compósitos. Penczek et al., 2005, já comenta que o poliéster tem sido amplamente utilizado em compósitos reforçados com fibras vegetais devido às suas vantagens de baixo custo e boa processabilidade.

Na constituição do compósito, o poliéster cumpriu a função de matriz, envolvendo e agregando uma elevada quantidade da carga, dando forma e rigidez ao material, favorecendo a mistura e o processo de moldagem por apresentar-se no

estado líquido. Quanto ao resíduo de papel, incorporado ao poliéster, não apresentou comportamento de reforço, somente agiu como carga, porque não proporcionou melhoria significativa nas propriedades mecânicas dos compósitos, mas o arranjo dos dois materiais apresentou características relevantes que motivaram a pesquisa.

As características encontradas no poliéster que o qualificam para a produção de materiais podem ser resumidas como fácil moldagem, manuseio e rapidez da cura. Neste contexto, o que influenciou na escolha do poliéster, além da inclusão de uma grande quantidade de resíduos, mesmo sem uma melhora significativa nas propriedades mecânicas, foram questões plásticas e ambientais. Uma vez que estas características constituem-se importantes para a criação de artefatos que não requeiram propriedades mecânicas elevadas, e sim, remetam ao produto uma tendência inovadora, sustentável e estética, e possibilite novas destinações ao resíduo de papel prolongando seu ciclo de vida, este material poderá ser transformado novamente, sendo reutilizado como carga moída ou incinerados por processos químicos (SILVA, 2011).

5.1.1 Características tangíveis/intangíveis X possibilidades de aplicações dos compósitos Poliéster/papel

Esta pesquisa possibilitou evidenciar algumas características dos materiais criados (PO/PME e PO/PMA) que permitem afirmar que podem haver outras utilizações para os resíduos de papéis oriundos de trabalhos gráficos.

Nos resultados aferidos pelas caracterizações dos compósitos Poliéster/papel, constatou-se que, com exceção da resistência à flexão, os materiais pesquisados apresentaram propriedades mecânicas similares ou superiores as da resina poliéster pura.

Pela análise das características intangíveis verificou-se que pode-se agregar valor aos materiais e vislumbrar interesse por parte de designers para o desenvolvimento de produtos com estes materiais mais alternativos.

Em relação ao seu uso, pela análise visual dos compósitos, principalmente do PO/PME, pode-se verificar a semelhança visual destes compósitos com granitos, e pela análise dos resultados dos ensaios mecânicos pode-se observar que estes obtiveram índices muito similar às características do MDF (CES – Edupak, 2012), podendo-se sugerir o uso em móveis e objetos de decoração.

Em relação aos processos de fabricação, alguns autores como Durão et al. (2013), Lopresto et al. (2016) e Karatas & Gokkaya (2018) verificaram que a ineficácia de um material frente a técnicas de fabricação pode causar rejeição da peça ou diminuição da sua vida útil. Estes autores salientam que técnicas de fabricação, tais como torneamento, furação e fresamento, são cada vez mais necessárias como processo para compósitos e podem ser aplicadas com sucesso, se usadas as ferramentas corretas e forem alcançadas as condições de usinagem adequadas.

Ferreira (2015) também chama atenção para os defeitos de delaminação, pois imperfeições resultantes dos processos de furação são muito comuns. E Alves et al (2010), afirmam que vários fatores podem influenciar a qualidade geral dos componentes processados e que, para obter-se um produto de qualidade, é necessária uma combinação adequada destes fatores, evitando assim delaminação, arrancamento de fibras, perda de adesão fibra/matriz e danos decorrentes do aquecimento durante o processamento.

Para esta pesquisa, as técnicas de fabricação foram utilizadas após a moldagem de materiais compósitos para atribuir a forma final ao produto. Neste estudo, os experimentos com processos de corte, furação e lixamento foram importantes para identificar-se a compatibilidade a essas técnicas, de modo a possibilitar futuras aplicações em produtos. Assim, baseado nos referenciais da literatura citados anteriormente, e ao que diz respeito aos compósitos estudados, pode-se afirmar que houve eficácia dos materiais frente a essas técnicas de fabricação descartando-se rejeições das peças e possibilitando a vida útil dos produtos manufaturados que forem produzidos com estes materiais.

A importância desta área de estudo é devido às limitações encontradas em relação ao estudo do uso de ferramental e da inexistência de pesquisas de possíveis defeitos inerentes ao próprio comportamento dos compósitos (como trincas, arranchamentos, e outros). O conhecimento do comportamento dos compósitos viabiliza a comunicação entre o designer e o moldador. Neste estudo constatou-se que é possível realizar as etapas de fabricação com os compósitos, uma vez que estes mantiveram a aparência original e os equipamentos não acarretaram danos ao material.

Observa-se ainda, após análise do comportamento destes compósitos em relação aos equipamentos que foram submetidos, que estes materiais, devido a facilidade de moldagem, tem indicação também, para criação de produtos moldados,

com reduzido uso de equipamentos de corte.

No estudo do intemperismo, de uma maneira geral, os dois compósitos estudados, são recomendados para compor produtos de uso interno, pois pode ocorrer alteração na sua superfície em relação a sua coloração com a incidência de raio UV e água.

Para o estudo da usabilidade e aplicabilidade dos materiais criados buscou-se na literatura pesquisas similares em relação às características mencionadas anteriormente.

No estudo de Akindapo et al. (2017), que sugerem o desenvolvimento de amortecedores de triciclos com compósito de casca de amendoim/epóxi, observou-se propriedades similares em flexão e tração aos obtidos nesta pesquisa. Trein & Santos (2017), apresentaram compósitos com MDF com resultados semelhantes de flexão, tração, impacto e absorção de água. Neste estudo foi sugerido aplicações em chapas, para design de móveis e fachadas. Ainda nos estudos de Dweib et al, (2004), que compara o compósito de resina de óleo de soja e resíduo de papel com a madeira, verificou-se resultados nas propriedades mecânicas em flexão similares a desta tese.

Comparando-se a estes estudos buscados na literatura, observa-se que, pelas caracterizações resultantes nos materiais criados, pode-se sugerir estas aplicações para uso destes novos materiais, ficando evidenciado ainda que, pelas características obtidas, estes materiais, se utilizados para produtos similares aos sugeridos na literatura, poderão oferecer qualidade, desempenho, confiabilidade, resistência e durabilidade.

Ainda pelas características intangíveis, atributos visuais, estéticos e simbólicos também podem ajudar na orientação quanto à destinação final destes materiais. Pode-se dar como exemplo, o compósito PO/PME estudado que, devido à semelhança visual com o granito, pode agregar um forte apelo comercial para objetos de decoração e mobiliário, devido a sua semelhança a materiais mais nobres, tendo ainda como vantagem custos mais baixos e a reutilização de resíduos, tornando-se mais acessíveis ao usuário e benéfico ao meio ambiente.

Portanto, de uma maneira geral, em relação às caracterizações analisadas nesta tese, pode-se afirmar que os materiais compósitos obtidos com Poliéster/resíduos de papéis apresentaram indicações que possuem propriedades compatíveis para o desenvolvimento de produtos. Constata-se assim, que este estudo contribui para

que designers tenham conhecimento do potencial que este material pode oferecer, e que poderão fazer uso dele para desenvolvimento de móveis (bancadas de mesa), ladrilhos, revestimento interno para veículos, objetos de decoração entre outros.

A seguir, na tabela 19, são apresentadas as características tangíveis dos materiais estudados relacionadas aos materiais que possuem aplicações similares, como o MDF e a madeira plástica. Além disso, apresenta-se ainda as características do granito, que, apesar das características tangíveis possuírem valores distintos, pode-se concluir que o uso destes novos materiais em produtos onde é aplicado este material, poderá ser uma opção somente pela semelhança com suas características intangíveis e não pelo desempenho mecânico.

Tabela 19 – Características Tangíveis dos Materiais PO, PO/PME e PO/PMA versus Materiais Tradicionais

CARACTERÍSTICAS TANGÍVEIS DOS MATERIAIS PO, PO/PME E PO/PMA VERSUS MATERIAIS TRADICIONAIS						
	PO	PO/PME	PO/PMA	MDF	Madeira Plástica (polietileno de alta densidade reciclado)	Granito
Resistência à tração (MPa)	14,0	14,0	8,5	7,1 ^a	-	39 ^e
Módulo de elasticidade (GPa)	2,8	4,2	3,8	4,5 ^a	0,786 ^d	70 ^e
Resistência à flexão (MPa)	75,0	39,0	22,0	28,3 ^b	8,2 ^d	24 ^e
Dureza (Shore D)	76,0	83,0	85,0	-	-	-
Resistência ao Impacto (KJ/m²)	0,69	1,67	2,25	-	-	-
Absorção de água (%) (24h)	1,5 (2184h)	6,5 (2184h)	8,5 (2184h)	115,0 ^c (24h)	< 0,1 ^d (1848h)	0,4 ^f
Condutividade térmica (W/mK)	0,37	0,60	0,73	0,41 ^a	-	48 ^e
Densidade (g/cm³)	1,19	1,32	1,22	0,85 ^a	0,70 – 0,80 ^d	2,90 ^e

a [CES Edupack, 2012], b [Hillig et al., 2008], c [Calegari et al., 2017], d [Ohara, 2011], e [MAKELTFROM, 2019], f [Bastos et al., 2006]

Fonte: Autora.

5.2 ESCOLHA DO AMIDO

A preocupação com o meio ambiente tem gerado iniciativas, tanto por parte das indústrias como pela comunidade acadêmica, no sentido de reduzir a geração de resíduos e minimizar os impactos ambientais da matéria-prima ao produto final. A consequência disso é o desenvolvimento de pesquisas na busca de novos padrões de produção e de matérias-primas alternativas a fim de gerar opções para as novas necessidades do mercado.

A escolha do amido ocorreu pelo fato de sua origem ser de fonte renovável e biodegradável, estar disponível na sua forma natural, possuir baixo custo, aceitar incorporação de fibras vegetais ou resíduos sólidos industriais e, além disso, possibilitar sua aplicação em produtos voltados a sustentabilidade. Para Wang e White(1994) o amido termoplástico, que pode ter origem a partir de diversas fontes, tais como, milho, mandioca, batata e outros (Callegari et al., 2017), é uma alternativa para substituir os polímeros sintéticos em aplicações que não requeiram um tempo longo de uso nem um alto desempenho mecânico, tais como embalagens para acondicionamento de produtos, para alimentos, sacos para mudas de plantas, entre outros.

Assim como o poliéster, o amido também é bastante pesquisado na literatura como um material potencial para matriz de compósito. O amido termoplástico já foi estudado com policaprolactona/sisal; com bagaço de cana de açúcar, coco, farelo de soja, fibra de rami, fibra de cânhamo, fibra de curauá, fibra de linho, fibra de juta, sendo ainda muito utilizado nas indústrias do setor têxtil e fármacos, e além disso estudado por pesquisadores na produção de embalagens biodegradáveis (ALVES et al., 2007; SAKANAKA, 2007).

O amido foi utilizado nesta pesquisa, seguindo a tendência da literatura e com o propósito de dar continuidade ao projeto do Laboratório de Desenvolvimento Integrado de Materiais e Produtos (Dimp) que desenvolve pesquisa com este material. A contribuição desta pesquisa veio por meio da diferenciação da forma de gelatinização do amido e das novas composições na qual o amido foi inserido gerando o compósito Amido/Papel.

5.2.1 Características tangíveis/intangíveis X possibilidades de aplicações dos compósitos Amido/papel

O desenvolvimento e a caracterização de novos materiais possibilitam conhecer propriedades que poderão ser fundamentais para o desenvolvimento de produto. As características observadas nesta pesquisa já permitem vislumbrar possíveis aplicações deste material em algumas áreas.

As características tangíveis analisadas neste compósito foram através das propriedades mecânicas (ensaios de tração, flexão, dureza e impacto) e propriedades físicas (ensaios de absorção de água e condutividade térmica). Os valores de propriedades mecânicas obtidos pelos ensaios de dureza, módulo de elasticidade e resistência à tração demonstraram índices similares e mais elevados do que os resultados encontrados na literatura (Tabela 13), que se atribuiu pela estratégia adotada na gelatinização do amido, em que foi utilizado somente à água, diferente do encontrado na literatura (Tabela 12), que usa plastificante como o glicerol para a obtenção da gelatinização, resultando em um material com características mais rígidas em relação aos demais estudos encontrados.

Já as propriedades de flexão e impacto apresentaram valores moderados, que podem ser considerados satisfatórios, visto que se trata de um biomaterial e que não será utilizado em aplicações que necessitem alto desempenho.

Outra justificativa para o aumento destas propriedades pode ser as proporções das misturas. Os estudos encontrados apresentaram uma fração mássica de reforço máxima de 20%, enquanto o amido termoplástico desenvolvido neste trabalho permitiu uma incorporação de 36% de carga, o que pode ter permitido uma maior influência das propriedades do resíduo de papel nas propriedades deste material.

Outro aspecto importante é que o amido e o papel são de natureza hidrofílica podendo tornar-se limitada a aplicação deste biocompósito se não for criada uma barreira a fim de restringir a absorção de umidade. Assim, foram incluídos nesta pesquisa estudos de impermeabilização realizados no compósito A/PME onde buscou-se analisar o comportamento deste material em relação à absorção de água, comprovando-se a sua fragilidade. Devido a estas características, este compósito não foi submetido ao ensaio de intemperismo.

Na tentativa de prolongar a vida útil deste material, mas mantendo o comprometimento com o viés da pesquisa, em que os materiais devem ser

ambientalmente amigáveis, buscou-se testar revestimentos para protegê-lo da umidade. A escolha dos impermeabilizantes utilizou como critério a não agressividade ao meio ambiente, conforme os fabricantes. Segundo SHIRMOHAMMADLI (2018) há um crescente interesse em usar substâncias derivadas da natureza como substrato para impermeabilizantes, que podem reduzir os riscos ambientais.

Pelo estudo, os impermeabilizantes que melhor corresponderam a estes objetivos foram o A (resina AGT 1315) e o U (resina UG 132 A), que obtiveram as melhores propriedades, podendo ser indicados para um período prolongado de exposição à umidade. O compósito A/PME pode ser revestido com estes impermeabilizantes obtendo características hidrofóbicas e tornando-se apto para aplicação na produção de artefatos que estejam expostos ao meio ambiente.

Para efeito de informação, o ensaio de decomposição deste material foi realizado pela aluna Juliana Dill Mello Martins (MARTINS, 2018), para seu trabalho de conclusão de curso de Design de Produto. O ensaio foi realizado com as amostras AP e E com uma, duas e três demão (cedidas pela autora desta tese). A amostra AP degradou-se completamente aos 30 dias e a somente a E com três demãos não degradou-se completamente. Este ensaio demonstrou que este material pode ser usado para embalagens mais sustentáveis, como comprovado em seu trabalho de conclusão de curso.

Quanto à viabilidade de fabricação dos compósitos A/PME, a produção pode ser tanto de forma artesanal, quanto industrial. Para a produção industrial poderá ser utilizado processos de extrusão, termoformagem, etc., dependendo do produto a ser criado e da criatividade do designer.

Quanto aos atributos estéticos observados no desenvolvimento deste material, constatou-se que estas características influenciaram nos procedimentos quanto à incorporação dos papéis. E que, através das observações sobre os atributos tátil, textura, forma, transparência, cor e brilho, pôde-se observar características relevantes que poderão contribuir com a aplicação deste material em novos produtos.

Na avaliação do material em relação aos atributos práticos pode-se observar a originalidade do material quanto a sua nova identidade, na qual subtrai-se as características originais dos componentes e cria-se uma nova personalidade, inovando neste novo material e diversificando a sua aplicação. Além disso, associação com o natural, biodegradável, podem colocá-lo em destaque nos segmentos de mercado na

qual o valor sustentabilidade seja a prioridade.

Os atributos simbólicos (natural, autêntico, artesanal, inovador) percebidos no material poderão reforçar a segurança do designer no momento da escolha do mesmo, impactando positivamente na imagem concebida do artefato.

Assim, mais especificamente, pode-se sugerir o uso deste material para a confecção de polpas moldadas para acondicionamento de produto, vasos de flores, embalagem para mudas de plantas, etc. Em qualquer segmento em que o material for usado, aspectos comum a ele, como sustentabilidade, maleabilidade e conformação, variabilidade de formas, cores e texturas, custo, aspecto inovador, podem ser atributos decisivos para a aceitação deste material por parte de designers, empreendedores e consumidores.

A seguir na tabela 20 é apresentada as características tangíveis relacionadas aos materiais que possuem aplicações similares. Pela tabela observa-se que as características tangíveis do Poliestireno expandido (isopor) tem valores aproximados ao material A/PME, desta forma, pode-se concluir que o material criado pode substituir produtos que usam o isopor como matéria prima. Quanto a polpa moldada, a vantagem dela em relação ao isopor, é que a mesma é biodegradável e muito similar ao A/PME. E mesmo sendo um material que ainda não encontra-se muitos estudos na literatura, pelas referências encontradas de Gouw et al., 2017 e Curling, et al, 2017, percebe-se que o A/PME apresenta algumas propriedades similares a este material, podendo-se afirmar que o A/PME pode ser usado nas mesmas aplicações.

Tabela 20 - Características Tangíveis do Material Amido/Papel Versus Tradicionais

CARACTERÍSTICAS TANGÍVEIS DO MATERIAL AMIDO/PAPEL VERSUS TRADICIONAIS			
	Amido/ Papel	Poliestireno expandido (Isopor)	Polpa Moldada
Resistência à tração (MPa)	13,0	0,9 ^a	-
Módulo de elasticidade (GPa)	2,6	2,65 ^a	-
Resistência à flexão (MPa)	15,7	3,17 ^a	3,48 ^b
Dureza (Shore D)	58,0	-	-
Resistência ao Impacto (KJ/m²)	2,70	-	-
Absorção de água (%)	60,68 (2h)	9 ^a	341,14 ^b (24h)
Condutividade térmica (W/mK)	0,21	0,04 ^a	-
Densidade (g/cm³)	1,15	1,10 ^a	-




a [Matweb], b [Gouw et al., 2017]





Fonte: Autora.

Assim, pelos estudos apresentados nesta tese, verifica-se que os materiais desenvolvidos, tanto compósitos de Poliéster/papéis quanto Amido/papel têm características que garantem usá-los em produtos que utilizam materiais similares. E o uso de resíduos em sua constituição lhes conferem aspectos sustentáveis, indicando que estes materiais tem potencial para desenvolvimento de inúmeros produtos com características mais amigáveis ao meio ambiente.

A seguir, no Quadro 1, foram selecionados alguns exemplos de produtos que poderão ser processados a partir dos compósitos desenvolvidos nesta tese.

Quadro 1 - produtos comercializados que podem ser desenvolvidos com os materiais criados

PRODUTOS COMERCIALIZADOS QUE PODEM SER DESENVOLVIDOS COM OS MATERIAIS CRIADOS	
Poliéster/Papel	
Bancos/Mesa de Apoio	Cobogós
  <p><i>Criativa, 2019./Mobly, 2019.</i></p>	 <p><i>Portobello, 2019.</i></p>

PRODUTOS COMERCIALIZADOS QUE PODEM SER DESENVOLVIDOS COM OS MATERIAIS CRIADOS	
Tampos de Mesas	Paineis de Parede
 <p><i>Foto da autora</i></p>	 <p><i>Foto da autora</i></p>
Ladrilhos	Madeira plástica
 <p><i>Construindodecor, 2019.</i></p>	 <p><i>WHAT is Richlite? Richlite, Tacoma, WA, 2017. Disponível em: < https://richlite.com/>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.</i></p>

PRODUTOS COMERCIALIZADOS QUE PODEM SER DESENVOLVIDOS COM OS MATERIAIS CRIADOS	
Amido/Papel	
Polpa Moldada	Vasos
 <p><i>Foto da autora</i></p>	 <p><i>Agrosolo, 2019.</i></p>
Embalagens para Cosméticos	Isopor
 <p><i>Cosmetic, 2019.</i></p>	 <p><i>Da autora</i></p>

Fonte: Autora

Assim, as análises deste trabalho referentes aos aspectos tangíveis e intangíveis, tornam-se importantes na medida em que servem como parâmetros e indicadores de diretrizes nas quais os pesquisadores se embasarão para dar prosseguimento às pesquisas futuras aplicando estes novos materiais criados.

Como pode ser observado, esta pesquisa evidenciou várias possibilidades de uso deste material. No âmbito acadêmico, ao longo deste trabalho, também foram pesquisados algumas destinações para estes materiais. No trabalho de Bagatini, 2018 foi sugerido o uso em tampos de mesa e ladrilhos com o P/ME e P/PMA. No trabalho de Martin, 2018 foi utilizado o A/PME para o desenvolvimento de embalagens. Já na pesquisa de Souza, 2019, foi sugerido o uso para placas de sinalização de interiores.

Os materiais PO/PME e PO/PMA também resultarem em 03 (três) registros de desenho industrial intitulados “Configuração aplicada em ladrilho” deferidos pelo INPI, tendo sido expedido o respectivo certificado de registro de todos eles. Estas pesquisas e registros são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Sugestões de produtos a partir dos materiais desenvolvidos

Sugestões de produtos a partir dos materiais desenvolvidos		
Poliéster/Papel		
Referências	<i>Registro de desenho Industrial. Barp et al, 2018.</i>	<i>Bagatini, 2018.</i>
Amido/Papel		
Referências	<i>Souza, 2019 (Apresentação TCC/ IFSul Sapucaia do Sul)</i>	<i>Martins, 2018.</i>

Fonte: Autora

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos provenientes da indústria gráfica tem gerado grande preocupação por parte dos gestores, situação que não é diferente na Gráfica da UFRGS. Em função disso e da geração cada vez mais expressiva de resíduos de aparas de papel pela Gráfica da UFRGS, optou-se por pesquisar aplicações alternativas para os resíduos provenientes deste setor. O volume de resíduos de papéis gerados neste segmento e o desperdício de 63% deste material no final do ciclo de vida também motivou a se buscar novas aplicações.

Devido a esta inquietação, surgiram algumas questões como: Existem outras possibilidades de uso do resíduo de papel? É possível reutilizar, de uma forma mais eficiente as aparas de papéis provenientes da produção gráfica? Quais tipos de papéis, oriundos de aparas, podem ser reutilizados para a criação de novos materiais? O desenvolvimento de compósitos, a partir do resíduo de papel, é viável como uma forma de reaproveitamento desse material? Novos materiais podem ser desenvolvidos e aplicados em produtos que venham gerar artefatos menos poluentes e contribuir na preservação ambiental?

Assim, diante destes questionamentos, foi desenvolvida toda esta pesquisa. O caminho para as respostas percorreram lugares e tempos distintos com inúmeros estímulos que foram direcionando todo o andamento deste trabalho.

O início da caminhada, começou com a seleção desta pesquisa no doutorado do Pós em Design, com o trabalho de desenvolvimento de materiais compósitos que pôde-se considerar como o primeiro desafio alcançado. Depois seguiram por dois eixos principais devido aos caminhos que foram se abrindo, começou-se pelo desenvolvimento do compósito Poliéster /Papéis no Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL/GCOMP) do Curso de Engenharia de Materiais da UFRGS e depois o desenvolvimento do compósito Amido/Papel no laboratório Dimp da Engenharia Mecânica/IFSUL. Com estes dois eixos sendo disponibilizados para o prosseguimento da pesquisa, pode-se afirmar que só foi possível dar continuidade a ela, em função da interdisciplinaridade, disponibilidade e apoio dos coordenadores dos laboratórios, que foi crescente em todas as etapas percorridas.

Em função disso, optou-se por desenvolver compósitos com dois materiais diferentes devido a oportunidade da utilização de laboratórios. Entendeu-se que seria

uma oportunidade ímpar, porque além de trazer um ganho à pesquisa com a criação de mais um compósito, teriam-se outras opções para a destinação dos resíduos dos papéis selecionados.

Como alternativa então para a reutilização das aparas de papéis, este estudo propôs a obtenção de compósitos com dois tipos de polímeros, com a resina Poliéster, que originaram os compósitos de poliéster/papel menor (PO/PME), Poliéster/Papel maior (PO/PMA) e com o amido que originou o compósito Amido/papel menor (A/PME), que foram caracterizados sob os aspectos tangíveis e intangíveis.

Na caracterização dos compósitos poliéster/papéis, em relação às características mecânicas destes materiais, constatou-se que, com exceção da resistência à flexão, eles apresentaram propriedades mecânicas similares ou superiores as da resina poliéster pura. Nas características intangíveis como aparência, reutilização de resíduos e facilidade no processamento, podem agregar valor a este material e despertar interesse por parte de designers no desenvolvimento de produtos como materiais alternativos.

No estudo do intemperismo, pode-se afirmar que a granulometria dos resíduos de papéis influenciou nos resultados obtidos. O comportamento do compósito poliéster/papel maior (PO/PMA) demonstrou que este material pode ter sofrido um processo de degradação maior em função da menor adesão do reforço com a matriz, e ainda, devido ao tamanho da partícula do material, ter ocasionado maiores vazios que facilitaram a entrada de água.

Os compósitos submetidos às intempéries naturais podem ter sofrido influência de umidade sobre a carga e a interface partícula/matriz promovendo um efeito deletério na resistência a tração e flexão do compósito. Este mesmo fenômeno pode ter causado efeito positivo para a resistência ao impacto, e redução da dureza nos compósitos, uma vez que a absorção de umidade foi pequena e o material tornou-se tenaz. Já a influência da umidade na matriz, causando a reticulação, resultou na melhora do módulo de elasticidade. Pela análise visual, este estudo constatou que este material é recomendado para compor produtos de uso interno, pois pode ocorrer alteração na sua superfície quando sujeito à intempéries.

Neste estudo, os experimentos com processos de corte, furação e lixamento nos compósitos PO/PME e PO/PMA foram importantes para se identificar as possibilidades de processamentos, de modo a possibilitar futuras aplicações em produtos.

Nas operações de corte que dependem mais da habilidade do operador, o resultado foi inferior. Observou-se que, entre os processos e metodologias adotadas, a performance do material na esquadrejadeira apresentou um melhor desempenho. De um modo geral, o compósito PO/PME apresentou um resultado superior ao PO/PMA, provavelmente pelo menor teor de vazios ocasionado pelo tamanho reduzido do papel, que pode resultar em menos descontinuidades durante a operação de retirada do material.

Quanto às operações de furação e lixamento, ambos apresentaram resultados satisfatórios. Em relação à furação, as partículas da carga se mantiveram bem ancoradas na matriz nos dois materiais testados, o que gerou poucos arrancamentos e favoreceu a qualidade das superfícies dos furos. E o lixamento a seco não provocou danos aos materiais.

Portanto, de uma maneira geral, pode-se concluir que os materiais compósitos obtidos com Poliéster/Papéis apresentaram indicações que podem ser submetidos aos processos de corte, furação e lixamento, com danos limitados. Assim, este estudo contribui para que o designer tenha conhecimento do potencial do material e faça o melhor uso dele para desenvolvimento de produtos como móveis, bancadas de mesa, objetos de decoração, obtendo qualidade no acabamento.

No estudo do compósito amido/papel constatou-se que o uso de materiais biodegradáveis estão sendo pesquisados para utilização em materiais compósitos. O emprego destes materiais como matriz, utilizando resíduos de diferentes processos industriais, pode ser uma forma sustentável de dar-se uma destinação mais ecológica e de maior valor agregado a reutilização destes resíduos.

Com este material, buscou-se demonstrar a viabilidade da criação de um material composto formado por um material biodegradável (amido) e um resíduo sólido (papel oriundo da produção gráfica) que justificasse o desenvolvimento de materiais

Para tanto transformou-se o amido de mandioca no amido termoplástico, para conferir propriedades que possibilitassem sua união ao resíduo de papel. A partir dos resultados positivos desta combinação estudou-se as propriedades tangíveis e intangíveis, impermeabilidade e a condutividade térmica do material criado.

Em relação à condutividade térmica este material apresentou características de um material isolante. As propriedades mecânicas apresentaram valores moderados, indicando índices similares e mais elevados do que os resultados na literatura,

apresentando um comportamento mais rígido em função da ausência do agente plastificante. O processamento do amido gelatinizado desenvolvido nesta pesquisa tem características distintas que valorizaram as propriedades do material.

Sobre as características intangíveis, em relação aos atributos estéticos, atributos práticos e atributos simbólicos pôde-se observar que apresentam características que poderão contribuir com a aplicação deste material em novos produtos. Estas características poderão impactar positivamente na imagem dos artefatos criados. E ainda, certificar que aspectos natural, autêntico, artesanal, inovador, podem reforçar a segurança do designer no momento da escolha do material.

Em relação aos impermeabilizantes estudados, pode-se afirmar, através dos resultados, que todas as amostras tiveram uma boa cobertura. Assim, o compósito Amido/papel pode ser revestido com estes impermeabilizantes que obterá características hidrofóbicas, podendo ser utilizado para a produção de artefatos que estejam expostos ao meio ambiente. E o impermeabilizante U foi o que apresentou as melhores condições e o mais indicado pelas suas características sustentáveis.

Em relação aos desafios na qual os biocompósitos tem em relação aos plásticos convencionais comentados no estado da arte, pode-se afirmar que pelos resultados obtidos com a caracterização dos compósito Amido/Papel, que este material pode substituir alguns plásticos convencionais como um material biodegradável porque alcançou o desafio de constituir-se como um material que pode ter estabilidade estrutural e funcional na sua vida útil, e ser suscetível à degradação microbiana e ambiental somente após a eliminação, sem ocasionar qualquer impacto ambiental significativo.

Portanto, a partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, pôde ser observados recursos inovadores neste novo material, que sinalizam grande potencial para o desenvolvimento de produtos identificadas nas áreas como design de moda, design de produto e design gráfico.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa em relação aos dois compósitos desenvolvidos, pode-se concluir que é viável utilizar resíduos de papéis gerados em processos gráficos como cargas de compósitos, com possibilidade de uso como revestimento para superfícies, tampos de mesas, objetos de decoração, uso na construção civil, entre outros. E que a sua aparência poderá despertar associações que o remetam a materiais já existentes fazendo com que os objetos criados sejam valorizados.

Este estudo se justifica e se valida, não somente pela criação/ desenvolvimento de novos materiais que possibilitam novas formas de reutilização dos resíduos da produção gráfica, se consolida porque vai além, parte da comparação dos limites de cada material criado e sugere novos produtos com especificações que direcionam ao design sustentável, na qual vislumbra-se um potencial alternativo nos quesitos usabilidade, segurança, sustentabilidade e reciclagem.

Portanto, com estes primeiros estudos das caracterizações referentes aos aspectos tangíveis e intangíveis destes dois novos materiais, espera-se que venham instigar a criatividade de designers e contribuir para a produção efetiva destes materiais.

7 SUGESTÃO PARA CONTINUIDADE DESTA PESQUISA

- Pesquisar o desenvolvimento de novos materiais com outros resíduos de papéis da Gráfica da UFRGS, com formatos e gramaturas diferentes dos estudados, para avaliar outras propriedades e aumentar a gama de uso de resíduos gráficos.

- Fazer estudo do processo de decomposição no solo do compósito amido/papel com a finalidade de compreender o ciclo de vida deste material.

- Estudar a viabilidade de aumentar o volume de produção do material amido/papel, desenvolvendo produtos com curta vida útil, e capacitar ONGs e artesãos para desenvolvê-los.

- Analisar ciclo de vida e possibilidades de descarte dos compósitos com poliéster.

- Aprofundar este estudo com projetos interdisciplinares, envolvendo as áreas de engenharia, design e administração para o desenvolvimento de produto, empresa e comercialização, para geração de emprego e renda.

REFERÊNCIAS

AFFZAN, M. H.; AKIL, H. M.; ISHAK, Z. A. M.; BAKAR, A. A. The effects of natural weathering exposure on the properties of pultruded natural fibre reinforced unsaturated polyester composites. **WIT Transactions on Engineering Sciences**, v. 77. p. 333-342, 2013. Disponível em: <<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-engineering-sciences/77/24719>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Thermochimica Acta**, v. 319, p. 17-25, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603198003554>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

AGROSOLO. **Vaso de Fibra de Coco Nutricoco** – Nutriplan. Disponível em: <<https://www.agroso.com.br/vaso-de-fibra-de-coco-nutricoco-nutriplan>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

AKIL, H. M. et al. Environmental effects on the mechanical behaviour of pultruded jute/glass fibre-reinforced polyester hybrid composites. **Composites Science and Technology**, v. 94, p. 62–70, 9 abr. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353814000281>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

AKINDAPO, J. O., AGOV E., GARBA D. K., OGABI R. O. Comparative Assessment of Mechanical Properties of Groundnut Shell and Rice Husk Reinforced Epoxy Composites. **American Journal of Mechanical Engineering**, v. 5, n. 3, p. 76-86, 2017. Disponível em: <<http://pubs.sciepub.com/ajme/5/3/2/>> . Acesso em: 09 jun. 2018.

ALVES, M. C. S.; GONÇALVES, M. T. T.; VARASQUIM, F. M. F. A.; SANTIAGO, L. F. F.; VARANDA, L. D.; BIANCHI, E. C. Análise da influência da velocidade de corte, da granulometria da lixa e da pressão específica de corte no processo de lixamento. In: CONEM - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6., 2010. Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Paraíba, 2010. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/36106513-Analise-da-influencia-da-velocidade-de-corte-da-granulometria-da-lixo-e-da-pressao-especifica-de-corte-no-processo-de-lixamento.html>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

AMICO, S.C. **Vegetable fibers as multifunctional materials**. *Matéria (UFRJ)*, v. 15, p. 386-395, 2010. Acesso em: 04 mar. 2015.

ANDRADY, A. L.; HAMID, S. H.; HU, X.; TORIKAI, A. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 46, p. 96-103, oct. 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134498001882>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

ASHBY M, JOHNSON K. **Material and design: the art and science of material selection in product design**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS APARISTAS DE PAPEL (ANAP). **A reciclagem de papel no Brasil – 2014. 2015**. Disponível em: <www.anap.org.br/anap/wp-content/uploads/2015/10/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-II-Encontro.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2016.

ATCP Engenharia Física. **Manual de instalação e operação:** Software Sonelastic 3.0. 2014. Disponível em: <<http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/sonelastic/manuais/ManualSoftwareSonelastic3.1.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

ATCP Engenharia Física. **Manual de instalação e operação:** suporte ajustável para barras e cilindros modelo SA-BC. 2015. Disponível em: <http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/sonelastic/manuais/Manual_de_Instalacao_e_OperacaoSuporte_SA-BC.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

AVÉROUS, L.; BOQUILLON, N. Biocomposites based on plastificized starch: thermal and mechanical behaviours. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 111-122, jun. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861704000517>>. Acesso em: 01 set. 2016.

AZEVEDO, Joyce Batista et al. Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 391-406, jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762016000200391&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04 mar. 2017.

AZWA, Z.N.; YOUSIF, B.F.; MANALO, A.C.; KARUNASENA, W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. **Materials & Design**, v. 47, p. 424-442, 2013.

BABU, G. D.; BABU, K. S.; KISHORE, P. N. Tensile and Wear Behavior of Calotropis Gigentea Fruit Fiber. **Procedia Engineering**, v. 97, p. 531-535, dez. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275540884_Tensile_and_Wear_Behavior_of_Calotropis_Gigentea_Fruit_Fiber_Reinforced_Polyester_Composites>. Acesso em: 29 nov. 2018.

BAGATINI, C. **Relatório Final de Estágio Supervisionado em Design de Produto.** Curso de Design Visual e Design de Produto. Faculdade de Arquitetura, UFRGS, 2018.

BARROSO, Cátia R. **A Gestão do Design na otimização do uso de recursos naturais.** Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação Gestão do Design), Centro Universitário Belas Artes de São Paulo, São Paulo, 2006.

BASTOS, M. P.; MARQUES, E. A. G.; SOSSAI, F. J. M. Caracterização de Granitos Utilizados na Construção Civil. In: Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 2, 2006. **Anais...** Nova Friburgo, 2006.

BORRELLY, Daniel F. Estudo comparativo da degradação de Poliestireno e de Poliestireno de alto impacto por envelhecimentos natural e artificial. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002

BLEDZKI, A. K.; FRANCISZCZAK, P.; OSMAN, Z.; ELBADAWI, M. Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers. **Industrial Crops and Products**, v. 70, p. 91-99, ago. 2015.

BLEDZKI, A. K.; MAMUN, A. A.; VOLK, J. Physical, chemical and surface properties of wheat husk, rye husk and soft wood and their polypropylene composites. **Composites: Part A**, v. 41, p. 480-488, 2010.

BORSOI, Cleide et al. Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, n. 4, p. 271-279, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282011000400006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 nov. 2015.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República Casa Civil. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 10 jul. 2016.

BUDINSKI KENNETH G. **Engineering materials: properties and selection**. 5 ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1996.

CALCAGNO, C. I. W.; FAGUNDES, E. C. M. **Plásticos**. 1 ed., Editora LT, 2019.

CALEGARI, E. P. **Estudo da aplicação de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero e fibras de curauá no design de produto**. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/87350>>. Acesso em: 28 set. 2016.

CALEGARI, E. et al. Desenvolvimento de biocompósitos a partir de amido termoplástico, resíduo de papel e casca de arroz. In: ENSUS - ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 5., 2017, Florianópolis. **Anais...** Universidade de Santa Catarina (artigo em revisão), p. 1197, 2017a. Disponível em: <<http://ensus2017.paginas.ufsc.br/anais/>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

CALEGARI, Eliana Paula et al. Reuse of waste paper and rice hulls as filler in polymeric matrix composites. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000200513&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 ago. 2018.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. São Paulo: LTC, 2006.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução**. 8 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. 705 p, 2007.

CAMPOS, A. et al. Efeito do Tratamento das Fibras nas Propriedades do Biocompósito de Amido Termoplástico/Policaprolactona/Sisal. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 3, p. 217-222, 2011. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/polimeros/5883716d7f8c9d0a0c8b48c6/fulltext.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

CANDIDO, V. S. **Caracterização e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar**. Tese (doutorado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/Tese_Veronica_Scarpini_Candido.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2016.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciências dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. Artliber Editora, São Paulo, 2002.

CANEVAROLO Jr., S.V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Editora Artliber, 2004.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. Biodegradação: Uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. **Química nova na escola**, n. 22, p. 17-19, 2005. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc22/a03.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CAÑIGUERAL, N. et al. Behavior of biocomposite materials from flax strands and starch-based biopolymer. **Chemical Engineering Science**, v. 64, p. 2651 – 2658, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000925090900102X>>. Acesso em: 29 out. 2018.

CAPELLO, E. Workpiece Damping and its Effects on Delamination Damage in Drilling thin Composite Laminates. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 148, p. 186-195, 15 mai. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013603008124>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

CARDOSO, G.; ANGRIZANI, C. C. ; PORTO, J. S. ; CALCAGNO, C. I. W. Reutilização de resíduos de papéis em composição com o amido: uma opção de material para o design sustentável. In: SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA DO IFSUL (INOVTEC), 6., Sapucaia do Sul, 2017, **Anais...** Sapucaia do Sul: Instituto Federal/RS, 2017.

CARMONA, B. V. **Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis a partir de amido termoplástico e fibras vegetais**. Dissertação (Mestrado Ciência e Engenharia de Materiais). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/850>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

CARVALHO, L. H. *et al.* Tensile properties of sisal reinforced polyurethane. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES. **Anais...** São Carlos: USP, p. 542-546, 2011.

CAVALCANTI, W. S. **Compósitos Poliéster/Tecidos Tramados Vegetal-Vidro: Caracterização Mecânica e Simulação da Sorção de Água**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processo) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2072>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

CENTRO SEBRAE DE SUSTENTABILIDADE. **Gestão Sustentável nas Empresas**. Disponível em: <<http://sustentabilidade.sebrae.com.br/sites/Sustentabilidade/Para%20E2%80%93sua%20Empresa/Publicacoes/Cartilhas/Gest%C3%A3o-Sustent%C3%A1vel-nas-Empresas>>. Acesso em: 5 dez 2016.

CERCHIARO, J. R. **Comportamento mecânico de compósitos com poliéster e tecidos de sisal por moldagem manual**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/18462/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Final.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

CES. **Cambridge Engineering Selector** - Edupack 2012 (software). Reino Unido: GrantaDesign, 2009. Disponível em: <<http://www.grantadesign.com>>. Acesso em: 7 ago. 2014.

CHANG, P. R.; MA, X.; YU, J. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 369-375, 16 mai. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861707004444>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

COLACICCO, G. B. **Análise dos Custos e Viabilidade Econômica - Financeira: Um Estudo no Mercado de Aparas de Papel**. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis e Financeiras). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/1638/1/Dissertacao%20GIOVANNI%20BOTELHO%20COLACICCO.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2016.

COLLINS, P. M.; FERRIER, R. J. **Monosaccharides**. Their chemistry and their roles in natural products. Ed. John Wiley and Sons Ltd. 1995. p. 574.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM (CEMPRE). **Confira os novos índices de reciclagem de resíduos urbanos no Brasil**. 2007. Disponível em: <www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php>. Acesso em: 10 jul. 2016.

CONAMA. **Resolução 313**: Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. 2002. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=263>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

CONRAN S. **Creating value-keynote address**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE ART OF PLASTICS DESIGN, Berlin, Germany; 18–19 out. 2005.

CONSTRUINDODECOR. **Banheiros Decorados com Faixas**. Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/banheiros-decorados-com-faixas/>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

CORRADINI, E.; LOTTI, C.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; MATTOSO, L. H. C. Estudo Comparativo de Amidos Termoplásticos Derivados do Milho com Diferentes Teores de Amilose. **Polimeros**, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v15n4/a11v15n4.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

CORRADINI, E. et al. Preparation and characterization of thermoplastic Starch/zein blends. **Material Research**, v. 10, n. 3, p. 227-231, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392007000300002>. Acesso em: 15 out. 2016.

COSMETIC, G. **Dos produtos sem embalagem aos frascos biodegradáveis: é este o futuro da cosmética?**. Disponível em: <<http://globalcosmetic.com.br/noticia.php?n=dos-produtos-sem-embalagem-aos-frascos-biodegradaveis-e-este-o-futuro-da-cosmetica>>. Acesso em: 09 de julho de 2019.

COUTURE, Adrien et al. Mechanical properties of polylactic acid (PLA) composites reinforced with unidirectional flax and flax-paper layers. **Composite Structures**, v. 154, p. 286-295, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822316313186>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CRIATIVA, A. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/202310208248484072/>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

CURLING, S. F.; LAFLIN, N.; DAVIES, G. M.; ORMONDROYD, G. A.; ELIAS, R. M. Feasibility of using straw in a strong, thin, pulp moulded packaging material. **Industrial Crops and Products**, v. 97, p. 395-400, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092666901630872X>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CURTIS, M. do C. **Núcleo de Desenvolvimento de Produtos em Papel: uma retrospectiva para Ação**. Arquivos da Gráfica da UFRGS, 2011.

DAS, S. Mechanical and water swelling properties of waste paper reinforced unsaturated polyester composites, **Construction and Building Materials**, v. 138, p. 469-478, mai. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817302271>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

DE PAOLI, Marco Aurelio. **Degradação e estabilização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2009.

DEBNATH S. et al. Interface effects on mechanical properties of particle-reinforced composites. **Dental Materials**, v. 20, p. 677-686, set. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564104000247>>. Acesso em: 01 out. 2018.

DEPEC – BRADESCO (Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos do Bradesco). **Papel e Celulose**. 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_papel_e_celulose.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

DIAS, Fabricio Moura; LAHR, Francisco Antonio Rocco. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, São Carlos, v. 7, n. 3, p. 413-420, set. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392004000300007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 jun. 2019.

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

DISCHINGER, Maria do Carmo Torri. **Metodologia de análise da percepção tátil em diferentes classes de materiais e texturas para aplicação no design de produtos**. Porto Alegre, 2009. 155 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Design.

DOMINGOS TÓTORA. **Design**. Disponível em: <http://www.domingostora.com.br/pt/designs/designs_12a.html>. Acesso em: 10 jul. 2016.

DORBICAU, L. et al. Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fiber: Agro-green-composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 40, n. 4, p. 329-334, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223097154_Wheat_flour_thermoplastic_matrix_reinforced_by_waste_cotton_fibre_Agro-green-composites>. Acesso em: 12 out. 2018.

DURÃO, L. M. P, et. al. Dano na furação de placas carbono/epóxico. **Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica**. v. 17, n. 1, p. 27-38, Portugal, 2013. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10216/67095>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

DWEIB, M.A.; HU, B.; O'DONNELL, A.; SHENTON, H.W.; WOOL, R.P. All natural composite sandwich beams for structural applications. **Composite Structures**, v. 63, p. 147–157, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822303001430>>. Acesos em: 10 ago. 2019.

EBERHARDT, G. G.; BOEHS L.; SALMORIA, G. V. Avaliação da qualidade dos furos na usinagem de compósitos à base de resina epóxi com e sem carga de pó-de-ferro. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6., Campina Grande, 2010. **Anais...** Campina Grande - Paraíba, ago. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106629>>. Acesso em: 11 out. 2018.

ECODESENVOLVIMENTO.ORG. **Empresa cria plástico feito com papel reciclado para ser utilizado em cases de laptops**. 2012. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/fevereiro/empresa-cria-plastico-feito-com-papel-reciclado#ixzz4cbrto2IU>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

EI-SONBATY I.; Khashaba U. A.; Machaly T. Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites. **Composite Structures**, v. 63, p. 329–338, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026382230300182X>>. Acesso em: 15 out. 2018.

ESPINACH, F. X. et al., Flexural properties of fully biodegradable alpha-grass fiber reinforced starch-based thermoplastics. **Composites Part B**, v. 81, p. 98-106, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836815004047>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

EU AMO PAPELÃO. **Papelão**. Disponível em: <<https://www.euamopapelao.com.br/>> Acesso em: 16 jul. 2019.

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H.-P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 - 2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n° 11, p. 1552 – 1596, 2012.

FERNANDES, M. R. F. **Avaliação do processamento e propriedades de compósitos de poliuretano termoplástico reforçados com fibras silexil, em comparação com outras fibras/cargas comercialmente utilizadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8DPEFG/manoel_rob_rio_ferreira_fernandes.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 mai. 2018.

FERRANTE, M.; SANTOS, S. F.; CASTRO, J. F. R. de. Materials selection as an interdisciplinary technical activity: basic methodology and case studies. **Materials Research**, São Carlos, v. 3, n. 2, p. 1-9, abr. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392000000200002&lng=en&nr_m=iso>. Acesso em: 28 mar. 2019.

FERREIRA, A. M. C. **Aplicação de resíduos de lodo de papel na preparação de compósitos com cinza de madeira e cal residual: caracterização e ensaios normatizados**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34602/R%20-%20T%20-%20ANDRESSA%20MARIA%20COELHO%20FERREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

FERREIRA, F. G. **Estudo da Delaminação em Compósitos de Epóxico Reforçado com Borracha e Fibras Naturais**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto Departamento de Engenharia Mecânica. Politecnico do Porto. out. 2015. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/8148/1/DM_FilipeFerreira_2015_MEM.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2018.

FILHO, R. M. B., **Rochas Mármore e Granitos Basaltos e Gabro**. Material Didático. Faculdade INAP 2014015. Disponível em: <http://faculdadeinap.edu.br/materiais_didaticos.../Rochas_Marmores_e_Granitos_Inap.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

FOWLER P. A.; HUGHES M.; ELIAS R. M. Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces, **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1781-1789, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.2558>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

GEHLEN, L. R. **Efeito da utilização de fibras lignocelulósicas (açai e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/273.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

GIRONÈS, et al. Natural fiber-reinforced thermoplastic starch composites obtained by melt processing. **Composites Science and Technology**, v. 72, p. 858-863, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353812000851>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

GODOY, J. **Estudo de um novo compósito madeira-resina poliuretano para o desenvolvimento de um isolador híbrido**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. p. 122, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-04042008-150701/publico/Jaqueline.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

GOUW, V. P.; JUNG, J.; SIMONSEN, J.; ZHAO, Y. Fruit pomace as a source of alternative fibers and cellulose nanofiber as reinforcement agent to create molded pulp packaging boards. **Composites Part A**, v. 99, p. 48 – 57, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X17301562>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

GONZALEZ, R. F. J.; RAMSAY, B.A.; FAVIS, B.D. High performance DPE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene. **Polymer**, v. 44, p. 1517-1526, 2003. Disponível em: <https://www.academia.edu/901228/High_performance_LDPE_thermoplastic_starch_blends_a_sustainable_alternative_to_pure_polyethylene>. Acesso em: 28 out. 2018.

GUIMARÃES, J. L. et al. Desenvolvimento de ferramentas de corte para a furação de laminados compósitos, In: JORNADA LUSO-BRASILEIRA DE ENSINO E TECNOLOGIA EM ENGENHARIA – JLBE, 2, 2009. **Anais...** Instituto Politécnico do Porto, Portugal, 2009. Disponível em: <https://sigarra.up.pt/ffup/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=11698f>. Acesso em: 20 abr. 2017.

GUIMARÃES, J. L. **Preparação e caracterização de compósitos de amido plastificado com glicerol e reforçados com fibras naturais vegetais**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. HAYASAKA, E. V.; NISHIDA, S. M. **A origem do papel**. 2011. Disponível em: <http://www.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Origami/Documentos/indice_origami_papel.htm>. Acesso em: 12 nov. 2016.

HILLIG, É.; IWAKIRI, S.; ANDRADE, M. Z.; ZATTERA, A. J. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira. **Árvore**, v. 32, n. 2, p. 299-310, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000200013&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-6762. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200013>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

HODGSON S. N. B; Harper J. F. **Effective use of materials in the design process- more than a selection problem**. In: INTERNATIONAL ENGINEERING AND PRODUCT DESIGN EDUCATION CONFERENCE, Delftm, 2004.

HUDA, M. S., DRZAL, L. T., RAY, D., MOHANTY, A. K., MISHRA, M. Natural-fiber composites in the automotive sector. Properties and Performance of Natural-Fiber Composites. **Woodhead Publishing**, Pickering, K. (Ed.), Cambridge, UK, p. 221-268, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9781845692674/properties-and-performance-of-natural-fibre-composites>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

IAMAGUTI, A. P. S. **Manual de rochas ornamentais para arquitetos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2001.

IMPERVEG. **Poliuretano Vegetal Imperveg**. Disponível em: <<http://imperveg.com.br/poliuretano-vegetal-imperveg/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

JAREK, J. M. **Design e inovação no aproveitamento sustentável de resíduos em empresas de embalagens de papelão**. Dissertação (Mestrado em Design Gráfico e de Produto). Programa de Pós-Graduação em Design, do Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36162/R%20-%20D%20-%20JAIR%20MELLO%20JAREK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

JAUHARI, N.; MISHRA, R.; THAKUR, H. Natural Fibre Reinforced Composite Laminates – A Review. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, p. 2868-2877, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315005490>>. Acesso em: 04 nov. 2016.

JAWAID, M.; KHALIL, H. P. S. A. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, p. 1-18, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315005490>>. Acesso em: 04 nov. 2016.

KARANA, E. **Meanings of Materials: Findings and Implications**. The International Conference on Tools and Methods in Competitive Engineering (TMCE), Ancona, Italy, 2010.

KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers. **Materials & Design**, v. 29, n. 6, p. 1081–1089, 2008. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306907001458>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

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

KOENIG M. F., Huang S.J. Evaluation of crosslinked poly(caprolactone) as a biodegradable, hydrophobic coating. **Polymer Degradation and Stability**, v. 45, Issue 1, 1994, p.139-144. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141391094901899>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

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

LACHAUD, F.; PIQUET, R.; COLLOMBET, F.; SURCIN, L. Drilling of composite structures. **Composite Structures**, v. 52, p. 511–516, 2001. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026382230100040X/pdf?md5=a35108bd9d62cd1628bf819a58977b31&pid=1-s2.0-S026382230100040X-main.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2018.

LIGHTING, A. Disponível em: < <https://br.pinterest.com/pin/598134394236379536/>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

LIMA, Aline Margarete Furuyama et al. Influência da adição de plastificante do processo de reticulação na morfologia, absorção de água e propriedades mecânicas de filmes de alginato de sódio. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 832-837, ago. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 ago. 2018.

LIMA, M. A. M. **Introdução aos Materiais e Processos para Designers**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

LINDBECK JOHN R. **Product design and manufacture**. New Jersey: Simon and Schuster Company; 1995.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, p. 3496–3502, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151100228X>>. Acesso em: 12 set. 2016.

LIU, A. et al. A review of municipal solid waste environmental standards with a focus on incinerator residues. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 4, p. 165–188, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609015000394>>. Acesso em: 14 set. 2016.

LIU, H.; XIE, F.; YU, L.; CHEN, L.; LI, L. Thermal processing of starch-based polymers, **Progress in Polymer Science**, v. 34, p. 1348–1368, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670009000653>>. Acesso em: 14 set 2016.

LÓPEZ, O. V.; VERSINO, F.; VILLAR, M. A.; GARCÍA, M. A. Agro-industrial residue from starch extraction of *Pachyrhizus ahipa* as filler of thermoplastic corn starch films, **Carbohydrate Polymers**, v. 134, n. 10, p. 324–332, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861715007109>>. Acesso em: 01 set. 2016.

LOPRESTO, V. CAGGIANO A., TETI R., High Performance Cutting of Fibre Reinforced Plastic Composite Materials. In: CIRP Conference on High Performance Cutting, 7. **Procedia CIRP**, v. 46, p. 71–82, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116305546>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

MÄHLMANN, C. M. et al. Compósito à base de amido, breu e glicerol reforçado com fibra de bagaço de cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2019. **Anais...** Foz do Iguaçu: PR, out. 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268204320_COMPOSITO_A_BASE_DE_AMIDO_BREU_E_GLICEROL_REFORCADO_COM_FIBRA_DE_BAGACO_DE_CANA_DE_ACUCAR>. Acesso em: 04 out. 2016.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137–156, jan./mar. 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/4898/4363>>. Acesso em: 01 set. 2016.

MANCINI, P. J. P. **Uma avaliação do sistema de coleta informal de resíduos sólidos recicláveis no município de São Carlos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1999.

MANZINI, E. Design para a inovação social e sustentabilidade. **Cadernos do Grupo de Altos Estudos**, Programa de Engenharia de Produção da Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008

MANZINI, E. **The material of invention**. Milano: Arcadia srl, 1986.

MARCOVICH, N. E.; ARANGUREN, M. I.; REBOREDO, M. M. Modified woodflour as thermoset fillers. Part I. Effect of the chemical modification and percentage of filler on the mechanical properties, **Polymer**, v. 42, p. 815–825, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003238610000286X>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

MARENCO, Vitor Almeida; VERCELHEZE, Ana Elisa Stefani; MALI, Suzana. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 36, n. 5, p. 680–685, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000500012&lng=en&nr_m=iso>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MARGOLIN, V.; MARGOLIN, S. Um “modelo social” de design: Questões de prática e Pesquisa. **Revista Design em Foco**, Universidade do Estado da Bahia, Salvador, v.1, n. 1, p. 43-48, 2004. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66110105>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos**. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MARQUES, Gabriela P. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Meio Ambiente). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MARUR, P. R. Estimation of effective elastic properties and interface stress concentrations in particulate composites by unit cell methods, **Acta Materialia**, v. 52, p. 1263–1270, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223634276_Estimation_of_effective_elastic_properties_and_interface_stress_concentrations_in_particulate_composites_by_unit_cell_methods>. Acesso em: 04 set. 2018.

MATOS, S. V.; SCHALCH, V. Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição. In: CONGRESSO, INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997. **Anais...** Disponível em: <<http://assets.cimm.com.br/uploads/cimm/publicacao/arquivo/56/PDFOnline.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2016.

MATWEB (software). Disponível em: <<http://www.matweb.com/>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

MEDINA H. V. de. Análise do ciclo de vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil. In: **Avaliação do Ciclo de Vida: a ISO 14000 na América Latina**, Org.: Caldeira-Pires A., Souza-Paula M.C. e Villas Bôas R. C. Editora ABIPIIT. Rio de Janeiro, dez. 2005. Disponível em: <<http://web-resol.org/textos/ct2006-006-00.pdf>>. **Acesso em: 21 mar. 2019.**

MEJRI, M.; TOUBAL, L.; CUILLIÈRE, J. C.; FRANÇOIS, V. Hygrothermal aging effects on mechanical and fatigue behaviors of a short natural-fiber-reinforced composite. **International Journal of Fatigue**, v. 108, p. 96–108, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142112317304243>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

MELENTIEV, R.; PRIARONE, P. C.; ROBIGLIO, M.; SETTINERIB, L. Effects of Tool Geometry and Process Parameters on Delamination in CFRP Drilling: An Overview. **Procedia CIRP**, v. 45, p. 31-34, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116005394/pdf?md5=1bc7075b7689cf71962a6a8c32c40da0&pid=1-s2.0-S2212827116005394-main.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de Resíduos Orgânicos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADuos-org%C3%A2nicos.html>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

MOBLY. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/494903446540681302/>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

MOHANTY, A. K. et al. **Natural Fibers**, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction. Taylor & Francis, 2005.

MORAES, M.S. et al. **Um estudo sobre a reciclagem de papel: Um panorama desta atividade no Brasil**. 2015. Disponível: <http://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem_de_papel_um_panorama_dest_a_atividade_no_brasil.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2016.

MOTTA, E.P. **Caracterização mecânica de argamassas poliméricas de óleo de mamona reforçadas com fibra natural de piaçava**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2014. Disponível em: <<http://www.mec.uff.br/pdftheses/EduardoPereiraMotta2014.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

MÜLLER, R. L.; D. B. TEIXEIRA, D. B.; MÄHLMANN, C. M.; RODRÍGUEZ, A. L. Compósito polimérico biodegradável a partir de amido, glicerol e fibras de ramí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10, Foz do Iguaçu, 2009. **Anais...**Foz do Iguaçu:PR, 2009. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/961.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

NAM, T. H. et al. Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly (butylene succinate) biodegradable composites. **Composites**, Part. B, v. 42, p. 1648-1656, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836811001405>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

NASCIMENTO E.P; AMAZONAS, M; VILHENA, A. Sustentabilidade e interdisciplinaridade: inovações e desafios dos programas de Pós-graduação em Ambiente e Sociedade. O caso do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília. **Experiências RBPG**, Brasília, v. 10, n. 21, p. 665-695, out. 2013. Disponível em: <<http://ojs.rbpg.capes.gov.br/index.php/rbpg/article/view/417/348>>. Acesso em: 13 dez. 2016.

NETO, F. L.; Pardini, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. Editora Edgard Blücher, 2006

OHARA, W. S. **Estudo das propriedades mecânicas da madeira plástica**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Estadual de São Paulo (Unesp), Guaratinguetá, SP, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120223>>. Acesso em: 03 jul. 2019

OLIVEIRA, A. K. F.; D'ALMEIDA, J. R. M. Ecopiso de fibra de tururi e resina de mamona: ensaio de resistência à abrasão e análise da morfologia utilizando MEV. In: P&D DESIGN CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 11, Gramado, 2014. **Anais...** Gramado, RS, 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/11ped/00246.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

OLIVEIRA, C. A., M., VERONEZE, T., ARAUJO, M., S., PINO, G., G., Teste de usinabilidade de compósitos de epóxi e alumínio em CNC correlacionando parâmetros de corte a rugosidade superficial média ra e a defeitos por meio de superfície de resposta. In: CONEM 2010 - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6, Campina Grande, 2010. **Anais...** Campina Grande: Paraíba, 18 a 21 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1069.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

- OLIVEIRA, J. L. **Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana**. Dissertação apresentada Profissional em Materiais ao Mestrado do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Volta Redonda, 2015. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/45376727-Processamento-e-caracterizacao-de-compositos-de-polipropileno-reforçados-com-fibras-da-palmeira-real-australiana.html>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- OLIVEIRA, M. A. O.; CEREDA, M. P. Pós-colheita de pêssegos (*Prunus persica* L. *Bastsch*) revestidos com filmes a base de amido como alternativa à cera comercial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 28-33, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v23s0/19466.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2016.
- ORFORD, P. D. et al. Effect of water as a diluent on the glass transition behavior of malto-oligosaccharides, amylose and amylopectin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 11, p. 91-96, 1989. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141813089900482>>. Acesso em: 05 nov. 2016.
- OTAIGBE, J. U. et al. Processability and properties of biodegradable plastics made from agricultural biopolymers. **Journal of Elastomers and Plastics**, v. 31, p. 56-71, 1999. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/009524439903100104>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de cascas de coco (*cocos nucifera*) verde**: obtenção de telhas e chapas de partículas. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: < http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Paulo_Roberto_de_Assis_Passos.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2016.
- PATNAIK, A. et al. A study on a possible correlation between thermal conductivity and wear resistance of particulate filled polymer composites. **Materials & Design**, v. 31, p. 837-849, fev. 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306909003872>>. Acesso em: 08 out. 2018.
- PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos**: características, usos, produção e impactos ambientais. Conversando sobre ciências em Alagoas, EDUFAL: Maceió, 2005.
- PICCOLI, M.; MEDITSCH, A. de O.; PORTO, J. Estudo experimental sobre o tingimento natural do papel machê. In: FÓRUM INTERNACIONAL ECOINNOVAR, 3, Santa Maria, 2014. **Anais...** Santa Maria: RS, set. 2014. Disponível em: < <http://ecoinovar.com.br/cd2014/arquivos/artigos/ECO355.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2016.
- PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem de papel**. 2013. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-papel-2/>>. Acesso em: 10 jul. 2016.
- PORTELA, F. **O Catador Eletrônico**. Editora Loquii, 2015.
- PORTO, J. S. **Avaliação do uso da metodologia Human Centered Design (HCD) para qualificação de técnicas de produção de artefatos a partir de resíduos de papel em comunidade de Porto Alegre/RS**. Dissertação (Mestrado em Design). Programa de Pós-Graduação em Design, Centro Universitário Ritter dos Reis, Porto Alegre, 2013. Disponível em: < http://www.um.pro.br/prod/_pdf/000049.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2018.

PORTO, J. S. et al. A pesquisa voltada para o estudo de materiais e produtos sustentáveis: relatos e experiências de grupos de pesquisa na Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 5, 2015. **Anais...** Rio de Janeiro, nov. 2015. Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/sbds15/3st701a.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

PORTOBELLO, A. **Cobogó**: saiba como usar corretamente no projeto. Disponível em: < <https://archtrends.com/blog/cobogo/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

PRAMBAUERA, M.; PAULIK, C.; BURGSTALLER, C. Evaluation of the interfacial properties of polypropylene composites laminates, reinforced with paper sheets. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 88, p. 59-66, set. 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X16301373>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

PRAMBAUERA, M.; PAULIK, C.; BURGSTALLER, C. The influence of paper type on the properties of structural paper – polypropylene composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 74, p. 107-113, 2015 a. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X15001281>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

PRAMBAUERA, M.; PAULIK, C.; BURGSTALLER, C. Mechanical properties of structural paper-polypropylene composite laminates. **Materials Science Forum**, v. 825-826, p. 11-18, 2015 b. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280009297_Mechanical_Properties_of_Structural_Paper-Polypropylene_Composite_Laminates>. Acesso em: 21 mai. 2016.

RAMIRES, E. C. **Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glicol reforçados com fibras naturais**. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Química). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-06042010-165002/publico/ElaineCristinaRamiresSR.PDF>>. 15 abr. 2018.

RAQUEZ, J.-M.; DELÉGLISE, M.; LACRAMPE, M.-F.; KRAWCZAK, P. Thermosetting (bio)materials derived from renewable resources: A critical review. **Progress in Polymer Science**, v. 35, p. 487–509, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670010000080>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

RIBEIRO, A. M; ROSIS FILHO, M. **Proposta para implantação de um projeto de reciclagem das aparas do papel gráfico da Universidade Estadual de Londrina**. Trabalho de conclusão de curso (Especialista em Formulação e Gestão de Políticas Públicas). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008. Disponível em: < http://www.escoladegestao.pr.gov.br/arquivos/File/artigos/meio_ambiente_e_recursos_hidricos/proposta_para_o_projeto_de_reciclagem_das_aparas_d_o_papel.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.

RICHLITE. **Musical instruments**. Disponível em: < <https://richlite.com/pages/applications#music>>. Acesso em: 10 set. 2019.

RITTER, E., F.; Farias, J. B. S., Estudo do Comportamento da Força de Corte e da Rugosidade no Torneamento de Compósito de Polipropileno com Casca de Arroz. In: CONEM 2010 - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6, Campina Grande, 2010. **Anais...** Campina Grande: Paraíba, ago. 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1743.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

RODRIGUEZ-GONZALEZ, F. J.; RAMSAY, B.A.; FAVIS, B.D. High performance DPE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene. **Polymer**, v. 44, p. 1517-1526, 2003.

RÓZ, A. L. **Preparação e Caracterização de Amidos Termoplásticos**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – IFSC-USP, São Carlos: SP, 2004. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-11062008-150517/publico/AlessandraLuizadaRoz_D.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2018.

SANCHEZ, Elisabete M. S. et al. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 194-200, set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282010000300008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 fev. 2017 .

SANJAY, M. R.; ARPITHA, G. R.; YOGESHA, B. Study on Mechanical Properties of Natural – Glass Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites: A Review. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, p. 2959 – 2967, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531500509X>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

SANKAR, P. Ravi B. Umamaheswarrao, A.V. Avinash Reddy, P. Koushik Kumar. Perfuração de Laminados Compostos - Uma Revisão, **Revista de Pesquisa de Engenharia Básica e Aplicada**. v. 1, n. 3, p. 19-24, out. 2014

SANKRI, A. et al. Thermoplastic starch plasticized by an ionic liquid. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, p. 256-263, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861710002973>>. Acesso em: 01 set. 2016.

SANTOS, A. S. **Estudo da viabilidade de aplicação de fibras da pupunheira (*Bactris gasepaes* H. B.K) como alternativa à fibra de vidro no desenvolvimento de produtos**. Dissertação. Programa de Mestrado em Saúde e Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville. 2007. Disponível em: < http://antigo.univille.br/arquivos/3828_dissertacao_Adriane_Shibata.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2018.

SANTOS, L. F. G.; FORMIGA, L. A. S.; RODRIGUES, J. S.; SILVA, C. S. Desenvolvimento de compósitos de amido termoplástico reforçados com fibras de curauá natural da amazônia eco-compósitos de amido com fibras de curauá, **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 17, n.(4), p. 230-239, 2016. Disponível em: <<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/JUL16/santos.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SEBIO, L. **Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão**: avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Barão Geraldo, 2003. Disponível em: < http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/255879/1/Sebio_Leonard_D.pdf>. Acesso em: 25 set. 2018.

SEKHAR, D. Mechanical and water swelling properties of waste paper reinforced unsaturated polyester composites. **Construction and Building materials**, v. 138, p. 469-478, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817302271>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

SILVA, C. A. F.; BUENO, J. M.; NEVES, M. R. A indústria de celulose e papel no Brasil. 2015. **Guia ABTCP** (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel) 2015. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_ABTCP_Panorama_Setorial>. Acesso em: 12 nov. 2016

SILVA, Caroline Barbosa da et al. Effect of natural ageing on the properties of recycled polypropylene/ethylene vinyl acetate/wood flour composites. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, e11835, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000200502&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 nov. 2016.

SILVA, R. et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300010>. Acesso em: 09 mar. 2017.

SILVA, R. V. da. **Compósito de resina poliuretano derivada do óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-29082003-105440/publico/teseRosanaVilarimdaSilva.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2016.

SILVA, L. V.; ANGRIZANI, C. C.; SOUZA, J. R.; AMICO, S. C.; MEDEIROS, J. T. N. Use of polyester/glass-fiber residues as fillers for composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 124, p. 302–310, 2011.

SINGH, J.; ORDOÑEZ, I. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 342-353, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018442>>. Acesso em: 12 set. 2016.

SOEST, J. J. G. V.; HULLEMAN, S. H. D.; WIT, D.; VLIAGENTHART, J.F.G. Crystallinity in starch bioplastics. **Industrial Crops and Products**, v. 5, n. 1, p. 11-22, 1996.

SOMBATSOMPOP, N.; WOOD, A. K. Measurement of Thermal Conductivity of Polymers using an Improved Lee's Disc Apparatus. **Polymer Testing**, v. 16, p. 203-223, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941896000438>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

SÖRENSEN, Charlotte Asbjørn; WARELL, Anders; JAPTAP, Santosh. **A new approach to materials in Product Design education: A shift from technical properties towards sensorial characteristics**. In: EKSIG. Holanda: Rotterdam, jun. 2017. Disponível em: <<http://muep.mau.se/bitstream/handle/2043/23546/Asbjorn%20Sorensen%20Jagtap%20Warell%202017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SÖRENSEN, C. A. **Universitetsadjunkt**. Disponível em: <<http://forskning.mah.se/id/tschso>>. Acesso em: 17 mai. 2019.

SUGIH, A.K. **Synthesis and Properties of Starch Based Biomaterials**. Tese (Doutorado). Universidade de Groningen, 2008. Disponível em: <<https://www.rug.nl/research/portal/files/14485136/06-c6.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

TARRÍO-SAAVEDRA, J. et al. Application of functional ANOVA to the study of thermal stability of micro–nano silica epoxy composites. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 105, n. 1, p. 114–124, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016974391000225X>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

TESTER, F. R.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151-165, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521003001139>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

TREIN, A. F.; SANTOS, A. Material compósito de resíduos de MDF e MDP estruturados em matriz de PVC para produtos alinhados pelo eco-design. In: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 5, Rio de Janeiro, 2015. **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil, 11 a 13 jan. 2015. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/sbds15/4st701a.pdf>>. Acesso em:

TWE, M. M.; LIAO, K. Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. **Composites Science and Technology**, v. 63, p. 375-387, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353802002257>>. Acesso em: 25 set. 2018.

UNIVERSIDADE DE SANTA MARIA (UFSM). **Coleta Seletiva Solidária vai entrar em vigor na UFSM**. 2016. Disponível em: <<http://site.ufsm.br/noticias/exibir/coleta-seletiva-solidaria-vai-entrar-em-vigor-na-u>>. Acesso em: jul. 10, 2016.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **Livro retrata a história de catadores do Projeto Eco-Eleto**. 2015. Disponível em: <<http://www5.usp.br/100250/livro-retrata-a-historia-de-catadores-do-projeto-eco-eleto/>>. Acesso em: jul. 10, 2016.

VALENTE, M.; TIRILLÒ, J.; QUITADAMO, A.; SANTULLI, C. Paper fiber filled polymer – mechanical evaluation and interfaces modification. **Composites Part: B Engineering**, v. 110, p. 520-529, fev. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816314615>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

VAN SOEST, J.J.G. et al. Crystallinity in starch bioplastics. **Industrial Crops and Products**, v. 5, n. 1, p. 11-22, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0926669095000488>>. Acesso em: 25 set. 2018.

VARASQUIM, F. M. F. A. **Efeitos da granulometria, do desgaste e do material abrasivo no lixamento plano de madeiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, p. 162p, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/111072>>. Acesso em: 13 set. 2018.

VILASECA, F. et al. Composite materials derived from biodegradable starch polymer and jute strands. **Process Biochemistry**, v. 42, p. 329–334, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511306003400>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

VILAY, V. et al. Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber–reinforced unsaturated polyester composites. **Composites Science and Technology**, v. 68, n. 3-5, p. 631-638, out. 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353807003843>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

VILAY, V.; MARIATTI, M.; TAIB, R. M.; TODO, M. Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber–reinforced unsaturated polyester composites. **Composites Science and Technology**, v. 68, n° 3-4, p. 631-638, 2007.

WOEHL, M. A. **Bionanocompositos de amido plastificado com glicerol reforçados com nanofibras de celulose bacteriana**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/19558/Dissertacao%20Marco%20Aurelio%20Woehl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

XU, J. et al. Study of drilling-induced defects for CFRP composites using new criteria. **Composite Structures**, v. 201 p. 1076–1087, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822318310791>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

YUE, K.; LIU, W. Q.; LU, X. N.; LU, W. D.; YANG, H. F. Study on composites for furniture with waste paper and particle. *Advanced Materials Research*, v. 472-475, p. 1228-1238, 2012.

ZIVKOVIC, I.; FRAGASSA, C.; PAVLOVIC, A.; BRUGO, T. Influence of moisture absorption on the impact properties of flax, basalt and hybrid flax/basalt fiber reinforced green composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 111, p. 148-164 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816306096>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

ŽMAK, I.; KUPRES, K.; ŽUPAN, J. Toplinska svojstva kompozita od otpadnog papira thermal properties of waste paper composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE MATRIB MATERIALS, WEAR, RECYCLING, 2015. **Anais...** Vela Luka, Croácia, jun. 2015. Disponível em: < https://bib.irb.hr/datoteka/767845.ZMAK_waste_paper_composites.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2018.

ZUO, H. et al. An investigation into the sensory properties of materials. In: THE SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON AFFECTIVE HUMAN FACTORS DESIGN, Singapore 2001 **Anais...** Singapore, 2001. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/4b88/e555849f6042728ad4aa2394be3c6c70d623.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

ZUO, H., JONES, M., HOPE, T. **Material texture perception in product design.** Anais International conference on the art of plastics design, Berlin, Alemanha, 2005.