

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

Danieli Maehler Nejeliski

**USO DE RESÍDUOS DE PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) PARA A PRODUÇÃO  
DE REVESTIMENTOS MODULARES E PAINÉIS DE PARTÍCULAS**

Tese de Doutorado

Porto Alegre  
2022

Danieli Maehler Nejeliski

**USO DE RESÍDUOS DE PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) PARA A PRODUÇÃO  
DE REVESTIMENTOS MODULARES E PAINÉIS DE PARTÍCULAS**

Documento de tese submetido ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do Grau de Doutora em Design.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lauren da Cunha Duarte.

Porto Alegre, RS, Brasil

2022

CIP – Catalogação na Publicação

Nejeliski, Danieli Maehler  
Uso de resíduos de porongo (*Lagenaria siceraria*)  
para a produção de revestimentos modulares e painéis  
de partículas / Danieli Maehler Nejeliski. -- 2022.  
207 f.  
Orientador: 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, 2022.

1. Seleção de materiais. 2. Design de superfícies  
tridimensionais. 3. Painéis de partículas. 4. Porongo.  
5. *Lagenaria siceraria*. I. Duarte, Lauren da Cunha,  
orient. II. Título.

Danieli Maehler Nejeliski

**USO DE RESÍDUOS DE PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) PARA A PRODUÇÃO  
DE REVESTIMENTOS MODULARES E PAINÉIS DE PARTÍCULAS**

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, 07 de novembro de 2022.

---

Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

---

Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lauren da Cunha Duarte

---

Avaliadora Interna Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jocelise Jacques de Jacques  
Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

---

Avaliadora Externa Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Érika da Silva Ferreira  
Universidade Federal de Pelotas – UFPEL

---

Avaliadora Externa Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eliana Paula Calegari  
Instituto Benjamin Constant – IBC

*Dedico este trabalho aos meus avôs  
Carlos Nejeliski e Alfredo Maehler, que já partiram,  
e à Aurora Nejeliski Dalla Costa, que acabou de chegar.*

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-graduação em Design e Tecnologia da instituição por oferecerem a oportunidade do desenvolvimento de pesquisa acadêmica na área de Design na região sul do país, com ensino gratuito e de qualidade reconhecida.

O desenvolvimento da minha pesquisa acadêmica, desde o Mestrado até o Doutorado, só foi possível graças ao trabalho da minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lauren da Cunha Duarte, que me acompanha desde o início da minha jornada. Sou muito grata por todo o conhecimento e o apoio dedicados ao longo de todos esses anos. Sem o trabalho e a dedicação da minha orientadora este trabalho não seria possível.

Gostaria de agradecer ao programa de incentivo à capacitação do Instituto Federal Sul-rio-grandense, campus Pelotas, instituição da qual sou professora nos cursos da área de Design desde o ano de 2017. O auxílio à capacitação da instituição possibilitou a dedicação exclusiva no desenvolvimento da tese durante dois anos, o que foi fundamental para a conclusão da mesma. Quero agradecer aos meus colegas de trabalho, amigos e amigas da Coordenação de Design do IFSul, por propiciarem um ambiente de trabalho acolhedor.

Um agradecimento ao Laboratório de Experimentos em Prototipagem (LEP) do IFSul, onde desenvolvi parte da minha prática de pesquisa com a ajuda da minha amiga, colega de Graduação e agora colega de trabalho, a Prof<sup>a</sup>. Mariana Piccoli, coordenadora do laboratório. Agradeço também ao marceneiro do LEP, seu Manu, pela ajuda nos processos de corte das amostras.

A produção dos painéis de partículas de porongo foi, sem dúvida, a parte mais desafiadora do desenvolvimento da tese e só foi possível graças à disponibilidade e atenção da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika Ferreira, coordenadora do Laboratório de Painéis de Madeira (LAPAM) da UFPel.

Gostaria de agradecer às amigas que me acompanham desde a Graduação em Desenho Industrial na UFSM, e agora colegas de profissão Eliana Calegari, Roseane Santos, Mariana Piccoli, Helena Ruiz e Júlia Copetti.

A família é a origem e a base de tudo e sou muito grata por ter ao meu lado pessoas tão especiais. Um agradecimento ao meu pai, Miguel Nejeliski, à minha mãe, Regiani Maehler Nejeliski, e à minha irmã, Francieli Maehler Nejeliski. Por fim, um agradecimento especial à família que escolhi, ao meu marido Gustavo Severo Dalla Costa, pai da Aurora, pelo apoio e incentivo incondicional ao longo desses anos e por revisar o meu trabalho sempre que necessário.

# Resumo

NEJELISKI, D. M. **Uso de resíduos de porongo (*Lagenaria siceraria*) para a produção de revestimentos modulares e painéis de partículas**. 2022. 207 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

As matérias-primas de origem vegetal despertam interesse crescente por serem renováveis e biodegradáveis. O porongo (*Lagenaria siceraria*) é o fruto de uma planta da família das cucurbitáceas, seu cultivo é adaptado ao clima tropical, o plantio é anual e a produtividade é alta. Após o processo de secagem o fruto adquire características similares à madeira. No sul do Brasil, na Argentina e no Uruguai é a principal matéria-prima para a produção artesanal de cuias, recipientes para o chimarrão, bebida típica regional. Ao longo desse processo, até 80% do volume inicial dos frutos se transforma em resíduos e é descartada. O porongo é caracterizado como um material lignocelulósico poroso, de baixa densidade, utilizado empiricamente como isolante e com propriedades sensoriais distintas. O objetivo deste trabalho é viabilizar a utilização dos resíduos de porongo oriundos da produção de cuias como matéria-prima no design de produto e valorizar suas propriedades técnicas e sensoriais, através da produção de revestimentos modulares e de painéis de partículas. Para a produção dos revestimentos modulares foi utilizada uma metodologia projetual adaptada (BRIEDE; ALARCÓN, 2012) dividida em três etapas: caracterização, otimização e aplicação. Como resultado, foi realizada a caracterização das propriedades técnicas e sensoriais dos resíduos e foram desenvolvidos módulos, multimódulos, padrões e revestimentos modulares tridimensionais. Os revestimentos modulares podem ser aplicados em produtos como divisórias de ambientes, frentes de móveis e revestimentos de superfícies. Para a produção dos painéis de partículas foi utilizada uma metodologia adaptada (MALONEY, 1989) dividida em quatro etapas: produção das partículas, especificações do painel, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem. Foram testados dois tipos de adesivos: resina ureia-formaldeído e matriz de amido e glicerol. Os painéis de partículas com resina ureia-formaldeído não se estruturaram, enquanto que os painéis de amido e glicerol apresentaram adesão entre as partículas e estabilidade estrutural. Como resultado, foram produzidos painéis com a proporção de 70% de partículas de porongo e 30% de matriz de amido e glicerol, caracterizados como painéis não estruturais para uso interno. Os painéis apresentaram propriedades sensoriais similares aos aglomerados de cortiça, o corte a laser mostrou-se viável e as imagens do MEV mostraram que o processo de termoplastificação da matriz não ocorreu. Com relação às propriedades físicas, os painéis se enquadraram na categoria de baixa densidade ( $0,46 \text{ g/cm}^3$ ), apresentaram alto teor de umidade e um percentual alto de absorção de água, característicos dos painéis de partículas produzidos com resíduos agrícolas.

**Palavras-chave:** Seleção de materiais; Design de superfícies tridimensionais; Painéis de partículas; Porongo; *Lagenaria siceraria*.

# Abstract

NEJELISKI, D. M. **Use of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) waste for the production of modular coatings and particle board**. 2022. 207 p. Thesis (Doctor of Design) Engineering School, Architecture Faculty, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

Plant based materials arouse growing interest because they are renewable and biodegradable. The bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) is the fruit of a plant of the cucurbitaceae family, its cultivation is adapted to the tropical climate, the planting is annual and the productivity is high. After the drying process, the fruit acquires characteristics similar to wood. In southern Brazil, Argentina and Uruguay, it is the main raw material for the artisanal production of *cuias*, containers for *chimarrão*, a typical regional drink. During this process, up to 80% of the initial volume of the fruits becomes waste and is discarded. The bottle gourd is characterized as a porous, low-density lignocellulosic material, empirically used as an insulator and with distinct sensory properties. The objective of this work is to enable the use of bottle gourd residues from the production of *cuias* as raw material in product design and to enhance its technical and sensory properties, through the production of modular coatings and particle boards. For the production of modular coatings, an adapted design methodology (BRIEDE; ALARCÓN, 2012) was used, divided into three stages: characterization, optimization and application. As a result, the characterization of the technical and sensorial properties of the waste was carried out and modules, multi-modules, patterns and three-dimensional modular coatings were developed. The bottle gourd modular coatings can be applied to products such as room dividers, furniture fronts and surface coverings. For the production of particle board, was used an adapted methodology (MALONEY, 1989) divided into four stages: particle production, panel specifications, material dosage and pressing cycle. Two types of adhesives were tested: urea-formaldehyde resin; starch and glycerol matrix. The particle boards with urea-formaldehyde resin did not structure, while the starch and glycerol panels showed adhesion between the particles and structural stability. As a result, panels were produced with a proportion of 70% bottle gourd particles and 30% starch and glycerol matrix, characterized as non-structural panels for internal use. The panels showed similar sensory properties to cork agglomerates, laser cutting proved to be feasible and MEV images showed that the matrix thermoplasticization process did not occur. With regard to physical properties, the panels fell into the low density category ( $0.46 \text{ g/cm}^3$ ), presented high moisture content and a high percentage of water absorption, characteristic of particle boards produced with agricultural waste.

**Keywords:** Material selection; Tridimensional surface design; Particle board; Bottle gourd; *Lagenaria siceraria*.



# Lista de Abreviaturas e Siglas

<b>AA</b>	Absorção de Água
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ATG</b>	Análise Termogravimétrica
<b>BSE</b>	Backscattered Electron
<b>DfD</b>	Design for Disassembly
<b>EMATER</b>	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
<b>EPS</b>	Poliestireno Expandido
<b>ha</b>	Hectare
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IE</b>	Inchamento em Espessura
<b>IFFar</b>	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
<b>IFSul</b>	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense
<b>LAPAM</b>	Laboratório de Painéis de Madeira
<b>LdSM</b>	Laboratório de Seleção de Materiais
<b>LEP</b>	Laboratório de Experimentos em Prototipagem
<b>MDP</b>	Medium Density Particleboard
<b>MEV</b>	Microscópio Eletrônico de Varredura
<b>MOE</b>	Módulo de Elasticidade
<b>OSB</b>	Oriented Strand Board
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PMVA</b>	Produtos de Maior Valor Agregado
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PU</b>	Poliuretano

<b>RS</b>	Rio Grande do Sul
<b>SMI</b>	Seleção de Materiais Invertida
<b>TAPPI</b>	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
<b>μCT</b>	Microtomografia
<b>UFPel</b>	Universidade Federal de Pelotas
<b>μm</b>	Micrometros

# Lista de Figuras

Figura 1: Exemplos de variações morfológicas do porongo.....	25
Figura 2: Visita de campo em Arroio do Só: a) Secagem dos frutos ao ar livre; b) Cuias produzidas.....	29
Figura 3: Visita de campo em Frederico Westphalen: a) Plantio direto e cultivo rasteiro dos porongos; b) Secagem dos frutos utilizados para artesanato.....	30
Figura 4: Resíduos de porongo oriundos da produção de cuias: a) resíduos do primeiro processo de corte; b) resíduos do segundo processo, de corte e lixa.....	31
Figura 5: Fluxograma do processo de geração de resíduos de porongo na cadeia produtiva de cuias.....	32
Figura 6: Fluxograma do delineamento metodológico do desenvolvimento do trabalho.....	34
Figura 7: A relação entre os aspectos que determinam a seleção de materiais.....	37
Figura 8: Etapas do modelo de seleção de materiais invertida.....	42
Figura 9: Etapas do beneficiamento dos materiais de origem vegetal.....	44
Figura 10: Propriedades sensoriais da madeira: cores, figuras e texturas nas diferentes espécies.....	47
Figura 11: Ciclo de vida sistema-produto.....	50
Figura 12: Hierarquia dos resíduos.....	52
Figura 13: Projeto Botiá: a) embalagem ninho para frutas; b) embalagem para ovos.....	55
Figura 14: Amostras de compósitos de casca de arroz e resina poliéster: a) casca de arroz inteira; b) casca de arroz inteira e moída; c) casca de arroz moída.....	57
Figura 15: Composição visual: a) módulo indígena; b) padrão; c) estrutura de repetição.....	60
Figura 16: Exemplos de diferentes sistemas de repetição de um mesmo módulo.....	60
Figura 17: Rack, projeto Muiradesign.....	62
Figura 18: Projeto Topomorfose: a) tronco com diferentes cortes em topo; b) módulo; c) união de dois módulos; d) composição com vários módulos.....	63
Figura 19: Padronagens do projeto Topomorfose.....	64
Figura 20: Revestimentos modulares de bambu.....	65
Figura 21: Processo de beneficiamento da Luffa cylindrica: a) extração da casca; b) processo de secagem ao ar livre; c) corte padronizado da matéria-prima; d) azulejos acústicos para revestimento de áreas internas.....	66
Figura 23: Painéis de partículas: a) MDP, formado por três camadas distintas; b) OSB, formado por uma camada, a flecha indica as partículas de madeira na superfície.....	68
Figura 24: Aglomerados de cortiça: a) Contraste entre as cores e texturas do aglomerado expandido (preto) e do aglomerado composto (branco); b) Uso dos aglomerados de cortiça em ambiente externo.....	70
Figura 25: Estudos preliminares de produção dos painéis de resíduos: a) espessura; b) propriedades táteis e flexão; c) vértice.....	71
Figura 26: Aplicações dos painéis no contexto do design de interiores.....	72
Figura 27: Metodologia para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais.....	75
Figura 28: Frutos descartados, selecionados para a produção dos revestimentos modulares.....	81
Figura 29: Microestrutura: a) Células do mesocarpo do porongo; b) Células da cortiça.....	84
Figura 30: Limpeza do exocarpo dos frutos: a) Remoção da película; b) Aspecto dos frutos após a limpeza.....	87
Figura 31: Contrastes de texturas e cores: a) Exocarpo, textura aveludada e coloração mais escura; b) Mesocarpo, textura porosa e coloração mais clara.....	88
Figura 32: Formas orgânicas e arredondadas dos frutos: a) Frutos inteiros; b) Frutos após processo de corte.....	89
Figura 33: Ficha descritiva da etapa de caracterização.....	90

Figura 34: Corte longitudinal do porongo após o processo de secagem: 1) Endocarpo; 2) Sementes; 3) Mesocarpo; 4) Encontro do mesocarpo com o endocarpo.....	93
Figura 35: Corte dos perfis de porongo: a) Serra de fita; b) Serra esquadrejadeira.....	94
Figura 36: Lixamento das peças: a) Lixa adaptada para peças com formas orgânicas; b) Lixadeira de cinta.	94
Figura 37: Diferentes tipos de montagem em madeira maciça: a) Encaixe; b) Ferragens (cantoneira metálica e parafusos); c) Cola branca.....	96
Figura 38: Revestimentos de pastilhas da casca do coco, montagem por adesão da parte posterior das pastilhas sobre uma base plana.....	97
Figura 39: Amostras de porongo após aplicação de resina à base de óleo de mamona: 1) Sem tratamento; 2) Com uma camada da resina A; 3) Com duas camadas da resina A; 4) Com uma camada da resina B; 5) Com duas camadas da resina B.....	100
Figura 40: Perfis extraídos de cortes transversais: a) Peças circulares e semicirculares; b) Peças circulares em uma composição concêntrica. Nos detalhes, regiões dos frutos de onde as amostras foram extraídas.	102
Figura 41: Perfis extraídos de cortes longitudinais: a) Peças orgânicas em composição plana; b) Peças orgânicas em composição volumétrica. No detalhe, região dos frutos de onde as amostras foram extraídas.....	103
Figura 42: Peças quadradas e retangulares extraídas dos frutos: a) Composição volumétrica; b) Composição plana com variação de cores e texturas. No detalhe, região dos frutos de onde as amostras foram extraídas.....	104
Figura 43: Geração de alternativas de módulos e padrões criados a partir das peças cortadas de diferentes seções dos frutos.....	105
Figura 44: Revestimento modular de pastilhas de porongo: a) Vista geral da superfície do revestimento; b) Detalhe das cores, texturas e variações de volume do exocarpo das peças.....	106
Figura 45: Revestimento modular com peças orgânicas: a) Vista geral da superfície do revestimento; b) Detalhe das cores, texturas e variações de volume do mesocarpo e do exocarpo. No detalhe, região dos frutos de onde as amostras foram extraídas.....	106
Figura 46: Ficha descritiva da etapa de otimização.....	108
Figura 47: Cortes de seções selecionados para os revestimentos modulares: a) Semicírculo; b) Orgânico..	109
Figura 48: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo 1.....	110
Figura 49: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo 2.....	111
Figura 50: Desenho técnico com as dimensões gerais do multimódulo 1.....	112
Figura 51: Desenho técnico com as dimensões gerais do multimódulo 2.....	112
Figura 52: Desenho técnico com as dimensões gerais da peça de revestimento modular.....	113
Figura 53: Estudos de composições com o módulo 1, corte de seção transversal: a) Padrão de listras com diferentes cores; b) Detalhe do volume da composição; c) Padrão com o desenho do semicírculo.....	115
Figura 54: Módulo 1, composição do multimódulo 1 e variações na rotação do multimódulo 1.....	116
Figura 55: Composição do padrão 1 a partir do multimódulo 1; Criação do revestimento 1 a partir da repetição do padrão 1 com variação na rotação.....	116
Figura 56: Composição do padrão 2 a partir do multimódulo 1; Criação do revestimento 2 a partir da repetição do padrão 2.....	117
Figura 57: Combinação dos padrões 1 e 2 para a criação do revestimento 3.....	117
Figura 58: Estudos de composições com o módulo 2, corte de seção longitudinal: a) Módulos espelhados; b) Composição com módulos verticais e horizontais; c) Módulos encaixados.....	118
Figura 59: Combinação do módulo 2 com o módulo 1 formando o multimódulo 2; variações na rotação do multimódulo 2.....	119
Figura 60: Composição do padrão 3 a partir do multimódulo 2; Criação do revestimento 4 a partir da	

repetição do padrão 3. ....	119
Figura 61: Composição do padrão 4 a partir do multimódulo 2; Criação do revestimento 5 a partir da repetição intercalada do padrão 4. ....	120
Figura 62: Revestimento 1 aplicado na parede e revestimento 2 aplicado em divisor de ambientes. ....	121
Figura 63: Revestimento 3 aplicado em divisor de ambientes. ....	122
Figura 64: Revestimento 4 aplicado nas portas de um móvel. ....	123
Figura 65: Revestimento 5 aplicado em painel. ....	124
Figura 66: Preparo das amostras: a) Moinho de facas Willey; b) Amostras peneiradas. ....	127
Figura 67: Teor de extrativos: a) Extração em água fria; b) Extração em água quente. ....	128
Figura 68: Metodologia para a produção de painéis de partículas. ....	134
Figura 69: Trituração e peneiramento: a) Moinho de martelo; b) Peneiras granulométricas. ....	135
Figura 70: Mistura dos materiais e montagem do colchão de partículas: a) Encoladeira de partículas; b) Partículas na caixa formadora; c) Colchão de partículas sobre a chapa metálica com os afastadores. ....	137
Figura 71: Prensagem: a) Chapa sobre os colchões de partículas; b) Painéis dentro da prensa; c) Vista externa da prensa hidráulica fechada. ....	138
Figura 72: Separação e secagem das partículas: a) Secagem dos resíduos em ambiente controlado; b) Resíduos preparados para a trituração. ....	139
Figura 73: Partículas de porongo após peneiramento: 1) 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) Pó. ....	140
Figura 74: Adaptação da mistura de materiais na encoladeira: a) Pistola de compressão com resina e catalisador; b) Pistola adaptada na ponta do tambor plástico com as partículas. ....	142
Figura 75: Montagem dos colchões de partículas: a) Colocação das partículas na caixa formadora; b) Colchões de partículas sobre a chapa, entre os afastadores. ....	142
Figura 76: Painéis de partículas de porongo com resina ureia-formaldeído: a) Fraca adesão entre as partículas e o adesivo; b) Painéis removidos da chapa metálica. 1) Partículas de 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) Pó do porongo. ....	143
Figura 77: Adesão entre as partículas dos painéis: a) Superfície do painel, com adesão mais visível; b) Interior do painel com adesão mais fraca. ....	144
Figura 78: Preparo da matriz: a) Batedeira manual; b) Mistura de amido e glicerol. ....	146
Figura 79: Mistura dos materiais: a) Matriz de amido e glicerol sobre as partículas; b) Mistura manual. ....	147
Figura 80: Resultados do teste 1 com matriz de amido e glicerol: a) Painel com partículas de 16 mesh; b) Painel com pó de porongo; c) Detalhe da superfície do painel de 16 mesh. ....	148
Figura 81: Resultados do teste 2 com matriz de amido e glicerol: a) Rachaduras estruturais; b) Fraca adesão no centro do painel. ....	150
Figura 82: Resultados do teste 3 com matriz de amido e glicerol: 1) Partículas de 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) mistura das três partículas. ....	151
Figura 83: Resultados do teste 4 com matriz de amido e glicerol: 1) Partículas de 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) pó de porongo. ....	153
Figura 84: Painéis de partículas de porongo com amido e glicerol: a) Amostras dos painéis medindo 50 x 50 mm (1 – 10 mesh, 2 – 16 mesh, 3 – 30 mesh, 4 – pó); b) Detalhe do painel de partículas de 16 mesh; c) Acabamento superficial dos painéis. ....	156
Figura 85: Detalhe da superfície dos painéis: a) Painel de partículas de porongo com granulometria de 16 mesh; b) Painel aglomerado de cortiça. ....	157
Figura 86: Capacidade de deformação dos painéis: a) Rigidez do painel de partículas de porongo; b) Flexibilidade e deformação do painel de cortiça. ....	158
Figura 87: Máquina de corte e gravação a laser utilizada para os testes: a) Parte externa da máquina; b) Parte interna com detalhe da mesa de trabalho. ....	159

Figura 88: Testes de corte a laser nos painéis: a) Potência 30 a 90 watts, velocidade 100 m/min; b) Potência 30 a 90 watts, velocidade 5 m/min;.....	162
Figura 89: Testes de corte a laser nos painéis: a) Potência 80 watts, velocidade 25 m/min; b) Amostras cortadas a laser.....	163
Figura 90: Detalhe dos elementos do parênquima: 1) Célula do parênquima, onde as pontuações são os vasos condutores; 2) Espaço intercelular; 3) Orifício por onde passa o floema; 4) Células condutoras. ....	165
Figura 91: Painel com pó de porongo e densidade 0,5 g/cm <sup>3</sup> : a) Microestrutura do parênquima descaracterizada; b) Cristais da matriz espalhados entre as partículas (no detalhe). ....	165
Figura 92: Painéis com partículas de 30 mesh: a) Densidade 0,3 g/cm <sup>3</sup> (no detalhe, fraca adesão entre as partículas; b) Densidade 0,5 g/cm <sup>3</sup> (1-partículas de porongo; 2-matriz de amido e glicerol).....	166
Figura 93: Painel com partículas de 16 mesh e densidade de 0,5 g/cm <sup>3</sup> : 1-Estrutura das células do parênquima, 2-Aglomerado da matriz; 3-Cristais da matriz. ....	167
Figura 94: Painéis com densidade de 0,5 g/cm <sup>3</sup> : a) Pó de porongo; b) Partículas de 30 mesh; c) Partículas de 16 mesh; d) Partículas de 10 mesh. ....	169
Figura 95: Painéis com partículas de 16 mesh: a) Densidade 0,3 g/cm <sup>3</sup> (fraca adesão entre as partículas); b) Densidade 0,5 g/cm <sup>3</sup> (1-partículas de porongo; 2-matriz de amido e glicerol; 3-superfície do painel).....	170
Figura 96: Painéis com partículas de 10 mesh: a) Densidade 0,3 g/cm <sup>3</sup> (fraca adesão entre as partículas); b) Densidade 0,5 g/cm <sup>3</sup> (1-cavidade vazia do parênquima; 2-cavidade preenchida com cristais da matriz).....	170
Figura 97: Determinação do teor de umidade: a) Analisador de umidade Ohaus; b) Amostra triturada do painel na parte interna do equipamento. ....	172
Figura 98: Ensaio de absorção de água: a) Corpos de prova imersos na água; b) Corpos de prova após 24 horas de imersão; c) Amostra na balança de precisão. ....	176
Figura 99: Equipamento utilizado para a medição da espessura dos painéis. ....	179

# Lista de Tabelas

Tabela 1: Painéis não estruturais para uso interno em condições secas – requisitos para propriedades mecânicas e inchamento. ....	69
Tabela 4: Composição química do porongo .....	131
Tabela 5: Valores das especificações dos painéis, da dosagem dos materiais e do ciclo de prensagem, com base nos cálculos da metodologia.....	141
Tabela 6: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 1 com amido e glicerol....	146
Tabela 7: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 2 com amido e glicerol....	149
Tabela 8: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 3 com amido e glicerol....	150
Tabela 9: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 4 com amido e glicerol....	152
Tabela 10: Parâmetros para os testes de corte a laser nos painéis de partículas de porongo. ....	161
Tabela 11: Teor de umidade dos painéis de partículas de porongo.....	173
Tabela 12: Densidade dos painéis de partículas de porongo. ....	174
Tabela 13: Absorção de água dos painéis de partículas de porongo.....	176
Tabela 14: Inchamento em espessura dos painéis de partículas de porongo. ....	179
Tabela 15: Teor de umidade.....	202
Tabela 16: Teor de cinzas.....	202
Tabela 17: Solubilidade em água fria .....	202
Tabela 18: Solubilidade em água quente.....	202
Tabela 19: Etanol-Tolueno.....	203

# Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE.....	22
1.2	OBJETIVOS .....	22
1.2.1	Objetivo Geral.....	22
1.2.2	Objetivos Específicos .....	23
1.3	JUSTIFICATIVA .....	23
1.4	ESTRUTURA DA TESE E DELINEAMENTO METODOLÓGICO .....	27
1.4.1	Coleta dos Resíduos de Porongo .....	28
1.4.2	Delineamento Metodológico.....	33
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	35
2.1	MATERIAIS E DESIGN.....	35
2.1.1	Seleção de Materiais .....	37
2.1.2	Materiais de Origem Vegetal .....	44
2.1.3	Resíduos Agrícolas.....	49
2.2	REVESTIMENTOS MODULARES .....	57
2.2.1	Design de Superfícies Tridimensionais .....	58
2.2.2	Revestimentos Modulares de Materiais de Origem Vegetal .....	62
2.3	PAINÉIS DE PARTÍCULAS .....	67
3	CRIAÇÃO DOS REVESTIMENTOS MODULARES.....	74
3.1	METODOLOGIA PARA A CRIAÇÃO DE REVESTIMENTOS MODULARES .....	74
3.2	ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO .....	79
3.2.1	Disponibilidade e Classificação .....	80
3.2.2	Propriedades Técnicas .....	82
3.2.3	Propriedades Sensoriais .....	86
3.3	ETAPA 2: OTIMIZAÇÃO .....	90
3.3.1	Aproveitamento dos Resíduos.....	91
3.3.2	Montagem .....	95
3.3.3	Acabamento.....	98
3.3.4	Experimentação.....	101
3.4	ETAPA 3: APLICAÇÃO .....	107
3.4.1	Especificações Técnicas .....	108
3.4.2	Módulos e Padrões .....	114
3.4.3	Aplicações.....	121



4	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS.....	125
4.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PORONGO .....	125
4.1.1	Materiais e Métodos.....	126
4.1.2	Resultados da Composição Química do Porongo .....	130
4.2	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE PORONGO .....	133
4.2.1	Metodologia para a Produção de Painéis de Partículas .....	134
4.2.2	Painéis com resina ureia-formaldeído .....	138
4.2.3	Painéis com amido e glicerol.....	145
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE PORONGO.....	154
4.3.1	Propriedades Sensoriais .....	154
4.3.2	Parâmetros para Corte a Laser.....	159
4.3.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	163
4.3.4	Propriedades Físicas .....	171
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	181
5.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	181
5.2	CRIAÇÃO DOS REVESTIMENTOS MODULARES.....	185
5.2.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	187
5.3	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS .....	188
5.3.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	192
	REFERÊNCIAS .....	194
	APÊNDICES .....	202

# 1 INTRODUÇÃO

Os materiais são fontes de inspiração para os seres humanos desde o início da história. A curiosidade e a necessidade impulsionaram a busca pela utilidade das matérias-primas disponíveis, usando a criatividade para definir a forma e a função dos objetos e ferramentas do cotidiano. Instintivamente, sempre houve uma tentativa de aproveitar da melhor maneira os atributos de cada material (ASHBY; JOHNSON, 2011).

A preocupação com a minimização dos impactos ambientais vem aumentando gradativamente a conscientização em relação à necessidade de soluções mais sustentáveis. Ashby e Johnson (2011) elencam alternativas para a redução dos impactos de uso dos produtos, como a redução da extração de matérias-primas através da reciclagem, a miniaturização e a substituição de bens por serviços. Dentre as alternativas, os autores destacam a utilização de materiais renováveis, cuja matéria-prima pode ser cultivada.

Materiais de origem vegetal são provenientes de plantas, cultivadas ou nativas, que após passarem pelas etapas de desenvolvimento, extração, secagem, processamento e acabamento, adquirem as propriedades técnicas e sensoriais para serem utilizados como matéria-prima no design de produtos ou de novos materiais. Urbaniak, Goluch-Goreczna e Bledzki (2017) destacam que estes materiais permitem uma produção eficiente, uma redução substancial das emissões de CO<sub>2</sub> e a diminuição dos resíduos sintéticos, configurando-se como alternativa econômica e ecológica.

A matéria-prima pode ser extraída de diferentes estruturas das plantas, desde as raízes, caule, galhos, folhas, frutos e sementes, tudo pode ser aproveitado. O porongo (*Lagenaria siceraria*) é um exemplo de material de origem vegetal de ciclo rápido, pois

após alguns meses de desenvolvimento os frutos estão prontos para a colheita. No processo de secagem ocorre a perda de aproximadamente 90% do peso em água, resultando em frutos ocos com o mesocarpo poroso e o exocarpo liso e impermeável. Outra característica da espécie são as formas arredondadas e os tamanhos variados, o que favorece a utilização do porongo como recipiente para alimentos e bebidas. No estado do Rio Grande do Sul é utilizado como matéria-prima para a produção de cuias, recipientes para o preparo do chimarrão, bebida típica da região.

O design tem como objetivo buscar soluções significativas para os usuários, que promovam novas experiências e impactem de maneira positiva a sociedade, e a seleção de materiais é determinante neste cenário (BARAUNA; RAZERA; HEEMANN, 2015). A seleção de materiais é um processo complexo que tem como objetivo aperfeiçoar um produto no que diz respeito a vários aspectos como os métodos de produção, as funções do produto, as demandas estruturais, de mercado ou do usuário, o design, o preço, o impacto ambiental, o ciclo de vida, entre outros (LJUNGBERG, 2007).

No processo de seleção, os materiais desempenham dois papéis que se sobrepõem: o de proporcionar funcionalidade técnica e o de criar personalidade para o produto (ASHBY; JOHNSON, 2011). Os atributos tangíveis estão relacionados com o perfil objetivo e informações técnicas que tem como objetivo quantificar o comportamento em relação às propriedades físicas, mecânicas, isolantes, entre outras. Esses atributos podem ser medidos, possuem valores exatos e uma série de normas que especificam os ensaios e os resultados. Já os atributos intangíveis estão relacionados com o perfil subjetivo do material, como a percepção estética e simbólica de cada indivíduo (DIAS, 2009).

Os atributos intangíveis dos materiais estão diretamente relacionados com as propriedades sensoriais dos mesmos. De acordo com Walter (2006, p. 42) “uma vez em

contato com um produto ou material através das estruturas fisiológicas sensitivas, inicia-se no ser humano um processo de associação do que está sendo sentido com o repertório adquirido ao longo da vida de cada indivíduo”. Um dos fatores que impulsionam o uso de materiais de origem vegetal no design está relacionado com a profusão das propriedades sensoriais. Alguns dos indicadores utilizados para a identificação desses materiais são as cores, os contrastes, as texturas e as figuras formadas pelas estruturas.

O processamento é uma das etapas da seleção de materiais e pode ser definido como o conjunto de técnicas a que se submete o material para dar-lhe a forma desejada, submetendo-o a condições adversas, como temperaturas extremas, aplicação de cargas, cortes, usinagem, uniões. Tais condições modificam a estrutura do material e as suas propriedades (WALTER, 2006). O processamento dos materiais tem como objetivo aprimorar os atributos tangíveis, valorizar os atributos intangíveis e viabilizar a produção em escala. No caso dos materiais de origem vegetal, o processamento é uma etapa fundamental, pois determina as propriedades técnicas e sensoriais, padroniza a matéria-prima e viabiliza a sua utilização no design de produto.

Esta pesquisa aborda novas possibilidades de processamento do porongo como matéria-prima, com o objetivo de valorizar as propriedades técnicas e sensoriais do material, no contexto da seleção de materiais e do design de produto. Trata-se da evolução do conhecimento adquirido na pesquisa desenvolvida durante o mestrado (NEJELSKI, 2015), onde foi realizada a caracterização da microestrutura do material, determinadas as principais propriedades físicas e realizados testes de eficiência da impermeabilização de amostras do material com resina poliuretana de óleo de mamona.

Retomando brevemente o contexto histórico de uso do material, o porongo foi uma das primeiras plantas domesticadas, utilizado há milhares de anos por diversos

povos em diferentes continentes. Material isolante, leve e com formas arredondadas, foi empregado empiricamente na produção de recipientes para alimentos e bebidas, em função de suas características e propriedades. Ainda hoje é utilizado como matéria-prima para a produção de recipientes, artesanatos diversos e instrumentos musicais (BISOGNIN, 2002; BURTENSHAW, 2003; KISTLER et al., 2014).

A caracterização da microestrutura de um material de origem vegetal é fundamental para viabilizar a sua utilização no design de produto. O porongo é composto por duas camadas distintas: o exocarpo, camada mais externa, e o mesocarpo, camada interna mais espessa que dá forma ao material. O exocarpo é uma camada micrométrica com células muito compactas, por isso é impermeável. O mesocarpo é formado por células com grandes espaços vazios, que aumentam de tamanho em direção ao centro do fruto. O mesocarpo é poroso, com densidade heterogênea média de  $124 \text{ kg/m}^3$ , similar à densidade das espumas poliméricas. A comunicação intercelular é muito eficiente, o que resulta em altos índices de absorção de água, com aumento de massa de cerca de 150% até a saturação (NEJELISKI; DUARTE, 2019).

O porongo é uma alternativa de matéria-prima renovável e é biodegradável, com ciclo de desenvolvimento rápido, possuindo propriedades isolantes, baixa densidade e propriedades sensoriais distintas. A partir dos resultados da caracterização da microestrutura e das principais propriedades físicas, foram pesquisadas possibilidades de processamento do fruto para potencializar as possibilidades de aplicação no design de produto. O foco da pesquisa é o uso dos resíduos gerados no ciclo de produção de cuias e na valorização das propriedades inerentes do material.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

**Problema:** como viabilizar o uso dos resíduos de porongo oriundos da produção de cuias como matéria-prima no design de produtos, valorizando seus atributos técnicos e sensoriais?

**Hipótese:** a madeira e a cortiça são materiais de origem vegetal com técnicas de processamento bem estabelecidas e consolidadas. A evolução do processamento desses materiais mostrou que a produção de revestimentos modulares evidencia as características estéticas inerentes do material, valorizando-as. Já a produção de painéis de partículas é uma alternativa que aprimora as propriedades técnicas do material e possibilita um melhor aproveitamento da matéria-prima e dos resíduos. A planificação dos materiais naturais através da produção de placas para revestimento e de painéis possibilita a padronização e amplia as possibilidades de aplicação no design de produtos. O porongo é um material lignocelulósico com características e propriedades similares à madeira e à cortiça. Portanto, acredita-se que os processos produtivos consolidados possam ser adaptados de acordo com as especificidades do material.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados o objetivo geral e os específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Viabilizar a utilização dos resíduos de porongo oriundos da produção de cuias como matéria-prima no design de produto e valorizar suas propriedades técnicas e sensoriais, através da produção de revestimentos modulares e de painéis de partículas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e compreender as relações entre materiais e design, através de pesquisa sobre seleção de materiais, materiais de origem vegetal, resíduos agrícolas, revestimentos modulares e painéis de partículas;
- Identificar e classificar os resíduos de porongo oriundos do processo de produção de cuias, através de coleta de material e análise;
- Adaptar os processos de produção de revestimentos modulares e de painéis de partículas produzidos com materiais lignocelulósicos, através de metodologias específicas;
- Valorizar as propriedades sensoriais do porongo, através da produção de revestimentos modulares a partir de diferentes seções de corte dos frutos;
- Valorizar as propriedades técnicas do porongo, através da produção de painéis de partículas de baixa densidade;
- Caracterizar os painéis de partículas produzidos através da microscopia, das propriedades sensoriais e de ensaios para a determinação das principais propriedades técnicas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O chimarrão é uma bebida tradicional do sul do Brasil. Nele, as folhas da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) são moídas e acomodadas em um recipiente similar a uma cumbuca, conhecido como cuia, ao qual se acrescenta água quente para então ser sorvida com o auxílio de uma bomba, espécie de canudo metálico. É um dos hábitos mais representativos da cultura gaúcha. A grande maioria das cuias para o chimarrão é produzida utilizando como matéria-prima o porongo.

O cultivo do fruto é feito através da agricultura familiar e está concentrado em alguns municípios da região central e noroeste do estado do Rio Grande do Sul. No centro do estado, na zona rural do município de Santa Maria, está localizado o distrito de Arroio do Só, o maior produtor dos frutos no Brasil, exportando para a Argentina e para o Uruguai (MELLO; FROEHLICH, 2015).

Na colheita dos frutos, os que não possuem características morfológicas adequadas para a produção de cuias são abandonados nas plantações para a decomposição (BISOGNIN; AUDE; MARCHEZAN, 1992). Para a produção das cuias, os frutos são cortados transversalmente e apenas a parte superior é utilizada, a outra metade é descartada, gerando grande quantidade de resíduos. Apenas uma parcela dos frutos descartados é utilizada na produção de artesanato (MELLO; FROEHLICH, 2015).

O grande volume de frutos descartados na produção de cuias é resultado da variação morfológica, característica comum da espécie (SILVA et al., 2002). Os frutos possuem variações significativas no tamanho, na espessura do mesocarpo e no formato, podendo ser arredondados, achatados ou alongados (Figura 1). As formas orgânicas são características do porongo, agregam valor estético ao material e favorecem algumas aplicações, como a produção de recipientes. Do mesmo modo, inviabilizam a padronização das formas e das dimensões, pois cada fruto tem características únicas.

O processamento do material por meio do corte de diferentes seções dos frutos é uma alternativa para valorizar as propriedades sensoriais do porongo. O corte de peças com dimensões preestabelecidas possibilita a padronização do processamento e do produto final. A valorização da integridade do material é uma abordagem conceitual que preconiza o uso do material de maneira que sua aparência natural e suas qualidades intrínsecas sejam perceptíveis. A ideia tem suas raízes na tradição do artesanato, na utilização de argilas, de madeiras, no trabalho dos oleiros, carpinteiros, ourives,



explorando as qualidades únicas dos materiais com os quais trabalham em uma integração entre o ofício e o material (ASHBY; JOHNSON, 2011).

Figura 1: Exemplos de variações morfológicas do porongo.



Fonte: autora.

O aproveitamento dos resíduos através do corte de peças com dimensões reduzidas possibilita tanto o uso dos frutos inteiros descartados nas lavouras, quanto das partes de frutos descartadas na produção de cuias. A partir da abordagem do design de superfícies tridimensionais, as peças podem ser usadas na composição de módulos e de padrões. Nesse contexto, a produção de revestimentos modulares a partir dos resíduos do porongo se configura como uma alternativa para a padronização na forma de módulos e para a valorização da integridade do material.

De acordo com Rowell et al. (2000), os painéis de partículas podem ser fabricados a partir de qualquer material lignocelulósico que confira resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, já que a composição química destes materiais é semelhante à da madeira. Resíduos agrícolas de baixa densidade, como a palha de milho, de trigo e o bagaço de cana são matérias-primas promissoras para a produção de painéis de partículas de baixa densidade com propriedades isolantes (PAIVA et al., 2012). O

porongo é usado empiricamente como material isolante, como na produção de cuias para o chimarrão, por exemplo.

A origem da cuia vem, provavelmente, da necessidade de artefatos que contivessem líquidos quentes, e que permitissem seu manuseio sem que o calor chegasse às mãos de quem o carregava. Dos materiais utilizados pelos indígenas, o que apresentou melhor funcionalidade foi o porongo cortado, utilizado até hoje (ASSUNÇÃO; ARNONI; MACHADO JR., 2020, p. 108).

Rosa et al. (2009) produziram painéis com resíduos de porongo e avaliaram as propriedades físicas e mecânicas dos mesmos. Foram produzidas chapas com 100% de partículas dos frutos, com resina ureia-formaldeído e parafina nas proporções de 8% e 1%, com relação ao peso seco das partículas. O colchão de partículas foi prensado na prensa hidráulica com temperatura dos pratos de 180° C e com carga de 30 kgf/cm<sup>2</sup>. No total, foram produzidos três painéis com massa específica nominal de 650 kg/m<sup>3</sup>. Como resultado, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis ficaram abaixo dos parâmetros da norma.

A partir dos resultados de Rosa et al. (2009) e da caracterização da microestrutura e das principais propriedades físicas do material (NEJELISKI; DUARTE, 2019), pode-se estabelecer novos parâmetros para a produção de painéis de partículas, respeitando as propriedades inerentes do material. O porongo é altamente hidrofílico, o que limita a utilização dos painéis resultantes para o uso interno, em ambientes com baixa umidade. Outra propriedade do material é a baixa densidade, o que favorece a produção de painéis com essa característica, o que pode aprimorar as propriedades isolantes do material.

## 1.4 ESTRUTURA DA TESE E DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Este trabalho se desenvolve a partir de três abordagens metodológicas: pesquisa bibliográfica, desenvolvimento de novos produtos e desenvolvimento de novos materiais. A primeira está relacionada com a parte teórica, ou seja, aos métodos de pesquisa da fundamentação teórica. As outras duas abordagens estão relacionadas com a parte prática do trabalho, a criação de revestimentos modulares e a produção e caracterização de painéis de partículas.

O primeiro capítulo é introdutório, apresenta a contextualização do trabalho, os objetivos, a justificativa e a estrutura da tese. O segundo capítulo do trabalho abrange a fundamentação teórica a partir dos três temas principais do trabalho: materiais e design, revestimentos modulares e painéis de partículas. O primeiro tópico trata sobre o processo de seleção de materiais, os materiais de origem vegetal, os resíduos sólidos e os resíduos agrícolas. O segundo tópico trata sobre o design de superfícies tridimensionais e apresenta exemplos de revestimentos modulares produzidos a partir de materiais de origem vegetal. Por fim, o terceiro tópico trata sobre os painéis de partículas e, dentro dessa categoria, os painéis isolantes.

O terceiro capítulo do trabalho descreve o estudo preliminar de criação dos revestimentos modulares com o uso de resíduos de porongo. São descritos os materiais utilizados, o processo de limpeza e o processamento inicial. A metodologia utilizada foi adaptada de Briede e Alarcón (2012) com o objetivo de valorizar as propriedades sensoriais dos resíduos no design de superfícies tridimensionais. O desenvolvimento de cada etapa da metodologia é descrito detalhadamente ao longo do terceiro capítulo.

O quarto capítulo descreve o estudo preliminar de produção e caracterização dos painéis de partículas de resíduos de porongo. Inicialmente são descritos os materiais, métodos e resultados da análise da composição química do fruto. A metodologia

utilizada para a produção dos painéis é adaptada de Maloney (1989) e dividida em quatro etapas: produção das partículas, especificações do painel, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem. O desenvolvimento de cada etapa é descrito no quarto capítulo. Na sequência são descritos os métodos e resultados da caracterização dos painéis através da descrição das propriedades sensoriais, dos parâmetros para corte a laser, da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e das principais propriedades físicas.

O quinto e último capítulo trata das considerações finais do trabalho. São considerações referentes à fundamentação teórica, aos resultados do desenvolvimento dos revestimentos modulares e aos resultados do desenvolvimento e caracterização dos painéis de partículas. O fechamento se dá com as sugestões para trabalhos futuros.

#### **1.4.1 Coleta dos Resíduos de Porongo**

Os resíduos de porongo foram coletados em duas localidades, Arroio do Só (latitude 29° 47' 31.61" Sul, longitude 53° 33' 58.78" Oeste) e Frederico Westphalen (latitude: 27° 21' 27" Sul, longitude: 53° 23' 40" Oeste), maiores produtoras dos frutos no RS. Arroio do Só é um distrito rural da cidade de Santa Maria, na região central do estado do RS. Já Frederico Westphalen fica no norte, na divisa com o estado de Santa Catarina. Em Arroio do Só a Emater/RS atende cerca de 60 produtores e o plantio da cultura chega a 600 hectares (ha) (EMATER, 2010). Já em Frederico Westphalen a Emater/RS atende cerca de 30 famílias de produtores.

Devido às variações climáticas de cada região, os frutos produzidos possuem características morfológicas específicas. A região central do estado tem um clima mais seco, com menos precipitações anuais. Os frutos produzidos são chamados de “casco fino” em função da espessura do mesocarpo, de no máximo 10 mm. Já a região norte do estado possui um clima mais úmido, com maior volume de chuvas. Quanto maior a

quantidade de chuva que a planta recebe ao longo do seu desenvolvimento, mais espesso vai ser o mesocarpo após o processo de secagem. Os frutos produzidos na região de Frederico Westphalen são chamados de “casco grosso”, o mesocarpo tem espessura de 20 mm ou mais.

A visita de campo em Arroio do Só foi realizada no dia 13 de agosto de 2018, na propriedade de Elton Seeger. Com relação à produtividade das plantas, o produtor explicou que no ano de 2017 plantou 25 hectares (ha) e a produtividade média foi de 15 mil frutos por ha. Da totalidade dos frutos produzidos apenas a metade possuía as características morfológicas necessárias para serem utilizados na produção de cuias. Na colheita, todos os frutos foram retirados da lavoura e espalhados no pátio da propriedade para a secagem (Figura 2a). Após a secagem, foram selecionados os porongos utilizados para a fabricação de cuias (Figura 2b), cerca de 50% do total.

Já a visita de campo em Frederico Westphalen foi realizada no dia 25 de janeiro de 2019. O contato inicial se deu através da Emater/RS, que é integrante e presta assessoria técnica para a Cooperativa Vale das Cuias. A cooperativa está situada na Linha Brondani, no km 17 da BR 386, em Frederico Westphalen. A visita foi realizada na propriedade de Ulisses Luiz Trevisol, presidente da cooperativa.

Figura 2: Visita de campo em Arroio do Só: a) Secagem dos frutos ao ar livre; b) Cuias produzidas.



Fonte: autora.

Com relação ao cultivo, o produtor faz a alternância das áreas plantadas, com o descanso de um ano entre safras, para evitar a proliferação de pragas e doenças. A plantação é rasteira com plantio direto, sem arar a terra antes da semeadura (Figura 3a). Enquanto que os porongos de casco fino, produzidos na região central, têm uma produtividade de cerca de 15 mil frutos por ha, os frutos do casco grosso produzem cerca da metade dessa quantidade, uma média de 7 mil por ha. Além de ter o mesocarpo mais grosso, os frutos são maiores, de modo que as plantas produzem menos unidades.

Com relação ao aproveitamento dos porongos, Ulisses relata que do total cerca de 30% dos frutos têm características morfológicas para a produção de cuias e uns 20% para a produção de artesanato (Figura 3b). Esses são colhidos e os demais são deixados na lavoura. O produtor explica que esse procedimento é adotado para evitar mais gastos com transporte e armazenamento. Assim, contabilizando os frutos deixados na lavoura mais a parte descartada dos frutos utilizados na produção de cuias, cerca de 75% do total da matéria-prima se converte em resíduo.

Figura 3: Visita de campo em Frederico Westphalen: a) Plantio direto e cultivo rasteiro dos porongos; b) Secagem dos frutos utilizados para artesanato.



Fonte: autora.

Outra categoria de resíduos de porongo são os provenientes da produção de cuias propriamente dita, que incluem partes descartadas dos frutos após o primeiro processo de corte e resíduos dos processos secundários de corte e lixa. No primeiro processo de

corte os frutos são cortados transversalmente com serra circular e apenas a parte superior é utilizada na fabricação das cuias, a outra parte é descartada (Figura 4). Já no segundo processo, a parte dos frutos selecionada para a produção de cuias passa por novas operações de corte e lixa que geram como resíduos pequenos pedaços dos frutos e serragem (Figura 4b).

Figura 4: Resíduos de porongo oriundos da produção de cuias: a) resíduos do primeiro processo de corte; b) resíduos do segundo processo, de corte e lixa.

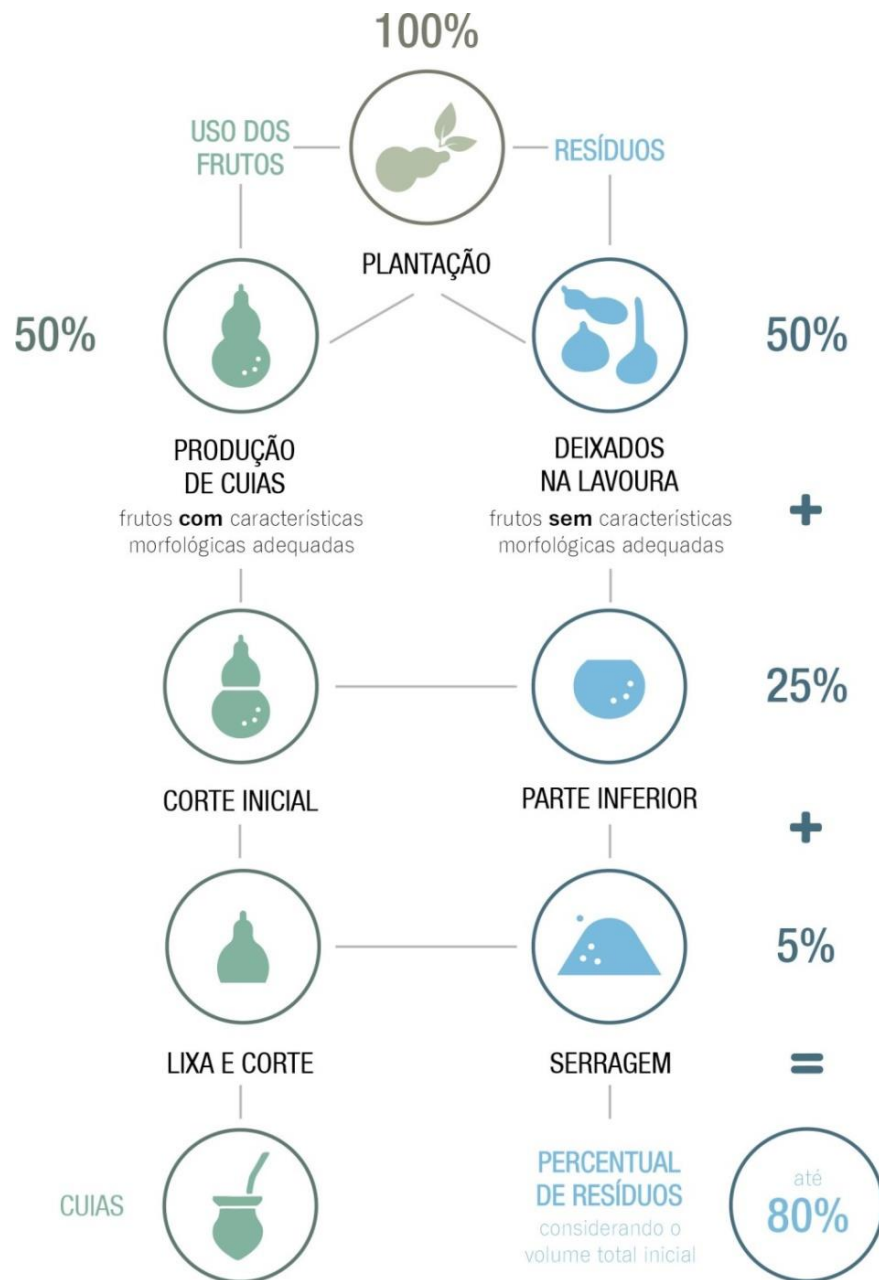


Fonte: autora.

Com o objetivo de ilustrar o processo de geração de resíduos de porongo ao longo da cadeia produtiva das cuias, foi criado o fluxograma da Figura 5. Nas duas localidades em que os resíduos foram coletados, em Arroio do Só e em Frederico Westphalen, a colheita e a seleção dos frutos são abordadas de maneira diferenciada, entretanto, o volume e a origem dos resíduos gerados são similares.

Inicialmente, na etapa da colheita, em ambos os locais cerca de 50% dos frutos produzidos não possuem características morfológicas para a produção das cuias. A diferença é que em Arroio do Só todos os frutos são colhidos e colocados para secar e a seleção é realizada posteriormente, enquanto que em Frederico Westphalen os frutos que não são adequados para as cuias nem são colhidos e acabam perecendo na lavoura.

Figura 5: Fluxograma do processo de geração de resíduos de porongo na cadeia produtiva de cuias.



Fonte: autora.

No processo de fabricação das cuias os frutos são cortados no sentido transversal separando a parte superior, que será transformada no recipiente, da parte inferior, que se converte em resíduo. Assim, metade do percentual dos frutos utilizados para a produção de cuias é descartada, o equivalente a mais 25 % do volume inicial da produção. Por fim, após o corte e a separação dos frutos, a parte superior dos frutos passa por processos de corte e lixa, onde mais resíduos são gerados: cerca de 5 % do



volume inicial. Desse modo, até 80% do volume inicial de frutos produzidos pode acabar se convertendo em resíduos ao longo das etapas do processo de produção de cuias.

Considerando os tipos de resíduos gerados no processo de produção de cuias, para a criação dos revestimentos modulares optou-se por utilizar os resíduos de frutos inteiros (Figura 2a e Figura 3b), descartados por não apresentarem as características morfológicas para a produção de cuias. Como o objetivo da produção dos revestimentos modulares é a valorização das propriedades inerentes da matéria-prima, a escolha se justifica pela melhor conservação do material, pela manutenção das características morfológicas e por apresentarem maiores possibilidades criativas com relação às formas.

Para a produção dos painéis de partículas optou-se por utilizar os resíduos de porongo oriundos dos processos de corte e lixa. Como o principal aspecto da produção dos painéis é a transformação da matéria-prima em partículas, a escolha se justifica pela facilidade de trituração dos resíduos previamente cortados.

#### **1.4.2 Delineamento Metodológico**

O delineamento metodológico da parte prática do trabalho teve início com a coleta dos resíduos de porongo oriundos da produção de cuias. A partir dessa etapa inicial, os resíduos foram classificados e selecionados para a produção dos revestimentos modulares e dos painéis de partículas. Na sequência, considerando as especificidades de cada projeto, foram definidas as metodologias projetuais a serem utilizadas.

A partir da coleta e da classificação dos resíduos de porongo e da posterior seleção dos resíduos para a produção dos revestimentos modulares e dos painéis de partículas, foi feito o delineamento metodológico do trabalho (Figura 6).

Figura 6: Fluxograma do delineamento metodológico do desenvolvimento do trabalho.



Fonte: autora.

A abordagem do design de superfície apresenta potencial no sentido de padronizar a matéria-prima e valorizar as propriedades sensoriais do material. Assim, a hipótese da criação de revestimentos modulares a partir do design de superfícies tridimensionais se mostra promissora. No contexto dos painéis de partículas, considerando o uso de resíduos agrícolas e outros materiais lignocelulósicos como matéria-prima, a hipótese é de que os resíduos de porongo possam ser uma alternativa não convencional para a produção dos painéis de partículas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho se desenvolve a partir da relação entre o design de produto e os materiais, portanto questões referentes aos impactos ambientais do ciclo de vida dos materiais serão consideradas ao longo de todo o trabalho. A fundamentação teórica aborda a interdisciplinaridade no design de produto e a relação entre áreas distintas para a concepção e a concretização do projeto. O trabalho é construído a partir de aspectos da seleção de materiais, dos materiais de origem vegetal, dos resíduos sólidos, dos resíduos agrícolas, dos revestimentos modulares e dos painéis de partículas.

### 2.1 MATERIAIS E DESIGN

O estudo dos materiais é inerente ao design de produto. A pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais são independentes, mas o design de produto não se concretiza sem a cooperação de inúmeras áreas do conhecimento, dentre as quais a ciência e a engenharia de materiais são das mais relevantes. Walter (2006) destaca que a existência de um produto depende de seu material constituinte e de um processo de fabricação para dar-lhe forma. Desde a concretização de uma ideia até a transformação em um produto, a ideia de materializar um produto está associada à qualidade de vida das pessoas (CALEGARI; OLIVEIRA, 2014).

Para alcançar o objetivo maior do design, de melhorar a qualidade de vida das pessoas, o trabalho dos designers deve ser pautado por soluções mais sustentáveis. Ao longo de todas as etapas do projeto, desde a reflexão sobre a necessidade ou não de um novo produto, o cenário no qual será inserido, as possibilidades de interação com os usuários, até os impactos causados pelo ciclo de vida, todas as decisões interferem no

impacto que o produto irá causar ao meio ambiente. O design para a sustentabilidade ainda é visto como uma disciplina ou uma área específica dentro do design de produto, o que distorce o conceito e limita o desenvolvimento de projetos mais abrangentes.

Talvez não devesse existir a categoria especial chamada “design sustentável”. Talvez fosse mais simples presumir que os designers tentassem reformular os seus valores e o seu trabalho, de modo a que todo o design se baseasse na humildade, combinasse os aspectos objetivos do clima e o uso ecológico dos materiais com processos intuitivos subjetivos, e assentasse em fatores culturais e bioregionais (PAPANÉK, 1995, p. 14).

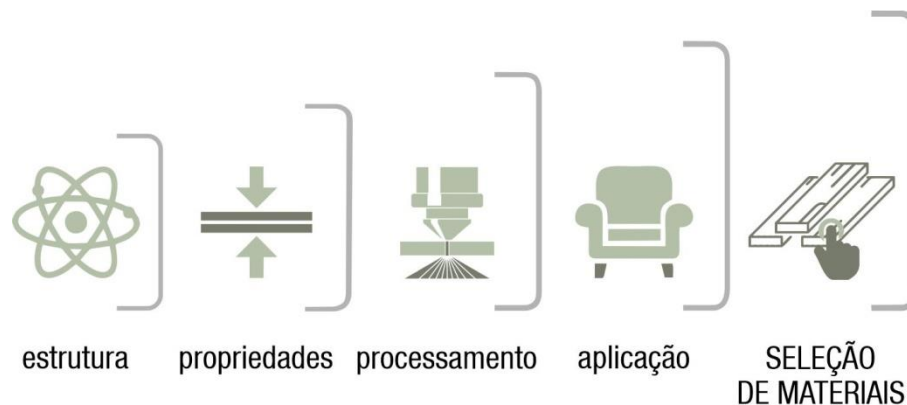
O ciclo de vida dos materiais é de extrema importância no contexto do design de soluções mais sustentáveis. Considerar todos os impactos causados ao longo das etapas de extração, transporte, beneficiamento, uso e descarte é fundamental no processo de seleção de materiais. Os materiais de origem vegetal estão entre os primeiros que os seres humanos tiveram contato e dominaram, desde tempos imemoriais. Eles estão tão presentes em nosso cotidiano, na paisagem que nos cerca e nos alimentos que estão à mesa, que muitas vezes passam despercebidos, não são reconhecidos como matérias-primas em potencial. Esses materiais possuem fonte renovável, são biodegradáveis, contam com excelentes propriedades sensoriais e com um potencial imenso a ser explorado no design de produto.

O desperdício de energia e recursos ainda é muito representativo no processo de desenvolvimento de produtos. De acordo com Ljungberg (2007), apenas uma pequena porcentagem do material e energia necessários para produzir produtos hoje são usados para o produto em si. Muita energia e material são perdidos durante a produção e o transporte, o que incluem resíduos e emissões, especialmente para produtos não reciclados. Os resíduos sólidos são o símbolo da cultura do desperdício e o resultado da falta de planejamento do ciclo de vida, podendo ser considerados uma categoria de materiais a parte, com características e propriedades distintas.

### 2.1.1 Seleção de Materiais

A utilização estratégica de materiais é um dos mais influentes meios de que os designers podem se valer para comunicar e criar conexões emotivas entre os produtos e os usuários (DIAS, 2009). Walter (2006) propõe uma tríade para o entendimento do escopo de aplicação dos materiais: estrutura, propriedades e processamento. A estrutura é o arranjo dos átomos através das ligações químicas, sendo responsável pelas propriedades dos materiais. As propriedades, por sua vez, são as características que distinguem os materiais entre si, podendo ser mensuráveis ou não. Já o processamento é o conjunto de técnicas a que se submete o material para dar-lhe a forma desejada, modificando sua estrutura e, conseqüentemente, suas propriedades. Nesse contexto, a seleção de materiais pode ser definida como a relação entre a estrutura, as propriedades, o processamento e a aplicação dos materiais (Figura 7) (WALTER, 2006).

Figura 7: A relação entre os aspectos que determinam a seleção de materiais



Fonte: Adaptado de Walter (2006).

A seleção de materiais é fundamental no design de produto e permeia todas as etapas do processo. Nela, os materiais desempenham dois papéis que se sobrepõem: o de proporcionar funcionalidade técnica e o de criar personalidade para o produto (ASHBY; JOHNSON, 2011). Os atributos tangíveis estão relacionados com o perfil

objetivo e informações técnicas que tem como propósito quantificar o comportamento em relação às propriedades físicas, mecânicas, térmicas, entre outras. Eles podem ser medidos, possuem valores exatos e uma série de normas que especificam os ensaios e os resultados. Já os atributos intangíveis estão relacionados com o perfil subjetivo do material, como a percepção estética e simbólica de cada indivíduo (DIAS, 2009).

Ashby e Johnson (2011) classificam os atributos tangíveis em gerais, técnicos, ambientais, sociais e econômicos. Os atributos gerais são o custo e a densidade do material. Os atributos técnicos são as características relacionadas com as propriedades, como comportamento físico, mecânico, térmico, elétrico. Os atributos ambientais consideram aspectos legais, uso de recursos naturais, impactos da extração, resíduos e emissões. Os atributos sociais englobam os aspectos decorrentes da extração dos recursos e dos processos de manufatura envolvidos. Por fim, os atributos econômicos estão relacionados com os custos do ciclo de vida dos materiais aplicados ao produto.

Dias (2009) classifica os atributos intangíveis em estéticos, práticos e simbólicos. Os atributos estéticos estão relacionados com as impressões causadas pelos sentidos, como forma, figura, texturas e sensação do tato. Já os atributos práticos estão relacionados com o uso, manuseio e experiência dos usuários com o material, como usabilidade, ergonomia, conforto e segurança. Por fim, os atributos simbólicos estão relacionados com aspectos psíquicos e sociais, sujeitos a variações culturais e diferenças individuais, como identidade, memória, cultura e associações.

Karana, Hekkert e Kandachar (2008) avaliaram o processo de seleção de materiais no design de produto com o objetivo de identificar os aspectos que são significativos para os designers durante o processo de projeto. Os entrevistados acreditam que os atributos intangíveis dos materiais são importantes em suas seleções e as propriedades sensoriais são um dos aspectos mais vitais para a criação. A maioria dos

participantes afirmou que faz suas seleções preliminares com base na aparência do material, considerando a textura, o acabamento da superfície, as cores e todas as propriedades que atraem os sentidos.

A percepção dos atributos intangíveis dos materiais é influenciada por características individuais dos usuários, como idade, gênero, experiência, estilo de vida, tendências. Curtis et al. (2017) analisaram a seleção de materiais em produtos desenvolvidos por José Bornancini e Nelson Petzold<sup>1</sup> no design industrial. Através de pesquisa bibliográfica, consulta a dados de primeira mão e entrevistas, foram estabelecidos parâmetros objetivos na análise das implicações do uso dos materiais. O levantamento de dados constatou o uso recorrente do aço inoxidável e do polipropileno na trajetória dos projetistas e destaca as variantes na percepção dos usuários:

A conjugação de aço inoxidável e material polimérico (...) houve dificuldade na aprovação desses materiais tanto pela direção da empresa como pelos consumidores, devido à cultura tradicional das tesouras forjadas, feitas em aço carbono. Na época, o emprego de polímero foi motivo de estranhamento porque o material não era percebido como sinônimo de qualidade pelo público, que associava o aço forjado à força e à resistência, relata Petzold (CURTIS et al., 2017, p. 140).

Em um estudo onde foram analisadas as propriedades sensoriais dos materiais e os processos de fabricação no processo de atribuição de significados, Karana, Hekkert e Kandachar (2009) destacam a influência dos aspectos simbólicos e individuais. Os participantes enfatizaram que as origens culturais e as experiências passadas dos usuários são eficazes em suas preferências de produtos e materiais. Portanto, entre vários produtos com diferentes materiais e de qualidades técnicas quase iguais, as pessoas podem preferir um produto a outro com base nessas questões, nas características intangíveis.

---

<sup>1</sup> A parceria entre José Carlos Bornancini (1923-2008) e Nelson Ivan Petzold (1931-2018), iniciada em 1963, destaca-se no contexto da prática projetual Sul-rio-grandense. Juntos, desenvolveram mais de duzentos projetos de design de produto, nas mais variadas áreas (CURTIS et al., 2017).

Em relação aos talheres em aço inoxidável, Petzold explica que o acabamento fosco neste material é muito bem aceito na Europa, apreciado como um efeito sofisticado e contemporâneo. Entretanto, no contexto brasileiro, o público aprecia mais a superfície com brilho (CURTIS, et al., 2017, p. 140).

Karana, Hekkert e Kandachar (2009) observaram que determinadas propriedades foram consideradas eficazes em atribuir significados particulares aos materiais. Enquanto transparência e suavidade foram muito usadas para transmitir o significado de sensualidade, dureza e cores escuras foram frequentemente usadas para expressar profissionalismo em materiais. Em geral, os efeitos de um material no significado de um produto dependem muito do produto em que o material é incorporado. O significado atribuído a um material depende do tipo de significado, do tipo de material, do produto no qual o material é incorporado, como o produto é usado e o contexto do usuário.

Calegari (2013) analisou a percepção dos designers em relação às características estéticas, simbólicas e práticas dos compósitos biodegradáveis com fibras de curauá (*Ananas erectifolius*). Os atributos intangíveis destacados estão relacionados com as características estéticas dos materiais, como as cores, a transparência, a textura e outras, associadas ao apelo ecológico.

Enquanto os atributos tangíveis são mensurados com base em normas e procedimentos consolidados, a subjetividade dos atributos intangíveis pode dificultar a análise. Estudos estão sendo realizados no sentido de desenvolver ferramentas e metodologias que auxiliem na compreensão e mensuração dos atributos intangíveis dos materiais, a fim de contribuir com o processo de seleção de materiais (KARANA; HEKKERT; KANDACHAR, 2009; DIAS, 2009; DISCHINGER; KINDLEIN JR., 2010).

A seleção de materiais é tradicionalmente realizada com foco no aprimoramento das propriedades técnicas. Entretanto, pesquisas comprovaram a importância dos atributos estéticos no trabalho dos designers e na percepção que os usuários têm dos produtos (KARANA; HEKKERT; KANDACHAR, 2008; DIAS, 2009; CALEGARI; OLIVEIRA,



2014). A partir de então, o foco das pesquisas em seleção de materiais tem sido a seleção entre as propriedades técnicas e estéticas, com crescente valorização das últimas. De acordo com Calegari e Oliveira (2014), os atributos técnicos e estéticos se inter-relacionam e são mutuamente interdependentes, portanto, deve haver um equilíbrio entre ambos no processo de seleção.

A seleção de materiais, tradicionalmente, parte de um conceito ou um produto para a pesquisa e posterior definição de uma lista de materiais adequados para o projeto em questão. Entretanto, em alguns casos ocorre uma inversão, parte-se de um material para a pesquisa e definição de produtos possíveis. A inversão da seleção de materiais ocorre quando o objetivo do projeto é a introdução de um novo material ou de um material não convencional no mercado. Nesse contexto, inicialmente é realizada a seleção do material, são definidas as principais propriedades técnicas e os atributos estéticos, para então direcionar a sua aplicação para um ou mais produtos.

O termo “novos materiais” é aplicado para designar as novidades e lançamentos das indústrias e centros de pesquisas no campo dos materiais, os materiais compósitos são exemplos do desenvolvimento de novos materiais (DIAS, 2009). Já os materiais não convencionais são assim denominados pelo fato de que a produção, as propriedades e a instalação não são regidas por normas técnicas bem estabelecidas, aceitas e difundidas mundialmente (NOTARIANNI, 2014). Os resíduos agrícolas e demais materiais de origem vegetal são considerados materiais não convencionais, por apresentarem características e propriedades heterogêneas, o que dificulta a padronização.

A seleção de materiais invertida surge no contexto da busca por soluções mais sustentáveis na área de materiais no design de produto. Pesquisas estão sendo realizadas com foco no desenvolvimento de novos materiais como solução para a reutilização de resíduos e na busca por alternativas de materiais com propriedades

biodegradáveis. A seleção de materiais invertida (Figura 8) é uma alternativa para viabilizar possibilidades de aplicação destes materiais no design de produto.

Figura 8: Etapas do modelo de seleção de materiais invertida.



Fonte: autora.

O modelo tradicional (Figura 7) finaliza com a seleção de materiais possíveis para o produto, enquanto que o modelo invertido tem início com a seleção do material que será utilizado. A segunda etapa é de caracterização, onde são levantadas informações pertinentes sobre características específicas do material. Em um primeiro momento, é importante determinar a origem do material, se é de fonte renovável, se é o resíduo de alguma atividade, enfim, identificar o início do ciclo de vida. A caracterização da microestrutura do material pode ser importante para a compreensão do comportamento do material, especialmente em materiais de origem vegetal. É importante determinar as principais propriedades técnicas, sejam elas físicas, mecânicas, térmicas, entres outras. Por fim, devem ser elencadas as principais propriedades sensoriais do material.

A terceira etapa contempla os aspectos ambientais do material. Além dos atributos técnicos e estéticos dos materiais, os aspectos relacionados aos impactos ao meio ambiente são imprescindíveis no processo de seleção de materiais. De acordo com

Ljungberg (2007), a seleção de materiais para o projeto de produtos sustentáveis considera todas as etapas do ciclo de vida dos materiais. Extração, refinamento, transporte, fase de uso do produto, reciclagem ou deposição são exemplos de aspectos que podem impactar o meio ambiente. Deve-se considerar principalmente o impacto final sobre a natureza, sem deixar de lado as demandas do mercado e os fatores econômicos. Nesta etapa é importante mencionar se o material é biodegradável, se pode ser reciclado ou reutilizado, como proceder ao final da vida útil do mesmo.

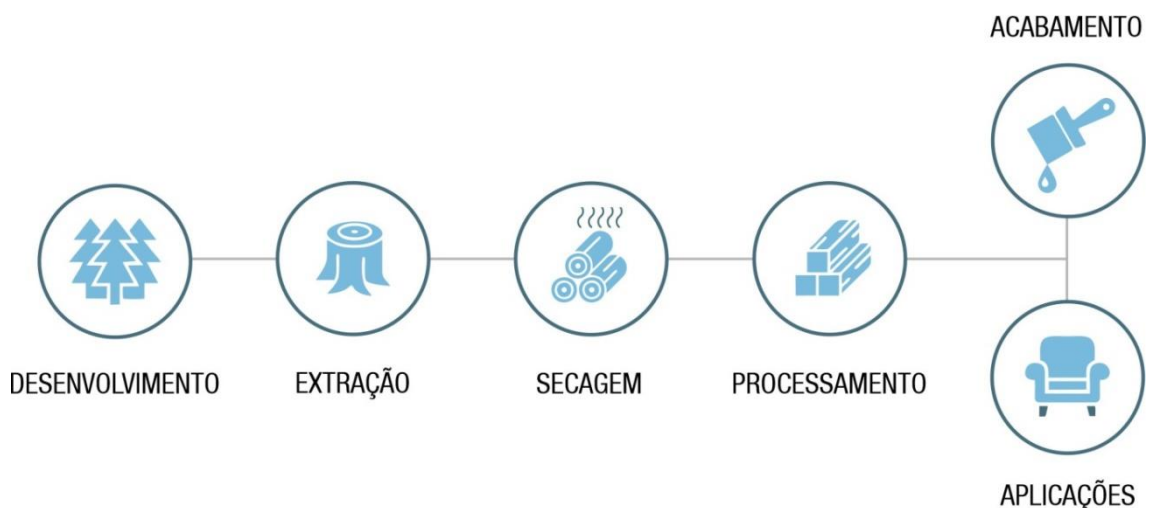
Na sequência, na etapa de comparação, as propriedades (físicas, mecânicas, isolantes, sensoriais) do material são comparadas com materiais convencionais, tradicionalmente utilizados no design de produto. Para isso, podem ser utilizadas ferramentas de seleção de materiais como softwares e bibliotecas de seleção de materiais (ASHBY; JOHNSON, 2011). Após estabelecer uma relação de materiais convencionais com propriedades similares, é realizada a comparação dos produtos em que os materiais tradicionais são comumente aplicados. A comparação dos produtos vai servir de referência para as possíveis aplicações do material.

As etapas seguintes contemplam os processos de fabricação e as aplicações em produtos. Na quinta etapa são realizados testes com processos de fabricação utilizados nos materiais convencionais similares, a fim de verificar se os processos utilizados podem ser empregados no material. Na sexta etapa são estabelecidos os requisitos para a aplicação do material em um ou mais produtos. A partir das possibilidades de aplicações de materiais similares, levantadas na etapa de comparação, é analisado se o novo material ou o material não convencional atende aos requisitos das aplicações. As etapas de processos de fabricação e aplicações são flexíveis, pois, dependendo das características do material, a ordem de execução das mesmas pode ser alterada.

## 2.1.2 Materiais de Origem Vegetal

Materiais de origem vegetal são provenientes de plantas, cultivadas ou nativas, que após passarem pelas etapas de desenvolvimento, extração, secagem, processamento e acabamento, adquirem as propriedades necessárias para serem utilizados como matéria-prima no design de produtos ou novos materiais (Figura 9). Trata-se de uma categoria de materiais heterogêneos, biodegradáveis e de fonte renovável. A etapa de desenvolvimento é extremamente variável, dependendo da complexidade das estruturas anatômicas das plantas. As plantas com ciclo curto, gramíneas e pequenos arbustos, se desenvolvem completamente em alguns meses, enquanto que as de ciclo longo, espécies de grande porte, podem levar dezenas de anos até a maturação das estruturas.

Figura 9: Etapas do beneficiamento dos materiais de origem vegetal.



Fonte: autora.

O processo de extração depende das dimensões da planta, fator que vai determinar a complexidade da tecnologia a ser utilizada no processo. Plantas de pequeno porte podem ser extraídas manualmente, enquanto que a extração de florestas plantadas, por exemplo, exige o emprego de tecnologias de ponta. As etapas de secagem

e processamento determinam as propriedades finais dos materiais. Via de regra, todos os materiais de origem vegetal passam pelo processo de secagem, que tem como objetivo equilibrar a umidade do material com a do ambiente. A secagem pode ser realizada ao ar livre ou em ambientes controlados, podendo levar dias ou meses.

A etapa de processamento é a que vai dar a forma ao material, além de determinar as propriedades físicas, mecânicas e sensoriais. Na madeira, por exemplo, no desdobro das toras em tábuas e peças menores, o sentido do corte com relação às fibras vai determinar as propriedades mecânicas das peças, além de definir o desenho e a textura na superfície. O processamento pode envolver processos de corte, lixamento, laminação, trituração ou a produção de tramas, no caso das fibras.

Por fim, ocorre a etapa de acabamento, que tem como objetivo proteger os materiais de origem vegetal da degradação. Os tratamentos consistem na proteção das camadas externas permeáveis do material contra a ação dos organismos infestadores, de modo a impedir a penetração dos tecidos das camadas internas. As técnicas mais importantes estão relacionadas com o retardo da degradação, já que a mesma desencadeia uma série de condições desfavoráveis. Alguns exemplos de acabamentos utilizados em materiais naturais são os vernizes, as tintas, os óleos e as ceras.

A matéria-prima pode ser extraída de diferentes estruturas das plantas, raízes, caule, casca, galhos, folhas, frutos e sementes. Logo, tudo pode ser aproveitado. Das raízes das árvores são extraídas as ráticas, lâminas utilizadas para revestimento caracterizadas por desenhos concêntricos. A madeira é extraída dos caules, enquanto que os galhos e outros resíduos podem ser utilizados para a produção de painéis de partículas. A cortiça é o revestimento do tronco e dos galhos do sobreiro (*Quercus suber* L.) e é extraída pelo arrancamento da casca das árvores. Já as fibras podem ser extraídas dos caules, dos frutos e das sementes. O junco, a rafia e outras fibras similares

são extraídas dos caules das plantas, a fibra do coco é extraída das cascas dos frutos e o algodão é extraído do entorno das sementes do algodoeiro. No caso do porongo, os frutos são a matéria-prima utilizada para a produção de recipientes, instrumentos musicais, entre outros.

Os materiais de origem vegetal são profundamente relacionados com o território onde são cultivados e extraídos, bem como com a comunidade envolvida. De acordo com Krucken (2009), os elementos que permitem ao consumidor apreciar valores relacionados com o perfil socioambiental de produtos e serviços têm relação direta com a origem das matérias-primas. Outros fatores, como: a história do produto, do território e da comunidade que o produz; as iniciativas de preservação do território e dos serviços ambientais associados e o ciclo de vida das matérias-primas e dos produtos também são importantes para o reconhecimento de um produto ou material como sustentável.

O uso de matérias-primas de origem vegetal traz muitas vantagens quando comparadas com os materiais sintéticos. O cultivo e a extração dos materiais de origem vegetal são fonte de renda para muitas famílias, configurando-se em alternativa para os pequenos agricultores. Durante o desenvolvimento das plantas há uma redução substancial das emissões de CO<sub>2</sub>. Já na etapa de desenvolvimento de novos produtos, há um incentivo às novas indústrias e ao desenvolvimento local. O ciclo de vida do produto é menos agressivo ao meio ambiente, por serem alternativas mais sustentáveis. A madeira, o bambu e a cortiça são exemplos consolidados do potencial de desenvolvimento de materiais derivados e novos produtos a partir de materiais de origem vegetal, enquanto que o porongo é uma matéria-prima com potencial a ser desenvolvido.

Um dos fatores que impulsiona o uso da madeira e demais materiais de origem vegetal no design está relacionado com as propriedades sensoriais. Além da valorização das características intrínsecas dos materiais, as propriedades sensoriais fornecem uma

série de elementos a serem explorados no design, como figura, elementos de ritmo e padronagens. As propriedades sensoriais também auxiliam na caracterização macroscópica dos materiais, como na identificação de espécies de madeira. Alguns dos indicadores utilizados para a caracterização sensorial são cor, textura, figura e brilho.

A cor é um elemento de destaque na madeira e um dos principais parâmetros adotados no uso de determinada espécie. Ela diferencia o alburno do cerne e está relacionada com a quantidade de lignina. Já a textura refere-se às dimensões e à distribuição das estruturas anatômicas observadas no plano de corte e está relacionada com o aumento progressivo do tamanho dos poros. A figura está relacionada como os desenhos formados na superfície da madeira, formadas pelo contraste de cor, pelos anéis de crescimento, pelas linhas vasculares e raios. O brilho, assim como as figuras, pode ser observado na superfície plana (PEREIRA, 2013). Na Figura 10 pode-se observar a diversidade das propriedades sensoriais de diferentes espécies de madeira.

Figura 10: Propriedades sensoriais da madeira: cores, figuras e texturas nas diferentes espécies.



Fonte: autora.

As propriedades sensoriais dos materiais de origem vegetal também favorecem a identificação pelos usuários. Em um estudo comparando o porongo com amostras de madeiras e derivados, Nejeliski, Duarte e Piccoli (2018) constataram que, a partir da análise das propriedades sensoriais, os usuários identificaram a origem natural dos materiais. Ainda, os resultados do estudo evidenciaram que os usuários percebem um material natural como inerentemente sustentável e mais agradável. Calegari (2013) pesquisou a percepção dos designers com relação às características estéticas, simbólicas e práticas em compósitos biodegradáveis. A autora identificou que a visibilidade de elementos que autenticam a origem natural das matérias-primas é fundamental para o reconhecimento e a utilização de tais materiais.

As propriedades físicas, mecânicas, acústicas, térmicas, entre outras, variam muito entre espécies, bem como dentro da própria espécie. Árvores da mesma espécie, plantadas ao mesmo tempo e no mesmo lugar, vão produzir madeiras com características muito similares, mas nunca iguais. Cada planta, assim como a matéria-prima proveniente da mesma, vai ter características únicas. A produção de materiais derivados é um recurso para aprimorar e padronizar as propriedades técnicas dos materiais de origem vegetal. Assim, partículas de madeira e de outros materiais lignocelulósicos são utilizadas na produção de painéis, com o objetivo de melhorar a estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas (NENNEWITZ et al., 2012). Fibras naturais são utilizadas como material de reforço para aprimorar as propriedades mecânicas de compósitos (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

Uma característica comum a todos os materiais de origem vegetal é a vulnerabilidade aos fatores biológicos e não biológicos. Os principais fatores biológicos são as bactérias, os insetos e os fungos, enquanto que os fatores não biológicos são a combustão e o intemperismo, ação do sol e da chuva. Nesse contexto, torna-se



necessária a aplicação de acabamentos e tratamentos para prolongar a durabilidade dos materiais naturais. Em contrapartida, são materiais biodegradáveis, ou seja, que se decompõem em um prazo de tempo relativamente curto quando descartados adequadamente.

No que diz respeito ao cultivo de espécies para a produção de matéria-prima em escala, ainda existem percalços. Questões como a sazonalidade de determinadas culturas, o tempo de desenvolvimento e a degradação em contato com as intempéries são aspectos a serem superados. Outro aspecto importante é a questão climática, que interfere na produção de maneira positiva ou negativa. Entretanto, os aspectos positivos prevalecem, pois os materiais de origem vegetal cumprem com os requisitos para serem classificados como alternativas sustentáveis.

A madeira, a cortiça e as fibras naturais são exemplos pontuais de materiais de origem vegetal utilizados nos produtos, materiais e ambientes que utilizamos diariamente. A variedade dessa categoria de materiais é tão ampla quanto a diversidade da vegetação em cada região do planeta. Esses materiais possuem fonte renovável e, se manejados de maneira adequada, produzirão matéria-prima suficiente para atender às demandas. Assim, são materiais biodegradáveis com ciclo de vida fechado.

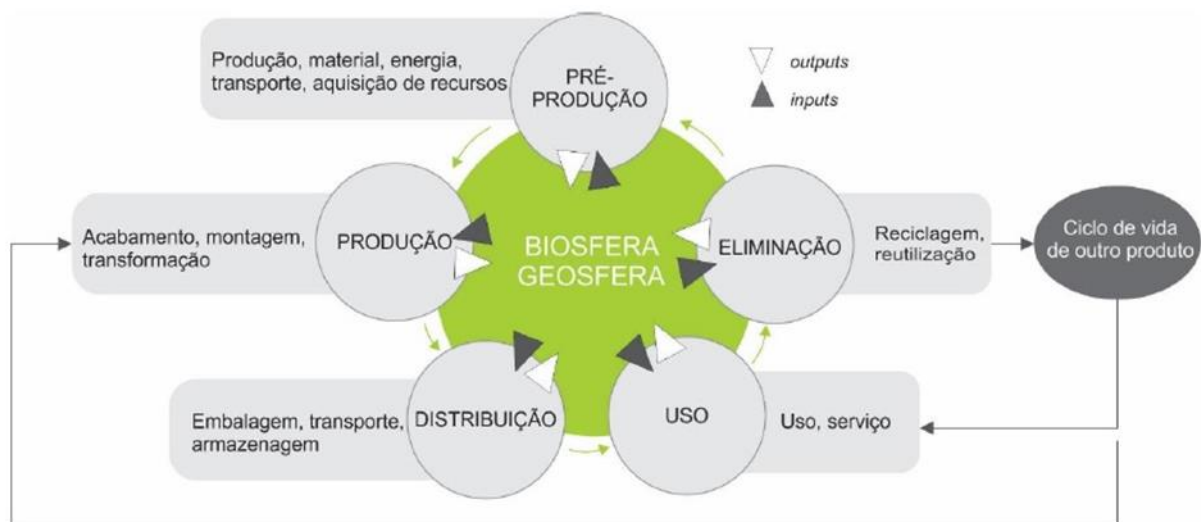
### **2.1.3 Resíduos Agrícolas**

Toda a atividade humana gera resíduos: são os rastros que deixamos no planeta. Eles vão desde os inerentes à condição humana, oriundos de necessidades básicas, até os resultantes dos mais complexos processos industriais. Trata-se de uma cadeia extremamente complexa em que o usuário é o elo final. Antes do descarte, uma série de outros resíduos é gerada ao longo de todos os processos pelos quais o produto passa. Os resíduos sólidos são materiais, produtos ou partes destes, resultantes das atividades

humanas, cuja destinação final inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

O ciclo dos resíduos está diretamente relacionado ao ciclo de vida dos produtos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010) define o ciclo de vida dos produtos como uma série de etapas que envolvem a obtenção de matérias-primas e insumos, o desenvolvimento, o processo produtivo, o consumo e a disposição final. Para Manzini e Vezzoli (2008) esse processo está relacionado com os fluxos de matéria, energia e emissões que ocorrem ao longo de todas as etapas. A Figura 11 mostra as etapas do ciclo de vida dos produtos – pré-produção, produção, distribuição, uso e eliminação – e as atividades dentro de cada etapa. Os fluxos são representados como *outputs* e *inputs*.

Figura 11: Ciclo de vida sistema-produto.



Fonte: Ashton (2017), adaptado de Manzini e Vezzoli (2008).

Os *inputs* representam a matéria e a energia necessárias para a produção, extraídas do meio ambiente ou de fontes intermediárias. Já os *outputs* representam as emissões liberadas na natureza ao final de cada ciclo, os resíduos das transformações das matérias-primas. Manzini e Vezzoli (2008) enfatizam a importância do projeto do

ciclo de vida do produto, onde são analisados todos os impactos causados ao longo de todas as etapas e propostas soluções para mitigá-los. Ashton (2017) ressalta que em muitos casos, a determinação do nível de sustentabilidade de um material não é inerente ao material em si, mas à gestão do seu ciclo de vida.

Os *outputs* são resíduos que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, dependendo da natureza da atividade de origem. O foco deste trabalho está nos resíduos sólidos e é importante diferenciá-los dos rejeitos. Resíduo sólido é o material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade. Já os rejeitos são resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Para os resíduos sólidos a destinação final inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético, observando normas específicas de modo a evitar riscos à saúde pública e impactos ambientais adversos. Já para os rejeitos, a disposição final ambientalmente adequada é a distribuição ordenada em aterros, observando normas específicas (BRASIL, 2010). Proporcionalmente, a sociedade produz e descarta mais resíduos sólidos do que rejeitos, de modo que a maior parte do material que chega aos aterros tem potencial para ser reaproveitado.

Assim, todo resíduo sólido que é descartado irregularmente é um desperdício, pois tem potencial para ser utilizado como matéria-prima na produção de outros produtos. No Brasil, no ano de 2018, foram geradas 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, que incluem os resíduos domésticos e de limpeza urbana. O que se observa é que a geração de lixo no Brasil aumenta enquanto que a infraestrutura para a destinação adequada não acompanha este crescimento (ABRELPE, 2019).

A hierarquia dos resíduos é uma ferramenta para auxiliar no projeto do ciclo de

vida dos produtos e, principalmente, no gerenciamento dos resíduos. Propõe ações de caráter amplo, em ordem decrescente de impacto ambiental. Inicia com a proposta de reduzir e, se possível, eliminar a fonte dos resíduos, e finaliza com o descarte dos rejeitos em aterros. A proposta é condizente com a afirmação de Manzini e Vezzoli (2008) de que a atuação do design deve ser pautada na construção de cenários sustentáveis e não apenas de produtos menos poluentes. A hierarquia dos resíduos é organizada em três etapas (Figura 12).

Figura 12: Hierarquia dos resíduos.



Fonte: Adaptado de Gomes (2011).

A primeira etapa é preventiva, onde a utilidade e a necessidade do produto são questionadas. Caso o produto seja mantido ou produzido, o objetivo é a redução do gasto de energia e matéria-prima em todas as etapas do processo. A etapa seguinte é paliativa, apresenta soluções para o fim da vida útil do produto e dos materiais. As alternativas são a reutilização, a reciclagem ou os produtos de maior valor agregado (PMVA). A terceira e última etapa está relacionada com o descarte dos rejeitos, excluídas todas as possibilidades de aproveitamento dos resíduos sólidos. Os rejeitos podem ser utilizados para a recuperação energética ou descartados em aterros.

Na hierarquia dos resíduos as escalas de energia e valor atuam em sentidos opostos. Enquanto que a energia gasta nos processos aumenta em ordem crescente, o valor agregado aumenta em ordem decrescente. Essa relação se aplica entre as etapas e

dentro de cada uma delas. Na escala de energia, o gasto na etapa preventiva é menor que na paliativa, que é menor que na de descarte. Eliminar um produto gasta menos energia que desenvolver um projeto pautado na redução. Do mesmo modo, reutilizar gasta menos energia que reciclar, e menos que desenvolver um novo PMVA. O mesmo vale para a escala de valor, enquanto que os rejeitos não possuem valor agregado, as soluções paliativas valorizam o produto e as soluções de prevenção resultam no maior valor agregado dentre as três etapas.

O descarte de resíduos sólidos e rejeitos em lixões está proibido no Brasil por lei (BRASIL, 2010), entretanto ainda vigora em grande parte das cidades brasileiras. A realidade é que o maior volume de material descartado é de resíduos sólidos, sem separação prévia, que acaba prejudicando o processo de decomposição do material orgânico associado. Não obstante, o descarte de resíduos sólidos é um desperdício de matéria-prima e uma oportunidade perdida de geração de emprego e renda.

Com relação à origem, os resíduos sólidos podem ser classificados em: domiciliares, de limpeza urbana, comerciais e de prestadores de serviços, de saneamento básico, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, de serviços de transportes, de mineração e agrossilvopastoris (BRASIL, 2010). Dentro da categoria dos resíduos agrossilvopastoris estão os resíduos agrícolas, provenientes das atividades de manejo, cultivo, colheita e beneficiamento dos cultivares. Dentre os resíduos agrícolas produzidos no Brasil destacam-se, em termos de volume gerado, a casca do arroz, a palha do milho e da soja, o bagaço da cana-de-açúcar e a casca do coco.

Nas últimas décadas o Brasil se consolidou como um dos maiores produtores agrícolas a nível mundial. Nos últimos quarenta anos o país saiu da condição de importador de alimentos e se tornou um dos grandes produtores, a produção e a produtividade aumentaram significativamente, hoje se produz mais em cada hectare do

solo. Entre 1975 e 2017 a produção de grãos, que era de 38 milhões de toneladas, cresceu mais de seis vezes, enquanto a área plantada apenas dobrou (EMBRAPA, 2018).

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE sobre os principais resultados da safra de 2019 mostram que a produção da cana-de-açúcar foi de mais de 660 mil toneladas, a safra de soja foi de mais de 110 mil toneladas e a de arroz foi mais de 10 mil toneladas (IBGE, 2019). O volume de resíduos agrícolas gerados aumenta na mesma proporção em que aumenta a produção.

Os resíduos aumentam o potencial poluidor em função da disposição inadequada, poluindo os solos, os corpos hídricos e acarretando problemas de saúde. Ainda, o elevado custo de tratamento e armazenamento dos mesmos tem efeito sobre o preço final dos produtos (ROSA et al., 2011). A utilização de subprodutos agrícolas ajuda na preservação da terra e dos recursos naturais necessários para o cultivo de novas plantas, assim, é benéfica para a agricultura e contribui para solucionar o problema da eliminação dos resíduos agrícolas (SCANDOLA, 2011).

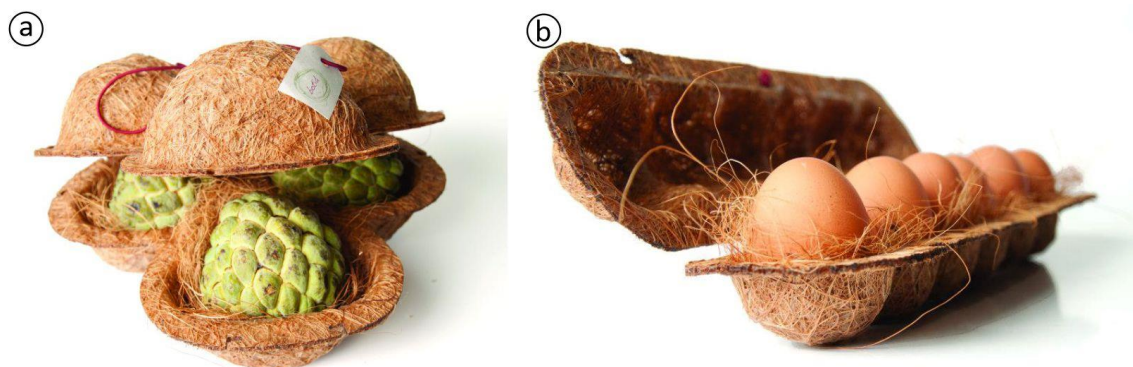
O design de produto é uma alternativa para converter resíduos agrícolas em PMVA. Os resíduos agrícolas pós-colheita ou pós-consumo, produzidos em grandes quantidades, se destacam por serem biodegradáveis, propriedade muito valorizada em produtos sustentáveis. O uso dos resíduos no design, além de amenizar os impactos ambientais, também proporciona o fechamento do ciclo de vida dos materiais. Nos últimos anos, pesquisas acadêmicas na área estão sendo desenvolvidas, assim como trabalhos de design autoral. De modo geral, as propriedades sensoriais dos materiais e as propriedades biodegradáveis são exploradas em produtos com vida útil curta, como embalagens, vasos para plantas, pratos e talheres descartáveis.

A água do coco verde é consumida em todo o litoral brasileiro, cerca de 70% do lixo gerado nas praias tem origem no descarte dos cocos. Estima-se que a área plantada

no Brasil é de cerca de 90 mil hectares. As cascas dos frutos representam 80% a 85% do peso total transformado em resíduo (ROSA et al., 2011). Com o objetivo de aproveitar a casca do coco no design de produto, Pohlmann, Duarte e Kindlein Jr. (2011) pesquisaram a sua aplicação no design de biojoias. Foi realizada a caracterização microscópica e química do material e o produto foi desenvolvido com o auxílio de software específico.

A designer Manuela Yamada desenvolveu a partir de uma pesquisa acadêmica o Projeto Botiá, um sistema de embalagens produzidas com fibra de coco, amido de mandioca e água. Foi desenvolvida uma linha de embalagens para alimentos em forma de ninho (Figura 13). O material resultante é biodegradável e facilmente moldável, através da prensagem a frio (MATERIA BRASIL, 2020).

Figura 13: Projeto Botiá: a) embalagem ninho para frutas; b) embalagem para ovos.



Fonte: Matéria Brasil (2020).

Resíduos agrícolas também são utilizados para a produção de produtos descartáveis, como pratos e talheres. A Biofase é uma empresa mexicana que utiliza os resíduos dos caroços de abacate para o desenvolvimento de um biopolímero utilizado para a produção de talheres, pratos e bandejas descartáveis. O resíduo é abundante no país, já que o México é responsável pela metade do consumo do fruto no mundo. A empresa coleta os caroços de abacate das empresas que produzem guacamole ou óleo. Os produtos duram até um ano e após o descarte, a decomposição total se dá em 240

dias (BIOFASE, 2020). Já a *startup* colombiana Lifepack desenvolveu utensílios descartáveis produzidos a partir de resíduos de cascas de milho e abacaxi, resíduos agrícolas abundantes no país (VIVA GREEN, 2019).

Outra alternativa para o uso dos resíduos agrícolas é como reforço em materiais compósitos. O uso de fibras naturais como matéria-prima no desenvolvimento de compósitos não é recente. De acordo com Silva (2003) as primeiras patentes de materiais com reforço de fibras vegetais datam da década de 1960. Entretanto, nas décadas de 1970 e 1980 ocorreu o caminho inverso, as fibras sintéticas foram substituindo as fibras vegetais, devido ao seu melhor desempenho mecânico e aos aspectos econômicos.

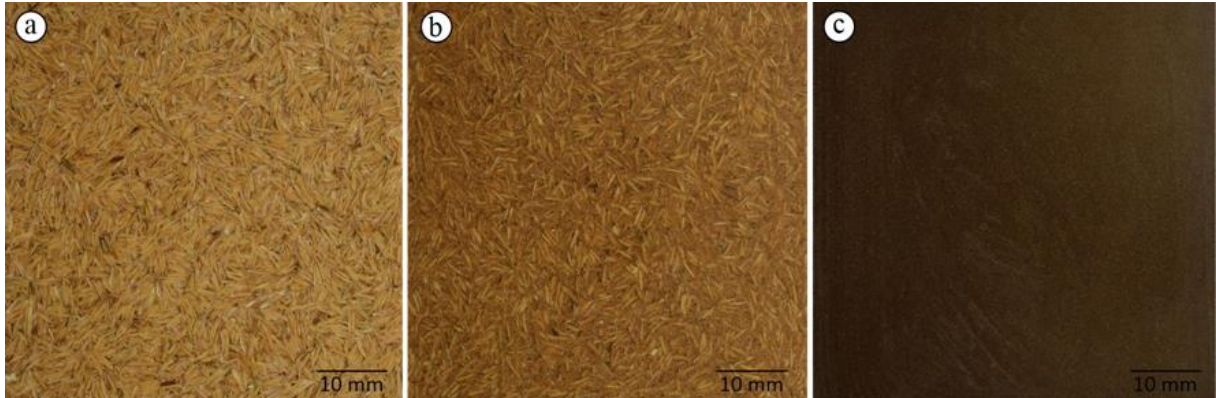
Apenas na década de 1990, com a crescente conscientização ecológica a respeito do uso de materiais não renováveis, houve um ressurgimento do uso das fibras vegetais em muitos setores, incluindo o uso de resíduos agrícolas (SILVA, 2003). Na literatura encontram-se trabalhos relacionados ao desenvolvimento de compósitos com reforço de resíduos de palha de milho (REDDY; YANG, 2005), com talos de girassol e bagaço de cana-de-açúcar (ASHORI; NOURBAKSH, 2010), palha de soja (AHANKARI et al., 2011) e casca de arroz (CALEGARI, 2018).

Calegari (2018) utilizou resíduos de casca de arroz na fração volumétrica de 80% na produção de compósitos. Foram produzidos compósitos com casca de arroz inteira, casca de arroz inteira e moída e casca de arroz moída, com matriz à base de resina poliéster insaturada (Figura 14). Na sequência, foi realizada a caracterização das propriedades físicas, mecânicas e de intemperismo dos materiais. Verificou-se que os compósitos com casca de arroz possuem atributos tangíveis próximos aos de madeiras e derivados, além de compartilhar atributos estéticos com esses materiais. Constatou-se que podem ser empregados processos de fabricação utilizados na produção de móveis



nos compósitos com casca de arroz, com bons resultados de acabamento.

Figura 14: Amostras de compósitos de casca de arroz e resina poliéster: a) casca de arroz inteira; b) casca de arroz inteira e moída; c) casca de arroz moída.



Fonte: Calegari (2018).

Com relação aos painéis de partículas, a matéria-prima lignocelulósica primária na produção de partículas é a madeira. Entretanto, com a demanda crescente da indústria, resíduos agrícolas vêm sendo investigados para a produção de painéis. O uso destas matérias-primas na indústria é anterior ao início do século XX, na indústria de celulose e painéis (ÇOPUR et al., 2007). Em um trabalho de revisão de literatura realizado por Youngquist et al. (1994) foram encontradas 1165 pesquisas em diversos países sobre o uso de fibras de plantas alternativas para a produção de novos materiais e painéis, entre os anos de 1913 e 1993. Na última década foram realizadas pesquisas em uma ampla variedade de resíduos agrícolas. No Brasil, o sabugo de milho, a casca de arroz, a casca de coco e o bagaço da cana-de-açúcar são consideradas matérias-primas promissoras para suprir a demanda no mercado de painéis (SILVA et al., 2018).

## 2.2 REVESTIMENTOS MODULARES

A padronagem é uma composição que possui como característica fundamental a repetição de formas e elementos gráficos do módulo e é projetada para a aplicação

sobre superfícies. As padronagens podem ser produzidas a partir de diferentes processos industriais, seja: impressa, aplicada, recortada, projetada, sempre diretamente ligada às características das superfícies dos materiais utilizados. No design de interiores, por exemplo, é um recurso decorativo recorrente no constante processo de inovação de produtos de revestimentos, talvez o recurso mais expressivo do setor (GUBERT, 2011).

Os revestimentos modulares são superfícies-objeto que revestem superfícies formando padrões. Podem assumir funções técnicas e estéticas, como de proteção, controle de variáveis e decorativas. Os revestimentos modulares estão presentes em todos os ambientes construídos, revestindo pisos, paredes e outras superfícies. Os processos de produção passam por uma adequação tecnológica para atender aos requisitos da sustentabilidade e para incorporar novos materiais, o que contribui para a manifestação da estética (GUBERT, 2011). As relações se estabelecem entre usuário e produto por meio da análise de elementos compositivos: sentidos, percepção, materiais, acabamentos e superfície, considerados no objeto (DISCHINGER; KINDLEIN JR.; 2010).

### **2.2.1 Design de Superfícies Tridimensionais**

Uma superfície pode ser definida como o suporte onde elementos gráficos e/ou táteis se encontram desenhados, pintados, impressos, gravados, projetados, construídos ou distribuídos (CAMPOS, 2015). Inicialmente associado ao design têxtil, o termo design de superfície pode ser assimilado para superfícies em geral, independentemente de sua natureza a superfície pode ser o elemento principal de um projeto de design (RUBIM, 2010). O design de superfície é uma atividade essencialmente projetual que atribui características perceptivas e expressivas à superfície dos objetos por meio de texturas visuais, táteis e relevos, e tem como objetivo estabelecer interações sensorio-cognitivas entre o objeto e o sujeito (SCHWARTZ; NEVES; RUTSCHILLING, 2008).

Trata-se de uma área interdisciplinar referente à composição formal do objeto e à sua constituição material associada com as técnicas empregadas. Por isso muitas vezes é associada a outras vertentes de projeto, com a engenharia de materiais e a arquitetura. Cada vertente está associada principalmente de acordo com os materiais e os processos utilizados no desenvolvimento do projeto, como os artigos de cerâmica, papelaria e têxteis (LARANJEIRA; MARAR, 2014).

A função do design de superfície é agregar valor aos produtos: valor afetivo a partir da estética, cores e materiais; valores regionais e culturais por meio dos motivos apresentados nas superfícies; comunicação de ideias e tendências. O design de superfície enfatiza funções que antes eram despercebidas ou não eram consideradas fundamentais para a qualidade do produto perante o usuário (RINALDI, 2013).

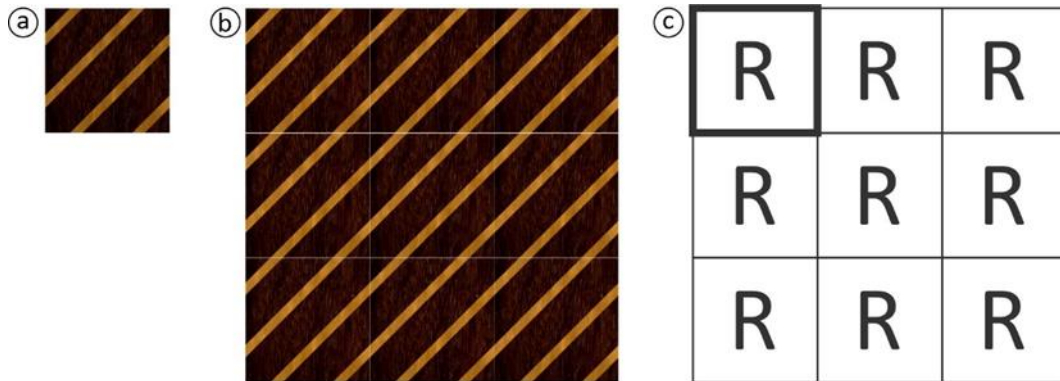
Os conceitos de módulo e repetição são princípios básicos no design de superfície, embora não seja condição necessária para a configuração de um projeto na área. O módulo é a unidade básica da padronagem, definido como a menor área que contém todos os elementos que constituem a imagem. A composição visual depende da organização dos elementos dentro do módulo e da articulação entre os módulos, gerando o padrão, a partir da estrutura preestabelecida de repetição (RÜTHSCHILLING, 2009).

O projeto Muiradesign desenvolveu peças de marchetaria<sup>2</sup> a partir de madeiras alternativas da Amazônia. Padrões indígenas, castanha de baru e bandeirolas são algumas das inspirações para a produção dos módulos usados na produção dos móveis (MAYNARDES et al., 2013). Na Figura 15 pode-se observar o módulo indígena (Figura 15a), produzido com as madeiras ipê-roxo e goiabão, o padrão formado pelos módulos (Figura 15b) e a estrutura de repetição (Figura 15c).

---

<sup>2</sup> A marchetaria é uma técnica de design de superfície que associa diferentes lâminas de madeira num mesmo plano, gerando uma superfície lisa e de igual espessura, que será posteriormente colada a um móvel ou elemento decorativo (GIBERT, LÓPEZ e ORDOÑEZ, 2000).

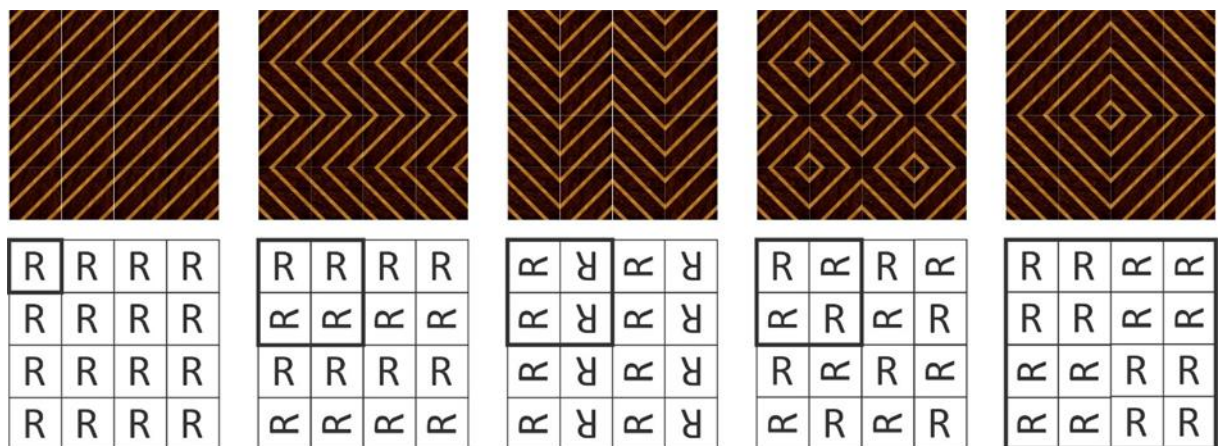
Figura 15: Composição visual: a) módulo indígena; b) padrão; c) estrutura de repetição.



Fonte: Adaptado de Rüttschilling (2009) e Maynardes et al. (2013).

O princípio do padrão é a propagação do módulo. A padronagem é uma composição visual que possui como característica fundamental a recorrência ou repetição de formas e demais elementos gráficos. É projetada para a aplicação sobre superfícies de produtos de revestimentos. Os padrões são provenientes de diferentes processos industriais: impressos, aplicados, recortados, projetados, sempre diretamente ligados às características das superfícies dos materiais utilizados (GUBERT, 2011). O encaixe dos motivos entre módulos é um estudo que prevê os pontos de encontro das formas entre um módulo e outro. Quando justapostos de acordo com o sistema de repetição definido, formam o desenho (Figura 16) (RÜTHSCHILLING, 2009).

Figura 16: Exemplos de diferentes sistemas de repetição de um mesmo módulo.



Fonte: Adaptado de Rüttschilling (2009) e Maynardes et al. (2013).

As soluções estéticas do design de superfície são exploradas tanto em projetos bidimensionais quanto em tridimensionais. É possível aplicar grafismos sobre superfícies planas, bem como é possível fazer aplicações volumétricas, expandindo o tratamento visual para fora do plano. No design de superfícies tridimensionais, as texturas podem ser percebidas como um diferencial. Dischinger e Kindlein Jr. (2010) destacam que a textura, apesar de ser mais uma variável dentro do processo de concepção formal e raramente ser desenvolvida como um alvo por si só, é uma consequência das características intrínsecas do projeto e da tecnologia dos processos de fabricação.

O design de superfície pode ser representado a partir de três abordagens: representacional, constitucional e relacional. A primeira envolve a geometria e a representação gráfica, a segunda diz respeito aos materiais e aos procedimentos técnicos, e a última abrange relações de qualquer natureza estabelecidas entre o sujeito, o objeto e o meio (SCHWARTZ; NEVES; RÜTHSCHILLING, 2008).

A partir da análise de um produto, o rack do projeto Muiradesign (Figura 17), pode-se inferir que a abordagem representacional está relacionada com os grafismos da geometria produzida a partir do módulo indígena. Já a abordagem constitucional diz respeito aos materiais utilizados, tanto na produção do móvel em si, quanto na produção da marchetaria. Neste caso, as propriedades sensoriais da madeira são valorizadas na constituição do móvel e nos grafismos, onde o contraste entre as cores de diferentes espécies cria o desenho. Já a abordagem relacional diz respeito ao significado do produto para o usuário, o simbolismo dos padrões indígenas, a associação com a natureza.

A abordagem constitucional está relacionada com o aspecto tridimensional, correspondendo ao volume do objeto ou artefato. Pode conduzir a interpretações de qualidades visuais, táteis e simbólicas diferentes, enfatizando a constituição do material. Deve-se considerar a estrutura física e visual e a constituição do material na definição

das possibilidades estéticas do design de superfície (SCHWARTZ; NEVES; RÜTHSCHILLING, 2008).

Figura 17: Rack, projeto Muiradesign.



Fonte: Maynardes et al. (2013).

A percepção de um produto depende diretamente do vínculo de sua superfície com sua forma e volume, estabelecendo uma estrutura determinada, de modo que não há como desassociar o design de superfície dos estímulos sensoriais que produz e da importância destes na construção do produto (LARANJEIRA; MARAR, 2014).

Dentro do design de superfícies tridimensionais existe uma categoria denominada superfície-objeto. É caracterizada quando superfície e volume ocorrem simultaneamente, em uma relação intrínseca e estruturante do objeto. Neste caso, o objeto depende diretamente da relação entre superfície e volume e passa a existir como produto a partir desta relação. A superfície possui um caráter estruturador do volume, produzindo-o e deixando-se influenciar para a configuração do objeto (SCHWARTZ; NEVES; RÜTHSCHILLING, 2008). Os revestimentos modulares e os painéis de partículas podem ser considerados superfícies-objeto.

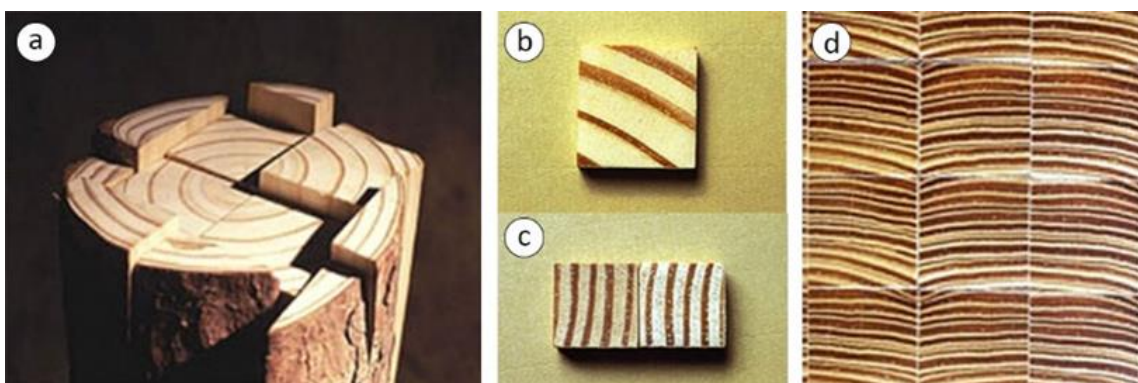
### 2.2.2 Revestimentos Modulares de Materiais de Origem Vegetal

Cada material possui elementos compositivos característicos que podem ser

valorizados no design de superfícies tridimensionais. As diferentes possibilidades estéticas e estruturais podem ser trabalhadas por diferentes processos, gerando resultados formais diferentes, específicos da natureza e composição do material. Em projetos de design de superfície é necessário considerar a estrutura e a constituição dos materiais como definidoras, influenciadores e limitadores das possibilidades estéticas. Para tanto, é importante demonstrar graficamente a influência da configuração da matéria na representação de projetos (SCHWARTZ; NEVES; RÜTHSCHILLING, 2008).

A designer gaúcha Heloísa Crocco foi uma das primeiras profissionais da área a trabalhar com artesanato e o reconhecimento do seu trabalho está associado ao design de superfície. Em 1986 entrou na floresta amazônica pela primeira vez e a partir do corte em topo dos troncos, percebeu que poderia explorar o desenho dos veios com diferentes tipos de cortes e composições. A pesquisa resultou no Projeto Topomorfose (Figura 18). Após dois anos de pesquisa visual, ampliou as possibilidades de combinações e selecionou mais de 200 padrões de árvores nativas (BORGES, 2002).

Figura 18: Projeto Topomorfose: a) tronco com diferentes cortes em topo; b) módulo; c) união de dois módulos; d) composição com vários módulos.



Fonte: Adaptado de Borges (2002).

Os desenhos são gerados a partir da variação na justaposição de pequenos cubos de madeira que formam padrões, não existe repetição dos módulos, trata-se de um design de superfície sem a aplicação da noção clássica de módulo. Os módulos possuem

a mesma configuração externa, com as mesmas dimensões, mas não tem a mesma imagem interna, possuem texturas semelhantes, extraídos de cortes próximos da madeira. A montagem é artesanal e as superfícies geradas são peças únicas (RUTSCHILLING, 2009). Os elementos visuais resultantes das diferentes combinações remetem à arte indígena e popular (Figura 19).

A repetição, no contexto do design de superfície, é a disposição dos módulos nos sentidos do comprimento e da largura de modo contínuo, configurando o padrão. Existe uma grande variedade de possibilidades de encaixe dos módulos. O sistema alinhado mantém o alinhamento das células, sem deslocamentos de origem, já o sistema de módulos não alinhados tem como característica a possibilidade de deslocamento das peças (alguns exemplos de sistemas de repetição na Figura 16). Além da mudança de origem, oferecem as possibilidades de operações de translação, rotação e reflexão, tornando a operação mais complexa (RÜTHSCHILLING, 2009).

Figura 19: Padronagens do projeto Topomorfose.



Fonte: Crocco Studio Design (2020).

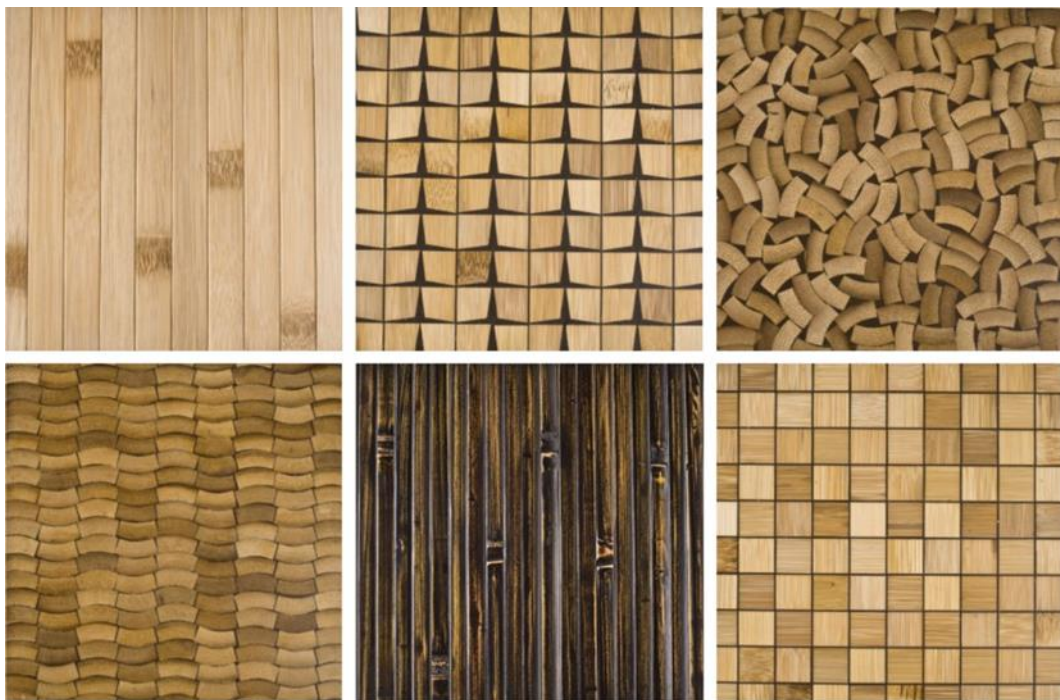
O bambu é extensamente utilizado como material estrutural, de maneira natural ou laminado, devido às excelentes propriedades mecânicas advindas de suas fibras. O Brasil possui 34 gêneros e cerca de 230 espécies, sendo 174 endêmicas e apesar da diversidade, o potencial dos bambus tem sido pouco explorado (ARRUDA et al., 2011).



Foggiato (2009) desenvolveu revestimentos modulares de bambu com o objetivo de explorar as propriedades sensoriais das diferentes seções do material (Figura 20).

Para tanto, utilizou lâminas de bambu, peças em corte transversal e longitudinal, explorou diferentes sistemas de repetição. Como resultado, uma variedade de padrões, com diferentes elementos visuais, mostra todo o potencial dos atributos sensoriais do material (FOGGIATO, 2009). O conjunto de painéis de bambu foi vencedor do Prêmio Salão Design no ano de 2009, na categoria de material sustentável.

Figura 20: Revestimentos modulares de bambu.



Fonte: Foggiato (2009).

A *Luffa cylindrica*, conhecida por ser utilizada como esponja de banho, é a matéria-prima utilizada para a produção de novos produtos no Luffa Lab, laboratório sediado em Londres e coordenado pelo designer brasileiro Maurício Affonso. O objetivo do laboratório é explorar as qualidades inerentes das fibras do material como uma alternativa aos materiais sintéticos em uma vasta gama de aplicações (Figura 21).

Após a colheita a casca é extraída (Figura 21a), o material passa por um processo

de secagem (Figura 21b) e é cortado longitudinalmente (Figura 21c). Suas fibras formam uma complexa rede de celulose estruturada como uma espuma com células espaçadas, caracterizando um material forte e leve. Material biodegradável possui propriedades antimicrobianas, o que torna viável a sua aplicação como talas para imobilização. Possui propriedades isolantes e é altamente absorvente e funciona como absorvedor de resíduos de corantes tóxicos dos processos da indústria de jeans (MOCOLOCO, 2020). A matéria-prima colorida resultante é moldada e revestimentos modulares na forma de azulejos acústicos para interiores residenciais e comerciais (Figura 21d).

Figura 21: Processo de beneficiamento da *Luffa cylindrica*: a) extração da casca; b) processo de secagem ao ar livre; c) corte padronizado da matéria-prima; d) azulejos acústicos para revestimento de áreas internas.



Fonte: Mocoloco, 2020.

O reconhecimento de produtos produzidos a partir de matérias-primas de origem vegetal e de resíduos agrícolas sinaliza uma mudança de paradigmas no processo de seleção de materiais e uma abertura do mercado para investimentos em materiais de

fontes renováveis e biodegradáveis. A valorização destes materiais abre caminho para a pesquisa e aplicação de outros materiais similares no design de produtos.

### 2.3 PAINÉIS DE PARTÍCULAS

Painéis de partículas ou aglomerados são painéis constituídos por partículas de madeira ou outro material lignocelulósico, aglutinadas com resina sintética termofixa, que se consolidam sob a ação conjunta de calor e pressão (ABNT, 2013). Surgiram na Alemanha no início da década de 1940 como alternativa para viabilizar a utilização dos resíduos de madeira, em um cenário de escassez de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial (IWAKIRI, 2005).

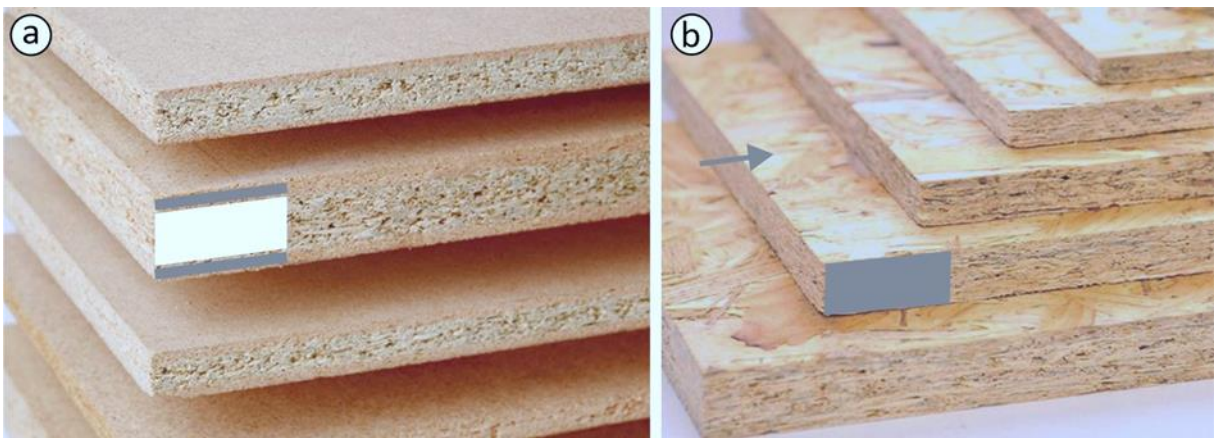
O Brasil é destaque mundial na fabricação de painéis de madeira reconstituída a partir florestas plantadas. Este fato se deve aos contínuos investimentos em tecnologia e automação das empresas e processos produtivos. Os painéis de partículas são amplamente utilizados na engenharia civil, na arquitetura e no design de interiores. São utilizados na produção de portas retas, usinadas, divisórias, revestimentos de paredes, pisos, rodapés, batentes e móveis em geral (IBÁ, 2019).

Com relação à distribuição das partículas, os painéis podem ser homogêneos, de múltiplas camadas ou de partículas orientadas (IWAKIRI, 2005). Os painéis homogêneos são produzidos a partir de uma única combinação de partículas e resina, formando apenas uma camada distinta. Os painéis aglomerados produzidos para testar o uso de materiais alternativos, como os resíduos agrícolas, geralmente são painéis homogêneos.

Entre os painéis de múltiplas camadas, os painéis de partículas de média densidade (*Medium Density Particleboard* – MDP) são os mais conhecidos e consumidos (Figura 22a). As partículas com maior granulometria são dispostas no centro, enquanto

que as de menor granulometria ficam nas superfícies externas, formando três camadas distintas (OLIVEIRA et al., 2013). Os painéis de partículas orientadas (*Oriented Strand Board* – OSB) são constituídos por partículas de madeira longas, largas e finas (Figura 22b). Nas camadas exteriores as partículas são dispostas longitudinalmente em relação ao comprimento da chapa e na camada interna estão dispostas perpendicularmente a esta dimensão (SILVA et al., 2010).

Figura 22: Painéis de partículas: a) MDP, formado por três camadas distintas; b) OSB, formado por uma camada, a flecha indica as partículas de madeira na superfície.



Fonte: autora.

As propriedades dos painéis de partículas variam de acordo com a densidade e com a espessura, que vai de 3 mm a 40 mm. A densidade é um requisito básico dos painéis e existem três classificações: baixa, média e alta densidade. Os painéis de baixa densidade vão até  $0,59 \text{ g/cm}^3$ , de média densidade vão de  $0,6 \text{ g/cm}^3$  até  $0,79 \text{ g/cm}^3$  e alta densidade é acima de  $0,8 \text{ g/cm}^3$  (IWAKIRI, 2005).

De modo geral, os painéis são classificados em dois tipos: painéis estruturais e não estruturais. Os painéis estruturais possuem propriedades físicas e mecânicas superiores, podem ser para uso em condições secas, para uso em condições úmidas, para uso em condições severas de carga em condições secas ou para uso em condições severas de carga em condições úmidas. Os painéis não estruturais podem ser para uso

interno em condições secas ou para uso em condições úmidas (ABNT, 2013).

De acordo com a norma brasileira, os principais ensaios para a determinação das propriedades dos painéis de partículas são o inchamento durante 24 horas, a resistência à tração perpendicular, a resistência à flexão estática, o módulo de elasticidade e a resistência à tração superficial (ABNT, 2018). Para cada tipo de painel, dentro das classificações de painéis estruturais e não estruturais, a norma estabelece requisitos a serem atendidos. A Tabela 1 apresenta os requisitos para painéis não estruturais para uso interno em condições secas.

Tabela 1: Painéis não estruturais para uso interno em condições secas – requisitos para propriedades mecânicas e inchamento.

Requisitos	Unidade	Critérios para faixa de espessura nominal mm					
		> 4	> 6	> 13	> 20	> 25	> 32 a 40
<b>Inchamento durante 24 h</b> (máximo)	%	25	22	22	18	18	16
<b>Resistência à tração perpendicular</b> (mínimo)	N/mm <sup>2</sup>	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
<b>Resistência à flexão estática</b> (mínimo)		13	11	11	10,5	9,5	8,5
<b>Módulo de elasticidade</b> (mínimo)		1950	1800	1600	1500	1350	1200
<b>Resistência à tração superficial</b> (mínimo)		1	1	1	1	1	1

Fonte: ABNT (2018).

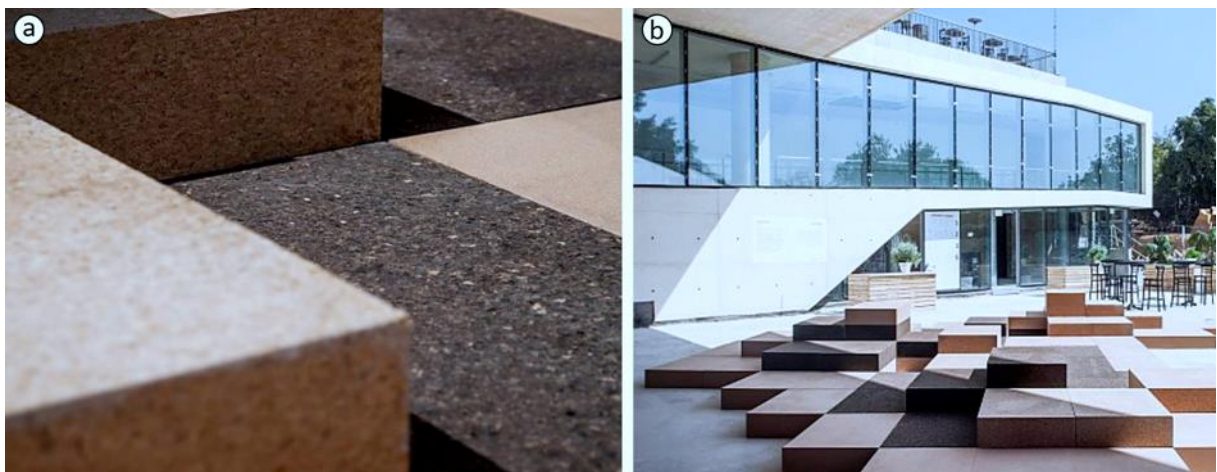
A indústria de painéis de madeira reconstituída, entre eles os painéis de partículas, foca no aperfeiçoamento do desempenho das propriedades físicas e mecânicas, de modo que o design de superfície e as propriedades sensoriais ficam em segundo plano (BRIEDE; ALARCÓN, 2012). Entretanto, na seleção de materiais, os atributos técnicos e estéticos devem ser considerados e valorizados na mesma proporção (DIAS, 2009; ASHBY; JOHNSON, 2011; CALEGARI; OLIVEIRA, 2014). Nem todas as matérias-primas lignocelulósicas têm propriedades que resultam na produção de painéis com propriedades estruturais, mas podem resultar em painéis com

propriedades isolantes, biodegradáveis, decorativas, enfim, é importante valorizar as propriedades inerentes das matérias-primas na produção de painéis.

A cortiça é um material de origem vegetal, extraída dos troncos e galhos dos sobreiros em um processo conhecido como descortiçamento. As principais propriedades da cortiça são a baixa densidade, a baixa permeabilidade, a inércia química e biológica e a baixa condutividade térmica. A produção de rolhas deu origem a uma grande quantidade de resíduos e logo surgiram processos para a reutilização dos mesmos. Os granulados podem ser produzidos a partir de resíduos ou de cortiça virgem, são utilizados principalmente como matéria-prima para a produção dos painéis isolantes (MESTRE; GIL, 2011).

O aglomerado expandido de cortiça ou aglomerado preto (Figura 23) tem como matéria-prima o granulado de cortiça virgem e a aglomeração é feita por aplicação de calor e pressão. É um produto natural, sem adição de resinas sintéticas (PEREIRA, 2007).

Figura 23: Aglomerados de cortiça: a) Contraste entre as cores e texturas do aglomerado expandido (preto) e do aglomerado composto (branco); b) Uso dos aglomerados de cortiça em ambiente externo.



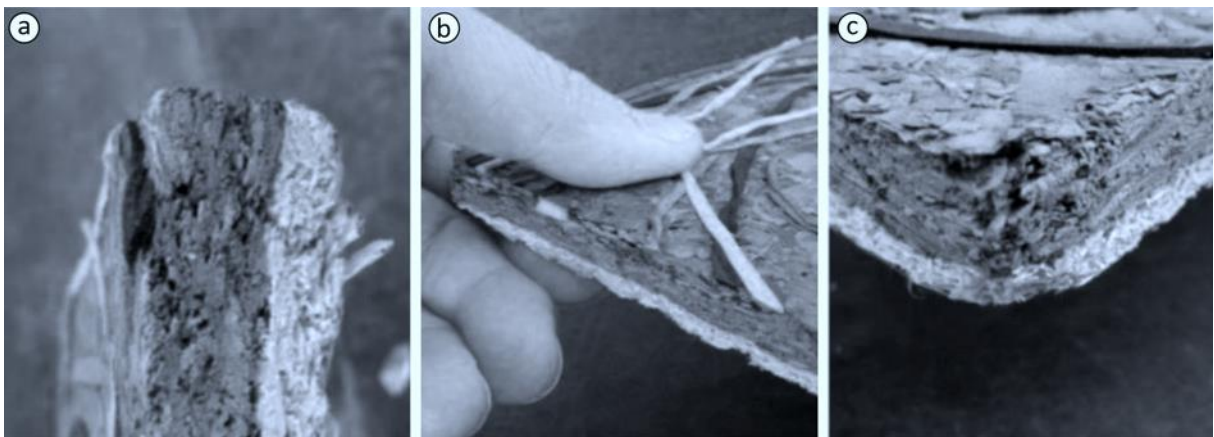
Fonte: Corticeira Amorim (2020).

O aglomerado composto ou branco (Figura 24), é o mais conhecido e utilizado, é produzido a partir dos resíduos da indústria de transformação da cortiça em um processo

de aglutinação através de ação conjunta de pressão, temperatura e um agente aglutinante (MESTRE; GIL, 2011). Pode ser moldado, transformado ou cortado, adaptando-se para muitos propósitos diferentes, desde revestimentos isolantes até a produção de produtos domésticos, como móveis e acessórios.

O objetivo do trabalho de Briede e Alarcón (2012) foi o desenvolvimento de painéis utilizando como matéria-prima partículas de madeira Pinus e materiais não convencionais, como resíduos da indústria têxtil, couro, plástico e materiais naturais locais (Figura 24). O objetivo da produção dos painéis é aprimorar as propriedades estéticas dos materiais, potencializando o seu uso como revestimento decorativo. Foram realizados ensaios para a determinação da espessura, da umidade, da densidade e das propriedades mecânicas de flexão estática e tração perpendicular.

Figura 24: Estudos preliminares de produção dos painéis de resíduos: a) espessura; b) propriedades táteis e flexão; c) vértice.

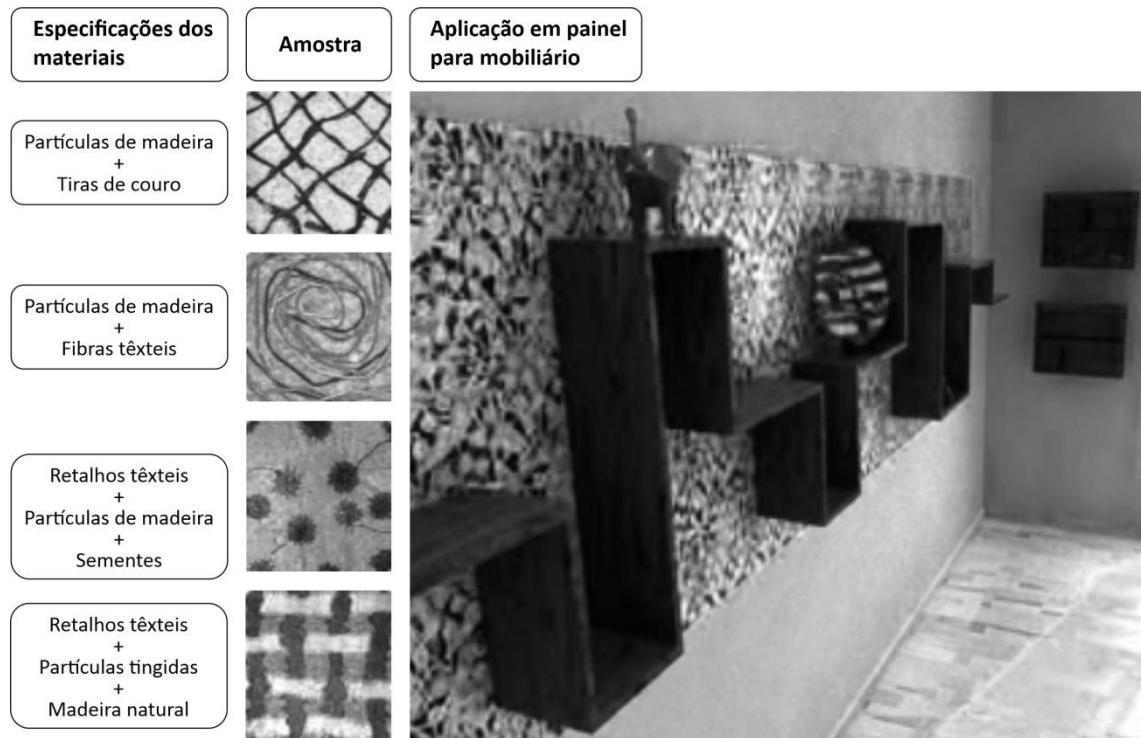


Fonte: Briede e Alarcón (2012).

O diferencial do trabalho está na valorização do design de superfície e das propriedades sensoriais de painéis produzidos com resíduos. A abordagem metodológica utilizada está relacionada com a utilização de resíduos industriais e matérias-primas locais, aliados ao processo que busca desenvolver novas alternativas a partir da combinação morfológica destas matérias-primas. A percepção e a sensação dos

materiais e as possíveis evocações do contexto de origem são aspectos valorizados (BRIEDE; ALARCÓN, 2012). A Figura 25 mostra estudos de aplicação dos painéis.

Figura 25: Aplicações dos painéis no contexto do design de interiores.



Fonte: Adaptado de Briede e Alarcón (2012).

No caso do uso de resíduos agrícolas ou outros materiais de origem vegetal, as propriedades sensoriais devem ser valorizadas e devem estar visíveis na superfície dos painéis, para facilitar a identificação destas características pelos designers e usuários. Belini et al. (2014) produziram painéis aglomerados com três camadas (MDP) com partículas de bagaço de cana, fibras de juta e de curauá e resina poliuretana de óleo de mamona. Os autores destacam a importância dos aspectos visuais dos painéis: “esta questão aparente e estética do produto, bem como quesitos de sedosidade e homogeneidade de algumas características organolépticas, como cor e tato, são fundamentais quando se considera projeto de confecção e colocação mercadológica” (BELINI et al., 2014, p. 594).



A produção de painéis de partículas vai muito além do aprimoramento das propriedades físicas, mecânicas e estruturais. O desenvolvimento de novos materiais é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos de materiais lignocelulósicos, com destaque para os resíduos agrícolas. O processo deve valorizar as propriedades inerentes das matérias-primas, especialmente as propriedades sensoriais.

Nesse contexto, partindo da premissa do design como solucionador de problemas, a abordagem do design de superfície pode contribuir no desenvolvimento de painéis de partículas que valorizem as matérias-primas e seus atributos estéticos, além de ampliar as possibilidades de aplicação dos materiais resultantes. Abordar a produção de painéis a partir da perspectiva do design pode resultar em uma visão mais ampla do processo, considerando os aspectos ambientais, na busca por um ciclo de vida fechado.

### 3 CRIAÇÃO DOS REVESTIMENTOS MODULARES

Este capítulo descreve o estudo preliminar de criação de revestimentos modulares a partir dos resíduos de porongo, mais precisamente a partir dos frutos descartados por não apresentarem as características morfológicas necessárias para a produção de cuias. O primeiro tópico apresenta a proposta de metodologia adaptada para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais. Os três tópicos seguintes descrevem o desenvolvimento dos produtos a partir das etapas da metodologia. Desse modo, o segundo tópico descreve a caracterização do material, o terceiro tópico descreve a otimização do aproveitamento dos resíduos e, por fim, o quarto tópico descreve a aplicação dos resíduos no design de produto.

#### 3.1 METODOLOGIA PARA A CRIAÇÃO DE REVESTIMENTOS MODULARES

Com relação às superfícies tridimensionais, Schwartz, Neves e Rüttschilling (2008) destacam a importância da valorização da geometria e do desenho formado no arranjo físico da composição, a fim de explorar o potencial físico e plástico inerente do material. Ainda, reforçam a necessidade de demonstrar graficamente a configuração da matéria no caso de texturas constituintes da própria matéria-prima, como é o caso dos revestimentos modulares.

Neste contexto, Briede e Alarcón (2012) desenvolveram uma metodologia para o desenvolvimento de novos materiais, com o objetivo potencializar os aspectos visuais e formais de matérias-primas não convencionais. A valorização dos materiais se dá tanto no sentido de aprimorar as propriedades sensoriais, quanto nas possíveis repercussões nas propriedades físicas e mecânicas. Os autores produziram painéis aglomerados de

partículas de Pinus combinadas com diferentes resíduos, como tecidos, couro e plástico (Figura 24). Foram explorados diferentes desenhos e texturas na superfície dos painéis, para potencializar o uso como revestimento decorativo (Figura 25).

A partir das abordagens do uso de resíduos no design e da valorização das propriedades sensoriais, a metodologia de Briede e Alarcón (2012) foi adaptada para o trabalho. Foi estruturada uma proposta de metodologia para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais, posteriormente utilizadas como revestimentos modulares ou como componentes de produtos. O foco passa do desenvolvimento de novos materiais para o desenvolvimento de produtos (Figura 26).

Figura 26: Metodologia para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais.



Fonte: Adaptada de Briede e Alarcón (2012).

A primeira etapa é de caracterização e envolve a definição do resíduo, a disponibilidade, a classificação e a especificação das principais propriedades técnicas e sensoriais. Com relação à disponibilidade do material, Karana, Hekkert e Kandachar (2008) destacam que esse fator é avaliado pelos designers desde o início do processo de seleção de materiais. A seleção do resíduo deverá ser pautada pela disponibilidade no contexto local, tanto em quantidade quanto em proximidade. É importante que a matéria-prima seja acessível, produzida em quantidade considerável e a partir de atividades

locais (KRUCKEN, 2009).

Na sequência é realizada a classificação dos resíduos com o objetivo de especificar a parcela de material que tem potencial para ser utilizada. Em geral, resíduos sólidos são heterogêneos, compostos por elementos de tamanhos e formas diferentes, misturados com outros materiais e rejeitos. A classificação tem como objetivo a divisão em grupos e subgrupos com características similares de tamanho, textura, cor e morfologia. O processo deve ser direcionado no sentido de aproveitar o máximo possível os resíduos, visto que o aproveitamento total nem sempre é viável.

Após a classificação são estabelecidas as principais propriedades dos materiais, definidas por Callister e Rethwisch (2012) como características de um dado material em termos do tipo e da magnitude da sua resposta a um estímulo específico que lhe é imposto. De modo geral, as propriedades são mensuradas independentemente da forma e do tamanho do material. Os principais ensaios para as propriedades físicas são de determinação do teor de umidade, do inchamento em espessura e da densidade.

Se a matéria-prima utilizada for convencional, as informações sobre as principais propriedades físicas e mecânicas podem ser facilmente encontradas na literatura. Entretanto, se for um material não convencional, os ensaios deverão ser realizados de acordo com as normas vigentes. A definição das principais propriedades técnicas do material é um ponto crucial do processo, pois vai direcionar as futuras aplicações no design de produtos. Em alguns casos, pode ser necessária a determinação de outras propriedades (térmicas, acústicas) para a caracterização do material.

Além das propriedades técnicas dos resíduos, também são estabelecidas as propriedades sensoriais. O objetivo desta etapa é determinar quais características definem o material em termos de cores, texturas, morfologia e formas. A consistência do material, a percepção e as possíveis evocações do contexto de origem são alguns dos

aspectos que se desejam fortalecer e a partir deles gerar um vínculo afetivo com os usuários (BRIEDE; ALÁRCÓN, 2012). Ao final da etapa de caracterização uma ficha descritiva é gerada, com um compilado das informações levantadas, as quais serão o ponto de partida para a etapa seguinte.

A segunda etapa é de otimização e envolve o estudo do aproveitamento dos resíduos, montagem, acabamento e a parte criativa de experimentação. Após a classificação e a definição das principais propriedades do material, um quadro amplo de aplicações é delineado e com base nessas informações são definidas alternativas para o melhor aproveitamento dos resíduos. Se o material for homogêneo e sólido, poderá ser utilizado em peças de grandes dimensões, se for heterogêneo poderá ser reduzido a peças de dimensões reduzidas, se for fibroso pode ser feita uma trama ou pode ser utilizado um adesivo para unir as fibras. É um processo específico para cada material, onde as características inerentes do mesmo devem ser respeitadas e valorizadas.

Na sequência, são realizados testes para a definição dos tipos de montagem e acabamento. Qualquer produto composto por duas ou mais partes depende de um sistema para unir as peças. Em projetos com ênfase no design para a sustentabilidade, o conceito de design para a desmontagem (*Design for Disassembly – DfD*) é básico. Trata-se de considerar, desde as etapas iniciais do projeto, soluções para a montagem das peças que facilitem a desmontagem do produto ao fim da sua vida útil, a fim de viabilizar o descarte correto dos resíduos (MANZINI; VEZZOLI, 2008). A montagem pode ser entre peças do mesmo material ou de materiais diferentes, pode ser no sentido de encaixar ou de aderir, como no caso de aglomerar partículas para formar um novo material.

Já o acabamento tem como objetivo prolongar a vida útil dos materiais e se aplica às matérias-primas suscetíveis à ação de agentes biológicos (fungos e insetos) e não biológicos (combustão e intemperismo). É uma etapa fundamental para o processamento

de materiais e resíduos de origem vegetal. As principais técnicas de acabamento estão relacionadas ao retardo da degradação, já que a mesma desencadeia uma série de outras condições desfavoráveis. Os tratamentos impermeabilizantes consistem na proteção das camadas externas permeáveis do material contra a ação dos organismos infestadores, de modo a impedir a penetração e posterior infestação dos tecidos das camadas internas (VIDOR, 2006). Processos de secagem, aplicação de vernizes e tintas, são exemplos de procedimentos que aumentam a vida útil dos materiais.

Na sequência tem início a fase criativa do processo, a experimentação. A criatividade é a essência do design, é o que transforma materiais e ferramentas em produtos. Todas as metodologias de design contemplam pelo menos uma etapa criativa. Após a coleta e a análise das informações, o objetivo desta etapa é explorar ao máximo diferentes configurações para os módulos e padrões das superfícies tridimensionais. As possibilidades de aplicações do material são afinadas, com opções mais específicas.

Por se tratar de uma metodologia direcionada ao design de superfícies tridimensionais, a manipulação do material e a confecção de modelos são fundamentais para compreender e explorar todas as possibilidades. Para Walter (2006, p. 76) "exercer a capacidade criativa, no entanto, implica na percepção real do material, principalmente pelo contato do projetista com amostras do mesmo". As propostas que contemplem a valorização das propriedades dos materiais são selecionadas para a etapa de aplicação. Assim como na primeira etapa de caracterização, ao final da etapa de otimização outra ficha descritiva é gerada, com um compilado das informações levantadas.

Por fim, a terceira etapa é de aplicação e envolve a definição das especificações técnicas, a definição dos módulos, dos padrões e a aplicação das superfícies tridimensionais criadas em ambientes e produtos. A partir das alternativas geradas na etapa de otimização, são selecionadas uma ou mais para o detalhamento técnico e o

desenvolvimento, considerando também a viabilidade de execução. As especificações técnicas englobam a definição do formato e das dimensões das peças que vão compor o módulo, bem como as dimensões finais do próprio módulo. A partir daí são propostos sistemas de repetição do módulo para a composição de padrões, são realizados os desenhos técnicos e a modelagem tridimensional dos módulos.

A partir das especificações técnicas são definidas as configurações dos módulos, através do corte, da montagem e do acabamento das peças. Os módulos e os padrões produzidos podem ser aplicados como revestimentos modulares e na composição de peças planas em outros produtos, como luminárias, componentes de móveis e divisórias de ambientes. Na última etapa é realizada a simulação das possibilidades de aplicação dos revestimentos modulares a partir da modelagem tridimensional e da inserção em produtos e ambientes.

Ao final da etapa de aplicação é gerada uma ficha com as especificações do projeto. Como resultado, as superfícies tridimensionais desenvolvidas a partir dos resíduos deverão ter características estéticas que evoquem a matéria-prima utilizada, de modo que os usuários possam identificar os elementos de origem, a simbologia do material e as principais características estéticas.

### 3.2 ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO

Este tópico descreve o desenvolvimento da primeira etapa da metodologia adaptada para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais. A etapa de caracterização engloba a definição dos resíduos que serão utilizados, a disponibilidade no contexto local, a classificação dos mesmos e a definição das principais propriedades técnicas e sensoriais.

### 3.2.1 Disponibilidade e Classificação

O cultivo do porongo é de grande relevância para o estado do RS, é a matéria-prima principal para a produção de cuias para o chimarrão, símbolo da cultura e da tradição do estado. Como o chimarrão é um hábito cotidiano para uma parcela considerável de habitantes do sul do país, a demanda pelos frutos é constante. Trata-se de um cultivo importante para a agricultura familiar do centro e do norte do estado, sendo para muitos produtores a única fonte de renda. De acordo com Carvalho (2010), a instalação das primeiras fábricas de cuias em Arroio do Só, no centro do RS, data de meados da década de 1990, mas o cultivo do porongo é anterior a este período.

Como o cultivo é destinado quase exclusivamente para a produção de cuias, os frutos que não atendem aos requisitos morfológicos são descartados, sendo que apenas uma pequena parcela é utilizada para o artesanato. O percentual de resíduos pode chegar a 80% do volume inicial de frutos produzidos (Figura 5), volume considerável quando comparado com outros materiais de origem vegetal, como a madeira maciça. Para toras com diâmetro acima de 60 cm o volume de resíduos gerados pode chegar a 40% do total. No caso de toras mais finas, com diâmetro entre 20 e 40 cm, o percentual de resíduos gerados pode chegar a 60% do volume inicial (SENAI, 2014).

Durante as visitas de campo em Arroio do Só e em Frederico Westphalen, duas categorias principais de resíduos foram identificadas. A primeira contempla os frutos que não apresentam características morfológicas para a produção de cuias, dos quais uma parte é abandonada na lavoura (Figura 3) e outra parte é colhida e, após o processo de secagem, fica empilhada ao ar livre, suscetível aos danos das intempéries (Figura 2a). A segunda categoria inclui os resíduos provenientes da produção de cuias, partes descartadas dos frutos após o primeiro processo de corte e resíduos dos processos secundários de corte e lixa.



Nos resíduos dos processos de corte e lixa, o mesocarpo dos frutos, que é a parte interna e porosa, fica vulnerável e com o passar do tempo acaba mofando e se deteriorando com a ação das intempéries, perdendo as principais características. Já nos resíduos em que os frutos permanecem inteiros o exocarpo atua como uma barreira protetora, praticamente impermeável, que faz com que os frutos permaneçam intactos mesmo após vários meses em contato com intempéries. Neste contexto, para a produção dos revestimentos modulares foram classificados e selecionados os resíduos dos frutos inteiros (Figura 27), dada a importância da conservação do material e da manutenção das características morfológicas e estéticas.

Figura 27: Frutos descartados, selecionados para a produção dos revestimentos modulares.



Fonte: autora.

Nos frutos que não são utilizados para a produção de cuias a variação morfológica da espécie fica mais evidente. Como pode ser observado na Figura 27, os frutos descartados são heterogêneos, possuem diferentes formas, dimensões e proporções. Pode-se observar que a coloração do exocarpo varia entre as amostras, bem como a espessura interna do mesocarpo.

### 3.2.2 Propriedades Técnicas

Cada material é único em suas características e essa individualidade se dá, basicamente, pela relação entre a estrutura e as propriedades. A estrutura de um material refere-se ao arranjo dos seus componentes internos e se apresenta em vários níveis, do macroscópico ao subatômico (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). Quando se trata de materiais de origem vegetal, como é o caso do porongo, a análise da estrutura celular é fundamental para a compreensão do comportamento do material. A anatomia vegetal estuda, por meio de observação e interpretação, as características morfológicas da microestrutura da planta e a partir dessas observações podem ser inferidas descrições sobre diversos aspectos funcionais da amostra (PALOMBINI et al., 2017). Lago (2013) e Nejeliski (2015) caracterizaram a microestrutura do porongo.

Lago (2013) analisou e caracterizou a microestrutura do porongo com o auxílio da microtomografia ( $\mu$ CT), a partir da qual foi possível obter os percentuais das porosidades total, fechada e aberta e determinar a área e o volume do material. A porosidade é gerada pela presença de espaços vazios, os poros, entre as partículas que formam a matéria. Esses poros variam de tamanho tornando a matéria mais ou menos densa (SILVA, 2015). A análise da porosidade é importante na ciência dos materiais, na caracterização de solos, minerais e cerâmicos. Várias propriedades dos materiais dependem da estrutura dos poros e da conectividade dos mesmos (ULIANA et al., 2014).

De acordo com Silva (2015), a porosidade pode ser aberta ou fechada. Ela é aberta quando está conectada à superfície e permite a absorção de água e gases. Já os poros fechados podem ser causados pelo fechamento de poros abertos em processos como a sinterização, em materiais cerâmicos, ou podem ser causados pela evolução de gases que não conseguiram sair da estrutura. Na fabricação de materiais isolantes é importante ter um grande número de poros fechados (SILVA, 2015).

A  $\mu$ CT das amostras de porongo indicou que, em média, 54% do volume do material correspondem aos espaços vazios dos poros. Ainda, praticamente todos os poros estão interconectados entre si, configurando porosidade aberta. A estrutura do material é heterogênea, com maior concentração de poros na região próxima ao centro do fruto e menor concentração na camada externa (LAGO, 2013). Na cortiça, por exemplo, os poros correspondem de 85% a 90% do total, o que, associado à estrutura das paredes celulares e à geometria, confere à cortiça propriedades isolantes (GIL, 2015).

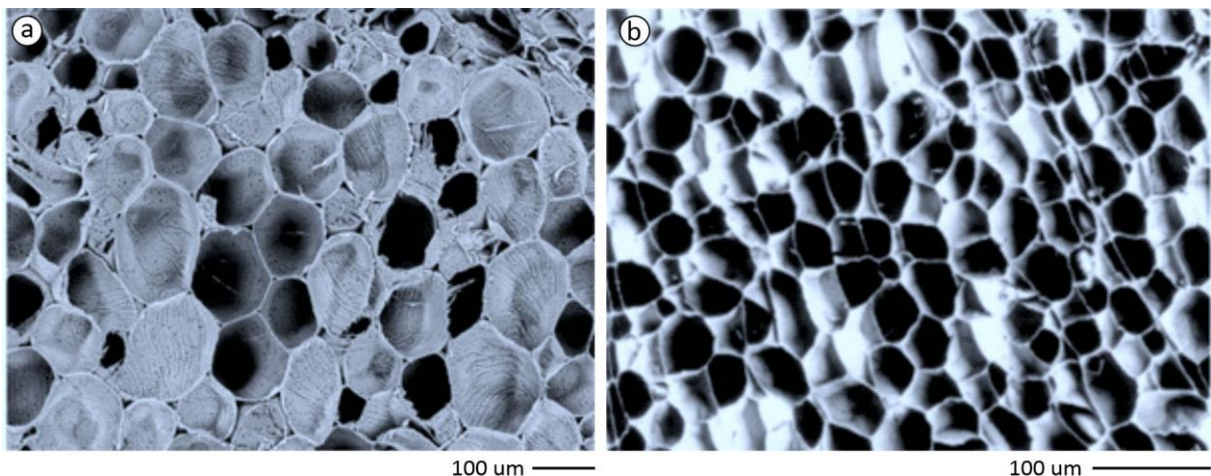
Nejeliski (2015) analisou amostras de porongo no microscópio óptico e no microscópio eletrônico de varredura (MEV). A partir da análise das imagens foi possível observar que a estrutura celular do material é heterogênea, formada por duas camadas distintas, o exocarpo e o mesocarpo. O exocarpo é a camada externa do fruto, micrométrica e com grande adensamento celular, sem espaços entre as células e com maior quantidade de lignina, configurando-se como uma camada lisa, homogênea e praticamente impermeável. Já o mesocarpo é uma camada heterogênea, constituída por células vazias de formato poligonal que aumentam de tamanho progressivamente em direção ao centro do fruto. Por se tratar de um material de origem vegetal, as dimensões dos poros não seguem um padrão uniforme de tamanhos nas amostras.

Ao comparar imagens da estrutura celular do mesocarpo do porongo com a cortiça, pode-se observar que a microestrutura do arranjo das células é similar (Figura 28). No porongo, quanto mais próximo do exocarpo, mais denso é o material e conforme vai adentrando em direção ao centro as dimensões das células aumentam em tamanho, reduzindo a densidade do material.

Foram identificadas três zonas com tamanhos de poros semelhantes. O diâmetro das unidades celulares na porção mais externa, próxima do exocarpo, varia entre 18  $\mu$ m e 25  $\mu$ m. Na parte central do mesocarpo fica entre 41  $\mu$ m e 59  $\mu$ m, e os valores do

diâmetro para os poros localizados na parte interna do mesocarpo ficam entre 96  $\mu\text{m}$  e 138  $\mu\text{m}$  (NEJELISKI, 2015). Já uma célula média de cortiça pode ser representada por um prisma de seção hexagonal, com aspecto das células de favo de mel, com dimensões médias entre 30  $\mu\text{m}$  e 40  $\mu\text{m}$  de largura e 35  $\mu\text{m}$  a 45  $\mu\text{m}$  de altura (GIL, 2015).

Figura 28: Microestrutura: a) Células do mesocarpo do porongo; b) Células da cortiça.



Fonte: a) Nejeliski, 2015; b) Pereira, 2007.

Apesar da similaridade entre a estrutura das células do mesocarpo do porongo e da cortiça, os materiais possuem propriedades muito distintas. Enquanto que a estrutura celular da cortiça é homogênea, a do porongo é heterogênea, com variação nas dimensões que aumentam progressivamente em direção ao centro do fruto. Outro fator relevante é a diferença na composição química dos materiais. A cortiça funciona como uma barreira protetora entre os tecidos vivos da árvore e o ambiente externo, estas funções estão diretamente relacionadas com a suberina, um composto vedante (PEREIRA, 2007).

A suberina também é responsável pela capacidade do material de sofrer grandes deformações sem expansão lateral e com substancial recuperação após a liberação da tensão aplicada (GIL, 2015). Já no porongo, foi identificada a presença de lignina nas paredes celulares, com redução progressiva da substância nas camadas mais internas

(NEJELISKI, 2015). A lignina é responsável pela dureza e resistência do material.

Com relação às propriedades físicas, Nejeliski e Duarte (2019) realizaram ensaios de análise termogravimétrica (ATG), teor de umidade, teor de absorção de água, densidade básica e densidade aparente do porongo. Como resultado da ATG, os gráficos termogravimétricos apresentaram picos muito similares aos gráficos de espécies de madeira, indicando que a composição química de ambos é similar. Com relação ao ensaio de absorção de água, as amostras obtiveram um aumento de massa de 150% até a saturação, corroborando a permeabilidade do material (NEJELISKI; DUARTE, 2019).

A variação nas dimensões das células e, conseqüentemente, nos espaços vazios na parte interna das mesmas, configura-se em quantidades relativas distintas entre massa de material celular e volumes vazios em cada setor. Esta razão está diretamente relacionada com a densidade do material, que pode ser considerado um material de densidade heterogênea. A densidade média encontrada para o porongo foi de  $0,124 \text{ g/cm}^3$ , considerada muito baixa, semelhante à densidade de algumas espumas poliméricas. (NEJELISKI; DUARTE, 2019).

A cortiça é um material leve devido às células ocas e paredes finas, a densidade do tecido de cortiça seco é, em média  $0,150 \text{ g/cm}^3$  e  $0,160 \text{ g/cm}^3$ , com uma variação de  $0,120 \text{ g/cm}^3$  a  $0,200 \text{ g/cm}^3$ . A densidade da cortiça varia de acordo com a geometria e a dimensão das células, o que altera a porcentagem de material sólido (PEREIRA, 2007). A densidade média do porongo é similar à densidade mínima da cortiça.

A partir das informações da caracterização da microestrutura e das propriedades físicas, o porongo pode ser caracterizado como um material leve, permeável e isolante. A baixa densidade se deve à grande quantidade de espaços vazios nas células. A comunicação entre as células se dá de forma muito eficiente, através de micro canais, de modo que é um material com alta permeabilidade. A estrutura porosa configura um

material isolante, devido ao ar presente no interior das células (NEJELISKI, 2015).

De acordo com Silva (2015), quanto maior a porosidade do material, maior a absorção de água e menor a massa específica, a condutibilidade térmica, a resistência à abrasão, à corrosão e a resistência mecânica. Com relação às propriedades mecânicas do porongo, não foi possível produzir os corpos de prova de acordo com as normas, em virtude das características heterogêneas e orgânicas do material (NEJELISKI, 2015).

### **3.2.3 Propriedades Sensoriais**

O porongo, na figura da cuia, faz parte da cultura material do sul do Brasil e está presente no cotidiano da população. O chimarrão é um dos primeiros rituais do dia, desperta e dá energia para o trabalho, aquece nos dias frios. Pode ser uma experiência compartilhada, na roda do mate, ou solitária, introspectiva, que induz à reflexão.

O chimarrão é essa grande instituição material e simbólica do sul do continente que nada fala e tudo diz. É esse milagre que não se agradece e se toma em parceria. É um lugar de memória que cria comunhão e identidade, sempre em trânsito: com novas formas e enfeites de cuias e bombas (ASSUNÇÃO; ARNONI; MACHADO JR., 2020, p. 127).

Os significados do chimarrão se materializam no porongo, na sensação aveludada do toque, que aquece as mãos sem queimar. A sensação de aconchego, calor e lar, é um material carregado de significados e evocações culturais. Karana, Hekkert e Kandachar (2008) observaram que as pessoas percebem um material como mais valioso que o outro ao fazer associações com base em suas origens culturais e experiências passadas.

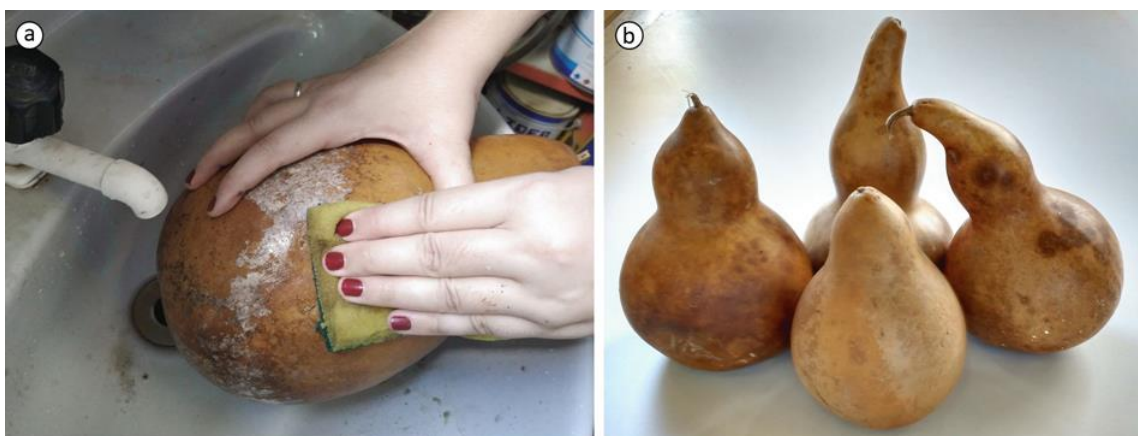
Dias (2009) observou que os indivíduos expressam o seu conhecimento acerca dos materiais de diferentes maneiras: a partir da identificação da natureza dos materiais, do reconhecimento de suas características sensoriais e de questões estéticas, simbólicas e culturais. Neste contexto, um dos requisitos no uso do porongo deve ser a

valorização das suas características inerentes, especialmente as propriedades sensoriais, de modo que os usuários possam identifica-lo e fazer associações.

Calegari e Oliveira (2014) destacam a relação das propriedades sensoriais, do tato e da visão com a percepção de conforto e de agradabilidade que um material pode transmitir. Este aspecto se confirmou na pesquisa de Nejeliski, Duarte e Piccoli (2018), que avaliou a percepção das propriedades sensoriais do porongo em comparação com amostras de madeira e de materiais derivados. Como resultado, o material foi identificado como natural, sustentável, esteticamente agradável, leve e quente, sendo que a percepção de que um material é quente está relacionada com a sensação de conforto do uso do mesmo. Este é um atributo característico da madeira e é muito explorado no design de móveis e ambientes.

A partir destas considerações, o objetivo desta etapa é manter as características naturais do porongo e valorizar suas propriedades sensoriais. O processo de beneficiamento do material tem início com a limpeza do exocarpo dos frutos. Durante o processo de secagem, uma película muito fina de coloração esbranquiçada forma-se sobre o exocarpo, encobrendo a textura natural do material. Essa película é facilmente removida com água e a parte abrasiva de uma esponja doméstica (Figura 29a).

Figura 29: Limpeza do exocarpo dos frutos: a) Remoção da película; b) Aspecto dos frutos após a limpeza.



Fonte: autora.

Na sequência, os frutos são colocados sob água corrente para a remoção dos resíduos. O excesso de água é retirado com um pano seco e após alguns minutos, os frutos secam e a textura do exocarpo fica uniforme (Figura 29b). A textura do exocarpo é lisa, de toque aveludado. A coloração não é uniforme e a intensidade das cores varia em cada fruto. O aspecto da camada externa dos frutos contrasta com a parte interna. O mesocarpo tem coloração mais clara, em virtude da menor concentração de lignina na composição química (NEJELISKI, 2015).

A coloração da parte interna é homogênea e não varia muito entre frutos diferentes. A textura do mesocarpo é mais áspera, o que se deve à estrutura celular formada por poros de dimensões variadas. Quanto mais próximo do centro do fruto, mais áspera e porosa a textura do mesocarpo. A Figura 30 mostra os frutos após o beneficiamento inicial para a produção das cuias: a limpeza do exocarpo, o corte transversal e o lixamento do mesocarpo. O contraste entre as cores e texturas do exocarpo (Figura 30a) e do mesocarpo (Figura 30b) pode ser observado.

Figura 30: Contrastes de texturas e cores: a) Exocarpo, textura aveludada e coloração mais escura; b) Mesocarpo, textura porosa e coloração mais clara.



Fonte: autora.

Em um primeiro contato visual com o porongo, um aspecto que chama a atenção são as formas orgânicas e arredondadas dos frutos. Uma das principais características



da espécie é a variação morfológica, os frutos podem ser alongados, cilíndricos, curvados, oblongos, redondos ou mesmo cônicos (SILVA et al., 2002). Podem medir de poucos centímetros até mais de um metro, podem ser achatados ou alongados, mas em todos os casos, têm formas arredondadas. A origem do nome remete à forma e, conseqüentemente, uma das principais funções do fruto para os diversos povos que o utilizaram. O nome científico do porongo é *Lagenaria siceraria*, sendo que *lagenaria* vem do grego *lagenos* e do latim *lagena* para “garrafa”, e *siceraria* vem do latim *sicera*, que significa “vaso de beber” (BURTENSCHAW, 2003).

Para a produção das cuias os formatos mais utilizados e que atendem aos requisitos para a produção dos recipientes são o piriforme (em formato de pêra) e o octoforme (em formato do número oito) variando entre si a espessura da casca. Ambos os formatos são encontrados em frutos do casco grosso e do casco fino. As formas arredondadas e orgânicas são únicas em cada fruto, são diferenciais estéticos do material. Estas características podem ser observadas nos frutos inteiros (Figura 31a) e após o processo de beneficiamento, independente do sentido do corte nos frutos, as formas orgânicas se mantêm e se destacam (Figura 31b).

Figura 31: Formas orgânicas e arredondadas dos frutos: a) Frutos inteiros; b) Frutos após processo de corte.



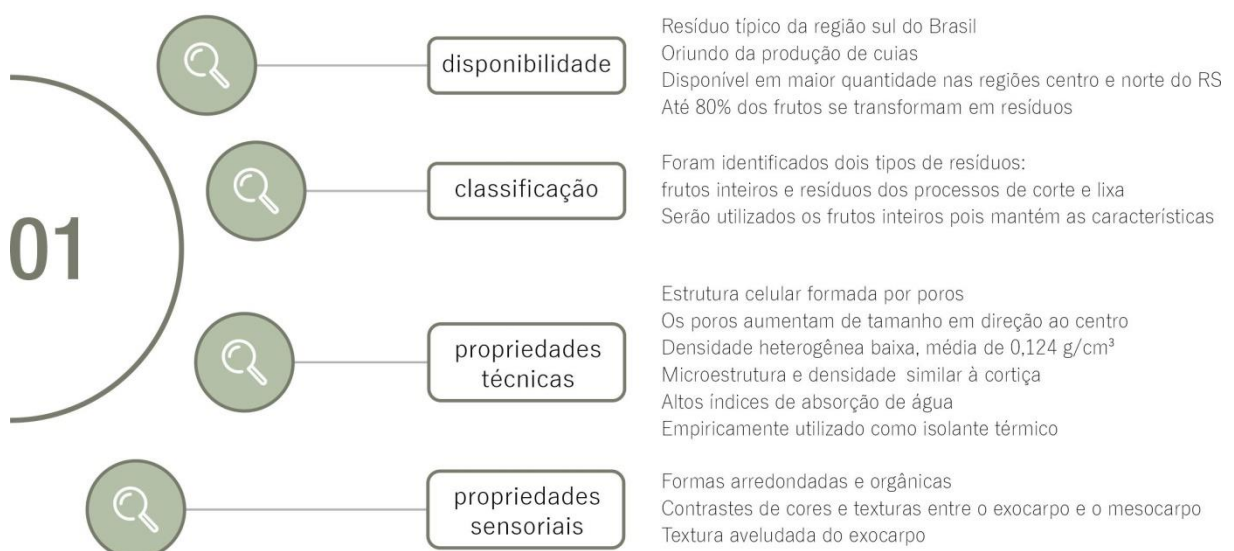
Fonte: autora.

Na produção de artesanatos com o porongo é recorrente o uso de tintas que encobrem as características naturais do material. Ao realizar testes de impermeabilização do mesocarpo dos frutos com resina poliuretana de óleo de mamona, Nejelski (2015) observou que a resina altera a cor e a textura do material. Estudos comprovaram a importância da percepção das características naturais dos materiais pelos usuários (NEJELISKI; DUARTE; PICCOLI, 2018), pelos designers (CALEGARI, 2013) e a importância da valorização do material no design de superfície (SCHWARTZ; NEVES; RUTSCHILLING, 2008). Neste contexto, um dos requisitos para a produção dos revestimentos modulares é a manutenção das características naturais do porongo e a utilização de acabamentos que interfiram o mínimo possível nas propriedades sensoriais.

### 3.3 ETAPA 2: OTIMIZAÇÃO

A Figura 32 apresenta a ficha descritiva resultante da primeira etapa da metodologia, da caracterização. Nela, estão listadas as especificações de disponibilidade, classificação, propriedades técnicas e sensoriais.

Figura 32: Ficha descritiva da etapa de caracterização.



Fonte: autora.

A ficha descritiva não tem uma formatação ou um layout específico, o importante é o conteúdo. É fundamental recapitular as definições de cada tópico antes de passar para a próxima etapa da metodologia. A partir das informações coletadas e catalogadas na etapa de caracterização, tem início a segunda etapa, de otimização.

Este tópico descreve o desenvolvimento da segunda etapa da metodologia adaptada para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais. A etapa de otimização engloba estudos para o melhor aproveitamento dos resíduos, alternativas para a união das peças e a montagem dos revestimentos modulares, opções de acabamento e proteção e, por fim, a parte criativa de experimentação.

### **3.3.1 Aproveitamento dos Resíduos**

Uma das principais características dos materiais de origem vegetal é a singularidade. Plantas da mesma espécie, plantadas na mesma área, na mesma época, colhidas no mesmo período, terão características específicas. Assim como madeiras extraídas de árvores da mesma espécie não são idênticas entre si, nenhum fruto do porongueiro é igual ao outro. Aspectos como o solo, o plantio e a quantidade de chuva afetam a morfologia final do fruto. Apesar de existir uma classificação genérica dos formatos mais comuns da espécie (SILVA et al., 2002), as dimensões, a espessura do mesocarpo, a coloração e a textura do exocarpo variam em cada exemplar.

Os resíduos sólidos de modo geral (incluindo os resíduos agrícolas) são materiais heterogêneos, muitas vezes descartados de maneira irregular, misturados com outros materiais. Caracterizam-se por variações de formato, dimensões e propriedades. A padronização é um aspecto relevante no design de produto, pois possibilita a reprodução e o controle de qualidade, mas não é um pré-requisito no desenvolvimento de produtos, assim como o módulo não é uma condição necessária para um projeto de design de

superfície (RÜTHSCHILLING, 2009). Entretanto, no projeto de revestimentos modulares a partir de resíduos sólidos a padronização é importante, pois possibilita o melhor aproveitamento da matéria-prima.

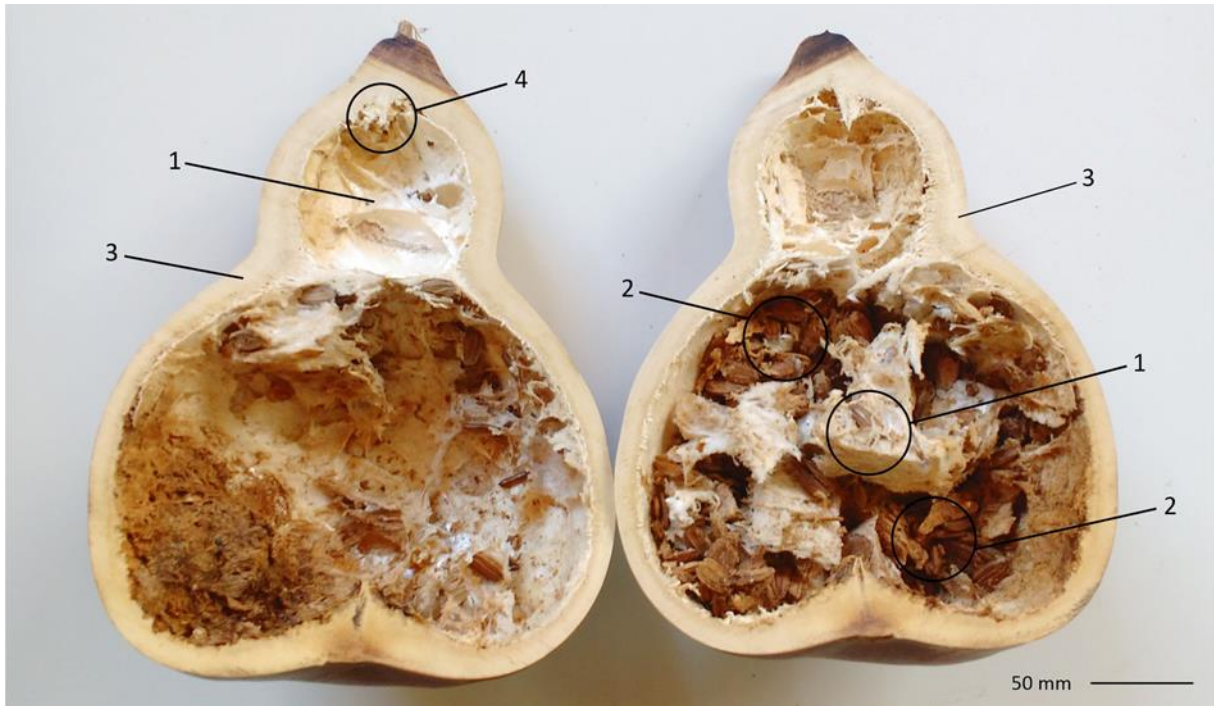
A abordagem do design de superfícies tridimensionais provou-se eficaz para a padronização e a valorização de materiais de origem vegetal em projetos como o Topomorfose de Heloisa Crocco (Figura 18 e Figura 19) e nos revestimentos modulares de bambu de Foggiato (Figura 20). Nestes projetos, os módulos foram formados por peças extraídas de diferentes seções dos materiais: cortes no sentido longitudinal, tangencial, transversal e radial. Neste contexto, para o melhor aproveitamento dos resíduos de porongo, optou-se por explorar cortes de diferentes seções dos frutos. Além de possibilitar a padronização das dimensões das peças, os cortes em diferentes pontos de vista valorizam as propriedades sensoriais da matéria-prima.

Os experimentos iniciais de corte de seções dos frutos foram realizados na marcenaria do Instituto Federal Farroupilha (IFFar), no campus Santa Rosa, RS. Posteriormente, o processamento dos frutos a partir dos processos de corte e lixa foram realizados na marcenaria do Laboratório de Experimentos em Prototipagem (LEP), no Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), no campus Pelotas, RS.

O processamento dos frutos tem início com o corte no sentido longitudinal, realizado na serra de fita. Com o fruto aberto, pode-se observar a sua constituição. Após o processo de secagem, o endocarpo perde quase a totalidade da água de que é composto e torna-se uma membrana ressecada e com coloração clara (Figura 33-1). A função do endocarpo é envolver e proteger as sementes, que podem ser observadas como elementos de coloração escura (Figura 33-2). O mesocarpo é a camada rígida que dá forma ao fruto, trata-se de uma camada porosa e de cor clara, é a matéria-prima em si (Figura 33-3). Os poros do mesocarpo aumentam de tamanho progressivamente em

direção ao centro do fruto, até fundir com o endocarpo (Figura 33-4).

Figura 33: Corte longitudinal do porongo após o processo de secagem: 1) Endocarpo; 2) Sementes; 3) Mesocarpo; 4) Encontro do mesocarpo com o endocarpo.



Fonte: autora.

Na sequência foi realizada a limpeza da parte interna dos frutos, com a remoção do endocarpo e das sementes. As sementes ficam soltas dentro do fruto e são facilmente removidas. Já os resíduos do endocarpo e da parte mais porosa do mesocarpo foram removidos com uma lixa. Os cortes das peças na seção longitudinal foram realizados na serra de fita (Figura 34a).

Neste procedimento foram extraídas peças maiores, com formato do perfil dos frutos, com formas orgânicas e arredondadas. A partir das peças cortadas na serra de fita, foram cortadas peças com dimensões menores na serra esquadrejadeira (Figura 34b). Esta última é especialmente útil para o corte de peças quadradas e retangulares, para acertar o esquadro e as dimensões corretas.

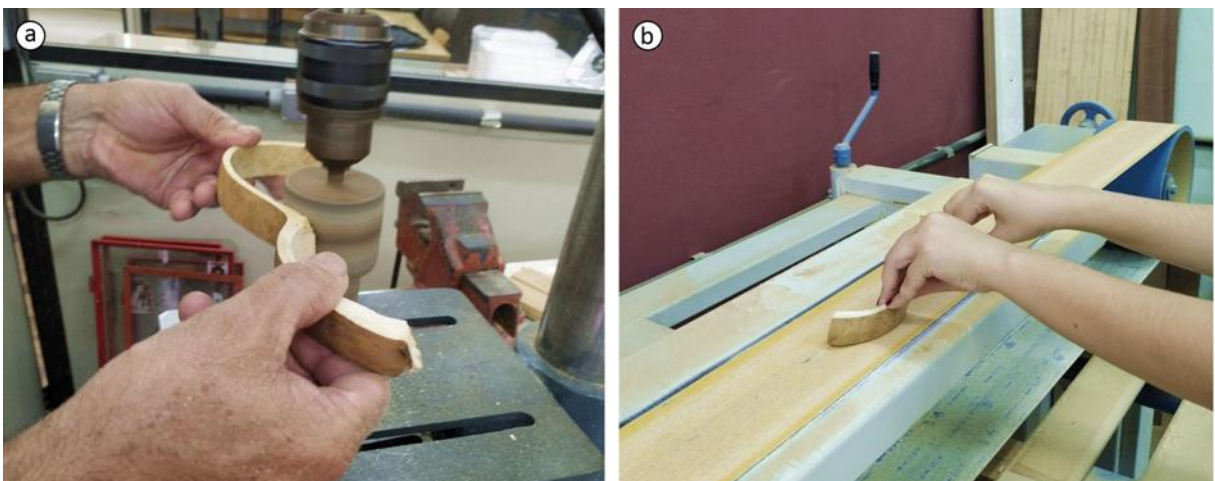
Figura 34: Corte dos perfis de porongo: a) Serra de fita; b) Serra esquadrejadeira.



Fonte: autora.

Após o processo de corte, as peças ficam irregulares, com variações na espessura devido à heterogeneidade do mesocarpo. Neste contexto, a próxima etapa do processamento das peças é o lixamento, que tem como objetivo a remoção dos resíduos e a padronização da espessura e das dimensões externas. As peças quadradas e retangulares, com dimensões menores e formas mais regulares, podem facilmente ser lixadas manualmente. Já para lixar a parte interna das peças curvas foi necessária a adaptação de um cilindro com uma lixa no eixo da furadeira de bancada (Figura 35a).

Figura 35: Lixamento das peças: a) Lixa adaptada para peças com formas orgânicas; b) Lixadeira de cinta.



Fonte: autora.

Para finalizar, o lixamento das superfícies planas das amostras foi realizado na lixadeira de cinta (Figura 35b). Assim, na etapa de aproveitamento dos resíduos, foram produzidos perfis de diferentes formatos e dimensões, com o objetivo de explorar ao máximo as possibilidades formais e estéticas do porongo na etapa de experimentação. Foram produzidos perfis quadrados (similares às pastilhas tradicionais), retangulares, circulares, semicirculares e de formas orgânicas.

### **3.3.2 Montagem**

A montagem ou união é uma etapa fundamental no design de produto, é responsável pela estrutura final do produto e determina a funcionalidade e a estética. A montagem pode ser de componentes do mesmo material ou de materiais diferentes e pode ser realizada, basicamente, de duas maneiras: mecânica ou química. A montagem mecânica é reversível, ou seja, pode ser desfeita removendo os elementos de fixação utilizados. Pode ser realizada através de encaixes ou de elementos de fixação, como cavilhas, parafusos e outras ferragens. A vantagem da montagem mecânica é que ela possibilita a desmontagem dos produtos para manutenção e descarte.

Já a montagem química é realizada através do uso de adesivos, também conhecida como adesão. Diferente da montagem mecânica, a união por meio de adesivos é permanente e os componentes não podem ser reaproveitados de maneira individual após a sua aplicação. Entretanto, Piccoli (2013) reforça que apesar de ser uma união permanente e não facilitar a desmontagem, a união por meio de adesivos sem elementos tóxicos ou nocivos não impede a reciclagem e apresenta as vantagens de reduzir o número de elementos de fixação e bem como o uso de diferentes materiais.

A madeira maciça é um excelente exemplo de possibilidades de uso dos mais variados tipos de montagem, mecânicas ou químicas. Por ser uma matéria-prima

utilizada desde tempos remotos, as técnicas de montagem foram sendo aperfeiçoadas de acordo com as necessidades de cada aplicação. Os encaixes são um tipo de união de diferentes peças do mesmo material amplamente utilizado em produtos de madeira maciça (Figura 36a), entretanto, é inviável de ser aplicado em peças muito pequenas. Já as ferragens (parafusos, cantoneiras, dobradiças, corrediças, entre outras) são amplamente utilizadas na montagem de móveis e outros produtos de madeira (Figura 36b). Por fim, o uso de adesivos também é muito explorado para a montagem de produtos de madeira, tanto para unir diferentes peças do mesmo material (Figura 36c) quanto na produção de materiais derivados, como os painéis de fibras e partículas de madeira.

Figura 36: Diferentes tipos de montagem em madeira maciça: a) Encaixe; b) Ferragens (cantoneira metálica e parafusos); c) Cola branca.



Fonte: autora.

A montagem por adesão é amplamente utilizada em produtos madeireiros, de acordo com Nascimento, Garcia e Della Lucia (2013), a adesão é um fator importante para a utilização da madeira e depende de fatores físicos, químicos e estruturais da matéria-prima, os quais controlam a habilidade do adesivo de aderir às suas superfícies. A qualidade da adesão da madeira sofre influência de diversos fatores, como a densidade, a porosidade, o teor de umidade e o teor de extrativos.

No caso da montagem de módulos que compõem os padrões dos revestimentos



modulares, a principal limitação diz respeito às pequenas dimensões das peças, de modo que as uniões do tipo mecânicas tornam-se inviáveis de serem utilizadas. Assim, na montagem de revestimentos modulares produzidos a partir de matérias-primas de origem vegetal, a união das peças é feita através do uso de adesivos. As principais colas utilizadas para esta finalidade são a vinílica (PVA), um adesivo à base d'água conhecida como cola branca ou cola de madeira, e a cola de contato, uma mistura de solventes orgânicos que precisa ser aplicada nas duas superfícies a serem coladas, aguardar um tempo de pré-cura para então unir as duas peças com pressão.

A técnica para a colagem das peças dos revestimentos modulares depende das características dos componentes. Em peças muito pequenas e com superfícies de contato reduzidas, como é o caso das pastilhas, o adesivo é aplicado na parte posterior das peças (maior área de contato) que são dispostas e coladas em uma base. Essa técnica é utilizada na montagem dos revestimentos de pastilhas resíduos da casca de coco (Figura 37) e de outros materiais de pequenas dimensões e pouca área de contato.

Figura 37: Revestimentos de pastilhas da casca do coco, montagem por adesão da parte posterior das pastilhas sobre uma base plana.



Fonte: Única Laminados, 2020.

Considerando que os revestimentos modulares de porongo serão produzidos a partir de peças de pequenas dimensões, e que se trata de uma matéria-prima

lignocelulósica, a montagem por adesão é a mais adequada. Como o porongo apresenta formas arredondadas e orgânicas, uma especificação de projeto importante para a união dos módulos é o corte de peças com superfícies de contato planas, para possibilitar a colagem entre as peças, sem a necessidade de uma base plana como suporte. Além das características do material, a qualidade de adesão também sofre influência do tipo de adesivo e de outros fatores relacionados ao processo, como tempo de cura e pressão de colagem. Nesse contexto, a cola vinílica (PVA) à base d'água é uma alternativa atóxica, acessível, de fácil aplicação e com bons resultados em aplicações na madeira.

### **3.3.3 Acabamento**

Os materiais de origem vegetal sofrem degradação por fatores não biológicos e biológicos. Os principais fatores não biológicos são a combustão e o intemperismo. Materiais compostos basicamente por celulose, como é o caso do porongo e da madeira, quando secos, são altamente inflamáveis. Já a degradação por intempéries se dá pela ação do sol e da chuva. Os raios ultravioletas agem na superfície do material, destruindo a pigmentação da camada mais externa e abrindo pequenas fendas por onde penetra umidade. Já os raios infravermelhos penetram mais profundamente, aquecem e evaporam substâncias provocando o colapso da superfície. A umidade degrada o material e abre caminho para a ação de fatores biológicos, configurando-se em um dos principais fatores de degradação dessa categoria de matérias-primas (NEJELISKI, 2015).

Nesse contexto, o acabamento é uma etapa fundamental dentro ciclo de beneficiamento de matérias-primas de origem vegetal (Figura 9). O acabamento não tem apenas finalidade estética, tem como objetivo a proteção da superfície dos materiais dos fatores degradantes, contribuindo com a conservação das propriedades físicas e sensoriais e aumentando da vida útil dos mesmos. Existem diferentes tipos de

acabamentos e diferentes formas de aplicação, alguns mantêm as propriedades sensoriais dos materiais naturais mais próximas das originais, enquanto outros alteram a cor, a textura e o brilho. A escolha do tipo de acabamento a ser utilizado em determinada matéria-prima depende de muitos aspectos e dos requisitos de projeto.

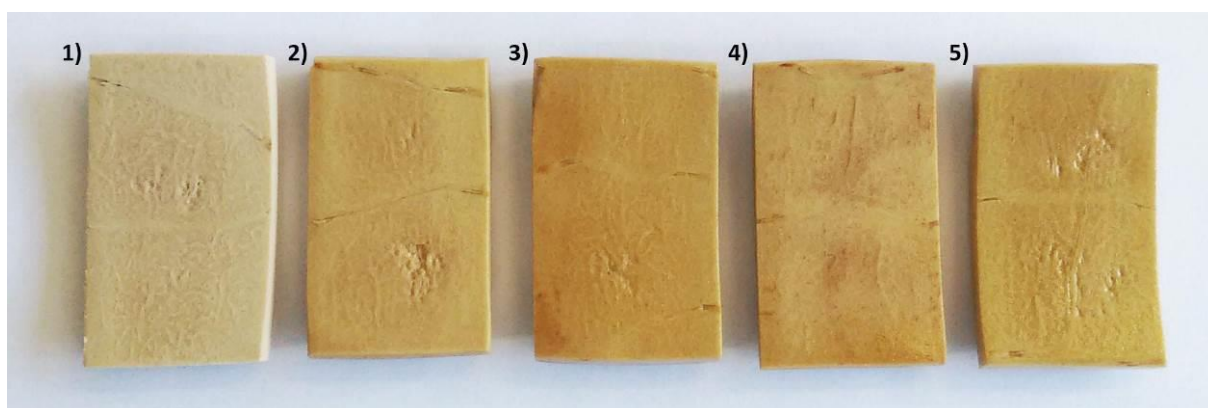
O acabamento ou a preservação dos materiais de origem vegetal pode ser realizado por métodos naturais, biológicos e químicos. A secagem do material é a primeira etapa do tratamento independente do produto a ser aplicado posteriormente, pois evita uma série de problemas futuros. Outros métodos naturais incluem a aplicação de produtos à base de óleos de plantas e substâncias extraídas das próprias árvores, resultando em produtos atóxicos. Já o controle biológico é realizado através de microrganismos que inibem o desenvolvimento de fungos, bactérias e insetos. O controle químico é realizado com o uso de biocidas, substâncias químicas tóxicas aos organismos xilófagos que infestam a madeira, é o mais utilizado em razão da eficiência e do baixo custo operacional, se comparado com os demais métodos.

Outro método importante de preservação de materiais de origem vegetal é a impregnação que consiste no preenchimento das paredes celulares com monômeros vinílicos, seguida de polimerização. Lago (2013) testou a técnica de impregnação como acabamento impermeabilizante para o porongo. A autora utilizou métodos de impregnação através de solução composta por metilmetacrilato, metanol e peróxido de benzoila, alcançando resultados expressivos na diminuição dos índices de absorção de água do material. Entretanto, o manuseio da solução exige cuidados específicos e a aplicação da técnica é complexa, depende do uso de vácuo.

Nejeliski (2015) testou a eficiência da resina poliuretana à base de óleo de mamona como acabamento impermeabilizante no mesocarpo do porongo. Como impermeabilizante, reduziu drasticamente os índices de absorção de água das amostras.

Com uma camada de resina aplicada o ganho de massa ficou entre 23% e 37%, e com duas camadas aplicadas, o material ficou praticamente impermeável, com ganho de massa de 5% e 6% apenas. Entretanto, com relação às propriedades sensoriais do material, após a aplicação e a cura das resinas, as amostras apresentaram uma coloração ligeiramente mais escura (Figura 38), em função do óleo de mamona, que possui coloração bem escura. Além disso, pode-se observar uma camada de brilho, característico dos acabamentos poliméricos.

Figura 38: Amostras de porongo após aplicação de resina à base de óleo de mamona: 1) Sem tratamento; 2) Com uma camada da resina A; 3) Com duas camadas da resina A; 4) Com uma camada da resina B; 5) Com duas camadas da resina B.



Fonte: NEJELISKI, 2015.

Embora a resina à base de óleo de mamona seja produzida a partir de uma matéria-prima de fonte renovável, ainda assim é um acabamento polimérico, um material sintético com as mesmas implicações ambientais que os demais acabamentos poliméricos disponíveis no mercado. Além disso, a resina altera as propriedades sensoriais do mesocarpo do porongo, altera a cor e o brilho da superfície, o que não condiz com os requisitos de projeto dos revestimentos modulares.

Além dos acabamentos químicos e sintéticos, existem opções de acabamentos de origem natural, especialmente as ceras e os óleos. As ceras são muito utilizadas como preservantes em produtos de madeira, especialmente a cera de abelha e a de carnaúba.

A primeira oferece boa impermeabilização, quando diluída em solvente pode ser um bom revestimento, dando um aspecto natural ao material, sem conferir muito brilho. Já a segunda, oferece excelente proteção e brilho acetinado a fosco para a madeira, é impermeabilizante, protege da umidade propiciadora da infestação por fungos, necessita de solvente e é de fácil aplicação. Ambas as ceras necessitam reaplicação após determinados períodos de tempo.

Outro acabamento extraído de uma planta é o óleo de linhaça, considerado um dos tratamentos naturais de melhor resultado. É secativo, proporciona boa impermeabilização e excelente proteção, destacando a cor natural do material, entretanto, necessita ser reaplicado pelo menos anualmente, aquecer o óleo facilita sua penetração nos poros. Os acabamentos naturais supracitados são tradicionais, extraídos e aplicados naturalmente, sem intervenção de técnicas específicas.

Considerando que os revestimentos modulares produzidos com os resíduos do porongo serão direcionados para aplicações em ambiente interno, sem contato direto com umidade, e que um dos principais requisitos de projeto é a manutenção das propriedades sensoriais, os acabamentos naturais, como ceras e óleos, são as melhores alternativas. São produtos acessíveis, de fácil aplicação e com impactos ambientais reduzidos ao longo de toda a cadeia produtiva.

### **3.3.4 Experimentação**

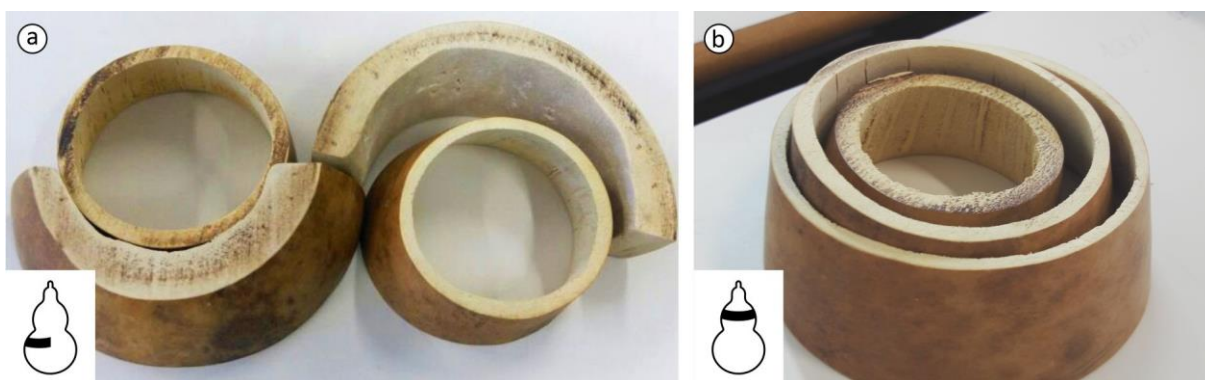
Esta etapa é de criação e tem como objetivo explorar ao máximo diferentes configurações para as peças produzidas na etapa de aproveitamento dos resíduos. Na etapa de criatividade, a principal ferramenta de criação é o desenho a mão livre através de esboços e croquis. Entretanto, considerando as especificidades do projeto, a manipulação do material e a confecção de modelos foram fundamentais para

compreender e explorar todas as possibilidades.

Na etapa de aproveitamento dos resíduos foram definidos alguns requisitos para a etapa de experimentação. Com relação às formas, optou-se por cortes de diferentes seções, valorizando as propriedades inerentes dos frutos com base nos trabalhos de Crocco (2002) e de Fogiatto (2009). Para a valorização das propriedades sensoriais optou-se por destacar os contrastes de cores e texturas entre o exocarpo e o mesocarpo, bem como as formas arredondadas e orgânicas.

Nos testes de cortes dos frutos foram produzidas amostras de diferentes seções. A partir de cortes no sentido transversal foram extraídas peças com formatos circulares e semicirculares (Figura 39). O corte transversal dos frutos evidencia a variação morfológica entre as amostras.

Figura 39: Perfis extraídos de cortes transversais: a) Peças circulares e semicirculares; b) Peças circulares em uma composição concêntrica. Nos detalhes, regiões dos frutos de onde as amostras foram extraídas.



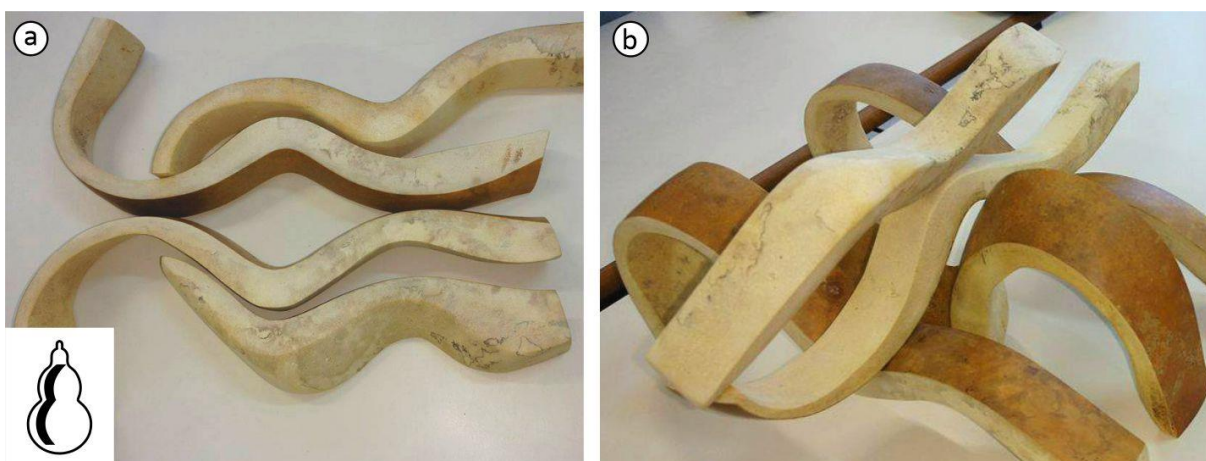
Fonte: autora.

Na Figura 39a pode-se observar a diferença de espessura do mesocarpo nas diferentes amostras. As peças circulares são de frutos do casco fino e as peças semicirculares são de frutos do casco grosso. No detalhe pode-se observar a região do fruto de onde foram extraídas as peças semicirculares. Já na Figura 39b pode-se observar a variação de diâmetros entre amostras de diferentes seções do fruto em uma composição concêntrica. No detalhe, a região de onde foram extraídas as peças de

formato circular.

A partir de cortes no sentido longitudinal foram extraídos perfis com formas orgânicas das curvas características dos frutos (Figura 40). No corte longitudinal pode-se observar a heterogeneidade das formas e das espessuras do mesocarpo. Este corte valoriza ao máximo o desenho do perfil dos frutos e as formas orgânicas. A Figura 40a mostra uma composição planificada dos perfis formando desenhos orgânicos. Já a Figura 40b mostra uma composição tridimensional, com o volume da sobreposição das peças. No detalhe, a região de onde foram extraídas as seções longitudinais.

Figura 40: Perfis extraídos de cortes longitudinais: a) Peças orgânicas em composição plana; b) Peças orgânicas em composição volumétrica. No detalhe, região dos frutos de onde as amostras foram extraídas.

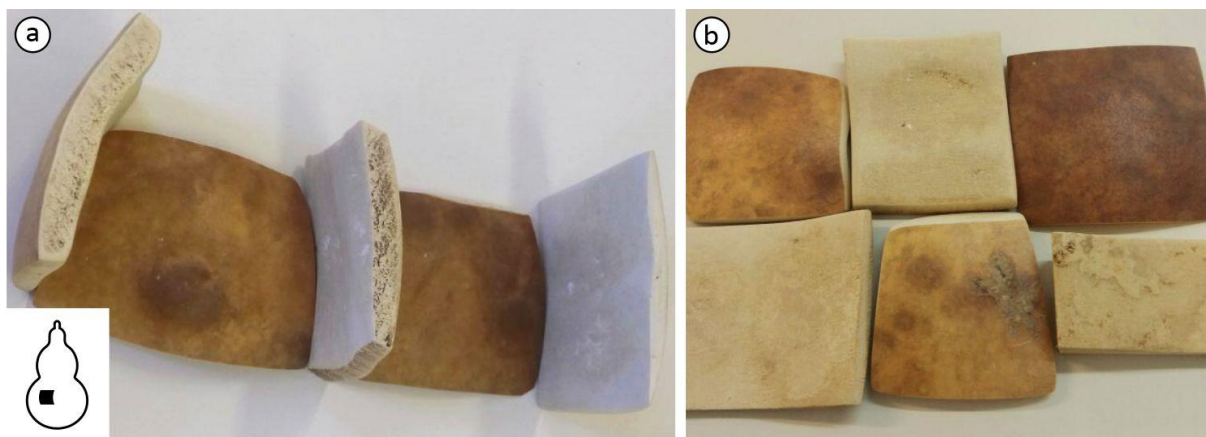


Fonte: autora.

Da parte inferior dos frutos foram extraídas peças quadradas e retangulares (Figura 41). Um dos revestimentos modulares mais conhecidos é a pastilha, um padrão geométrico formado por pequenas peças quadradas agrupadas sobre uma base, geralmente uma tela, que facilita a aplicação nas superfícies. Como a pastilha é um revestimento bem difundido, foi importante testar a viabilidade de se produzir pastilhas a partir do porongo. A Figura 41a mostra uma composição volumétrica com peças quadradas, enquanto que a Figura 41b mostra uma composição plana em que as variações entre o mesocarpo e o exocarpo se destacam. No detalhe, a região dos frutos

de onde foram extraídas as peças quadradas e retangulares.

Figura 41: Peças quadradas e retangulares extraídas dos frutos: a) Composição volumétrica; b) Composição plana com variação de cores e texturas. No detalhe, região dos frutos de onde as amostras foram extraídas.



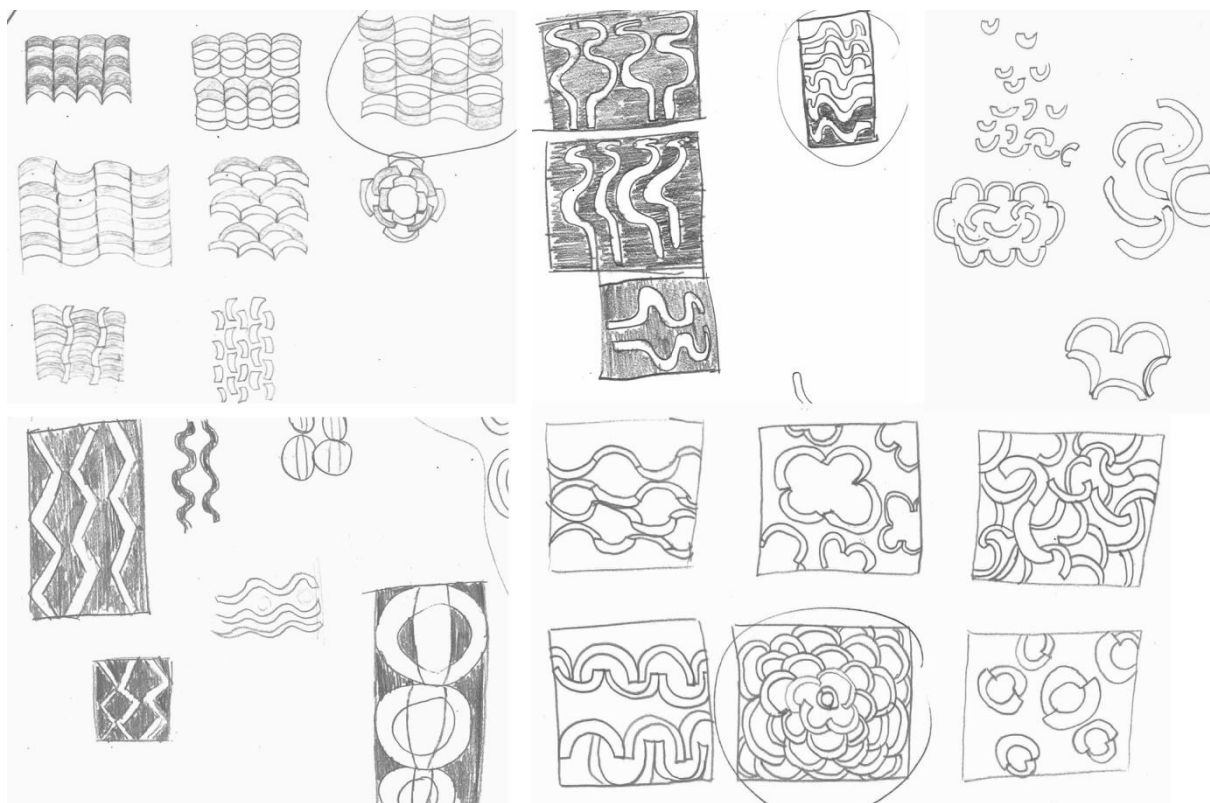
Fonte: autora.

A partir da manipulação do material e da experimentação de composições com as peças de diferentes seções dos frutos, teve início a geração de alternativas através de esboços e croquis. O desenho a mão livre é uma ferramenta essencial no processo de design, é uma maneira de canalizar a criatividade e visualizar diferentes possibilidades antes de partir para as especificações técnicas de uma proposta específica. Neste caso, a geração de alternativas teve como objetivo explorar a composição de módulos e padrões diversificados a partir das peças extraídas de diferentes cortes de seções. A Figura 42 apresenta um recorte da geração de alternativas dos revestimentos modulares.

Ao longo do processo de geração de alternativas foi possível observar que alguns cortes de seções resultaram em peças mais versáteis, com maiores possibilidades de combinações para a criação de módulos e padrões, como é o caso das peças semicirculares (Figura 39a) e das peças orgânicas extraídas de cortes longitudinais (Figura 40). Ambos os formatos das peças valorizam as características do material, como as formas orgânicas e o contraste de cores e texturas entre o mesocarpo e o exocarpo.



Figura 42: Geração de alternativas de módulos e padrões criados a partir das peças cortadas de diferentes seções dos frutos.



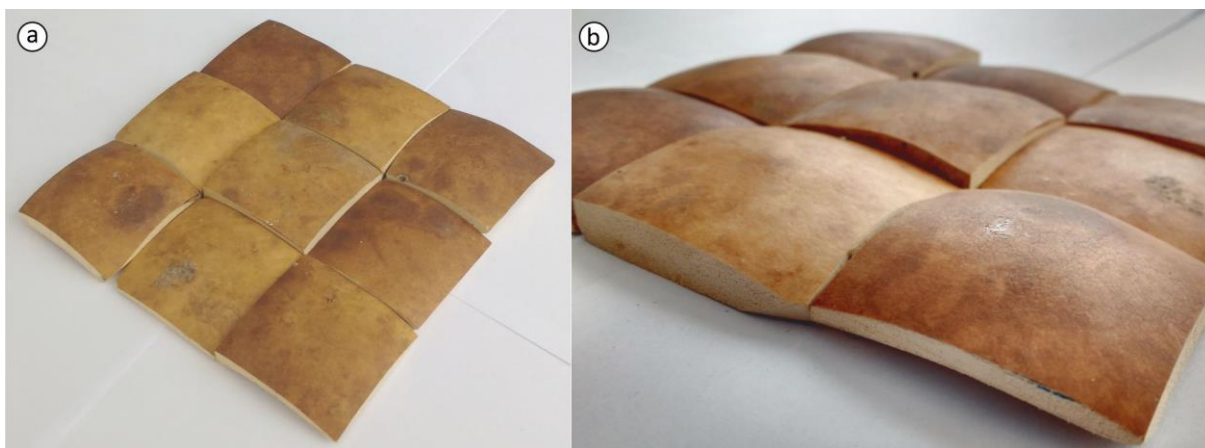
Fonte: autora.

Para finalizar a etapa de experimentação foram realizados testes de composição com a união de pequenos módulos que formam um padrão. O objetivo deste teste é simular o formato unitário de revestimentos modulares encontrados no mercado, além de observar as áreas de contato para a adesão das peças. Foram produzidos dois revestimentos, um de pastilhas com peças quadradas de porongo (Figura 43a) e o outro com peças orgânicas extraídas a partir do corte longitudinal (Figura 43b).

O revestimento modular de pastilhas de porongo foi produzido a partir de peças quadradas com as dimensões de 50 mm x 50 mm e espessura aproximada de 5 mm, de modo que as dimensões gerais do padrão foram 150 mm x 150 mm. O resultado foi um revestimento plano, com o exocarpo das peças visível (Figura 43a). Na Figura 43b pode-se observar o detalhe da coloração e da textura do exocarpo, bem como do volume

produzido pela variação no formato das peças.

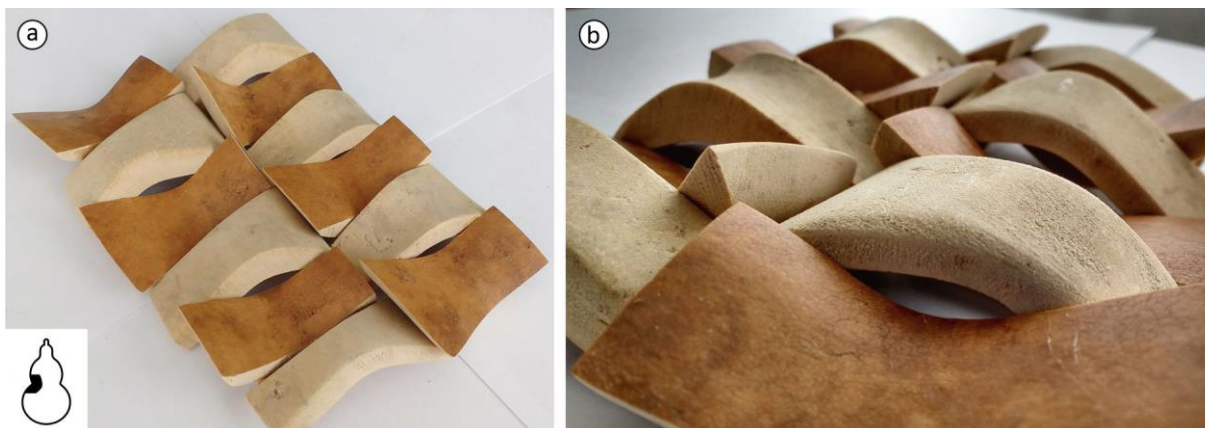
Figura 43: Revestimento modular de pastilhas de porongo: a) Vista geral da superfície do revestimento; b) Detalhe das cores, texturas e variações de volume do exocarpo das peças.



Fonte: autora.

O segundo revestimento modular foi produzido com peças extraídas do corte longitudinal da região do afunilamento dos frutos de porongo, como pode ser observado no detalhe da Figura 44a. O padrão do revestimento foi produzido a partir de peças com dimensões de 50 mm x 300 mm e espessura de aproximadamente 5 mm, de modo que as dimensões gerais do padrão foram 180 mm x 100 mm.

Figura 44: Revestimento modular com peças orgânicas: a) Vista geral da superfície do revestimento; b) Detalhe das cores, texturas e variações de volume do mesocarpo e do exocarpo. No detalhe, região dos frutos de onde as amostras foram extraídas.



Fonte: autora.

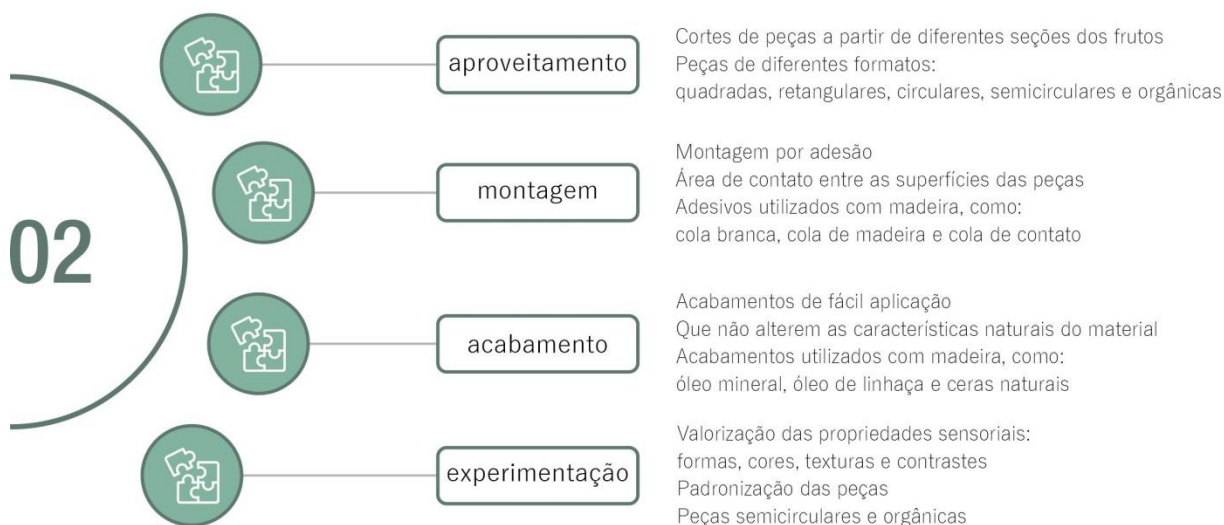
O resultado foi um revestimento volumétrico com a posição das peças intercalada, de modo a destacar o contraste entre o exocarpo e o mesocarpo das peças (Figura 44a). Na Figura 44b podem-se observar os detalhes das diferentes colorações e texturas do mesocarpo e do exocarpo, bem como do volume produzido pela variação no formato das peças e pela composição intercalada.

A partir dos testes de composição de revestimentos modulares foi possível observar que as peças com formatos geométricos mais regulares, como as quadradas, apresentam maior área de contato entre as peças, o que favorece a adesão das mesmas. Entretanto, as peças com formatos mais orgânicos, extraídas dos frutos através dos cortes longitudinais, valorizam mais as propriedades sensoriais do material e possibilitam a composição de padrões mais interessantes, com maior contraste de cores, texturas e volumes, porém com menor área de contato entre as peças.

### 3.4 ETAPA 3: APLICAÇÃO

A Figura 45 apresenta a ficha descritiva resultante da segunda etapa da metodologia. Nela, estão listadas as especificações de aproveitamento dos resíduos, de montagem e união dos componentes, dos tipos de acabamentos que serão utilizados e dos resultados da etapa de experimentação. As especificações da etapa de otimização são o ponto de partida para as especificações técnicas e estéticas dos módulos e padrões dos revestimentos modulares. A partir das informações coletadas e catalogadas na segunda etapa, tem início a terceira e última etapa da metodologia, de aplicação.

Figura 45: Ficha descritiva da etapa de otimização.



Fonte: autora.

Este tópico descreve o desenvolvimento da terceira etapa da metodologia adaptada para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais. A etapa de aplicação engloba a definição das especificações técnicas dos módulos, padrões e peças de revestimento, os estudos compositivos de módulos e padrões e suas aplicações no design de superfície e no design de produto.

### 3.4.1 Especificações Técnicas

A descrição das especificações técnicas de um produto está relacionada com a definição do formato geral, das dimensões (desenho técnico e modelagem tridimensional), dos materiais, dos processos produtivos, dos sistemas de montagem, tipos de acabamento e possibilidades de padronização. No caso de um projeto de design de superfícies tridimensionais, a padronização das peças é um dos principais requisitos das especificações técnicas. Implica em definir as formas e as dimensões gerais das peças ou módulos, bem como as dimensões das unidades do revestimento modular, compostas pela composição e organização de vários módulos.

A definição das especificações técnicas dos revestimentos modulares de porongo teve início com a seleção das formas das peças oriundas dos cortes de seções dos frutos a serem utilizadas. As peças quadradas e retangulares foram descartadas, pois embora tenham uma boa área de adesão, o formato e o corte não destacam as propriedades sensoriais e as formas orgânicas do material. Os perfis circulares também foram descartados por inviabilizarem a padronização das peças, por conta das variações entre os diâmetros de um mesmo fruto ou de frutos diferentes.

Com base nestes requisitos, dois cortes de seções foram selecionados para serem utilizados no desenvolvimento dos revestimentos modulares: semicírculo e orgânico (Figura 46). As peças em semicírculo são resultantes do corte transversal dos frutos, mantêm as características das formas arredondadas dos frutos e o contraste de cores e texturas entre o exocarpo e o mesocarpo. Já as peças com formato orgânico são resultantes do corte longitudinal dos frutos e valorizam as curvas características do porongo, além de apresentarem variações de volume e contraste de cores e texturas.

Figura 46: Cortes de seções selecionados para os revestimentos modulares: a) Semicírculo; b) Orgânico.



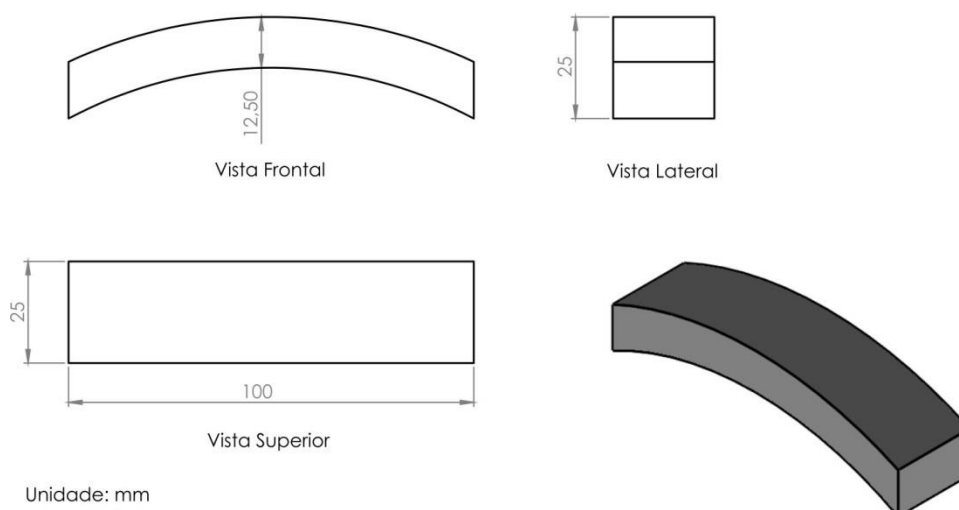
Fonte: autora.

Os dois cortes de seções selecionados, o semicírculo e o orgânico, apresentam

área de contato suficiente para a adesão. Embora o formato geral das peças seja arredondado, as superfícies laterais onde o corte é realizado são planas e com espessura suficiente para a aplicação do adesivo e montagem por adesão. Cabe destacar que a espessura do mesocarpo é variável entre os frutos e, conseqüentemente, entre as peças. Ainda, as principais dimensões dos cortes de seções escolhidos podem ser padronizadas mantendo as características orgânicas inerentes dos frutos.

Para a definição das dimensões das peças e dos revestimentos foram consideradas as dimensões dos frutos descartados inteiros, resíduos selecionados para a produção dos revestimentos modulares. Os menores porongos coletados têm, pelo menos, 20 cm de altura e 15 cm de diâmetro na base maior. Estas foram as dimensões mínimas encontradas, e a partir delas foram definidas as medidas dos elementos que compõem os revestimentos modulares. Nesse contexto, foram definidos dois módulos principais: o módulo 1 (corte de seção transversal em semicírculo) e o módulo 2 (corte de seção longitudinal orgânico). A Figura 47 mostra as dimensões gerais do módulo 1.

Figura 47: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo 1.

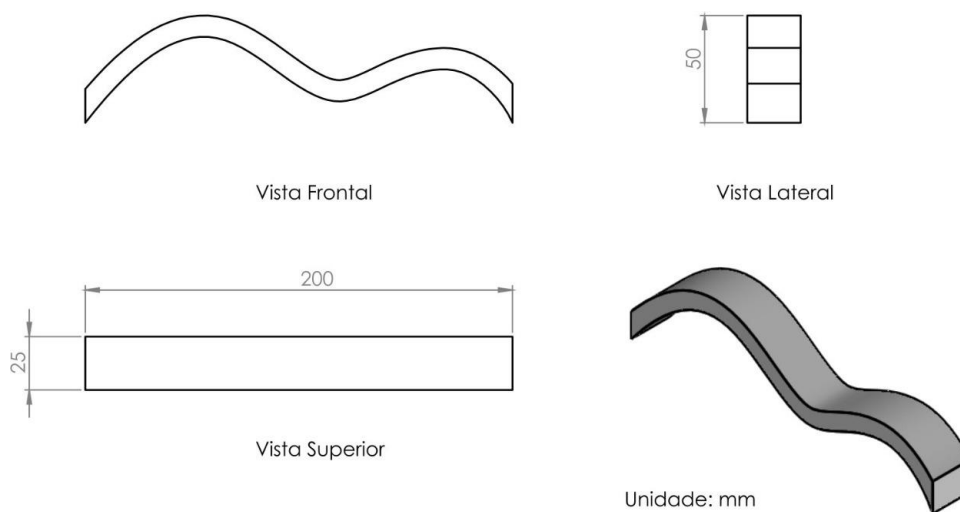


Fonte: autora.

Na vista frontal do módulo 1 pode-se observar o formato em semicírculo. A vista

superior do desenho mostra as duas dimensões obrigatórias para a padronização das peças: 100 mm de comprimento e 25 mm de largura. A espessura do mesocarpo é variável, depende das características do fruto e não interfere no formato final da peça. Na vista lateral pode-se observar outra medida obrigatória para a padronização, a altura total do semicírculo, de 25 mm. A Figura 48 mostra as dimensões gerais do módulo 2.

Figura 48: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo 2.



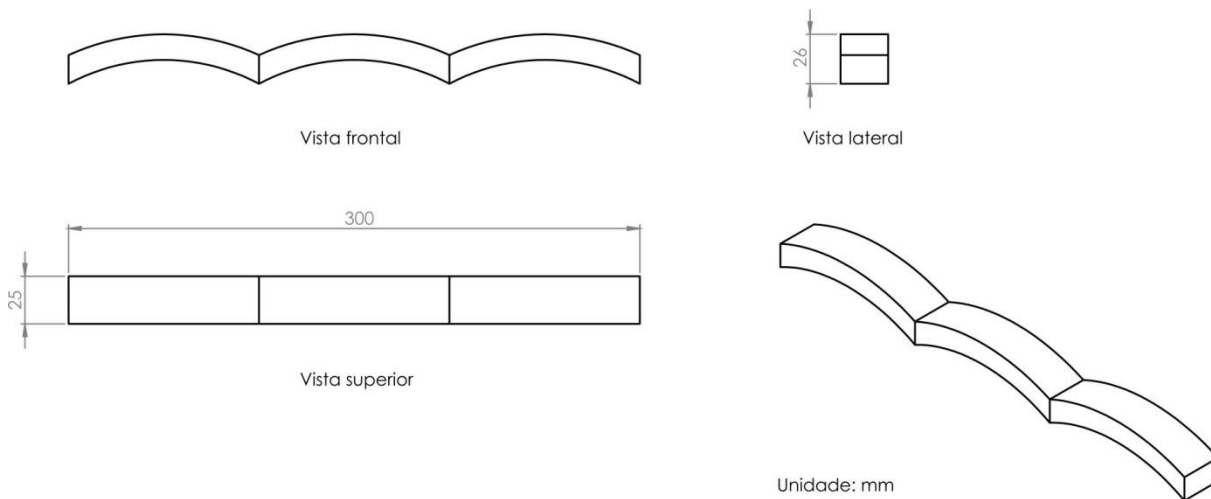
Fonte: autora.

Na vista frontal do módulo 2 pode-se observar o formato orgânico oriundo do corte em seção longitudinal do fruto. A vista superior do desenho mostra as duas dimensões obrigatórias para a padronização das peças: 200 mm de comprimento por 25 mm de largura. A espessura do mesocarpo é variável, depende das características de cada fruto e não interfere no formato final da peça. Na vista lateral pode-se observar outra medida obrigatória para a padronização, a altura total das curvas, de 50 mm.

A partir das dimensões padronizadas dos módulos 1 e 2 (comprimento, largura e altura das curvas) foram definidas as medidas dos multimódulos, composição com a repetição dos módulos e, por fim, das peças dos revestimentos modulares. A Figura 49 mostra a composição e as dimensões gerais do multimódulo 1. Trata-se da união de três

módulos 1, em sentido linear, através da adesão das superfícies planas laterais. A principal dimensão padronizada aqui é o comprimento total do multimódulo, 300 mm.

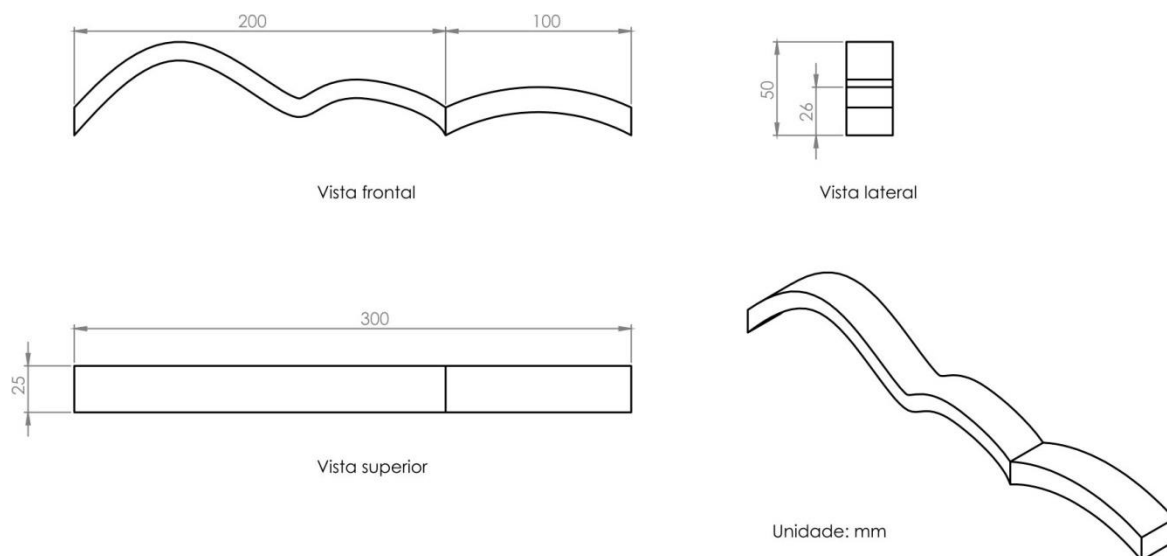
Figura 49: Desenho técnico com as dimensões gerais do multimódulo 1.



Fonte: autora.

A Figura 50 mostra a composição e as dimensões gerais do multimódulo 2. Trata-se da união de um peça do módulo 2 com uma peça do módulo 1, em sentido linear, através da adesão das superfícies planas laterais. A principal dimensão padronizada aqui é o comprimento total do multimódulo, 300 mm.

Figura 50: Desenho técnico com as dimensões gerais do multimódulo 2.

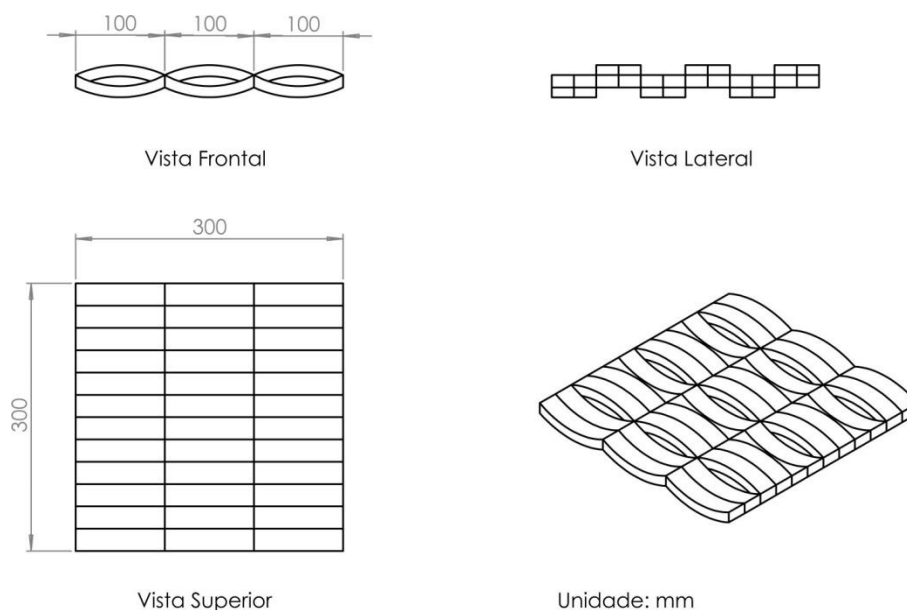


Fonte: autora.



Por fim, as últimas especificações de padronização de medidas são das peças dos revestimentos modulares de porongo. Para definir tais medidas, foram consideradas as dimensões dos módulos oriundos dos cortes de seção e as dimensões comerciais de revestimentos similares. Como pode ser observada nas especificações técnicas dos módulos (Figura 47 e Figura 48), a padronização das medidas resultou em módulos de pequenas dimensões. Com base nas dimensões padrões dos módulos e dos multimódulos e considerando as medidas dos revestimentos modulares encontrados no mercado, definiu-se que as dimensões gerais dos revestimentos de porongo serão de 300 x 300 mm, com espessura variável (Figura 51).

Figura 51: Desenho técnico com as dimensões gerais da peça de revestimento modular.



Fonte: autora.

Com relação às especificações técnicas de produção, montagem e acabamento, o principal requisito é de que sejam processos acessíveis, possíveis de serem realizados com equipamentos básicos de marcenaria e com produtos facilmente encontrados no mercado. Nesse contexto, os processos de produção dos módulos serão realizados a partir de processos de corte, com serra tico-tico e serra esquadrejadeira, e de lixamento,

com lixadeira de cinta, de bancada e manual. A montagem dos revestimentos será realizada por adesão, com o uso de adesivo vinílico à base d'água. Por fim, o acabamento das peças será feito com aplicação de produtos naturais, ceras ou óleos, apenas no mesocarpo do porongo, já que o exocarpo é naturalmente impermeável.

### **3.4.2 Módulos e Padrões**

Recapitulando as definições de Rüttschilling (2009), os conceitos de módulo e repetição são princípios básicos no design de superfície, embora não sejam condição necessária para a configuração de um projeto na área. De acordo com a autora, o módulo é a unidade básica do padrão, definido como a menor área que contém todos os elementos que constituem a composição. O padrão é gerado a partir da organização dos elementos dentro do módulo e da articulação dos mesmos a partir da estrutura preestabelecida de repetição.

Em alguns casos, além do módulo, o padrão pode ser criado a partir de um multimódulo, definido como um sistema que se constitui a partir de outro menor do que ele. A este sistema menor que funciona como um módulo, repetindo-se, dá-se o nome de multimódulo, ou seja, um sistema de módulos origina outros sistemas, forma diferentes desenhos e aumenta as possibilidades combinatórias (RÜTHSCHILLING, 2009). Os revestimentos modulares de resíduos de porongo foram desenvolvidos a partir da criação de módulos, multimódulos, padrões e unidades de revestimento.

Estudos das possibilidades de combinações de módulos, multimódulos e padrões foram realizados em dois momentos. Inicialmente foram exploradas possibilidades de combinações a partir da experimentação com peças de porongo e, em um segundo momento, as combinações foram testadas com o auxílio de um software de modelagem tridimensional. Para Walter (2006) exercer a capacidade criativa implica na percepção

real do material, principalmente pelo contato do projetista com amostras do mesmo. A Figura 52 mostra combinações testadas com amostras do módulo 1 (Figura 47).

Figura 52: Estudos de composições com o módulo 1, corte de seção transversal: a) Padrão de listras com diferentes cores; b) Detalhe do volume da composição; c) Padrão com o desenho do semicírculo.

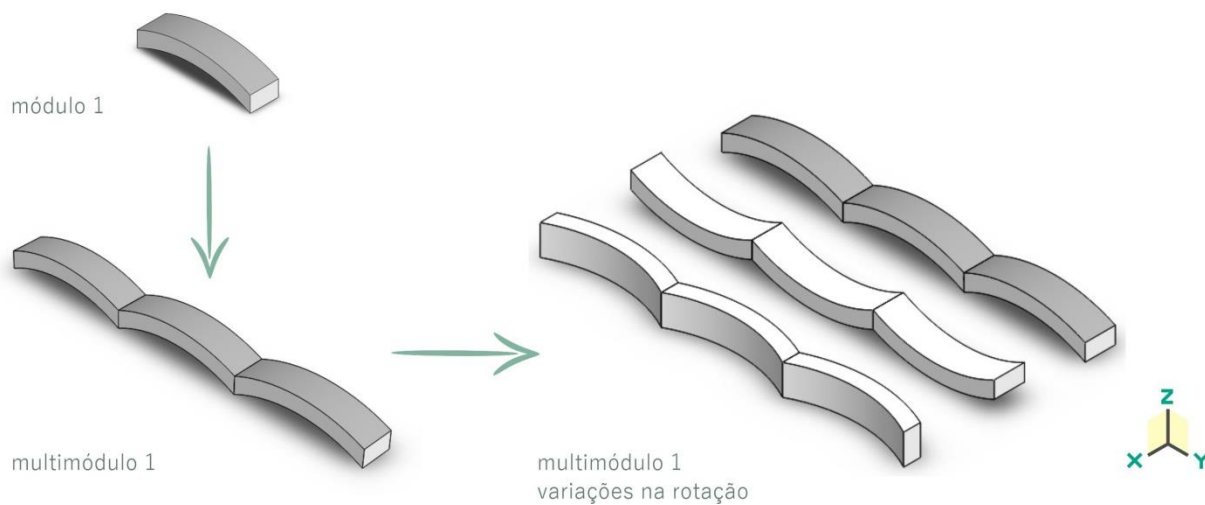


Fonte: autora.

A modelagem tridimensional é uma ferramenta essencial para a etapa de especificações técnicas. Foi utilizada com o objetivo de testar as melhores combinações de peças. Mesmo que a manipulação do material e a experimentação com amostras sejam fundamentais no design de revestimentos modulares, testar todas as possibilidades é inviável e gera desperdício de material, já que muitos frutos cortados para os testes não poderão ser reaproveitados posteriormente para a produção dos módulos. Nesse contexto, a sequência dos estudos compositivos foi realizada com o auxílio de um software de modelagem tridimensional.

A Figura 53 mostra o módulo 1 e a composição do multimódulo 1, formado por três módulos 1 alinhados lateralmente, formando uma linha. Ainda, mostra as possibilidades de variação da rotação do multimódulo 1. A rotação dos módulos e multimódulos no eixo x é uma característica específica do design de superfícies tridimensionais. Enquanto que em aplicações bidimensionais a rotação é realizada apenas nos eixos z e y, o eixo x adiciona o volume à composição, caracterizando uma superfície tridimensional.

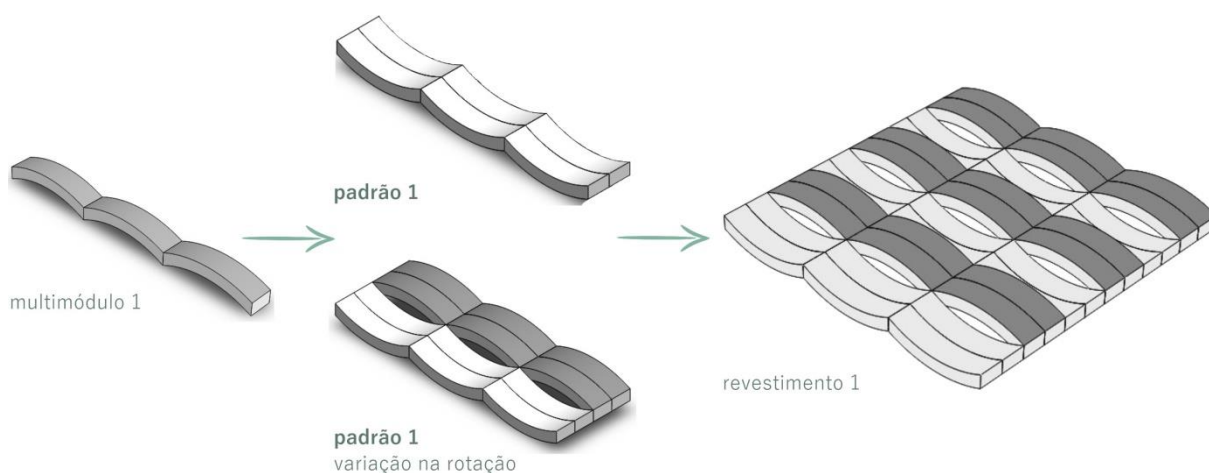
Figura 53: Módulo 1, composição do multimódulo 1 e variações na rotação do multimódulo 1.



Fonte: autora.

A partir das variações na rotação do módulo 1, foram exploradas possibilidades de composição de padrões. A Figura 54 mostra a composição do padrão 1, formado pela união de dois multimódulos 1. A variação na rotação do padrão 1 destaca o volume do formato arredondado das peças e o contraste entre as cores do exocarpo (mais escuro) e do mesocarpo (mais claro) cria um padrão linear. A repetição do padrão 1, intercalando a variação na rotação, gerou o primeiro revestimento modular de porongo.

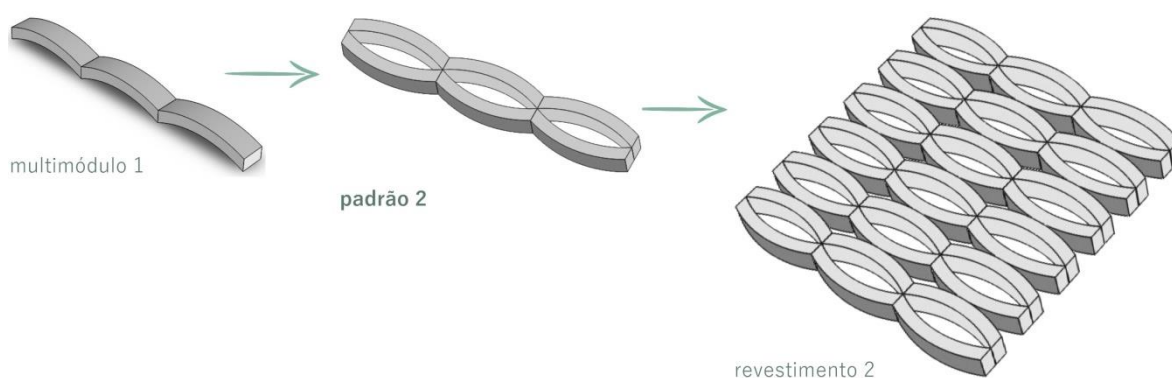
Figura 54: Composição do padrão 1 a partir do multimódulo 1; Criação do revestimento 1 a partir da repetição do padrão 1 com variação na rotação.



Fonte: autora.

A Figura 55 mostra a composição do padrão 2, formado pela união de dois multimódulos 1 em rotação no eixo x. A variação na rotação do padrão 2 destaca o desenho em curva das peças em semicírculo e o volume do formato arredondado dos frutos. A cor predominante é o tom mais claro do mesocarpo. A repetição linear do padrão 2 gerou o segundo revestimento modular de porongo.

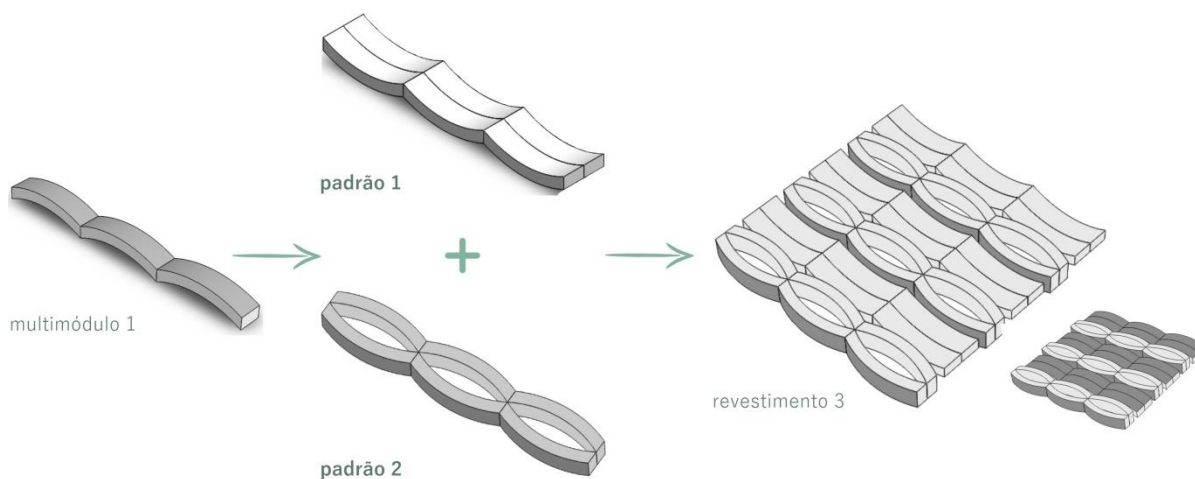
Figura 55: Composição do padrão 2 a partir do multimódulo 1; Criação do revestimento 2 a partir da repetição do padrão 2.



Fonte: autora

A Figura 56 mostra a combinação dos padrões 1 e 2 para a formação do revestimento 3. A variação na rotação do revestimento 3 gera uma segunda opção em que o contraste entre as cores do exocarpo e do mesocarpo é mais evidente.

Figura 56: Combinação dos padrões 1 e 2 para a criação do revestimento 3.



Fonte: autora.

Para o módulo 2 (Figura 48) foi trabalhada a mesma sequência de estudos compositivos realizada com o módulo 1. Inicialmente foram exploradas possibilidades de combinações a partir da experimentação com peças de porongo em corte de seção longitudinal (Figura 57), similar ao formato definido para o módulo 2. Na sequência foram selecionadas algumas composições para serem mais bem trabalhadas a partir da modelagem tridimensional.

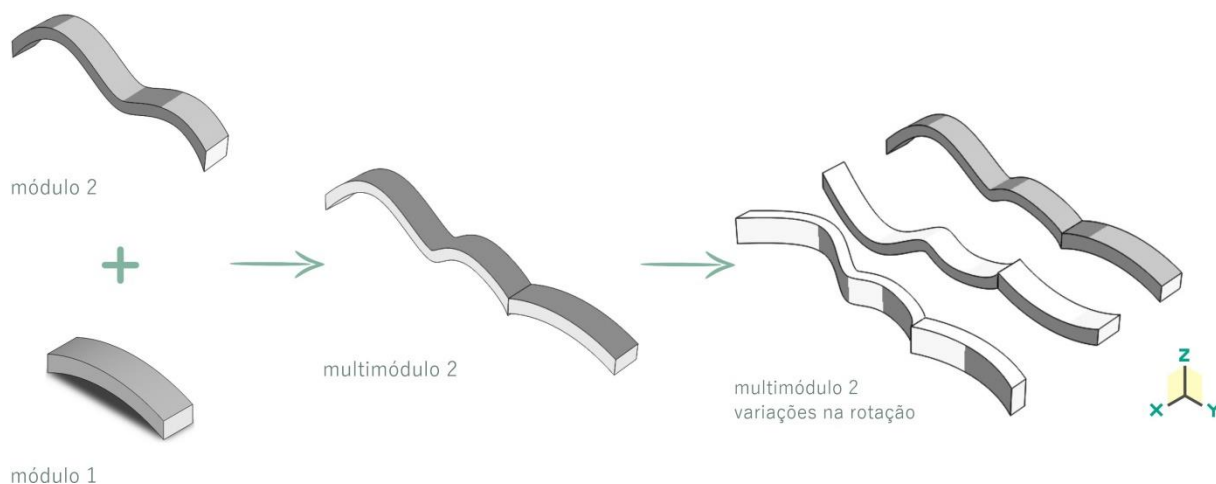
Figura 57: Estudos de composições com o módulo 2, corte de seção longitudinal: a) Módulos espelhados; b) Composição com módulos verticais e horizontais; c) Módulos encaixados.



Fonte: autora.

A Figura 58 mostra a composição do multimódulo 2. O elemento é formado pela união entre uma peça do módulo 2 e uma peça do módulo 1, unidas lateralmente formando uma composição linear. O desenho final do multimódulo 2 destaca os formatos arredondados do porongo e a variação volumétrica das formas. Ainda, pode-se observar as possibilidades de variação da rotação do multimódulo 2, criando diferentes opções de contraste de cor, textura e volume.

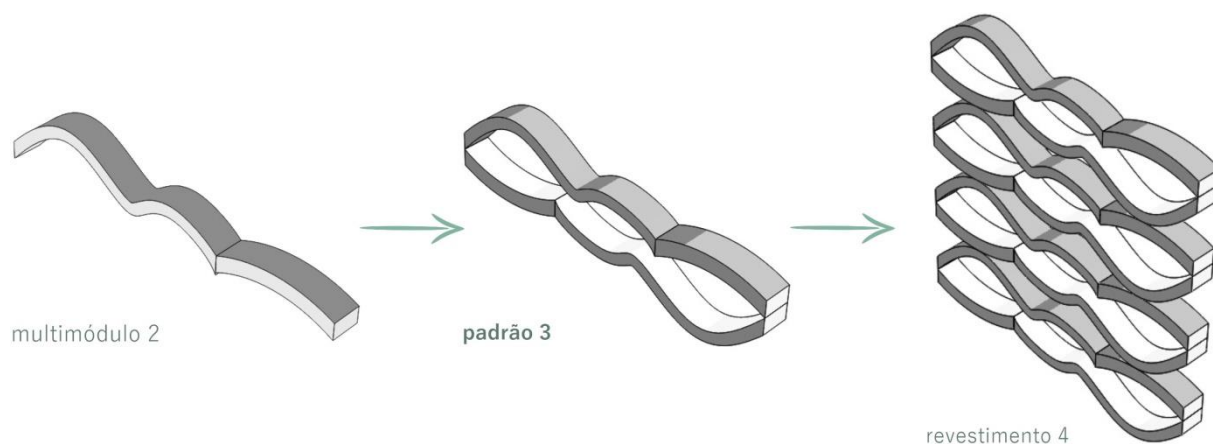
Figura 58: Combinação do módulo 2 com o módulo 1 formando o multimódulo 2; variações na rotação do multimódulo 2.



Fonte: autora.

A partir da variação na rotação dos eixos z e y do multimódulo 2, foi criado o padrão 3 (Figura 59) formado pela união de dois multimódulos 2, sendo que a peça inferior é espelhada nos dois eixos. A variação na rotação destaca o desenho do formato arredondado das peças e o contraste entre as cores do exocarpo (mais escuro) e do mesocarpo (mais claro). A repetição linear e homogênea do padrão 3 gerou o quarto revestimento modular de porongo.

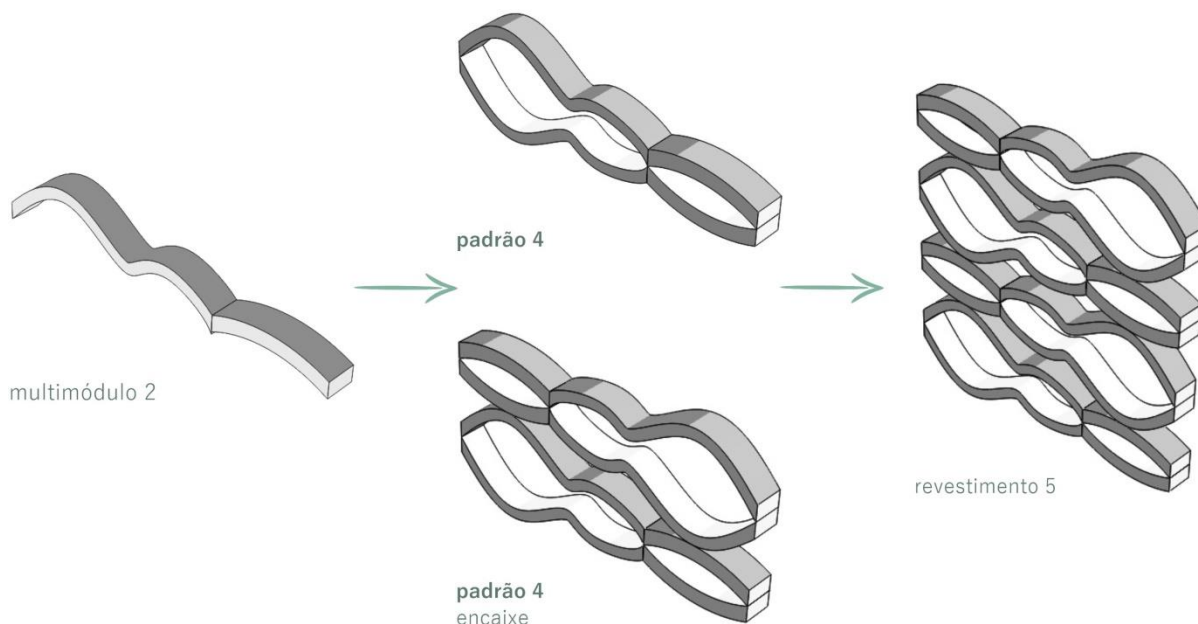
Figura 59: Composição do padrão 3 a partir do multimódulo 2; Criação do revestimento 4 a partir da repetição do padrão 3.



Fonte: autora.

Por fim, a partir da variação na rotação do eixo z do multimódulo 2, foi criado o padrão 4 (Figura 60) formado pela união de dois multimódulos 2, sendo que a peça inferior é espelhada horizontalmente no eixo z. A variação na rotação cria um padrão heterogêneo, com um desenho que lembra o perfil dos frutos do porongo, destacando o formato arredondado das peças e o contraste entre as cores do exocarpo (mais escuro) e do mesocarpo (mais claro). A repetição do padrão 3 de modo espelhado gerou o quinto revestimento modular de porongo.

Figura 60: Composição do padrão 4 a partir do multimódulo 2; Criação do revestimento 5 a partir da repetição intercalada do padrão 4.



Fonte: autora.

Como resultado da etapa de criação de módulos e padrões, dentro da etapa de aplicação da metodologia, foram criados dois módulos (Figura 47 e Figura 48), a partir dos quais foram gerados dois multimódulos (Figura 49 e Figura 50). Explorando as variações nas rotações e as diferentes possibilidades de composição entre os multimódulos, foram criados quatro padrões, a partir dos quais foram propostas cinco alternativas de revestimentos modulares de porongo.



As propostas apresentadas são uma pequena fração das possibilidades de módulos, multimódulos, padrões e unidades de revestimentos que podem ser criadas utilizando como matéria-prima os resíduos do porongo. Os dois módulos iniciais foram definidos com base nos requisitos de projeto, mas não são os únicos que podem ser gerados a partir do corte de seção dos frutos. O diferencial do design de superfície é justamente a multiplicidade de possibilidades criativas de novos padrões possibilitados a partir de um único módulo, trabalhando com diferentes rotações, repetições e encaixes.

### 3.4.3 Aplicações

A última etapa da metodologia é a aplicação dos novos revestimentos modulares em produtos e ambientes, ambientando os mesmos em situações de uso. A fim de explorar mais possibilidades de aplicações, com maior riqueza de detalhes e elementos, optou-se por utilizar a modelagem tridimensional e a renderização das imagens como recursos. A Figura 61 mostra aplicações dos revestimentos 1 e 2 em um ambiente.

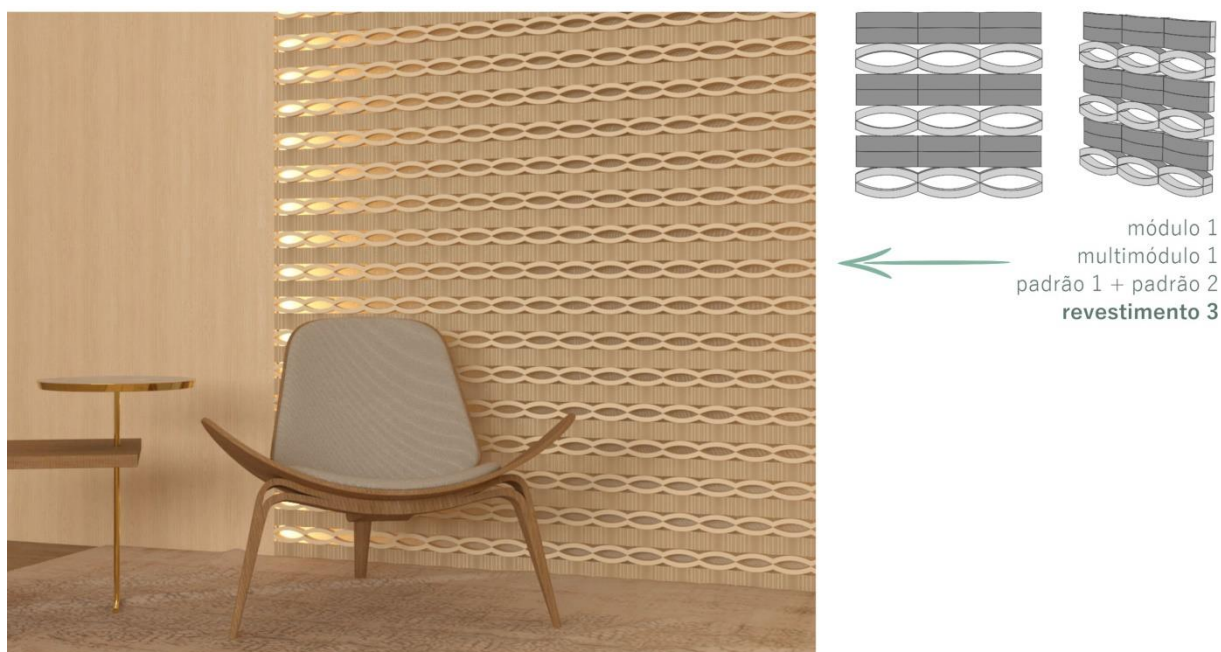
Figura 61: Revestimento 1 aplicado na parede e revestimento 2 aplicado em divisor de ambientes.



Uma das aplicações dos revestimentos modulares de porongo é recobrir superfícies planas, como paredes e divisórias. A Figura 61a mostra a aplicação do revestimento 1 na parede da rodabanca de uma cozinha. O uso de iluminação quente direcionada destaca as variações no volume dos padrões. Os revestimentos modulares de porongo não são indicados para aplicações em ambientes externos ou internos com muita umidade, como banheiros e áreas de serviço.

A Figura 61b mostra a aplicação do revestimento 2 como painel divisor de ambientes. O formato em semicírculo do módulo 1 forma o desenho vazado do padrão 2, que favorece a aplicação em produtos e ambientes em que a passagem de luz e o efeito visual das formas vazadas é valorizado. O efeito produzido é similar ao uso de cobogós como divisores de ambientes. A Figura 62 mostra o uso do revestimento 3 com essa mesma finalidade. Embora o padrão do revestimento 3 seja menos vazado, o efeito da passagem de luz é similar e pode ser observado na Figura 62.

Figura 62: Revestimento 3 aplicado em divisor de ambientes.



Fonte: autora.

As aplicações dos revestimentos modulares tridimensionais, de maneira geral, não se restringem a recobrir superfícies planas de ambientes, como paredes e divisórias. Esta é apenas uma das possibilidades, talvez a mais explorada quando se trata desta categoria de produtos de design de superfície, mas existem outras opções. Uma aplicação para os revestimentos modulares é em portas e frentes de gavetas de móveis seriados como armários, balcões e *buffets*. A Figura 63 mostra a aplicação do revestimento 4 nas portas de um móvel de apoio. Nesse caso, o revestimento foi aplicado sobre a superfície plana das portas, mas também pode ser utilizado sozinho, sem a necessidade de uma base estrutural.

Figura 63: Revestimento 4 aplicado nas portas de um móvel.



Fonte: autora.

Outra aplicação para os revestimentos modulares de porongo é como elemento compositivo em móveis planejados ou sob medida. O Brasil e, mais especificamente o estado do Rio Grande do Sul, são referências a nível mundial na indústria de móveis para ambientes planejados, com empresas consolidadas e renomadas como Todeschini,

Florense, Kappesberg, entra tantas outras. Nesse contexto, a possibilidade de agregar os revestimentos modulares tridimensionais como uma opção nos projetos dessa categoria é um nicho em potencial. A Figura 64 mostra a aplicação do revestimento 5 em um painel de um móvel planejado para a televisão. Os revestimentos vazados, também nesses casos, podem ser utilizados sozinhos, como elemento estrutural.

Figura 64: Revestimento 5 aplicado em painel.



Fonte: autora.

Do mesmo modo que as possibilidades de criação de módulos, padrões e revestimentos a partir dos resíduos de porongo não se encerram com as alternativas apresentadas neste trabalho, o mesmo pode ser dito sobre as possibilidades de aplicações dos mesmos em produtos e ambientes. As aplicações dos revestimentos modulares em superfícies planas, divisórias de ambientes, portas e frentes de móveis e como elementos compositivos em móveis planejados são apenas sugestões propostas dentro do escopo deste projeto.

## 4 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS

Este capítulo descreve o estudo preliminar de produção de painéis de partículas a partir dos resíduos do porongo, mais precisamente a partir dos resíduos dos processos de corte e lixa da produção de cuias. O primeiro tópico trata da análise da composição química do fruto, o segundo tópico aborda a produção dos painéis a partir da descrição da metodologia e de testes de produção de painéis com resina ureia formaldeído e com amido e glicerol. Por fim, o terceiro tópico apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento dos novos materiais, com foco na caracterização e na determinação das principais propriedades sensoriais e técnicas dos painéis de partículas produzidos.

### 4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PORONGO

A composição química do material lenhoso exerce influência no processo de beneficiamento da madeira e o teor de cada constituinte sofre grande influência do ambiente (ZANUNCIO et al., 2013). No caso do processamento da madeira, quantidades elevadas de minerais nas amostras são indesejadas, pois podem ser responsáveis pelo desgaste de lâminas de corte e outras ferramentas. A madeira, assim como os demais materiais lignocelulósicos, é constituída por celulose, lignina, hemicelulose e extrativos.

A lignina é um constituinte da parede celular e ocorre na maioria das plantas, é um elemento estrutural que proporciona à planta propriedades de elasticidade e resistência e sua composição não é idêntica em todas as plantas. O conhecimento quanto ao teor de lignina é de grande importância para alguns segmentos industriais, seja para diagnosticar possíveis quedas de rendimento na indústria de celulose e papel, quanto para a avaliação do uso deste material vegetal em biorrefinarias ou no

desenvolvimento de outros produtos de maior valor agregado (MARINHO et al., 2012).

Os extrativos, considerados constituintes secundários, são compostos químicos que não fazem parte da estrutura da parede celular. Os extrativos englobam uma série de compostos como resinas, açúcares, taninos, ácidos graxos e outros, que podem ser extraídos em água ou solventes orgânicos. Os extrativos são responsáveis pela cor, odor, resistência ao apodrecimento, ao ataque de insetos, bem como às propriedades da madeira, como densidade, permeabilidade e dureza (PAES et al., 2013).

A determinação da composição química dos resíduos do porongo é um requisito para o aproveitamento da matéria-prima na produção de painéis de partículas. Foram analisadas amostras de duas regiões do estado do RS, Arroio do Só e Frederico Westphalen. Foram realizadas análises para a determinação do teor de umidade, teor de cinzas, teor de extrativos em água fria, água quente e etanol: tolueno e teor de lignina insolúvel. As análises foram realizadas de acordo com as normas da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI). Os ensaios para análise da composição química foram realizadas no LAPAM (Laboratório de Painéis de Madeira), localizado na UFPel (Universidade Federal de Pelotas), na cidade de Pelotas, RS.

#### **4.1.1 Materiais e Métodos**

O preparo das amostras de porongo para a realização das análises químicas foi feito de acordo com normas internacionais para amostras de madeira, TAPPI T 257 sp-12 *Sampling and preparing wood for analysis* e TAPPI T 264 cm-07 *Preparation of wood for chemical analysis*. Foram utilizadas amostras de duas localidades diferentes, resíduos de Arroio do Só e de Frederico Westphalen. Com o auxílio de martelo e alicate, os porongos foram quebrados. Para deixar o material com a granulometria desejada, foi utilizado um moinho de facas do tipo Willey (Figura 65a). Na sequência, as partículas foram

peneiradas, com as peneiras sobrepostas na seguinte ordem: 40 mesh, 60 mesh, resíduos. Para a realização das análises químicas são utilizadas as partículas da fração 40/60, que são aquelas que atravessam a peneira de 40 mesh e ficam retidas na peneira de 60 mesh (Figura 65b). As análises foram realizadas em duplicata.

Figura 65: Preparo das amostras: a) Moinho de facas Willey; b) Amostras peneiradas.



Fonte: autora.

O teor de umidade em base úmida é definido como a porcentagem de água presente na matéria-prima em relação ao peso úmido da amostra. Para a determinação do teor de umidade do porongo foi utilizada a norma TAPPI T 264 cm-07 *Preparation of wood for chemical analysis*. A determinação do teor de umidade da amostra é realizada através da secagem em estufa a  $105 \pm 3^\circ \text{C}$  das partículas retidas na fração 40/60 mesh. O teor de umidade é expresso em porcentagem pela seguinte equação:

$$T.U. (\%) = \left( \frac{P_u - P_s}{P_u} \right) \times 100$$

$T.U.$  é o teor de umidade do peso inicial da amostra (em porcentagem)

$P_u$  é o peso inicial da amostra úmida

$P_s$  é o peso absolutamente seco da amostra

O teor de cinzas presente nos materiais lignocelulósicos é definido como os materiais inorgânicos presentes na amostra, tais como sódio, potássio, cálcio, ferro,

entre outros minerais. Para a determinação do teor de cinzas foi utilizada a norma TAPPI T 211 om-12 *Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525° C*. Este método consiste na incineração e calcinação das partículas devidamente classificadas, a fim de eliminar o material orgânico e obter apenas o material inorgânico. O teor de cinzas em porcentagem é expresso pela seguinte equação:

$$T.C. (\%) = \left( \frac{Pac - Pc}{Pas} \right) \times 100$$

*T.C.* é o teor de cinzas das partículas (em porcentagem)

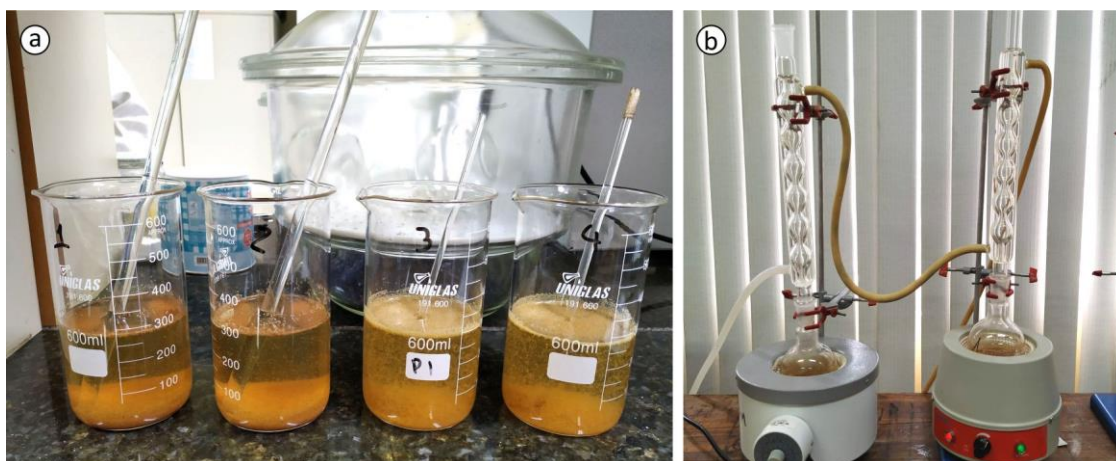
*Pac* é o peso da amostra contendo o peso do cadinho seco e das cinzas

*Pc* é o peso do cadinho seco

*Pas* é o peso absolutamente seco da amostra inicial

Os procedimentos de análise do teor de extrativos em água quente e fria seguem a norma TAPPI T 207 cm-08 *Water solubility of wood and pulp*. Para a determinação da solubilidade em água fria, os extrativos das partículas de porongo são removidos com água destilada a temperatura de  $23 \pm 2^\circ \text{C}$ , com agitação durante 48 horas (Figura 66a). Nesta análise são removidos uma parte dos componentes estranhos, como compostos inorgânicos, taninos, gomas, açúcares e corantes presentes na matéria-prima.

Figura 66: Teor de extrativos: a) Extração em água fria; b) Extração em água quente.



Fonte: autora.



Para a determinação da solubilidade em água quente, os extrativos das partículas foram removidos com água destilada aquecida a temperatura de 100° C durante três horas (Figura 66b). Nesta análise são removidos, além dos componentes citados para a água fria, amidos presentes em materiais lignocelulósicos. Os resultados para os teores de extrativos em água quente e fria são expressos pela seguinte equação:

$$T.E.(\%) = \left( \frac{Pas - (Pac - Pc)}{Pas} \right) \times 100$$

*T.E.* é o teor de extrativos em água (em porcentagem)

*Pas* é o peso da amostra absolutamente seco

*Pc* é o peso do cadinho sinterizado seco

*Pac* é o peso do cadinho sinterizado + amostra seca

Os procedimentos para a determinação do teor de extrativos em etanol: tolueno (1:2) seguem a norma TAPPI T 204 cm-07 *Solvent extractives of wood and pulp*. Têm como objetivo determinar a quantidade de material extraível não volátil na amostra, tais como ceras, gorduras, resinas esteróis, hidrocarbonetos, carboidratos de baixo peso molecular, sais e polifenóis. Os resultados para teores de extrativos em solução alcalina de NaOH 1% podem ser calculados pela seguinte equação:

$$T.E.(\%) = \left( \frac{(Peb - Pb)}{Pas} \right) \times 100$$

*T.E.* é o teor de extrativos em etanol: tolueno 1:2 (em porcentagem)

*Pas* é o peso da amostra absolutamente seca

*Pb* é o peso seco do balão contendo as pérolas de vidro

*Peb* é o peso seco do balão + extrativos

Os procedimentos para a determinação do teor de lignina seguem a norma TAPPI T 222 om-11 *Acid insoluble lignina in wood and pulp*. O método também é conhecido como lignina de Klason e tem como objetivo a determinação da lignina através da dissolução dos carboidratos, celulose e hemicelulose, em uma solução de ácido sulfúrico

a 72% de concentração, permanecendo apenas a lignina insolúvel. Uma pequena fração da lignina pode ser solubilizada em meio ácido durante o procedimento, desta forma, o teor de lignina solúvel pode ser verificado em um espectrofotômetro. Para a realização dos procedimentos é necessário que a amostra esteja livre de extrativos e devidamente preparada. Para tanto, utilizam-se as amostras livres de extrativos presentes no dedal de extração (solubilidade etanol: tolueno). O resultado para o teor de lignina insolúvel é calculado pela seguinte equação:

$$T.L. (\%) = \left( \frac{Pac - Pc}{Pas} \right) \times 100$$

*T.L.* é o teor de lignina insolúvel (em porcentagem)

*Pas* é o peso da amostra absolutamente seca

*Pc* é o peso do cadinho sinterizado seco

*Pac* é o peso do cadinho sinterizado + lignina insolúvel seca

#### 4.1.2 Resultados da Composição Química do Porongo

A composição química de matérias-primas lignocelulósicas depende de vários fatores como a espécie, o clima e o tempo de maturação de cada planta. Valores entre amostras da mesma espécie podem apresentar variações em função do local onde foram cultivadas, da época da colheita ou simplesmente por se tratar de amostras diferentes. Ao comparar os percentuais da composição química de diferentes espécies de madeira, as variações podem ser representativas.

As tabelas com todas as medições realizadas encontram-se nos apêndices. A Tabela 2 apresenta os resultados da análise da composição química dos resíduos de porongo. Os valores são referentes à média dos resultados das amostras procedentes de Arroio do Só (AS), de Frederico Westphalen (FW) e a média geral dos resultados.

Tabela 2: Composição química do porongo

Amostra	Umidade (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)			Lignina insolúvel (%)
			Água fria	Água quente	Etanol: tolueno	
AS	7,3	3,5	3,1	9,8	2,1	22,2
FW	7,4	4,3	4,9	10,8	1,9	20,4
média	7,35	3,9	4,0	10,3	2,0	21,3

Fonte: autora.

O teor de umidade das amostras foi similar, com média de 7,35%. O teor de cinzas está relacionado com os compostos inorgânicos presentes nas amostras, os valores encontrados no porongo foram superiores aos valores médios encontrados para a madeira. Isso pode ser explicado pela presença de cristais de oxalato de cálcio observados no interior de alguns poros do mesocarpo do fruto, a partir da análise de imagens obtidas com microscópio eletrônico de varredura (NEJELISKI, 2015). Ainda, pode estar relacionado com a presença de sílica na camada do exocarpo, considerando que a casca de arroz, resíduo agrícola com altos índices de sílica em sua composição, apresenta alto teor de cinzas (LOURENÇO NETO et al., 2017).

Os extrativos em água fria totalizaram uma média de 4%, em água quente uma média de 10,3% e os extrativos na solução de etanol: tolueno 2,0%. O teor médio de lignina encontrado nas amostras de porongo foi de 21,3%, similar aos valores mínimos para espécies de madeira. Com a ação do calor a lignina é polimerizada e pode ser utilizada como um adesivo natural, como no processo produtivo das chapas duras (*hardboard*) e do aglomerado expandido de cortiça (GIL, 2015).

Marinho et al. (2012) pesquisaram a composição química de colmos de bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus*), espécie muito utilizada na fabricação de painéis. Os autores compararam os resultados de amostras com idades entre 2 a 6 anos. Como resultado, a porcentagem média de extrativos e o teor de cinzas não apresentou relação direta com a idade. A maior porcentagem de extrativos em água quente, 12,04%, e

extrativos em água fria, 10,25% foi observada aos 2 anos de idade. O percentual de extrativos em etanol: tolueno foi de 10,91% aos dois anos para 4,61% aos seis anos de idade. O teor médio de lignina variou de 22,66% a 24,11%. A maior porcentagem de cinzas foi obtida aos três anos, com valores de 1,09%.

Comparando com os resultados da composição química do porongo com o bambu-gigante, o percentual do teor de cinzas do bambu é bem inferior, indicando menor quantidade de compostos inorgânicos. Com relação aos valores para os extrativos, o percentual de todos os extrativos do bambu foram superiores aos valores encontrados para o porongo. Por fim, o teor de lignina mínimo encontrado para o bambu, é similar à média dos resultados encontrados para o porongo.

A madeira de pinus é uma das principais matérias-primas utilizadas para a produção de painéis de partículas. Moraes et al. (2005) pesquisaram a composição química do *Pinus oocarpa*, cultivado na região do cerrado. Como resultado, a média dos valores para a lignina foi de 25,18%, para os extrativos em etanol: tolueno foi de 4,38%, extrativos em água quente foi de 4,31% e teor de cinzas foi de 1,26%.

A composição química do eucalipto foi analisada por Zanuncio et al. (2013) e por Trugilho et al. (2015). No primeiro trabalho foram analisados e comparados clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). O teor de lignina insolúvel variou de 27,5% a 30,2% entre tratamentos, os teores dos extrativos variaram de 2,1% a 2,5%. No segundo trabalho foi analisada a composição química entre clones e entre espécies de eucalipto. Entre os clones a média do teor de extrativos foi de 5,71%, do teor de lignina foi de 29,38% e do teor de cinzas foi de 0,25%. Entre as espécies, a média do teor de extrativos foi de 7,14%, do teor de lignina foi de 30,76% e do teor de cinzas foi de 0,20% (TRUGILHO et al., 2015).

As divergências observadas nas médias dos valores da composição química do

porongo quando comparadas com o bambu e com espécies de madeira, explica-se pelo fato de tratarem-se de estruturas vegetais diferentes. Enquanto a madeira e o bambu são extraídos do caule, da parte estrutural das plantas, o porongo é um fruto. Outro fator é a diferença de maturação das plantas em questão. A madeira é extraída após oito anos ou mais de cultivo e o bambu após cerca de três anos. Já o porongo tem cultivo anual e os frutos são colhidos após cerca de 195 dias.

Com relação ao resultado da análise da composição química do porongo, pode-se concluir que os resíduos tem potencial para serem utilizados como matéria-prima na produção de painéis de partículas. Os percentuais de teor de cinzas, extrativos e lignina são similares aos valores encontrados para outras matérias-primas lignocelulósicas, como o bambu e madeiras alternativas. Cabe ressaltar que a viabilidade da utilização como matéria-prima para painéis de partículas depende da análise de outros fatores, como a caracterização das partículas e a definição das propriedades físicas.

## 4.2 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE PORONGO

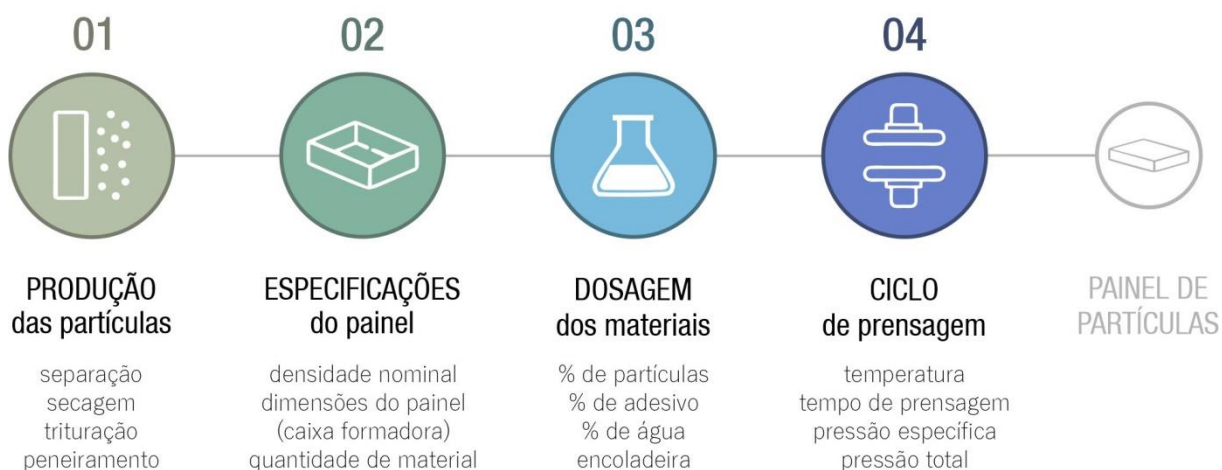
Este tópico descreve a produção dos painéis de partículas de porongo realizada nas dependências do LAPAM, Laboratório de Painéis de Madeira, na UFPel, RS. A metodologia adaptada (MALONEY, 1989) é baseada na manufatura de painéis utilizada nas aulas e nos projetos de pesquisa do laboratório. A partir das definições das etapas da metodologia foram realizados testes de produção de painéis de partículas de porongo com dois adesivos distintos: o primeiro com resina ureia-formaldeído e o segundo com amido e glicerol.

Foram realizados cinco testes, um com resina ureia-formaldeído e quatro com matriz de amido e glicerol. Para cada teste foram produzidos quatro painéis, um para cada granulometria. No total, foram produzidos vinte painéis de resíduos de porongo.

### 4.2.1 Metodologia para a Produção de Painéis de Partículas

De modo geral, as metodologias projetuais de design contemplam pelo menos uma etapa com foco na criatividade e na experimentação. Já nas engenharias e áreas que desenvolvem novos materiais, as metodologias seguem normas técnicas e padrões bem definidos, pois qualquer alteração nas proporções dos componentes altera as propriedades finais dos materiais. A metodologia utilizada no LAPAM, adaptada de Maloney (1989), é direcionada para a produção de painéis de partículas de madeiras e/ou outros materiais lignocelulósicos com resina ureia-formaldeído (Figura 67).

Figura 67: Metodologia para a produção de painéis de partículas.



Fonte: Adaptada de Maloney (1989).

A primeira etapa é a produção das partículas dos materiais lignocelulósicos e tem início com a separação do material. Muitas vezes a matéria-prima para a produção dos painéis está misturada com outros materiais ou resíduos e pode apresentar dimensões variadas. O objetivo da separação é selecionar a parcela do material passível de ser transformada em partículas. Na sequência é realizada a secagem do material, que pode ser em estufa ou em um ambiente com temperatura e umidade controladas. O material fica secando até ficar em equilíbrio com o ambiente, cerca de 8% de umidade.

Após a secagem o material é triturado em um moinho de martelo (Figura 68a) e peneirado em um conjunto de peneiras granulométricas (Figura 68b), utilizado para separar as partículas mais grossas das mais finas. O número de abertura das peneiras é chamado de “mesh” e é padronizado internacionalmente. Quanto maior o mesh, maior o número de aberturas e mais finas serão as partículas que passarem por elas. As peneiras são encaixadas em ordem decrescente do número de mesh, de modo que as partículas maiores vão ficando retidas e na base fica apenas o pó do material.

Figura 68: Trituração e peneiramento: a) Moinho de martelo; b) Peneiras granulométricas.



Fonte: autora.

Após a produção das partículas são definidas as especificações dos painéis. O primeiro fator a ser definido é a densidade, um requisito básico dos painéis e que é classificada em três categorias: baixa, média e alta densidade. Os painéis de baixa densidade vão até  $0,59 \text{ g/cm}^3$ , de média densidade vão de  $0,6 \text{ g/cm}^3$  até  $0,79 \text{ g/cm}^3$  e alta densidade é acima de  $0,8 \text{ g/cm}^3$  (IWAKIRI, 2005). As propriedades dos painéis de partículas variam de acordo com a densidade e com a espessura. De maneira geral, painéis não estruturais, especialmente os isolantes, possuem baixa densidade, enquanto que os painéis estruturais possuem densidade média ou alta.

Na sequência são definidas as especificações da caixa formadora e dos afastadores. A caixa formadora vai determinar as dimensões dos painéis, enquanto que

os afastadores vão determinar a espessura. Existem caixas formadoras de dimensões variadas, geralmente as menores caixas são utilizadas para testes, pois necessitam de menos material para a produção dos painéis, enquanto que as maiores são utilizadas para a produção dos painéis definitivos. De acordo com Iwakiri (2005) a espessura dos painéis de partículas varia entre 3 mm a 40 mm e, assim como a densidade, também interfere nas propriedades finais dos painéis.

A partir da definição da densidade nominal, das dimensões da caixa formadora e dos afastadores, será calculado o volume de material e o peso da chapa. O cálculo do peso da chapa é baseado na equação da densidade do painel:

$$Dp = \frac{P}{V} \rightarrow P = Dp \times V$$

*Dp* Densidade nominal do painel

*V* Volume de material

*P* Peso da chapa (com umidade de 12%)

Após a especificação do peso da chapa tem início a terceira etapa, de dosagem dos materiais. Para a produção de painéis de partículas com resina de ureia-formaldeído o cálculo é feito a partir de 100% de partículas secas, 12% de resina e 12% de água, totalizando 124%. Considerando o volume de material da equação anterior como 124%, são calculadas as quantidades de partículas secas, de resina e de água. A equação para o cálculo da quantidade de partículas considera o teor de umidade das mesmas em 2,96%:

$$PU = PS \times \left(1 + \frac{TU}{100}\right)$$

*PU* Partículas úmidas (teor de umidade de 2,96%)

*PS* Partículas secas

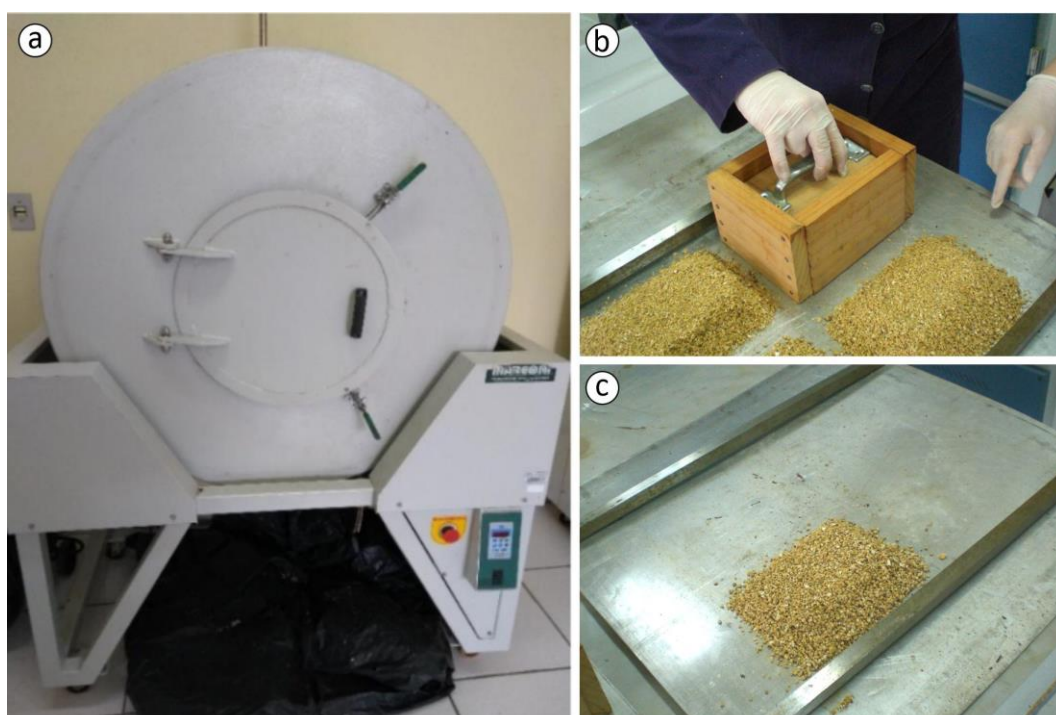
*TU* Teor de umidade

A quantidade de catalisador é de 2% em cima do peso do sólido resinoso por



painel. Já a dosagem de água é de 12% por painel, calculado sobre a quantidade de partículas, de resina e do catalisador. Deve-se acrescentar 10% a mais de água, considerando a perda de água durante a produção. Após a dosagem os materiais são transferidos para a encoladeira de partículas (Figura 69a), onde são misturados através de movimentos rotativos da máquina. A caixa formadora e os afastadores são distribuídos sobre uma chapa metálica e as partículas são transferidas da encoladeira para a caixa (Figura 69b), que após a aplicação de pressão é removida, restando sobre a chapa os colchões de partículas e os afastadores (Figura 69c).

Figura 69: Mistura dos materiais e montagem do colchão de partículas: a) Encoladeira de partículas; b) Partículas na caixa formadora; c) Colchão de partículas sobre a chapa metálica com os afastadores.



Fonte: autora.

Na sequência, outra chapa metálica é colocada sobre os colchões de partículas e os afastadores (Figura 70a) e o conjunto é colocado dentro da prensa hidráulica (Figura 70b). As prensas hidráulicas são máquinas que possuem uma haste móvel e uma mesa fixa. Durante sua operação a haste móvel desce em direção à mesa fixa, prensando o material que está entre as duas peças. No caso dos painéis de partículas, a prensagem é

feita a quente. A Figura 70c mostra uma vista frontal da prensa hidráulica fechada.

Figura 70: Prensagem: a) Chapa sobre os colchões de partículas; b) Painéis dentro da prensa; c) Vista externa da prensa hidráulica fechada.



Fonte: autora.

Para a produção de painéis de partículas de madeira com resina ureia-formaldeído no LAPAM são usadas as seguintes especificações para o ciclo de prensagem: temperatura de 160° C, tempo de prensagem de 4,5 minutos, pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> e pressão total de  $44,5 + 5 = 49,5$  BAR, conforme a necessidade de ajuste do equipamento. As especificações de temperatura, tempo de prensagem e pressão podem ser ajustadas conforme as características das partículas.

#### 4.2.2 Painéis com resina ureia-formaldeído

A madeira é a principal matéria-prima utilizada para a produção de painéis de partículas. Entretanto, pesquisas de uso de materiais lignocelulósicos alternativos estão sendo realizadas, muitas das quais com resíduos agrícolas como a cana-de-açúcar (PANYAKAEW; FOTIOS, 2011), casca de arroz (ANTÔNIO et al., 2018; BURATTI et al., 2018) e sabugo de milho (PAIVA et al., 2012; BINICI, AKSOGAN e DEMIRHAN, 2016). Os

painéis podem ser produzidos com partículas de uma matéria-prima ou mais de uma, com diferentes proporções. Para o presente trabalho, optou-se por produzir painéis com 100% de partículas de porongo.

Com relação à matéria-prima, optou-se por utilizar os resíduos de porongo oriundos dos processos de produção das cuias, mais especificamente dos processos de corte de serra (Figura 4). Após a separação do material foi realizada a secagem, onde o material foi distribuído sobre uma lona em uma sala com temperatura e umidade controladas e permaneceu por três dias, até alcançar a umidade de 8% (Figura 71a). Na sequência o material foi quebrado em peças menores com o auxílio de um alicate (Figura 71b) para então ser triturado no moinho de martelo (Figura 68a).

Figura 71: Separação e secagem das partículas: a) Secagem dos resíduos em ambiente controlado; b) Resíduos preparados para a trituração.



Fonte: autora.

Após a trituração dos resíduos no moinho de martelo foi realizado o peneiramento das partículas. Foram utilizados três tamanhos de peneiras granulométricas, em ordem decrescente do tamanho das partículas: 10, 16 e 30 mesh. O material foi peneirado e separado nos três diferentes tamanhos de partículas mais o pó, resíduo do processo de peneiramento, como pode ser observado na Figura 72.

Figura 72: Partículas de porongo após peneiramento: 1) 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) Pó.



Fonte: autora.

Foram produzidos quatro painéis com 100% de partículas de porongo, cada um com um dos tamanhos de partículas da Figura 72. Com relação às especificações do painel optou-se por produzir painéis de baixa densidade de modo a valorizar as propriedades inerentes do material, caracterizado pela baixa densidade ( $0,124 \text{ g/cm}^3$ , de acordo com Nejeliski e Duarte, 2019) e empiricamente utilizado como isolante. Para tanto, a densidade nominal definida foi de  $0,28 \text{ g/cm}^3$ . A caixa formadora utilizada foi a menor disponível no laboratório, utilizada para testes, com as dimensões de  $102 \times 152 \text{ mm}$ . Já a espessura foi definida de acordo com a espessura padrão para testes de painéis de madeira, que é de  $18 \text{ mm}$ .

Com base nas especificações dos painéis foi calculado o volume e a quantidade de material e, na sequência, a dosagem dos materiais. A Tabela 3 apresenta todas as informações com base nos cálculos apresentados no tópico 4.2.1 Metodologia. As especificações do ciclo de prensagem seguiram o padrão para produção de painéis de

madeira e resina ureia-formaldeído: temperatura de 160° C, pressão específica de 15 kgf/cm<sup>2</sup>, tempo de 6 minutos (Tabela 3) e pressão total de 44,5 + 5 = 49,5 BAR.

Tabela 3: Valores das especificações dos painéis, da dosagem dos materiais e do ciclo de prensagem, com base nos cálculos da metodologia.

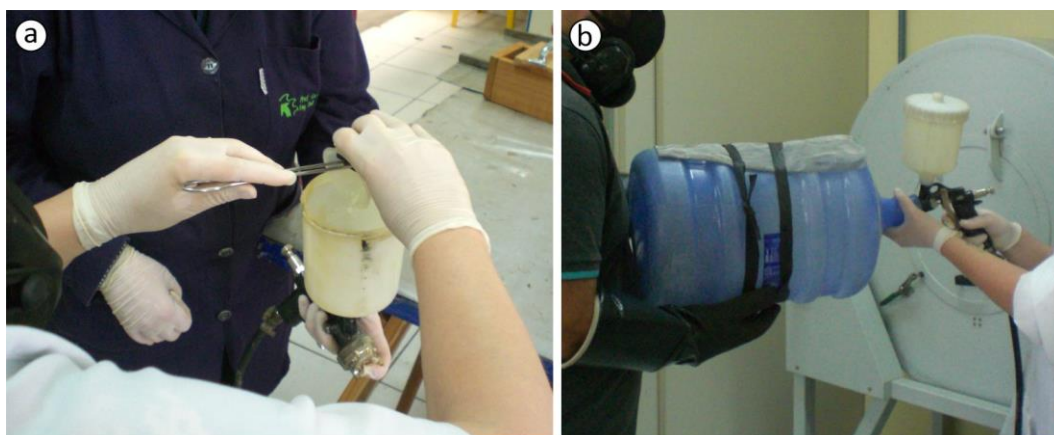
<b>Etapa</b>	<b>Tarefa</b>	<b>Um painel</b>	<b>Quatro painéis</b>
<b>Especificações dos painéis</b>	Densidade nominal	0,28 g/cm <sup>3</sup>	0,28 g/cm <sup>3</sup>
	Dimensões do painel	102 x 152 mm	102 x 152 mm
	Espessura	18 mm	18 mm
	Volume	279,07 cm <sup>3</sup>	1.116,28 cm <sup>3</sup>
	Quantidade de material	77,52 g	310,08 g
<b>Dosagem dos materiais</b>	Partículas secas (100%)	64,6 g	258,4 g
	Sólido resinoso (8%)	5,168 g	20,67 g
	Água (12%)	7,752 g	31,00 g
	Total (120%)	77,52 g	310,08 g
	Partículas úmidas	73,14 g *	292,56 g*
	Resina líquida	8,29 g*	33,16 g*
	Catalisador líquido	0,47 g*	1,88 g*
	Água por painel	3,47 g*	13,88 g*
<b>Ciclo de prensagem</b>	Temperatura	160° C	160° C
	Pressão específica	15 kgf/cm <sup>2</sup>	15 kgf/cm <sup>2</sup>
	Tempo	6 minutos	6 minutos

\*com 10% a mais pelas perdas

Fonte: autora.

Devido à pequena quantidade de partículas e resina utilizadas na produção dos painéis de teste o processo de mistura dos materiais na encoladeira foi adaptado. Para a pulverização da resina e do catalisador líquidos foi utilizada uma pistola de compressão (Figura 73a) adaptada na ponta de um tambor plástico, dentro do qual foram colocadas as partículas de porongo (Figura 73b). Enquanto a mistura de resina e catalisador era aplicada, o tambor era girado, de modo a simular os movimentos da encoladeira. O processo foi repetido quatro vezes, uma vez para cada painel.

Figura 73: Adaptação da mistura de materiais na encoladeira: a) Pistola de compressão com resina e catalisador; b) Pistola adaptada na ponta do tambor plástico com as partículas.



Fonte: autora.

Na sequência, a mistura foi retirada do tambor e teve início a montagem dos colchões de partículas. Sobre uma chapa metálica foram posicionados os afastadores de 18 mm, com espaço suficiente para a montagem de quatro colchões entre eles. Após, a caixa formadora foi posicionada entre os afastadores e preenchida com as partículas resinadas, a tampa da caixa foi encaixada para pressionar a mistura e o conjunto caixa e tampa foi removido (Figura 74a). O processo foi repetido quatro vezes, até formar quatro colchões de partículas sobre a chapa metálica (Figura 74b).

Figura 74: Montagem dos colchões de partículas: a) Colocação das partículas na caixa formadora; b) Colchões de partículas sobre a chapa, entre os afastadores.



Fonte: autora.

A seguir, outra chapa metálica foi colocada sobre os colchões de partículas e os painéis foram colocados na prensa hidráulica. Após seis minutos, as chapas metálicas com os afastadores e os painéis foram retirados da prensa e colocados sobre uma bancada de trabalho. A chapa superior foi removida e foi necessário aguardar alguns minutos antes de manusear os painéis, em função da alta temperatura do conjunto. Ao remover a chapa superior foi possível observar que não houve adesão homogênea entre as partículas e o adesivo. A adesão ocorreu no centro dos painéis, enquanto que nas bordas as partículas ficaram soltas (Figura 75a).

Figura 75: Painéis de partículas de porongo com resina ureia-formaldeído: a) Fraca adesão entre as partículas e o adesivo; b) Painéis removidos da chapa metálica. 1) Partículas de 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) Pó do porongo.



Fonte: autora.

Ao manusear os painéis para removê-los da chapa metálica foi possível observar que, mesmo no centro dos painéis, a adesão foi fraca. A Figura 75b mostra as frações dos painéis que foram retiradas inteiras da chapa metálica. Mesmo nas partes centrais a adesão foi tão instável que com o manuseio as partículas de porongo se soltavam do volume. Com relação ao tamanho das partículas, os painéis produzidos com 16 e 30

mesh apresentaram maior aderência do que os extremos, as partículas maiores de 10 mesh e o pó do porongo.

Ao analisar a parte central dos painéis de partículas foi possível observar que nas superfícies inferior e superior a ação do calor e da pressão foi mais efetiva, de modo que a adesão entre as partículas ficou mais evidente (Figura 76a). Entretanto, no centro dos painéis, a adesão foi mais fraca, de modo que as partículas ficaram soltas, similar ao que ocorreu nas bordas dos painéis. O detalhe da Figura 76b mostra a região dos painéis em que a adesão foi fraca.

Figura 76: Adesão entre as partículas dos painéis: a) Superfície do painel, com adesão mais visível; b) Interior do painel com adesão mais fraca.



Fonte: autora.

Como resultado, pôde-se concluir que as especificações, a dosagem de materiais e o ciclo de prensagem utilizado para a produção de painéis de madeira com resina ureia-formaldeído não foram eficazes para a produção de painéis de partículas de porongo. Considerando a fraca adesão entre as partículas e os locais onde a adesão ficou mais visível, a hipótese é de que a microestrutura porosa das partículas de porongo retardou a difusão do calor no centro dos painéis e nas bordas e aonde o calor chegou não foi suficiente para criar uma adesão forte entre as partículas e o adesivo.



### 4.2.3 Painéis com amido e glicerol

Os testes de produção de painéis de partículas de porongo com amido e glicerol foram adaptados do trabalho de Ramírez (2011), que produziu painéis com matriz de amido e glicerol e reforço de fibra de coco com o objetivo de analisar a viabilidade da glicerina como plastificante e das propriedades dos amidos de milho e de mandioca como matriz. Para a produção dos painéis o amido foi misturado com a glicerina na proporção de 30% em massa em relação ao amido até a impregnação completa do pó. Na sequência, as fibras de coco foram agregadas na mistura de amido e glicerina em diferentes proporções: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30% (RAMÍREZ, 2011).

A mistura foi realizada em uma bateadeira industrial. Para a montagem dos painéis foi utilizado um molde metálico de aço inox de 17 cm<sup>2</sup> e espessura de 3 mm. O ciclo de prensagem na prensa hidráulica utilizou temperatura de 160° C, tempo de prensagem de 50 minutos e pressão de 8 toneladas. A caracterização dos painéis foi feita por microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, absorção de água e inchamento, acondicionamento em umidade relativa de 75%, ensaio de resistência à tração, espectroscopia na região do infravermelho, difratometria de raios X, termogravimetria e análise termo-dinâmica mecânica (RAMÍREZ, 2011).

Foram realizados quatro testes de produção de painéis de porongo com amido e glicerol. No primeiro teste foram produzidos quatro tratamentos com 100% de partículas: partículas 10, 16, 30 mesh e pó de porongo, sendo um painel para cada tratamento. Com relação às especificações (Tabela 4), a densidade nominal foi de 0,5 g/cm<sup>3</sup>, a caixa formadora de 102 x 152 mm e a espessura de 5 mm. Com relação à dosagem dos materiais, foi definida a proporção de 30% de partículas e 70% de matriz, sendo a proporção da matriz de 70% de amido para 30% de glicerol. O ciclo de prensagem foi de 170° C de temperatura, pressão específica de 20 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de 15 minutos.

Tabela 4: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 1 com amido e glicerol.

Etapa	Tarefa	Um painel	Quatro painéis
<b>Especificações dos painéis</b>	Densidade nominal	0,5 g/cm <sup>3</sup>	0,5 g/cm <sup>3</sup>
	Dimensões do painel	102 x 152 mm	102 x 152 mm
	Espessura	5 mm	5 mm
	Volume	387,6 cm <sup>3</sup>	1.550,4 cm <sup>3</sup>
	Quantidade de material	77,52 g	310,08 g
<b>Dosagem dos materiais</b>	Partículas secas (30%)	11,63 g	46,52 g
	Matriz amido glicerol (70%)	27,13 g	108,52 g
	Total (100%)	38,76 g	155,04 g
	Amido (70%)*	18,99 g	75,96 g
	Glicerol (30%)*	8,13 g	32,52 g
<b>Ciclo de prensagem</b>	Temperatura	170° C	170° C
	Pressão específica	20 kgf/cm <sup>2</sup>	20 kgf/cm <sup>2</sup>
	Tempo	15 minutos	15 minutos

\*Percentual considerando o percentual da matriz como 100%

Fonte: autora.

Para a produção dos painéis foi utilizado amido solúvel (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> da Alphatec e glicerina C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub> PM: 92, 09, também da Alphatec. A mistura da matriz de amido e glicerol foi realizada com uma batedeira manual (Figura 77a) devido à pouca quantidade de material utilizada para os testes. Os materiais foram misturados por 10 minutos, até obter uma mistura homogênea (Figura 77b).

Figura 77: Preparo da matriz: a) Batedeira manual; b) Mistura de amido e glicerol.



Fonte: autora.

Nos painéis com resina ureia-formaldeído a mistura das partículas com a resina foi realizada no tambor adaptado com a pistola de compressão (Figura 73), que simulou o processo que ocorre na encoladeira de partículas. A resina ureia-formaldeído é tóxica quando em contato direto com a pele ou com os olhos, por isso a mistura é realizada no equipamento e com o uso de EPIs adequados. Outro aspecto é o uso do catalisador que antecipa a cura da resina e faz com que seja necessária a aplicação em um equipamento isolado. Já a matriz de amido e glicerol é atóxica, por isso a mistura da mesma com as partículas de porongo foi realizada manualmente (Figura 78).

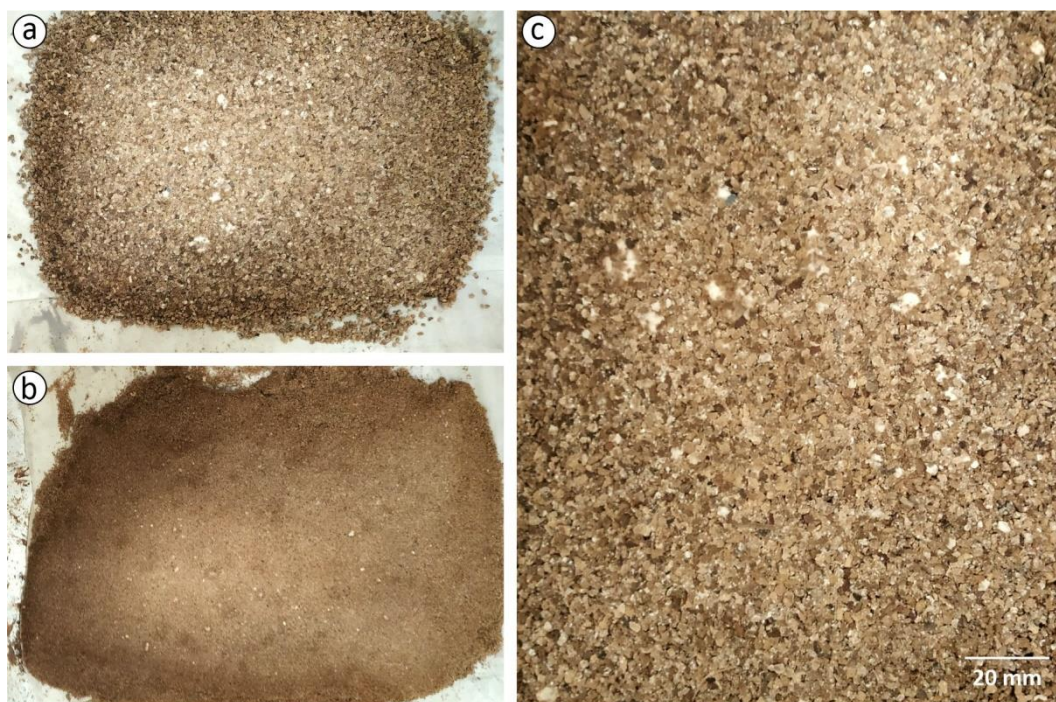
Figura 78: Mistura dos materiais: a) Matriz de amido e glicerol sobre as partículas; b) Mistura manual.



Fonte: autora

O processo de montagem dos colchões de partículas foi o mesmo utilizado na produção dos painéis de resina ureia-formaldeído (Figura 74). Após a colocação da chapa metálica sobre os colchões, o conjunto foi colocado na prensa hidráulica por 15 minutos. A Figura 79 mostra os resultados do primeiro testes de painéis de partículas de porongo com matriz de amido a glicerol. Os painéis resultantes ficaram mais homogêneos do que os produzidos com resina ureia-formaldeído e pode-se observar que apenas na parte mais externa das bordas a adesão foi fraca e as partículas ficaram soltas (Figura 79a). Os painéis apresentaram estabilidade estrutural em temperatura ambiente após a remoção dos mesmos da chapa metálica.

Figura 79: Resultados do teste 1 com matriz de amido e glicerol: a) Painel com partículas de 16 mesh; b) Painel com pó de porongo; c) Detalhe da superfície do painel de 16 mesh.



Fonte: autora.

A adesão foi mais homogênea nos painéis de partículas de tamanho intermediário (16 e 30 mesh) do que nos extremos (10 mesh e pó). Dos quatro painéis produzidos, o de pó de porongo (Figura 79b) foi o que apresentou menos estabilidade estrutural. Com relação às propriedades sensoriais, os painéis de 16 e 30 mesh apresentaram acabamento superficial similar ao aglomerado de cortiça. Sobre o ciclo de prensagem, o tempo de 15 minutos na prensa hidráulica para painéis de 5 mm de espessura foi superior ao necessário, já que as extremidades dos painéis quase queimaram.

No segundo teste foram produzidos painéis com densidade mais baixa, de  $0,3 \text{ g/cm}^3$ , e com 25 mm de espessura. Foram produzidos quatro tratamentos com 100% porongo: partículas 10, 16 e 30 mesh e uma mistura das três partículas em proporções iguais, sendo um painel para cada tratamento. Optou-se por não produzir painel com o pó do porongo, pois os resultados do teste anterior foram insatisfatórios. A proporção foi de 30% de partículas e 70% de matriz, com uma alteração na proporção da matriz, de

50% amido e 50 % glicerol, diferente do teste 1. Com relação ao ciclo de prensagem, a temperatura foi reduzida para 160° C, a pressão foi reduzida para 15 kgf/cm<sup>2</sup> e o tempo aumentou para 20 minutos, devido ao aumento na espessura dos painéis (Tabela 5).

Tabela 5: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 2 com amido e glicerol.

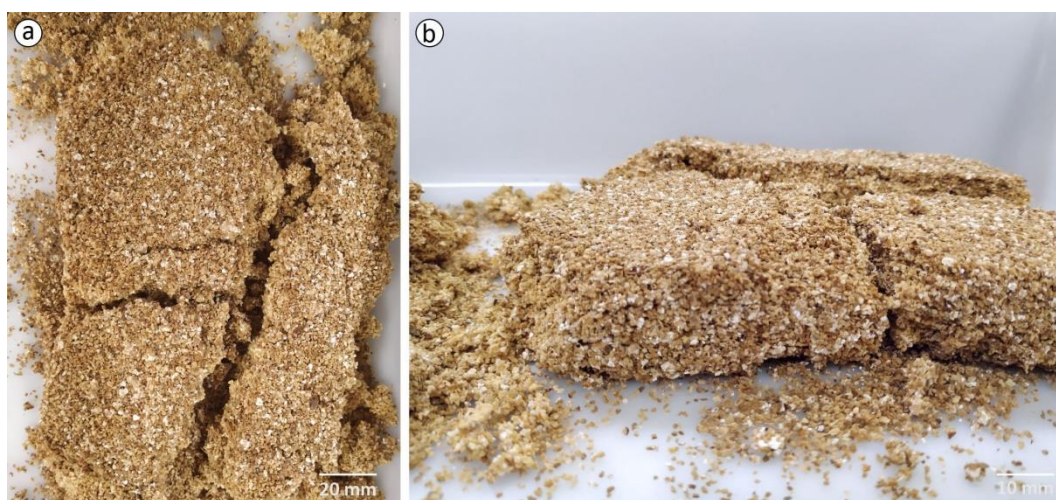
<b>Etapa</b>	<b>Tarefa</b>	<b>Um painel</b>	<b>Quatro painéis</b>
<b>Especificações dos painéis</b>	Densidade nominal	0,3 g/cm <sup>3</sup>	0,3 g/cm <sup>3</sup>
	Dimensões do painel	102 x 152 mm	102 x 152 mm
	Espessura	25 mm	25 mm
	Volume	387,6 cm <sup>3</sup>	1.550,4 cm <sup>3</sup>
	Quantidade de material	77,52 g	310,08 g
<b>Dosagem dos materiais</b>	Partículas secas (30%)	34,8 g	139,2 g
	Matriz amido glicerol (70%)	81,4 g	325,6 g
	Total (100%)	116,28 g	465,12 g
	Amido (50%)*	40,69 g	162,76 g
	Glicerol (50%)*	40,69 g	162,76 g
<b>Ciclo de prensagem</b>	Temperatura	160° C	160° C
	Pressão específica	15 kgf/cm <sup>2</sup>	15 kgf/cm <sup>2</sup>
	Tempo	20 minutos	20 minutos

\*Percentual considerando o percentual da matriz como 100%

Fonte: autora.

Como resultado, os painéis produzidos foram similares aos painéis do teste com resina ureia-formaldeído (Figura 76). A adesão entre as partículas foi fraca, especialmente nas bordas dos painéis, e o material resultante não apresentou estabilidade estrutural. Nas superfícies a adesão foi mais perceptível, porém não houve a formação dos painéis propriamente ditos e rachaduras foram observadas em várias direções (Figura 80a). Assim como nos painéis de resina ureia-formaldeído, na parte central dos painéis não houve adesão das partículas (Figura 80b). Os resultados do teste 2 corroboraram com a hipótese de que em painéis mais espessos o calor não chega até o centro, pois o efeito isolante das partículas de porongo retardam a propagação do calor.

Figura 80: Resultados do teste 2 com matriz de amido e glicerol: a) Rachaduras estruturais; b) Fraca adesão no centro do painel.



Fonte: autora.

A partir dos resultados insatisfatórios dos painéis com espessura de 25 mm, no teste 3 foi mantida a densidade nominal média de  $0,3 \text{ g/cm}^3$ , com alteração da espessura para 5 mm (Tabela 6).

Tabela 6: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 3 com amido e glicerol.

Etapa	Tarefa	Um painel	Quatro painéis
<b>Especificações dos painéis</b>	Densidade nominal	$0,3 \text{ g/cm}^3$	$0,3 \text{ g/cm}^3$
	Dimensões do painel	102 x 152 mm	102 x 152 mm
	Espessura	5 mm	5 mm
	Volume	$77,52 \text{ cm}^3$	$310,08 \text{ cm}^3$
	Quantidade de material	23,26 g	93,04 g
<b>Dosagem dos materiais</b>	Partículas secas (70%)	16,28 g	65,12 g
	Matriz amido glicerol (30%)	6,98 g	27,92 g
	Total (100%)	23,26 g	93,04 g
	Amido (50%)*	3,49 g	13,96 g
	Glicerol (50%)*	3,49 g	13,96 g
<b>Ciclo de prensagem</b>	Temperatura	$160^\circ \text{ C}$	$160^\circ \text{ C}$
	Pressão específica	$15 \text{ kgf/cm}^2$	$15 \text{ kgf/cm}^2$
	Tempo	15 minutos	15 minutos

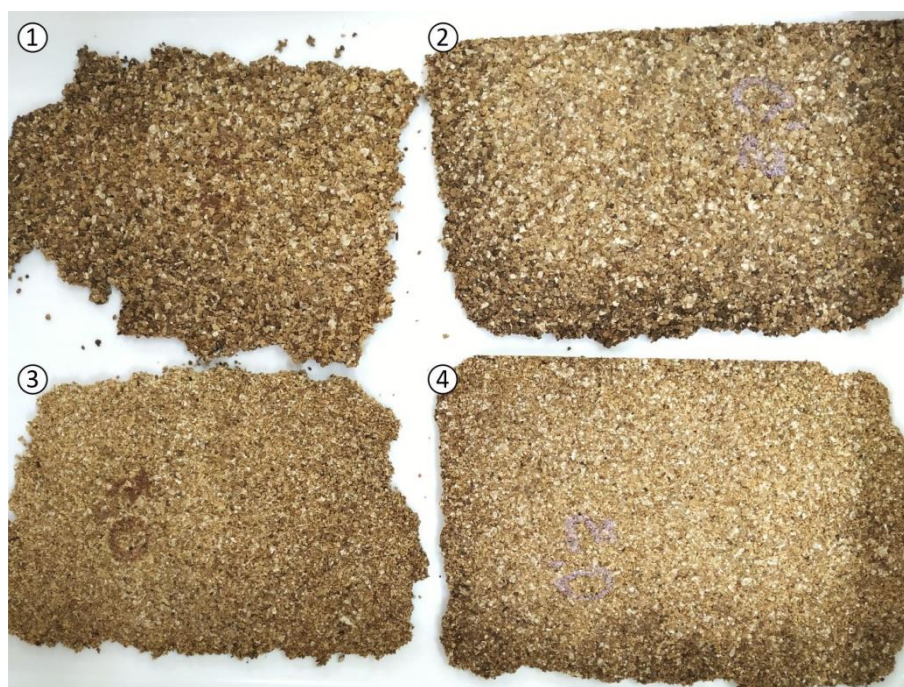
\*Percentual considerando o percentual da matriz como 100%

Fonte: autora.

Novamente foram produzidos quatro tratamentos: partículas de 10, 16 e 30 mesh e uma mistura das três partículas, um painel para cada tratamento. A proporção de partículas e matriz foi invertida para 70% partículas e 30% matriz, com a proporção de 50% amido para 50% glicerol para a matriz. A temperatura e a pressão foram mantidas e o tempo na prensa hidráulica foi reduzido para 15 minutos (Tabela 6).

Como resultado, os painéis apresentaram boa adesão entre as partículas e estabilidade estrutural. A Figura 81 mostra os painéis em temperatura ambiente, após a remoção dos mesmos da chapa metálica. De modo geral a adesão entre as partículas foi homogênea, um pouco mais fraca nas bordas dos painéis. Os painéis produzidos com partículas 10 e 30 mesh (Figura 81-1 e 3) apresentaram adesão mais fraca nas bordas, que ficaram quebradiças. Em comparação com os painéis de amido e glicerol do teste 1, com densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ , os painéis do teste 3 apresentaram estabilidade estrutural um pouco inferior.

Figura 81: Resultados do teste 3 com matriz de amido e glicerol: 1) Partículas de 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) mistura das três partículas.



Fonte: autora.

A partir dos resultados do teste 3, os painéis do teste 4 foram produzidos com densidade nominal de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  e espessura de 5 mm. Foram produzidos quatro tratamentos: partículas 10 mesh, 16 mesh, 30 mesh e pó, um painel para cada tratamento. A proporção de partículas e matriz foi mantida, 70% partículas e 30% matriz, com a proporção de 50% amido para 50% glicerol para a matriz. A temperatura, a pressão e o tempo na prensa hidráulica foram mantidos (Tabela 7).

Tabela 7: Especificações, dosagem dos materiais e ciclo de prensagem do teste 4 com amido e glicerol.

<b>Etapa</b>	<b>Tarefa</b>	<b>Um painel</b>	<b>Quatro painéis</b>
<b>Especificações dos painéis</b>	Densidade nominal	$0,5 \text{ g/cm}^3$	$0,5 \text{ g/cm}^3$
	Dimensões do painel	102 x 152 mm	102 x 152 mm
	Espessura	5 mm	5 mm
	Volume	$77,52 \text{ cm}^3$	$310,08 \text{ cm}^3$
	Quantidade de material	38,76 g	155,04 g
<b>Dosagem dos materiais</b>	Partículas secas (70%)	27,13 g	108,52 g
	Matriz amido glicerol (30%)	11,63 g	46,52 g
	Total (100%)	38,76 g	155,04 g
	Amido (50%)*	5,81 g	23,24 g
	Glicerol (50%)*	5,81 g	23,24 g
<b>Ciclo de prensagem</b>	Temperatura	160° C	160° C
	Pressão específica	$15 \text{ kgf/cm}^2$	$15 \text{ kgf/cm}^2$
	Tempo	15 minutos	15 minutos

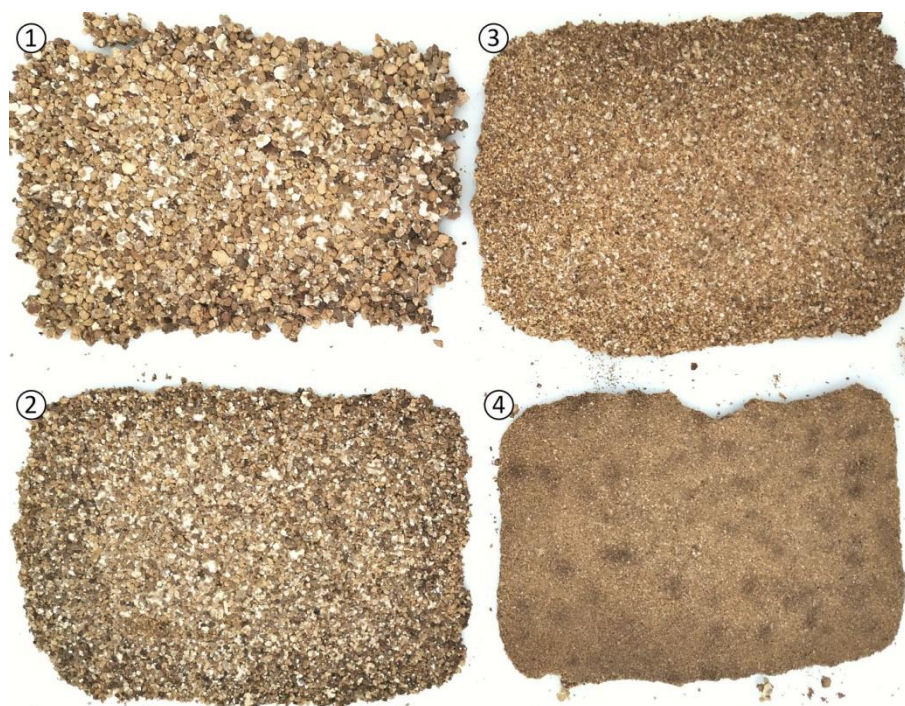
\*Percentual considerando o percentual da matriz como 100%

Fonte: autora.

Como resultado, os painéis com densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  apresentaram boa adesão entre as partículas e estabilidade estrutural superior aos painéis menos densos, de  $0,3 \text{ g/cm}^3$ . A Figura 82 mostra os painéis em temperatura ambiente, após a remoção dos mesmos da chapa metálica. A adesão entre as partículas foi homogênea com as bordas quebradiças. Os painéis produzidos com partículas 10 mesh e pó de porongo (Figura 82-1 e 4) apresentaram adesão das partículas menos estável e ficaram mais quebradiços.



Figura 82: Resultados do teste 4 com matriz de amido e glicerol: 1) Partículas de 10 mesh; 2) 16 mesh; 3) 30 mesh; 4) pó de porongo.



Fonte: autora.

A partir dos resultados dos testes realizados com amido e glicerol como matriz pôde-se observar que os painéis com 25 mm de espessura não apresentaram bons resultados, a adesão entre as partículas não foi suficiente para a formação dos painéis e o material ficou quebradiço. Os painéis com 5 mm de espessura e densidade nominal de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  apresentaram os melhores resultados de estabilidade estrutural e adesão entre as partículas. Com relação ao tamanho, as partículas de 16 e 30 mesh apresentaram melhores resultados de adesão do que as partículas de 10 mesh e o pó do porongo, sendo que este último produziu os painéis mais quebradiços.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE PORONGO

Na etapa anterior foram realizados cinco testes de produção de painéis de partículas de porongo: um com resina ureia-formaldeído e quatro com amido e glicerol, com diferentes especificações e dosagem dos materiais. De todos os painéis produzidos, os que obtiveram os melhores resultados foram os painéis do teste 4 (Figura 82), com densidade nominal de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ , espessura de 5 mm, proporção de 70% de partículas e 30% de matriz, sendo 50% amido para 50% glicerol para a matriz. Com relação ao ciclo de prensagem, a temperatura foi de  $160^\circ \text{ C}$ , pressão específica de  $15 \text{ kgf/cm}^2$  e 15 minutos na prensa hidráulica. Com base nestes resultados, será realizada a caracterização dos painéis produzidos no teste 4, sendo quatro tratamentos: partículas 10 mesh, 16 mesh, 30 mesh e pó, um painel para cada tratamento.

A caracterização dos painéis de partículas de porongo com amido e glicerol foi realizada a partir da análise das propriedades sensoriais, dos parâmetros de corte a laser, de imagens geradas pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) e dos ensaios para a determinação das propriedades físicas dos novos materiais.

#### 4.3.1 Propriedades Sensoriais

O objetivo geral deste trabalho é viabilizar a utilização dos resíduos de porongo oriundos da produção de cuias como matéria-prima no design de produto e valorizar suas propriedades técnicas e sensoriais, através da produção de revestimentos modulares e de painéis de partículas. Ou seja, a análise e a definição das propriedades sensoriais dos produtos e materiais resultantes são tão importantes quanto a definição das propriedades técnicas dos mesmos. De acordo com Briede e Alarcón (2012), a valorização dos materiais se dá tanto no sentido de aprimorar as propriedades

sensoriais, quanto nas possíveis repercussões nas propriedades físicas e mecânicas.

Retomando as informações apresentadas no capítulo de fundamentação teórica, no tópico sobre seleção de materiais, pesquisas comprovaram a importância dos atributos estéticos e das propriedades sensoriais no trabalho dos designers e na percepção que os usuários têm dos produtos (KARANA; HEKKERT; KANDACHAR, 2008; DIAS, 2009; CALEGARI; OLIVEIRA, 2014). Ainda, de acordo com Calegari e Oliveira (2014), os atributos técnicos e estéticos se inter-relacionam e são mutuamente interdependentes, portanto, deve haver um equilíbrio entre ambos no processo de seleção de materiais.

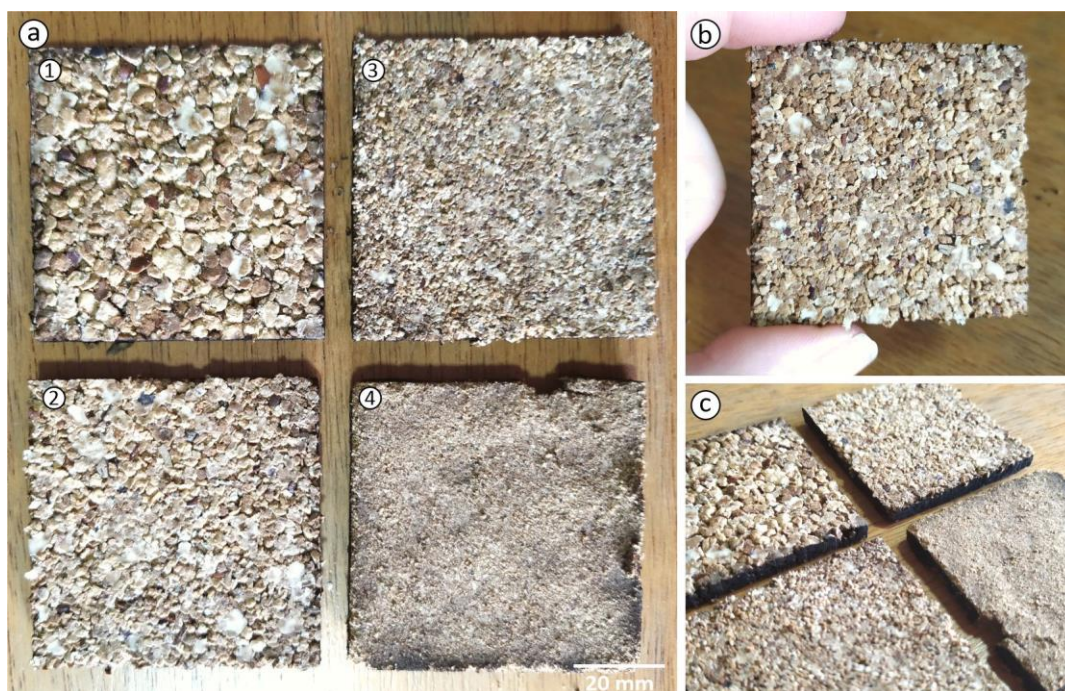
Nos painéis de partículas produzidos com materiais lignocelulósicos a granulometria das partículas determina a maioria das propriedades sensoriais, como a cor, as figuras formadas nas superfícies, as texturas, a sensação ao tato e o acabamento superficial. De modo geral, as partículas mais finas permitem um maior adensamento e equalização de densidade nas faces dos produtos (BELINI, et al., 2014), resultando em painéis com superfícies mais regulares e homogêneas. Já as partículas com granulometrias maiores produzem painéis com acabamento superficial mais texturizado e com maior variedade de elementos gráficos na superfície.

Com relação às partículas de porongo, foram produzidas quatro granulometrias diferentes: 10, 16, 30 mesh e pó (Figura 72). Pode-se observar que a coloração mais clara do mesocarpo dos frutos predomina e a camada mais escura do exocarpo fica mais difícil de ser visualizada nas partículas. O formato predominante é o esférico, que pode ser observado mais claramente nas partículas com maiores dimensões (10 mesh). O formato é distinto do observado nas partículas de madeira, que são mais longas e finas devido ao formato das fibras que formam a microestrutura. O formato esférico das partículas de porongo está relacionado à sua microestrutura, formada por células

prismáticas com seção hexagonal (Figura 28a), similares à microestrutura da cortiça.

A Figura 83 apresenta amostras medindo 50 x 50 mm dos painéis de partículas de porongo com amido e glicerol. As variações nas propriedades sensoriais são facilmente visualizadas nos painéis produzidos com diferentes granulometrias de partículas. As características de formato e de cor ficam mais evidentes nas partículas de 10 mesh (Figura 83a-1) e 16 mesh (Figura 83a-2), respectivamente. Quanto menor a granulometria das partículas, mais homogênea a superfície e mais difícil de observar as particularidades da matéria-prima, de modo que o painel produzido a partir do pó do porongo (Figura 83a-4) não apresentou propriedades sensoriais diferenciadas.

Figura 83: Painéis de partículas de porongo com amido e glicerol: a) Amostras dos painéis medindo 50 x 50 mm (1 – 10 mesh, 2 – 16 mesh, 3 – 30 mesh, 4 – pó); b) Detalhe do painel de partículas de 16 mesh; c) Acabamento superficial dos painéis.



Fonte: autora.

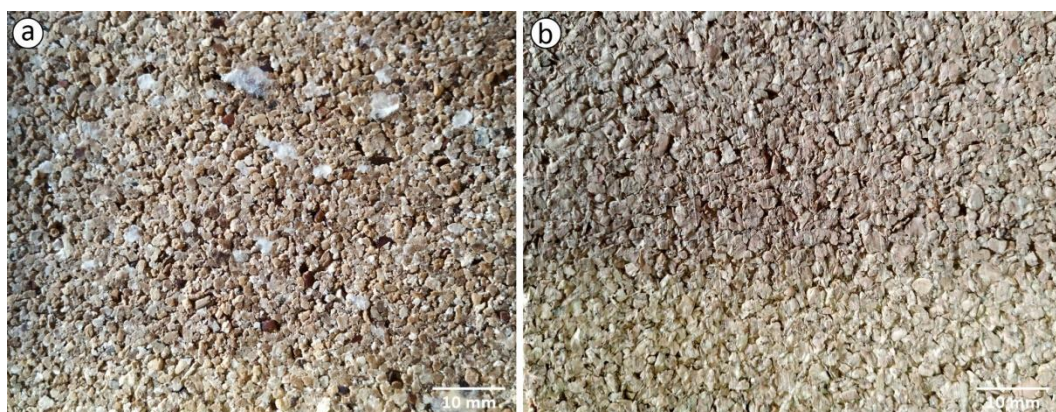
O percentual de 70% de partículas para 30% de matriz de amido e glicerol deixa mais evidente as propriedades sensoriais das partículas, de modo que a matriz não pode ser visualizada no nível macroscópico. Este aspecto difere dos painéis com matriz de

amido e glicerol e reforço de fibra de coco produzidos por Ramírez (2011), onde a maior proporção de fibra de coco utilizada foi de 30%, de modo que as propriedades sensoriais da matriz se sobressaíram às das fibras.

Com relação à coloração final dos painéis, a matriz de amido e glicerol não interferiu na percepção da cor das partículas, entretanto, o ciclo de prensagem alterou um pouco a coloração final dos painéis. As partículas de porongo antes do ciclo de prensagem (Figura 72 e Figura 78) apresentam predominantemente a coloração clara do mesocarpo do fruto. Após a aplicação de calor e pressão por 15 minutos, a superfície dos painéis apresentou uma coloração um pouco mais escura, o que fica mais evidente nos painéis produzidos com o pó do porongo (Figura 83a 4).

A similaridade observada entre a microestrutura das células do mesocarpo do porongo e da cortiça (Figura 28) também pode ser observada em nível macroscópico. Os atributos estéticos dos painéis de partículas de porongo (Figura 84a) são muito similares aos dos painéis aglomerados de cortiça (Figura 84b). O formato das partículas, a coloração e o acabamento superficial dos painéis é bem similar e fica mais visível nas partículas de granulometria 10 e 16 mesh (Figura 84a).

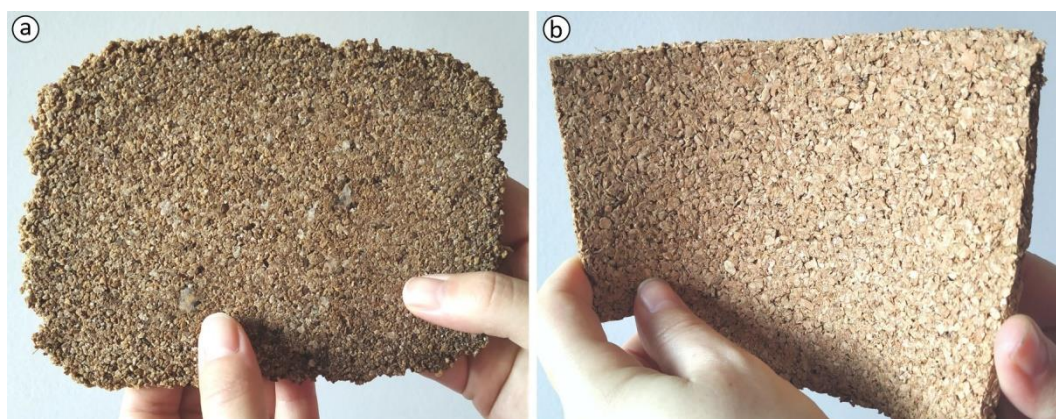
Figura 84: Detalhe da superfície dos painéis: a) Painel de partículas de porongo com granulometria de 16 mesh; b) Painel aglomerado de cortiça.



Fonte: autora.

Assim como a semelhança entre a microestrutura das duas matérias-primas pode ser observada em nível macroscópico, também as diferenças entre a composição química do porongo e da cortiça ficam visíveis na estrutura dos painéis de partículas. As paredes celulares da cortiça são compostas por suberina, responsável pela capacidade do material de sofrer grandes deformações sem expansão lateral e com substancial recuperação após a liberação da tensão aplicada (GIL, 2015). Já no porongo foi identificada a presença de lignina nas paredes celulares, com redução progressiva da substância nas camadas mais internas (NEJELISKI, 2015). A lignina é responsável pela dureza e resistência do material. A Figura 85 compara a deformação dos dois painéis.

Figura 85: Capacidade de deformação dos painéis: a) Rigidez do painel de partículas de porongo; b) Flexibilidade e deformação do painel de cortiça.



Fonte: autora.

Os painéis de partículas de porongo apresentam estabilidade dimensional e rigidez (Figura 85a) e possuem baixa capacidade de deformação, de modo que qualquer força aplicada pode comprometer a estrutura do painel. Já os painéis aglomerados de cortiça são caracterizados pela flexibilidade (Figura 85b) e capacidade de recuperação após a liberação da tensão aplicada. Com base nessas características, os painéis de partículas de porongo podem ser utilizados em aplicações não estruturais, que não sejam submetidas à aplicação de forças e deformação.

### 4.3.2 Parâmetros para Corte a Laser

A utilização da tecnologia de corte e gravação a laser é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos industriais ou manufaturados provenientes de materiais naturais. Por se tratar de uma ferramenta ágil, prática, de fácil manipulação e que apresenta bons resultados, torna-se possível o desenvolvimento de diferentes tipos de cortes, desenhos, formas e texturas. Assim, reutilizam-se as sobras da produção na elaboração de produtos diferenciados que geram renda. Cada material interage com o laser de forma específica, tendo como resultado desse processo produtos relacionados às condições de corte e gravação previamente estipuladas (SOARES et al., 2016).

Os testes de corte e gravação a laser foram realizados nas dependências do LEP (Laboratório de Experimentos em Prototipagem), situado no IFSul, Campus Pelotas, RS. A máquina de corte e gravação a laser é da marca Mafran, modelo MF 6040 de 60 watts de potência de corte e área de trabalho de 409 x 612 mm (Figura 86). O equipamento é indicado para corte e gravação em madeira, MDF, acrílico, tecido, couro, feltro, papel, vidro e mármore e corta materiais com até 10 mm de espessura.

Figura 86: Máquina de corte e gravação a laser utilizada para os testes: a) Parte externa da máquina; b) Parte interna com detalhe da mesa de trabalho.



Fonte: autora.

O método utilizado como referência para a obtenção dos parâmetros de corte e gravação a laser foi o proposto por Cidade (2016), dividido em cinco etapas: requisitos, vetores, lentes, distância focal e padronização. A primeira etapa está relacionada com a definição dos requisitos. A escolha do material utilizado está relacionada com sua composição química e as propriedades físicas e deve estar alinhada às limitações técnicas do equipamento de laser a ser utilizado. Os painéis de partículas de porongo não possuem precedentes de definição de parâmetros de corte e gravação a laser, sendo necessária a realização dos testes. A partir daí torna-se necessário seguir o processo de obtenção e análise dos parâmetros, de modo que o material requisitado corresponda a uma alternativa totalmente nova ao projetista.

A segunda etapa é de desenvolvimento de vetores para a aplicação nos testes, onde é definida a complexidade do traçado em termos de proximidade e quantidade de linhas, bem como às dimensões externas totais. Com as características do projeto definidas, passa-se para a escolha da lente apropriada. Para uma melhor qualidade do corte ou da gravação é recomendado sempre utilizar a lente com menor área de trabalho e, conseqüentemente, com a menor distância focal possível para obter um traçado mais uniforme no desenvolvimento do processo (CIDADE, 2016).

O processo consiste na execução, com potência máxima do equipamento, de linhas paralelas, variando-se a velocidade. A potência máxima, medida em watts, é inicialmente utilizada com o intuito de aumentar a velocidade de execução do processo de gravação, permitindo assim, que mais peças sejam gravadas. A velocidade do feixe, definida em metros por minuto, é variada progressivamente para cada linha, para comparação visual ou instrumental dos melhores resultados (CIDADE, 2016). Inicialmente foram realizados os testes de corte a laser nos painéis de partículas de porongo com amido e glicerol. Os parâmetros utilizados são apresentados na Tabela 8.



Tabela 8: Parâmetros para os testes de corte a laser nos painéis de partículas de porongo.

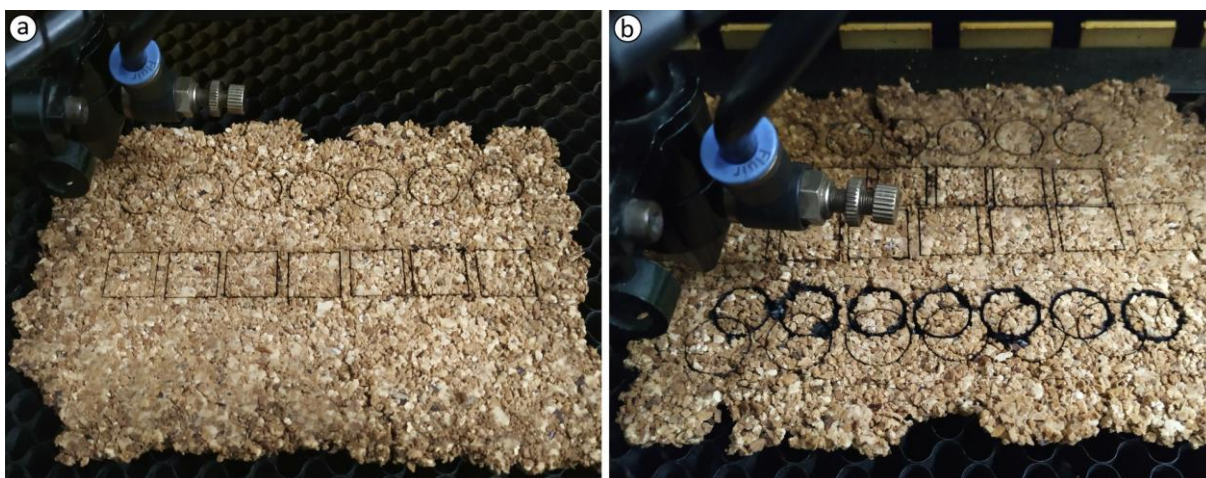
<b>Etapa da metodologia</b>	<b>Especificações da etapa</b>	<b>Especificações do material</b>
<b>1. Requisitos</b>	Material	Painéis de partículas de porongo com amido e glicerol
	Características	Densidade de 0,5 g/cm <sup>3</sup> e 5 mm de espessura
	Projeto	Corte de peças em diferentes formatos
<b>2. Vetores</b>	Extensão do arquivo	.dxf (Drawing Exchange Format)
	Exportação	.plt (software Auto Laser)
<b>3. Lentes</b>	Dimensões	18 mm de diâmetro
	Detalhes	Distância focal de 50.8
<b>4. Distância focal</b>	Altura da mesa	6 mm
	Espessura do material	5 mm
<b>5. Padronização</b>	Potência	30 a 90 watts
	Velocidade	100, 50, 25 m/min

Fonte: autora.

Para os testes de corte a laser foram escolhidos dois formatos de vetores: círculos e quadrados, a fim de comparar o comportamento do laser em formatos orgânicos e com ângulos retos. O primeiro teste de corte a laser foi realizado em um painel com partículas de 10 mesh, com sete figuras iguais em cada linha, quais sejam, 7 quadrados e 7 círculos (Figura 87a). A potência inicial utilizada foi de 30 watts, aumentando progressivamente de dez em dez, até chegar a 90 watts. Por se tratar do primeiro teste, foi utilizada a velocidade de 100 m/min de corte.

Como resultado, o laser só marcou a superfície do painel e o corte não chegou a ser realizado, pois o laser não ultrapassou a espessura do painel (Figura 87a). A nitidez das linhas na superfície do painel foi fraca e sem grandes variações entre as diferentes potências. Nesse contexto, pode-se concluir que o uso da velocidade máxima do equipamento não foi satisfatório para realizar o corte dos painéis de porongo.

Figura 87: Testes de corte a laser nos painéis: a) Potência 30 a 90 watts, velocidade 100 m/min; b) Potência 30 a 90 watts, velocidade 5 m/min;

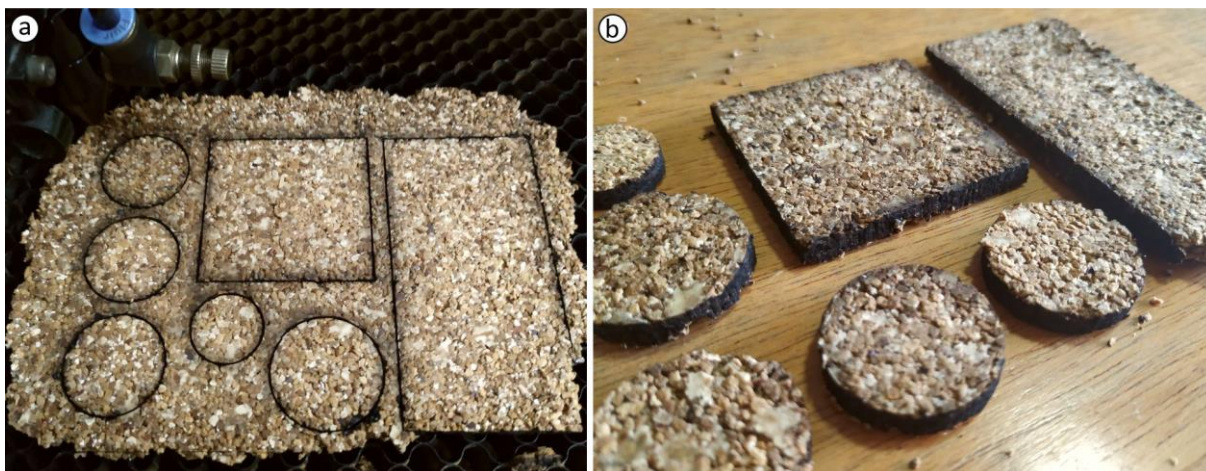


Fonte: autora.

No segundo teste de corte dos painéis foram mantidas as formas, disposição e quantidade dos vetores, bem como a variação da potência de 30 a 90 watts. A velocidade utilizada para o corte foi a mínima, de 5 m/min. Como resultado, a baixa velocidade do laser acabou carbonizando a linha de corte do material (Figura 87b), pois o calor direcionado do laser ficou em contato com a superfície do material durante muito tempo. A carbonização do material foi observada em todas as potências. Assim, as velocidades extremas mostraram-se ineficazes para o corte dos painéis, de modo que os testes seguintes foram realizados com velocidades intermediárias.

Na sequência, foram realizados mais testes de corte nos painéis com diferentes granulometrias de partículas até chegar ao melhor parâmetro para o corte de todos os painéis: potência de 80 watts e velocidade 25 m/min (Figura 88a). Com esse parâmetro de corte foram obtidos os melhores resultados em ambos os formatos de vetores. Os cortes foram passantes em todos os painéis e apresentaram linhas homogêneas, bem como bons resultados de acabamento de borda. Na Figura 88b pode-se observar as amostras dos painéis após o processo de corte a laser, as amostras foram destacadas de maneira uniforme e as bordas ficaram um pouco escuras devido à ação do calor do laser.

Figura 88: Testes de corte a laser nos painéis: a) Potência 80 watts, velocidade 25 m/min; b) Amostras cortadas a laser.



Fonte: autora.

Com relação aos testes de gravação a laser na superfície dos painéis, foram realizados testes com duas velocidades: 100 e 25 m/min. Nos dois parâmetros o laser carbonizou a superfície dos painéis, de modo que os resultados não puderam ser validados e os parâmetros para a gravação a laser não foram definidos.

#### 4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise microestrutural dos painéis foi realizada com o objetivo de avaliar a aglomeração das partículas com a matriz de amido e glicerol e justificar as propriedades sensoriais e físicas. De acordo com Cravo et al. (2015b), o uso da técnica possibilita a análise do aumento na densidade dos painéis com relação às variações nos níveis de partículas e de matriz, possibilitando a discussão das variáveis como absorção de água e inchamento em espessura.

Foram analisadas amostras de painéis de partículas de porongo de duas densidades diferentes: 0,3 e 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Com relação à granulometria, foram analisados painéis de ambas as densidades produzidas com três tamanhos de partículas: 30, 16 e

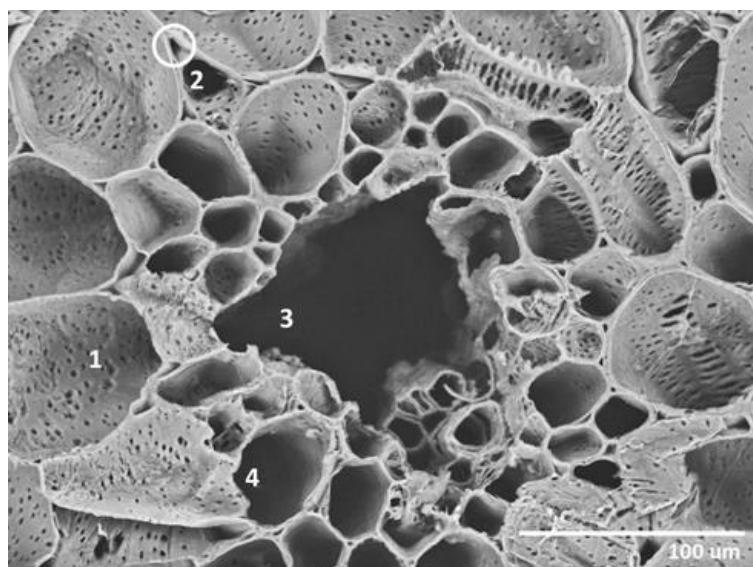
10 mesh. As amostras do painel de densidade  $0,3 \text{ g/cm}^3$  produzido com o pó do porongo se desintegraram e não foi possível fazer a análise das mesmas no MEV, de modo que apenas as amostras de densidade  $0,5 \text{ g/cm}^3$  foram analisadas.

O MEV é um método não destrutivo que permite visualizar a morfologia da superfície dos materiais a partir de amostras sólidas. O equipamento utilizado é da marca Hitachi®, modelo TM 3000, localizado nas dependências do LdSM na UFRGS. A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV, sendo que o equipamento opera com magnificação de imagem de até 30.000 vezes. Foram obtidas imagens eletrônicas do tipo BSE (*backscattered electron* – elétrons retroespalhados).

O objetivo da análise da microestrutura das partículas foi observar a integridade dos principais elementos do mesocarpo do porongo após o processo de trituração e a influência nas propriedades dos painéis. A Figura 89 mostra os elementos do parênquima. Pode-se observar que possuem pontuações através das quais a célula se conecta com as demais (Figura 89-1) e que são constituídas por parede espessada (Figura 89-2). As pontuações observadas nas células do parênquima fazem do porongo um material extremamente poroso, o que acarreta na capacidade de permeabilidade do material a fluídos (NEJELISKI, 2015).

Os feixes vasculares são compostos por floema (Figura 89-3) e xilema (Figura 89-4). O floema aparece como um espaço vazio, pois é constituído por células de parede primária fina que se degradam na preparação das amostras. O floema é responsável pelo transporte da seiva elaborada. Já as células do xilema transportam água e sais minerais. Os feixes vasculares são colaterais e se apresentam espalhados pelo mesocarpo, o que explica o fato de que em um único corte podem aparecer feixes vasculares seccionados em diferentes orientações: transversal, longitudinal ou intermediária (NEJELISKI, 2015).

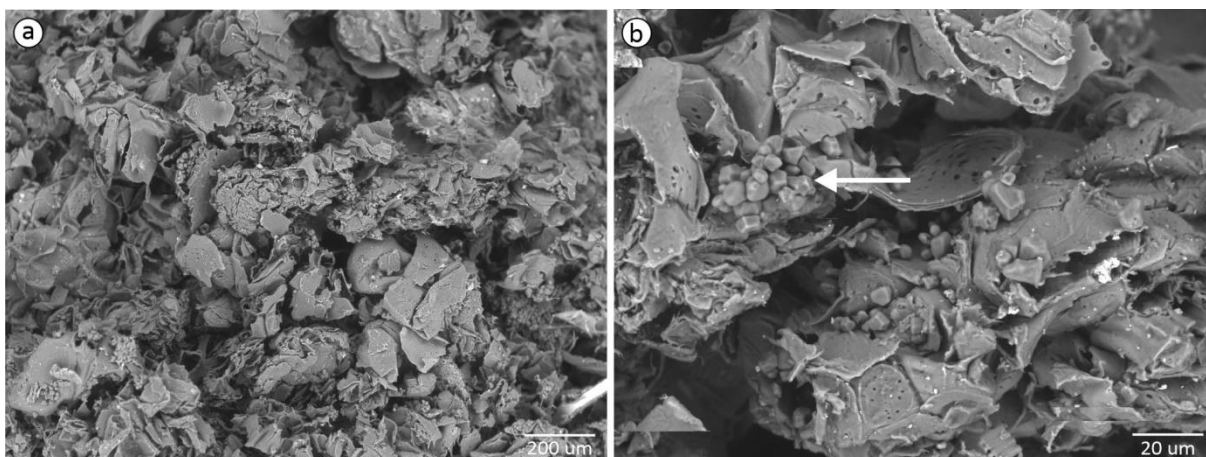
Figura 89: Detalhe dos elementos do parênquima: 1) Célula do parênquima, onde as pontuações são os vasos condutores; 2) Espaço intercelular; 3) Orifício por onde passa o floema; 4) Células condutoras.



Fonte: NEJELISKI, 2015.

O primeiro painel analisado foi o produzido com pó de porongo e densidade 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Na Figura 90a pode-se observar que a trituração do mesocarpo até ser transformado em pó desintegrou os elementos característicos do parênquima, de modo que a estrutura celular foi descaracterizada. A Figura 90b mostra os cristais formados pela matriz de amido e glicerol espalhados entre as partículas trituradas do parênquima.

Figura 90: Painel com pó de porongo e densidade 0,5 g/cm<sup>3</sup>: a) Microestrutura do parênquima descaracterizada; b) Cristais da matriz espalhados entre as partículas (no detalhe).



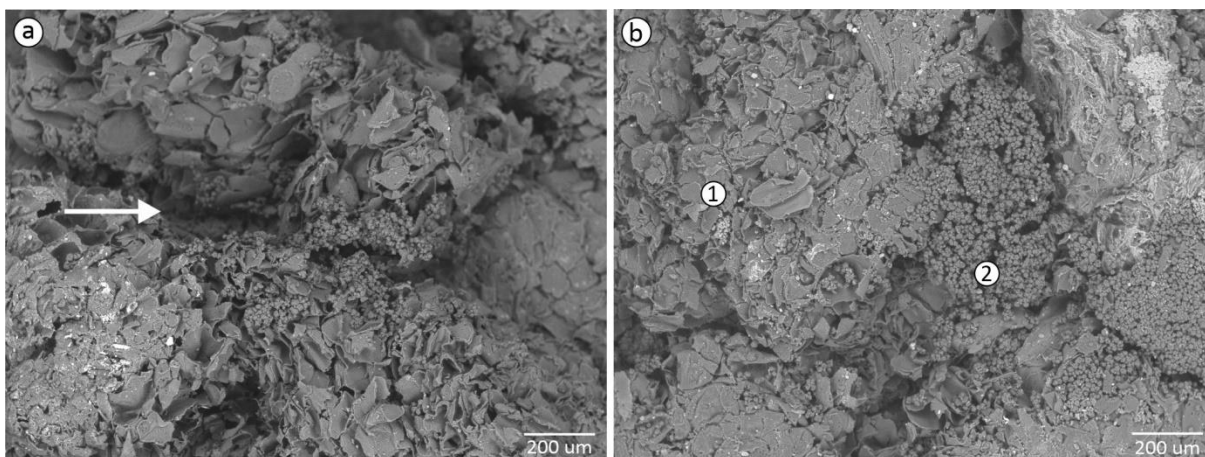
Fonte: autora.

A descaracterização das células do mesocarpo, observadas nas imagens do MEV, é condizente com a análise das propriedades sensoriais dos painéis produzidos com o pó do fruto. Quanto menor a granulometria das partículas, mais homogênea a superfície e mais difícil de observar as particularidades da matéria-prima, de modo que o painel produzido a partir do pó do porongo (Figura 83a-4) não apresentou propriedades sensoriais diferenciadas.

Já os cristais de amido e glicerol espalhados entre as partículas corroboram com a análise macroestrutural da adesão e da estabilidade estrutural dos painéis. Os painéis produzidos com o pó do porongo apresentaram menor adesão entre as partículas e menor estabilidade estrutural, o que se confirmou durante o manuseio dos mesmos, que se desintegraram ainda na remoção das chapas metálicas.

Na sequência foram analisadas as imagens dos painéis produzidos com partículas de granulometria de 30 mesh, com densidades de 0,3 e 0,5 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Figura 91). Comparando as imagens dos dois painéis, com densidades diferentes, é possível observar que a adesão do painel menos denso foi menor, com mais espaços vazios entre as partículas (detalhe da Figura 91a).

Figura 91: Painéis com partículas de 30 mesh: a) Densidade 0,3 g/cm<sup>3</sup> (no detalhe, fraca adesão entre as partículas; b) Densidade 0,5 g/cm<sup>3</sup> (1-partículas de porongo; 2-matriz de amido e glicerol).

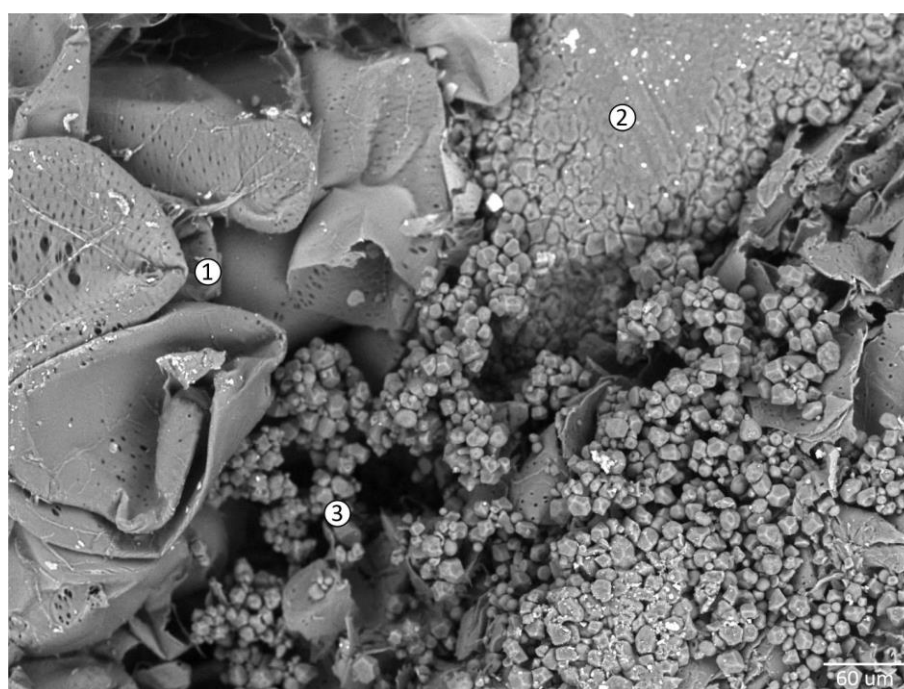


Fonte: autora.

Os painéis com densidade de  $0,3 \text{ g/cm}^3$  foram produzidos com uma quantidade menor de partículas e matriz, o que explica a maior incidência de espaços vazios e, conseqüentemente, menores adesão e estabilidade estrutural dos painéis. Já no painel de densidade  $0,5 \text{ g/cm}^3$  é possível observar as partículas (Figura 91b-1) unidas através de um aglomerado de cristais da matriz de amido e glicerol (Figura 91b-2). Também é possível observar que os espaços vazios entre as partículas são menos recorrentes do que os observados no painel menos denso, o que indica que a adesão é maior.

As partículas de granulometria 16 mesh foram as segundas maiores utilizadas, menores que as de 30 mesh. Na análise das propriedades sensoriais, os painéis produzidos com estas partículas apresentaram características estéticas próprias associadas ao formato e tamanho das partículas (Figura 83a-2). No painel de partículas de 16 mesh e densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  é possível observar as células do parênquima do porongo com todos os elementos, inclusive as pontuações de comunicação (Figura 92-1).

Figura 92: Painel com partículas de 16 mesh e densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ : 1-Estrutura das células do parênquima, 2-Aglomerado da matriz; 3-Cristais da matriz.



Fonte: autora.

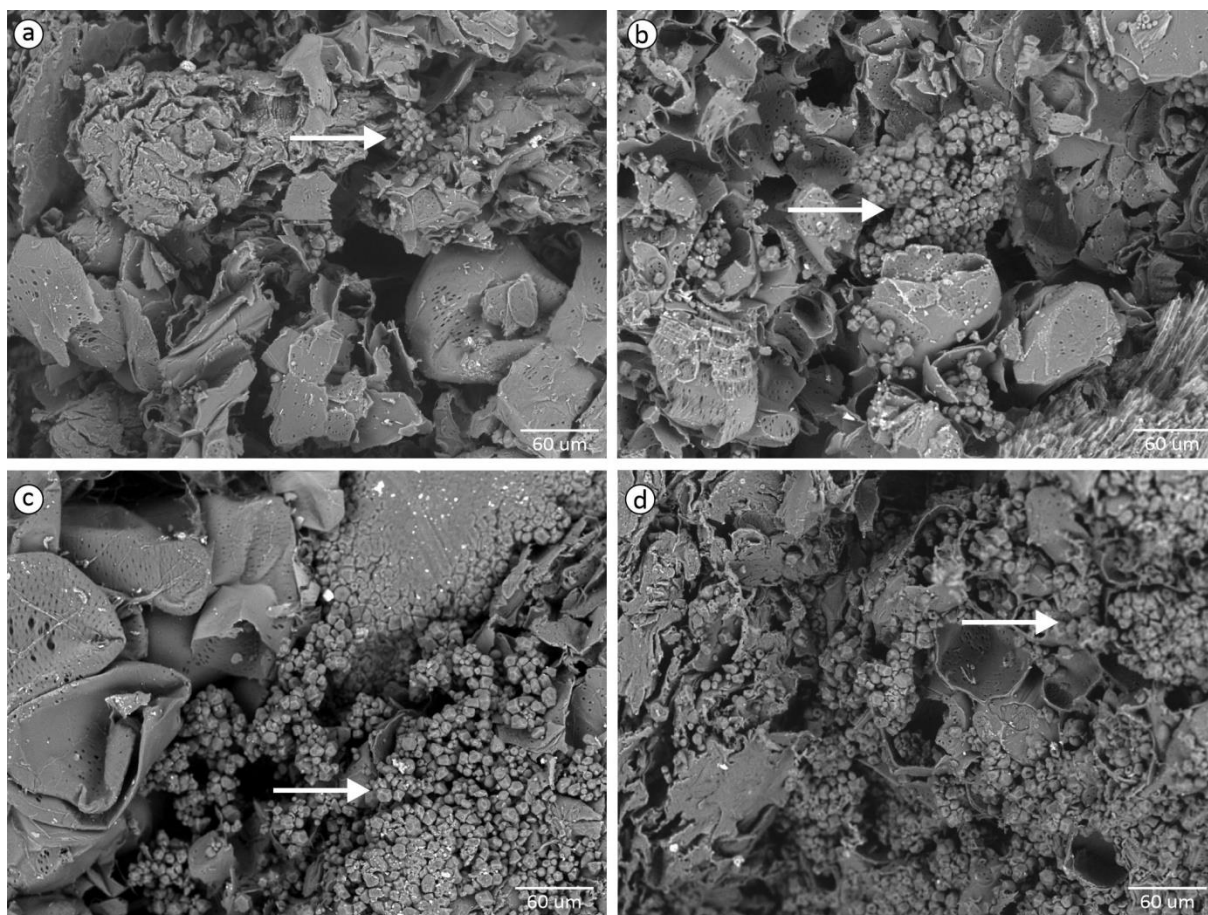
Com relação à microestrutura da matriz de amido e glicerol, a mesma se apresenta na forma de cristais (Figura 92-3), o que indica que o processo de termoplastificação não ocorreu. Mesmo na região onde pode ser observado um aglomerado indicando maior contato com calor e pressão (Figura 92-2), os cristais ainda são visíveis. Com base nas imagens de MEV realizadas por Ramírez (2011), a formação dos cristais observada nos painéis de porongo é similar à microestrutura do amido puro encontrada pela autora e muito distinta da microestrutura da matriz dos biocompósitos de fibra de coco, homogênea e sem a presença de cristais (RAMÍREZ, 2011).

O fato de o processo de termoplastificação não ter ocorrido nos painéis de porongo pode ser explicado por dois fatores: o baixo percentual de matriz com relação ao percentual de partículas e as propriedades isolantes do material. A proporção de 30% de matriz para 70% de partículas de porongo é o inverso da utilizada por Ramírez (2011). O alto percentual de partículas com propriedades isolantes pode ter influenciado na transmissão de calor, fundamental para que a plastificação da matriz ocorresse.

Ao comparar imagens dos painéis de densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  produzidos com diferentes granulometrias de partículas de porongo, é possível observar que em todos eles o processo de termoplastificação não ocorreu e que a matriz de amido e glicerol aparece na forma de cristais (Figura 93). A diferença entre os painéis é a forma como a matriz se distribui. No painel produzido com o pó do porongo os cristais da matriz estão espalhados entre as partículas (Figura 93a). Já no painel produzido com partículas de 30 mesh é possível observar pequenas aglomerações dos cristais da matriz (Figura 93b). No painel com partículas de 16 mesh (Figura 93c) é possível observar regiões onde os cristais da matriz estão aglomerados, em volta das células do parênquima. Por fim, no painel de partículas de 10 mesh (Figura 93d) podem-se observar os cristais da matriz acumulados dentro dos espaços vazios das células do parênquima.



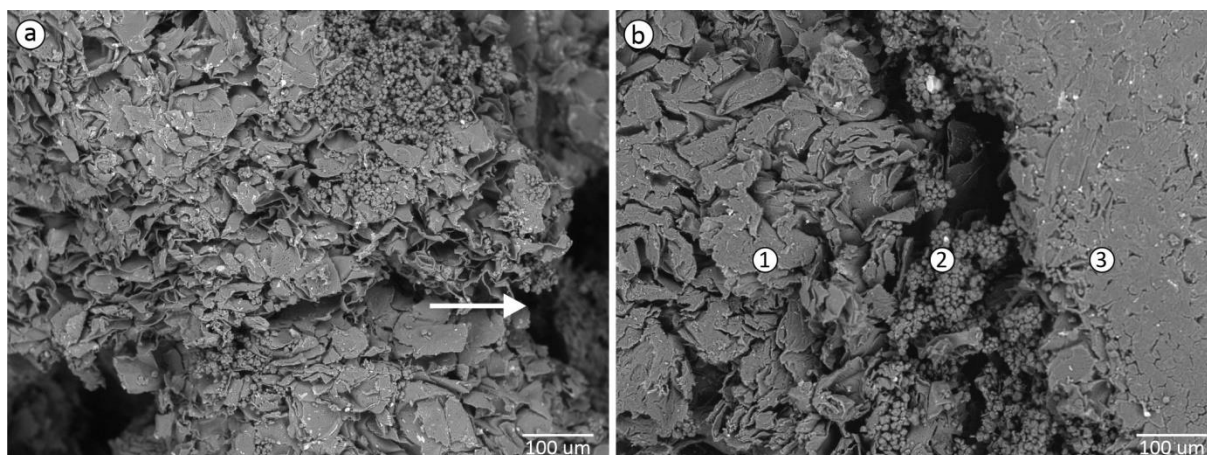
Figura 93: Painéis com densidade de 0,5 g/cm<sup>3</sup>: a) Pó de porongo; b) Partículas de 30 mesh; c) Partículas de 16 mesh; d) Partículas de 10 mesh.



Fonte: autora.

Na sequência foram analisadas as imagens dos painéis produzidos com partículas de granulometria de 16 mesh, com densidades de 0,3 e 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Com o aumento da granulometria, as variações na adesão entre as partículas nos painéis de diferentes densidades ficaram mais evidentes. Conforme a granulometria das partículas aumenta, o formato arredondado das mesmas fica mais visível, o que pode ser observado a nível macroscópico, na superfície dos painéis. O formato característico das partículas de porongo favorece a formação de espaços vazios, facilmente observados nos painéis menos densos (Figura 94a). Se a quantidade de espaços vazios entre as partículas é maior, a adesão entre as mesmas é mais fraca.

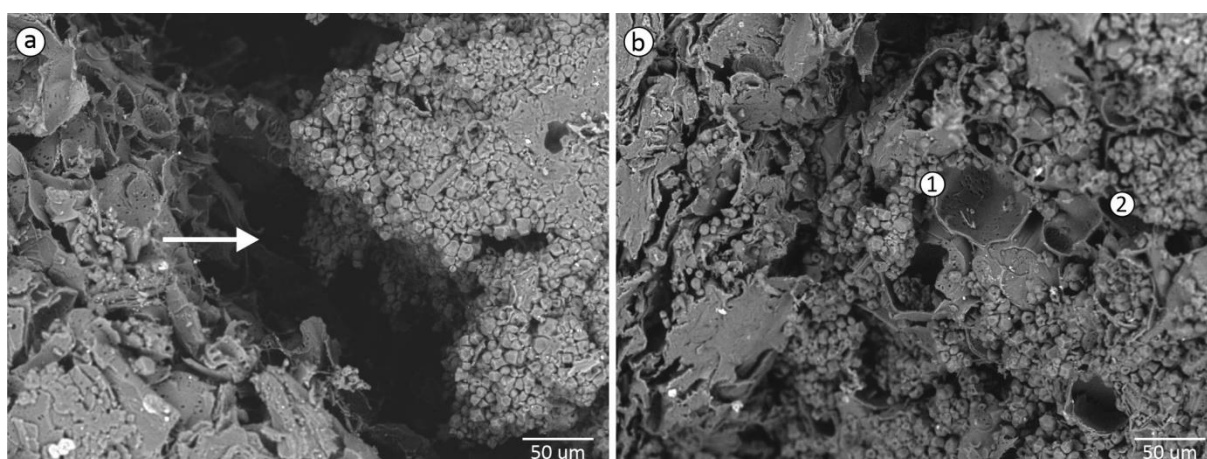
Figura 94: Painéis com partículas de 16 mesh: a) Densidade  $0,3 \text{ g/cm}^3$  (fraca adesão entre as partículas); b) Densidade  $0,5 \text{ g/cm}^3$  (1-partículas de porongo; 2-matriz de amido e glicerol; 3-superfície do painel).



Fonte: autora.

Por fim, foram analisadas as imagens dos painéis produzidos com as partículas de maior granulometria, 10 mesh, com densidades de  $0,3$  e  $0,5 \text{ g/cm}^3$ . Assim como pôde ser observado nos demais painéis de menor densidade, os espaços vazios entre as partículas indica a fraca adesão entre as mesmas (Figura 95a). Devido à maior granulometria das partículas, os elementos que compõe a microestrutura do mesocarpo do porongo se mantiveram inteiros. Podem-se observar células do parênquima vazias (Figura 95-1) e outras preenchidas com os cristais da matriz (Figura 95-2).

Figura 95: Painéis com partículas de 10 mesh: a) Densidade  $0,3 \text{ g/cm}^3$  (fraca adesão entre as partículas); b) Densidade  $0,5 \text{ g/cm}^3$  (1-cavidade vazia do parênquima; 2-cavidade preenchida com cristais da matriz).



Fonte: autora.

O fato de os cristais da matriz de amido e glicerol estarem alojados dentro dos espaços vazios do parênquima indica que não houve uma distribuição regular da matriz entre as partículas. Esse aspecto corrobora com a fraca adesão e a baixa estabilidade estrutural observadas nos painéis com partículas de 10 mesh. De modo geral, os aspectos observados nas imagens da microestrutura dos painéis estão alinhados à análise das propriedades sensoriais. Os painéis com densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$  apresentaram melhores resultados de adesão entre as partículas e de estabilidade estrutural, o que se deve à maior quantidade de material utilizada na produção.

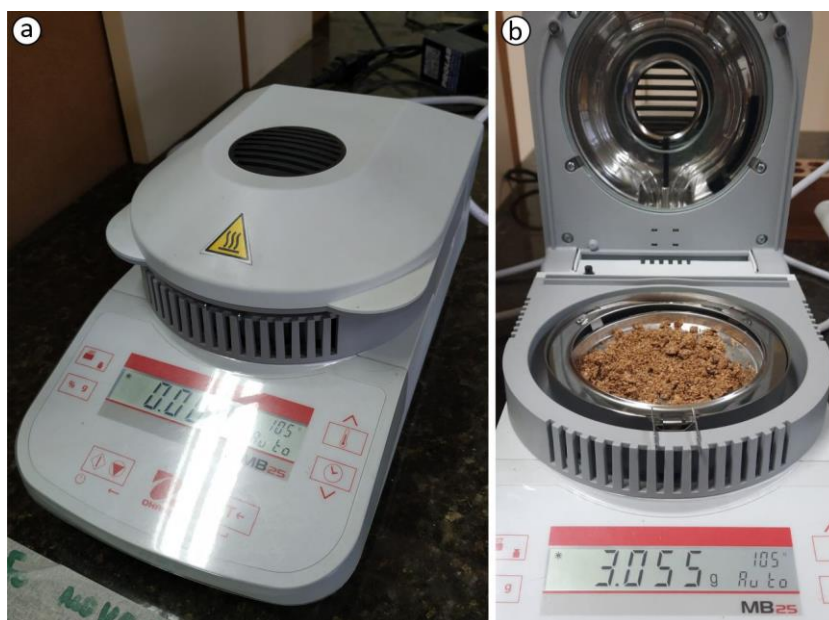
Os painéis produzidos com o pó do porongo foram os que apresentaram menor adesão entre as partículas e menor estabilidade estrutural, bem como atributos estéticos distantes das propriedades sensoriais da matéria-prima. A partir das imagens do MEV, pôde-se concluir que a trituração do mesocarpo até se transformar em pó descaracteriza os elementos da microestrutura e as propriedades dos painéis. Do mesmo modo, os painéis produzidos com partículas de maior granulometria, de 10 mesh, também apresentaram fraca adesão e baixa estabilidade estrutural. Entretanto, o motivo se deve ao fato de os cristais da matriz se depositarem dentro das células do parênquima e não entre as partículas, como seria o esperado.

#### **4.3.4 Propriedades Físicas**

A determinação das principais propriedades físicas dos painéis de partículas de porongo com matriz de amido e glicerol foi realizada a partir dos ensaios de teor de umidade, densidade do painel, absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE). Os ensaios foram realizados nas dependências do LAPAM, UFPel. A determinação das propriedades físicas foi realizada a partir de uma amostra de cada granulometria de painel (partículas 10 mesh, 16 mesh, 30 mesh e pó de porongo), sem repetições.

O teor de umidade de uma amostra sólida de material corresponde à relação entre a massa de água nela contida e a massa do material seco (ABNT, 1997). O teor de umidade das amostras dos painéis de partículas de porongo foi avaliado por meio do analisador de umidade Ohaus, modelo MB23 com fonte halógena de aquecimento (Figura 96a). As amostras dos painéis foram trituradas e colocadas no recipiente interno do equipamento (Figura 96b). Foram utilizadas aproximadamente 3 gramas de cada painel para realizar a medição.

Figura 96: Determinação do teor de umidade: a) Analisador de umidade Ohaus; b) Amostra triturada do painel na parte interna do equipamento.



Fonte: autora.

Após a colocação da amostra triturada no recipiente interno, o equipamento é fechado e acionado. Toda a umidade da amostra é removida através da evaporação e o teor de umidade é mensurado. A duração do processo é variável, quanto maior o teor de umidade, mais tempo leva a determinação, variando de minutos até horas. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para o teor de umidade dos painéis de partículas.

Tabela 9: Teor de umidade dos painéis de partículas de porongo.

<b>Amostra</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
<b>P. pó</b>	19,19
<b>P. 10 mesh</b>	17,81
<b>P. 16 mesh</b>	19,09
<b>P. 30 mesh</b>	17,87

Fonte: autora.

O teor de umidade dos painéis de partículas de porongo variou entre 17% e 19%, percentual alto se comparado ao teor de umidade encontrado para amostras de porongo, uma média de 10,9% (NEJELISKI, 2015). O teor de umidade de madeiras como angelim, cedro mara, garapeira, entre outras, variam entre 10,34% e 14,10% (RASEIRA, 2013). Os altos índices de teor de umidade encontrados para as amostras dos painéis podem estar relacionados a vários fatores. A granulometria das partículas pode ser um deles, já que a trituração da matéria-prima favorece a absorção de água. Outro fator é a matriz de amido e glicerol, que tem propensão a reter mais umidade (RAMÍREZ, 2011).

No processo de produção dos painéis, na etapa de especificações, é determinada a densidade nominal do painel e a partir desse parâmetro são definidas as dimensões da caixa formadora e a quantidade de material que será utilizada (Figura 67). Durante o ciclo de prensagem, devido à ação do calor e da pressão, a densidade nominal do painel pode se alterar. Por isso, uma das propriedades físicas analisadas é a densidade do painel após o processo produtivo.

Para os ensaios foram utilizados corpos de prova medindo 50 x 50 mm e 5 mm de espessura, sendo uma amostra para cada granulometria de painel (partículas 10 mesh, 16 mesh, 30 mesh e pó de porongo). A densidade do painel é calculada a partir da razão entre o peso após 24 horas de imersão em água e o volume do painel, de acordo com a equação abaixo:

$$Dp = \frac{Pf}{Vf} \text{ g/cm}^3$$

*Pf* Peso após 24 horas de imersão em água em gramas

*Vf* Volume do painel

A Tabela 10 apresenta os resultados das medidas dos parâmetros avaliados para a determinação da densidade dos painéis.

Tabela 10: Densidade dos painéis de partículas de porongo.

Amostra	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
<b>P. pó</b>	5,206	50,92	50,25	6,1209	0,46
<b>P. 10 mesh</b>	5,642	50,72	50,47	6,6996	0,46
<b>P. 16 mesh</b>	5,400	50,68	51,00	6,3509	0,46
<b>P. 30 mesh</b>	5,300	51,00	50,81	5,8413	0,43

Fonte: autora.

A densidade média encontrada para os painéis foi de 0,46 g/cm<sup>3</sup>, muito próxima da densidade nominal definida para a produção dos painéis (0,5 g/cm<sup>3</sup>). Apenas o painel de partículas de granulometria 30 mesh apresentou densidade um pouco mais baixa, de 0,43 g/cm<sup>3</sup>. Assim, os painéis de partículas de porongo se enquadram na categoria de baixa densidade, de acordo com a classificação de Iwakiri (2005). Segundo o autor, os painéis de baixa densidade vão até 590 kg/m<sup>3</sup>, de média densidade vão de 600 kg/m<sup>3</sup> até 790 kg/m<sup>3</sup> e alta densidade ficam acima de 800 kg/m<sup>3</sup>.

A baixa densidade na produção de painéis de partículas é uma propriedade importante quando se utiliza resíduos agrícolas como matéria-prima. Os resíduos agrícolas apresentam vantagens como o baixo custo, a biodegradabilidade e, principalmente, a baixa densidade, diretamente relacionada com a baixa condutividade térmica, propriedade essencial para a caracterização de um material como isolante. Carvalho et al. (2014), sobre o bagaço de cana, explicam que as propriedades de baixa densidade e baixa condutividade térmica do resíduo faz com que possa ser caracterizado

como material isolante.

A densidade do porongo é extremamente baixa, uma média de 0,124 g/cm<sup>3</sup> (NEJELISKI, 2015), similar à densidade de espumas poliméricas como o PVC (0,09 a 0,130 g/cm<sup>3</sup>) e o PU (0,08 a 0,150 g/cm<sup>3</sup>) (ASHBY; JOHNSON, 2011). A baixa densidade do porongo é resultado da organização da microestrutura, formada por grandes células vazias (poros) que se comunicam através de vários canais. A microestrutura e, conseqüentemente, a baixa densidade, caracterizam-no como uma matéria-prima muito leve e com propriedades isolantes. Desse modo, a viabilidade de produção de painéis de partículas de porongo de baixa densidade possibilita explorar de outras maneiras as propriedades sensoriais e técnicas inerentes da matéria-prima.

Para os ensaios de absorção de água e inchamento em espessura também foram utilizados corpos de prova medindo 50 x 50 mm e 5 mm de espessura, sendo uma amostra de cada granulometria (partículas 10 mesh, 16 mesh, 30 mesh e pó de porongo). O ensaio de AA consiste na mensuração do aumento da massa (em água) que um corpo de prova do material apresenta, após ser imerso em água a 20 ± 1 ° C pelo tempo de 24h ± 36 min (ABNT, 2014).

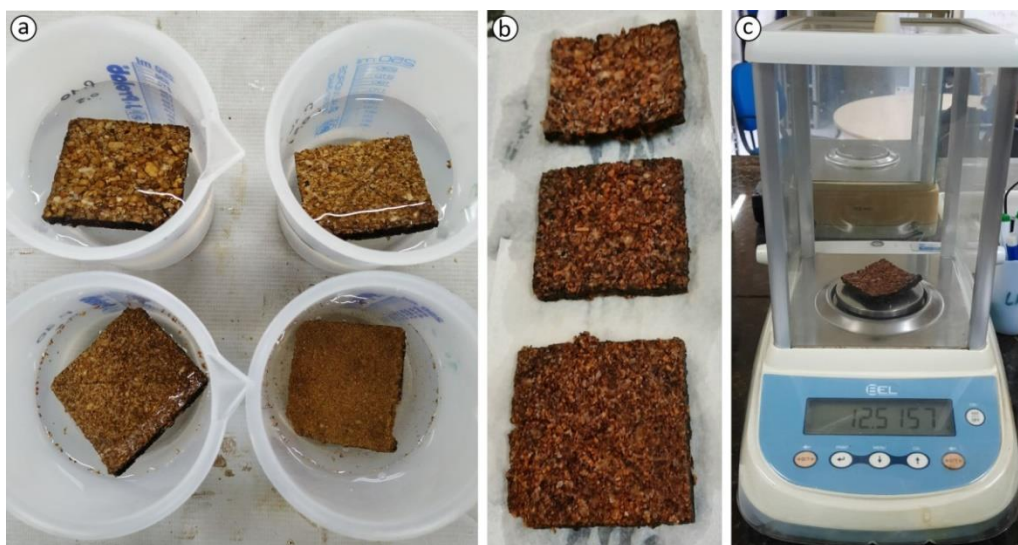
$$AA = \frac{(Pf - Pi)}{Pi} \times 100(\%)$$

*Pi* Peso inicial em gramas

*Pf* Peso após 24 horas de imersão em água em gramas

A Figura 97 mostra as etapas do ensaio de AA. Um corpo de prova de cada granulometria foi pesado na balança de precisão e imerso na água (Figura 97a). Após 24 horas de imersão, a amostra do painel de pó de porongo se desintegrou, restando as outras três amostras (Figura 97b). Por fim, foi realizada a pesagem final das amostras (Figura 97c), após 24 horas imersas na água.

Figura 97: Ensaio de absorção de água: a) Corpos de prova imersos na água; b) Corpos de prova após 24 horas de imersão; c) Amostra na balança de precisão.



Fonte: autora.

Os painéis produzidos com o pó do porongo foram os que apresentaram menor estabilidade estrutural em temperatura ambiente. Quando imerso na água, o corpo de prova do painel se desintegrou. Já os painéis produzidos com as partículas de granulometria 10, 16 e 30 mesh mantiveram-se estáveis após 24 horas imersos na água (Figura 97b). A Tabela 11 apresenta os dados das medições do ensaio de AA, realizados após 2 horas e após 24 horas de imersão.

Tabela 11: Absorção de água dos painéis de partículas de porongo.

Amostra	Peso (g)	Peso 2h (g)	AA 2h (%)	Peso 24h (g)	AA 24h (%)
P. pó	6,1209	-	-	-	
P. 10 mesh	6,6996	10,2735	53,34	12,5156	86,81
P. 16 mesh	6,3509	11,8250	86,19	14,5752	129,50
P. 30 mesh	5,8413	13,0983	124,24	16,1410	176,33

Fonte: autora.

De modo geral, os corpos de prova apresentaram altos índices de absorção de água logo após a primeira pesagem, realizada após duas horas de imersão, o que indica que os painéis são hidrofílicos e o processo de absorção de água se dá de maneira



rápida. Os resultados estão condizentes com os percentuais de AA encontrados por Ramírez (2011), que diminuíram de acordo com o aumento da proporção de fibra de coco, variando entre 86% a 214%. Ainda, os índices de AA encontrados para o porongo *in natura* também foram altos, cerca de 150% após 24 horas de imersão (NEJELISKI, 2015). Considerando os altos índices de AA da matriz e das partículas a tendência é que os painéis resultantes também apresentem altos índices de absorção de água.

Os painéis produzidos com as partículas de maior granulometria (10 mesh), ou seja, as partículas com maiores dimensões apresentaram os menores índices de AA (Tabela 11). Assim, pode-se inferir que quanto maiores as dimensões das partículas, mais conservada a microestrutura das células do parênquima e mais devagar a água se espalha através dos canais de comunicação das células, preenchendo os espaços vazios dos poros que formam o mesocarpo (Figura 79).

De acordo com a análise das imagens do MEV, as partículas de granulometria 10 mesh apresentam a estrutura das células do parênquima mais conservadas criando um espaço para a deposição dos cristais da matriz de amido e glicerol (Figura 95b). Assim, o acúmulo da matriz dentro das células do parênquima pode bloquear os canais de comunicação intercelular e tornar o processo de absorção de água mais lento. Em contrapartida, as partículas de granulometria de 16 e 30 mesh apresentam a estrutura das células do parênquima mais segmentada e a matriz de amido e glicerol mais espalhada, o que pode acelerar o processo de absorção de água.

Segundo Binici, Aksogan e Demirhan (2016), a densidade dos painéis influencia os índices de AA, de modo que quanto maior a densidade, menor a absorção de água. Os autores produziram painéis isolantes de sabugo de milho e resina epóxi e observaram que os menores valores de AA foram obtidos para as amostras preparadas com pressão de compactação mais alta, resultando em compósitos com estrutura mais compacta e

menos vazios. Os altos valores de AA das amostras foram, naturalmente, acompanhados por menores coeficientes de condutividade térmica. Portanto, à medida que a densidade aumenta, ocorre uma diminuição na absorção de água e um aumento no valor da condutividade térmica do painel (BINICI; AKSOGAN; DEMIRHAN, 2016).

Ramírez (2011) reitera que a estabilidade dimensional de um painel produzido com matriz à base de amido termoplástico em uma condição de alta umidade é uma propriedade muito importante que afeta o desempenho final do material. Ainda, a absorção de umidade e, em consequência, o inchamento em espessura podem ocasionar mudanças nas dimensões de um produto específico durante o seu período de serviço, o que pode ser uma desvantagem quando comparado com produtos similares produzidos com materiais sintéticos.

Nesse contexto, a mensuração do percentual de IE dos painéis de partículas de porongo com matriz de amido e glicerol é importante para a caracterização do material. O ensaio de inchamento em espessura avalia o percentual de alteração entre a espessura inicial do painel e a espessura após 24 horas de imersão em água. O objetivo é analisar como a absorção de água altera todas as dimensões do painel. O cálculo do inchamento em espessura é realizado a partir da seguinte equação:

$$IE = \frac{(Ef - Ei)}{Ei} \times 100(\%)$$

*Ei* Espessura inicial em mm

*Ef* Espessura após 24 horas de imersão em água em mm

As espessuras inicial e final dos painéis são mensuradas com auxílio de um equipamento específico para a função (Figura 98). É necessário fazer a marcação do centro do painel e posicioná-lo o mais centralizado possível no sensor.

Figura 98: Equipamento utilizado para a medição da espessura dos painéis.



Fonte: autora.

A Tabela 12 apresenta os resultados do ensaio de IE dos painéis de partículas de porongo. O painel produzido com o pó da matéria-prima se desintegrou, por isso não constam as medições após 24 horas de imersão na água. Para os demais painéis, os resultados foram similares aos encontrados para a absorção de água no sentido de que o painel de partículas com granulometria de 10 mesh apresentou valores inferiores de inchamento em espessura. Considerando a conservação da microestrutura do parênquima nas partículas de 10 mesh, a hipótese é de que a água se acumula dentro das células e não altera as dimensões do material.

Tabela 12: Inchamento em espessura dos painéis de partículas de porongo.

Amostra	Espessura (mm)	Espessura 24 h (g)	IE 24h (%)
P. pó	5,206	-	-
P. 10 mesh	5,642	5,9100	4,75
P. 16 mesh	5,400	5,9820	10,78
P. 30 mesh	5,300	5,8390	10,17

Fonte: autora.

A estabilidade dimensional também foi observada nos corpos de prova após o ensaio de absorção com amostras de porongo *in natura* (NEJELISKI, 2015). Wei et al.

(2015) produziram painéis isolantes com casca de arroz e observaram que o IE diminuiu com o aumento da densidade dos painéis. Os autores concluíram que os painéis com a densidade mais baixa tinham mais espaços vazios e isso fez com que a água penetrasse mais facilmente entre os espaços. Portanto, a densidade dos painéis também influencia o inchamento em espessura dos mesmos (WEI et al., 2015).

Nasir et al. (2019) também destacam a importância da relação entre a densidade, a absorção de água e o inchamento em espessura nos painéis produzidos a partir de resíduos agrícolas. Os autores reforçam que os altos percentuais de AA e IE são a grande preocupação no uso dessa categoria de resíduos para a produção de painéis de partículas e precisam de mais estudos e melhorias.

Com relação à caracterização dos painéis de partículas de porongo, eles possuem propriedades sensoriais como cor, textura, formato das partículas e acabamento superficial, similares aos painéis aglomerados de cortiça. O corte a laser dos painéis provou-se viável, entretanto a gravação na superfície dos painéis não pôde ser realizada. As imagens do MEV indicam melhor adesão entre as partículas e estabilidade estrutural nos painéis de maior densidade. Com relação às propriedades físicas, os painéis se enquadram na categoria de baixa densidade ( $0,46 \text{ g/cm}^3$ ), apresentaram teor de umidade, percentual de AA e de IE altos.

O porongo é um material hidrofílico (NEJELISKI, 2015) e a matriz de amido e glicerol também apresentou altos índices de ABS e IE (RAMÍREZ, 2015). Nesse contexto, os painéis de partículas resultantes da combinação dessas matérias-primas vão precisar de aprimoramentos no sentido de reduzir os percentuais de AA e de IE. Por conseguinte, são materiais apropriados para aplicações não estruturais e uso interno, em ambientes e aplicações sem contato direto com umidade.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir, detalham-se as considerações em relação ao que foi realizado no estudo e em comparativo com as prerrogativas iniciais. Por fim, delinea-se um panorama de possibilidades para a elaboração de futuras pesquisas.

### 5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica abordou aspectos da seleção de materiais no design de produto, os materiais de origem vegetal, os resíduos sólidos e agrícolas, o design de superfície e os revestimentos modulares e, por fim, os painéis de partículas. Na abordagem tradicional, a seleção de materiais no design parte de um conceito ou um produto para a pesquisa e definição de uma lista de materiais adequados para o projeto. Entretanto, em alguns casos ocorre uma inversão, parte-se de um material para a pesquisa e definição de produtos possíveis. Neste trabalho foi proposto um modelo de seleção de materiais invertida (SMI), o qual permite explorar as características de novos materiais e de materiais não convencionais com o intuito de direcioná-los para aplicações no design de produto.

Foi realizado um estudo de modelos de seleção de materiais convencionais e observou-se que esses modelos partem das características e requisitos de produtos para a seleção de materiais, no entanto, quando se tem novos materiais e materiais não convencionais, ainda não se sabe quais as aplicações adequadas para esses materiais. Na SMI, inicialmente é realizada a seleção do material e em seguida são definidas as principais propriedades técnicas e os atributos estéticos, para então direcionar a sua aplicação para um ou mais produtos.

Esse modelo foi construído, principalmente, do ponto de vista do design de produto, o qual busca levar em consideração não só atributos tangíveis, mas também atributos intangíveis, processos de fabricação e os aspectos ambientais dos materiais e dos produtos. O objetivo da SMI é incentivar o uso de novos materiais e materiais não convencionais, oferecendo possibilidades de renovação no repertório de perspectivas e oportunidades criativas para designers e outros profissionais.

Os materiais de origem vegetal formam uma categoria de matérias-primas totalmente heterogênea, em todos os aspectos. Com relação às propriedades físicas, mecânicas e sensoriais, variam muito entre espécies, bem como dentro da própria espécie. Árvores da mesma espécie, plantadas ao mesmo tempo e no mesmo lugar, vão produzir madeiras com características muito similares, mas nunca iguais. Cada planta, assim como a matéria-prima proveniente da mesma, vai ter características únicas, assim como os produtos produzidos a partir dessas matérias-primas.

No que diz respeito ao cultivo de espécies para a produção de matéria-prima em grande escala, ainda existem percalços. Questões como a sazonalidade de determinadas culturas, o tempo de desenvolvimento e a degradação em contato com as intempéries são aspectos a serem superados. Outro aspecto importante é a questão climática, que interfere na produção de maneira positiva ou negativa, de modo que não se podem controlar os desígnios da natureza. Entretanto, os aspectos positivos prevalecem, pois os materiais de origem vegetal podem ser considerados alternativas sustentáveis.

A utilização de materiais de origem vegetal como matéria-prima no design de produto, em geral, é um processo mais complexo do que o uso de materiais sintéticos. Uma rede de pessoas é envolvida, a começar pelas responsáveis por cultivar e extrair o material, passando pelo processamento inicial, pelos artesãos que criam produtos a partir da matéria-prima e por quem comercializa os mesmos. É um processo intrincado,

porém inerentemente mais sustentável, porque gera uma cadeia de valor que beneficia todos os envolvidos. Os diferentes contextos existentes nos incitam a buscar a essência própria da atividade de design, que está na busca pela melhoria da qualidade de vida das pessoas através do mundo material. Nesse sentido, a valorização dos materiais de origem vegetal característicos de cada região, bem como das comunidades envolvidas, é apenas mais uma possibilidade de atuação do design.

O porongueiro é uma planta de hábito tropical e adapta-se muito bem em qualquer clima, possui ciclo produtivo anual e alta produtividade, entre 9.000 e 10.000 frutos por hectare. Com relação ao manejo de matérias-primas vegetais, um dos percalços é o tempo de desenvolvimento da planta até adquirir as características necessárias para se transformar em matéria-prima aproveitável. A maioria das madeiras demora mais de vinte anos para maturar, com exceção do eucalipto e do pinus plantados. O bambu, que é considerado uma planta de maturação rápida, leva cerca de três anos para estar em condições de ser utilizado. Já a colheita do porongo é anual, ou seja, seu ciclo é ainda mais curto que o do bambu, o que faz com que seja uma interessante alternativa de matéria-prima natural de fonte renovável de ciclo rápido.

Pelas suas características peculiares de forma, estrutura e superfície, o porongo é um material natural diferenciado. Apesar de ser um cultivo extremamente antigo existem poucas pesquisas científicas sobre o material e os artefatos oriundos do fruto são confeccionados artesanalmente, a partir de conhecimentos empíricos. Nos locais onde é cultivado e beneficiado, é fonte de geração de renda para pequenos agricultores e artesãos. No sul do Brasil, na Argentina e no Uruguai é a principal matéria-prima para a produção das cuias, recipientes para o chimarrão. O processo produtivo das cuias é artesanal e o percentual de resíduos gerados ao longo das etapas é alto, podendo chegar a 80% do volume inicial de frutos colhidos.

Dos resíduos de porongo gerados ao longo do processo produtivo das cuias, uma pequena parte é utilizada para a produção de artesanato e o restante é descartado. A partir de um estudo sistemático de caracterização dos resíduos e da identificação de suas principais propriedades, podem surgir novas aplicações, bem como uma qualificação do que já é produzido. Com um melhor aproveitamento dos resíduos do fruto na confecção de outros artefatos, toda a cadeia produtiva aumenta, assim como o número de pessoas beneficiadas com o processo.

Os resíduos agrícolas são uma categoria dentro dos resíduos sólidos compostos por cascas, palhas, caules, folhas e outras partes das plantas que são descartados após a colheita. O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo e, conseqüentemente, um grande gerador de resíduos agrícolas, dos mais variados tipos. Nesse contexto, essa categoria de matérias-primas pode ser uma fonte de materiais renováveis e biodegradáveis a ser mais bem aproveitada no design de novos produtos.

Uma das alternativas para o aproveitamento dos resíduos agrícolas é como matéria-prima para projetos de design de superfícies tridimensionais. Exemplos de revestimentos modulares produzidos a partir de resíduos de materiais de origem vegetal, como o projeto Topomorfose (2002) e os revestimentos de bambu de Foggiano (2009), comprovam o potencial de aplicações desses materiais. O design de superfícies tridimensionais potencializa a valorização das características únicas de cada material. Os revestimentos modulares apresentam uma maior relação de percepção dos sentidos: visual, a partir das cores, texturas e contrastes; tátil, a partir dos relevos.

Os resíduos agrícolas também são utilizados como matéria-prima para a produção de painéis de partículas. Os principais resíduos utilizados na produção de painéis são o bagaço de cana, a casca de arroz, a fibra do coco e o sabugo de milho, o que coincide com os cultivos mais representativos em termos de volume de produção e,



consequentemente, de geração de resíduos. Entretanto, esses são apenas quatro alternativas dentre todas as opções disponíveis. A variedade de resíduos agrícolas é proporcional à diversidade de cultivos e, nesse contexto, os resíduos de porongo podem ser uma alternativa viável de matéria-prima para a produção de painéis de partículas.

## 5.2 CRIAÇÃO DOS REVESTIMENTOS MODULARES

O terceiro capítulo do trabalho abordou o desenvolvimento de revestimentos modulares a partir dos resíduos de porongo. A proposta de metodologia para o aproveitamento de resíduos no design de superfícies tridimensionais foi descrita em todas as etapas. Na sequência, o desenvolvimento dos produtos foi descrito a partir da caracterização do material, da otimização do aproveitamento dos resíduos e da aplicação no design de produto.

De todas as áreas do design, talvez o design de superfície seja o mais multidisciplinar. Desenvolve-se a partir de todos os suportes, sejam digitais, gráficos ou físicos, do mesmo modo que pode ser produzido a partir de técnicas, materiais e processos diversos. Esse contexto favorece o aproveitamento de resíduos sólidos para a produção de produtos com maior valor agregado, pois são materiais heterogêneos. Ainda, o design de superfície auxilia a desfazer a percepção generalizada de que resíduos são materiais de menor valor. De acordo com Gomes (2011) isso acontece porque temos dificuldade em desassociar o sentimento negativo que existe em relação aos resíduos.

Considerando o caráter heterogêneo dos resíduos sólidos e o potencial de valorização dos materiais que o design de superfícies tridimensionais apresenta, foi proposta uma abordagem metodológica para facilitar o desenvolvimento de projetos integrando essas duas áreas. O foco da metodologia é na caracterização dos resíduos e definição das suas principais propriedades, para então partir para a experimentação. A

terceira e última etapa, de aplicação, nada mais é do que a finalização do trabalho desenvolvido ao longo das outras duas etapas.

A caracterização e a experimentação são fundamentais para definir quais aspectos dos resíduos devem ser valorizados na criação dos módulos e dos padrões. O objetivo é que a metodologia auxilie na criação de projetos de design de superfície com foco nas propriedades sensoriais dos resíduos, de modo que os usuários possam identificá-los e criar uma associação positiva com o processo de aproveitamento do material. Por fim, as superfícies tridimensionais desenvolvidas podem ser o resultado em si, ou podem ser utilizadas como base no design de novos produtos.

Como resultado, foram selecionados dois cortes de seção dos frutos descartados inteiros: semicírculo, produzido a partir do corte transversal, e orgânico, produzido a partir do corte longitudinal do porongo. A partir dos dois perfis foram propostos dois módulos, dois multimódulos, quatro padrões e cinco unidades de revestimento modular. Os produtos de design de superfície resultantes podem ser aplicados em divisórias de ambientes, frentes de móveis e revestimentos de superfícies.

Os processos produtivos dos revestimentos modulares de resíduos de porongo foram adaptados para serem realizados com o auxílio de equipamentos básicos de marcenaria. A montagem das peças poderá ser realizada por adesão, com cola vinílica à base d'água. Após a montagem o acabamento será feito com o uso de produtos naturais, como ceras ou óleos, mantendo as propriedades sensoriais inerentes da matéria-prima.

As possibilidades apresentadas são uma pequena fração das alternativas de módulos, multimódulos, padrões e unidades de revestimentos que podem ser criadas utilizando como matéria-prima os resíduos do porongo. Os dois módulos selecionados não são os únicos que podem ser gerados a partir do corte de seção dos frutos. Ainda, trabalhando com diferentes rotações, repetições e encaixes dos módulos e multimódulos

é possível criar novos padrões. O mesmo pode ser dito sobre as possibilidades de aplicações dos revestimentos modulares em produtos e ambientes. As aplicações em superfícies planas, divisórias de ambientes, portas e frentes de móveis e como elementos compositivos em móveis planejados são apenas sugestões propostas dentro do escopo deste projeto.

### **5.2.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Nas fases de aproveitamento e experimentação dos resíduos, dentro da etapa metodológica de otimização, seria interessante explorar outras possibilidades de cortes de seções dos resíduos de porongo. Várias opções foram identificadas, entretanto só foi possível trabalhar em cima de duas delas. A definição de outros cortes de seção abre caminho para a composição de novos módulos, multimódulos, padrões e unidades de revestimentos modulares.

Ainda na etapa de otimização, testes de montagem e de acabamento com os módulos de porongo seriam importantes para quantificar e qualificar as alternativas mais viáveis e eficazes. Para a montagem, podem ser realizados testes com diferentes tipos de adesivos, bem como em diferentes superfícies de adesão. Para o acabamento, podem ser testadas diferentes alternativas de preservantes naturais, como ceras e óleos, com o objetivo de identificar um acabamento que mantenha as propriedades sensoriais naturais do material e proteja da deterioração causada principalmente pela umidade.

Já na etapa de aplicação, seria interessante produzir os protótipos dos cinco revestimentos modulares criados, a fim de analisar e avaliar todas as etapas do processo produtivo: o corte e o lixamento das peças, a montagem dos módulos e dos padrões, o acabamento e a aplicação final dos revestimentos em diferentes produtos e ambientes. A produção de protótipos possibilita a validação dos processos e a adaptação e melhoria

dos aspectos que não estão bem resolvidos no projeto, na produção e na aplicação.

### 5.3 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS

O quarto capítulo do trabalho abordou o desenvolvimento de painéis de partículas a partir dos resíduos do porongo. O primeiro tópico apresentou a análise da composição química do fruto. O segundo tópico abordou a produção dos painéis de partículas a partir da descrição da metodologia e de testes de produção com dois tipos de adesivos. O terceiro tópico apresentou os resultados da produção dos painéis de partículas, com foco na caracterização e na determinação das principais propriedades dos novos materiais.

As divergências observadas nas médias dos valores da composição química do porongo quando comparada com o bambu e com espécies de madeira explica-se pelo fato de tratar-se de estruturas vegetais diferentes. Enquanto a madeira e o bambu são extraídos do caule, da parte estrutural das plantas, o porongo é um fruto. Outro fator é a diferença de maturação das plantas em questão. A madeira é extraída após oito anos ou mais de cultivo, o bambu após cerca de três anos, já o porongo tem cultivo anual, os frutos são colhidos após cerca de 195 dias.

Com relação ao resultado da análise da composição química do porongo, pode-se concluir que os resíduos têm potencial para serem utilizados como matéria-prima na produção de painéis de partículas. Os percentuais de teor de cinzas, extrativos e lignina são similares aos valores encontrados para outras matérias-primas lignocelulósicas, como o bambu e madeiras alternativas. Cabe ressaltar que a viabilidade da utilização como matéria-prima para painéis aglomerados depende da análise de outros fatores, como a caracterização das partículas e a definição das propriedades físicas.

Com relação às partículas de porongo, foram produzidas quatro granulometrias diferentes: 10, 16, 30 mesh e pó. A coloração mais clara do mesocarpo dos frutos é

predominante, bem como o formato esférico, que pode ser observado mais claramente nas partículas com maiores dimensões (10 mesh). O formato é distinto do observado nas partículas de madeira, que são mais longas e finas devido ao formato das fibras que formam a microestrutura. O formato característico das partículas de porongo pode estar relacionado à sua microestrutura, formada por células equidimensionais, tendendo a prismáticas com seção hexagonal, similares à microestrutura da cortiça.

Com relação à produção dos painéis de partículas de porongo, foram testados dois tipos de adesivos: ureia-formaldeído e matriz de amido e glicerol. Os painéis produzidos com resina ureia-formaldeído não apresentaram adesão entre as partículas ou estabilidade estrutural, de modo que se desmancharam antes de serem removidos das chapas metálicas. Considerando os locais onde a adesão ficou mais visível, a hipótese é de que a microestrutura porosa das partículas de porongo retardou a difusão do calor no centro dos painéis e nas bordas, e aonde o calor chegou não foi suficiente para criar uma adesão forte entre as partículas e o adesivo.

A partir dos testes realizados com os painéis de partículas de porongo com matriz de amido e glicerol foi possível observar que os painéis com 25 mm de espessura não apresentaram bons resultados, a adesão entre as partículas não foi suficiente para a formação dos painéis e o material ficou quebradiço. Os melhores resultados de adesão entre as partículas e estabilidade estrutural foram observados nos painéis com 5 mm de espessura e densidade nominal de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ , produzidos com a proporção de 70% de partículas para 30% de matriz. Os painéis produzidos com partículas de 16 e 30 mesh apresentaram melhores resultados de adesão do que as partículas de 10 mesh e o pó do porongo, sendo que esse último produziu os painéis com menor estabilidade estrutural.

Com relação à caracterização dos painéis de partículas de porongo com matriz de amido e glicerol, eles apresentam propriedades sensoriais como cor, textura, formato das

partículas e acabamento superficial similares aos painéis aglomerados de cortiça. O corte a laser dos painéis provou-se viável, entretanto a gravação na superfície dos painéis não pôde ser realizada. As imagens do MEV demonstraram melhor adesão entre as partículas e estabilidade estrutural nos painéis de maior densidade. Com relação às propriedades físicas, os painéis se enquadram na categoria de baixa densidade ( $0,46 \text{ g/cm}^3$ ), apresentaram teor de umidade, percentual de absorção de água e de inchamento em espessura altos.

Após os testes de corte a laser, o melhor parâmetro encontrado para o corte de todos os painéis foi potência de 80 watts e velocidade 25 m/min. Com esse parâmetro de corte foram obtidos os melhores resultados em ambos os formatos de vetores. Os cortes foram passantes em todos os painéis e apresentaram linhas homogêneas, bem como bons resultados de acabamento de borda. Foram realizados testes de gravação a laser na superfície dos painéis com duas velocidades: 100 e 25 m/min. Nos dois parâmetros o laser carbonizou a superfície dos painéis, de modo que os resultados não puderam ser validados e os parâmetros para a gravação a laser não foram definidos.

De modo geral, os aspectos observados nas imagens do MEV dos painéis foram ao encontro da análise das propriedades sensoriais. Os painéis com densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ , produzidos com a proporção de 70% de partículas para 30% de matriz de amido e glicerol, apresentaram melhores resultados de adesão entre as partículas e de estabilidade estrutural, o que se deve à maior quantidade de material utilizada na produção, quando comparados aos painéis de densidade de  $0,3 \text{ g/cm}^3$ . Ainda, os painéis produzidos com o pó do porongo foram os que apresentaram menor adesão entre as partículas e menor estabilidade estrutural, bem como atributos estéticos distantes das propriedades sensoriais da matéria-prima.

A partir das imagens do MEV pôde-se concluir também que a trituração do

mesocarpo até se transformar em pó descaracteriza os elementos da microestrutura e as propriedades dos painéis. Os painéis produzidos com partículas de maior granulometria, de 10 mesh, também apresentaram fraca adesão e baixa estabilidade estrutural. Entretanto, o motivo se deve ao fato de os cristais da matriz se depositarem dentro das células do parênquima e não entre as partículas, como seria o esperado.

Com relação à caracterização das propriedades físicas dos painéis, foram encontrados resultados bastante semelhantes aos de painéis de partículas de baixa densidade produzidos com outros resíduos agrícolas. Nasir et al. (2019) reforçam que os altos percentuais de absorção de água e inchamento em espessura são a grande preocupação no uso dessa categoria de resíduos para a produção de painéis de partículas e precisam de mais estudos e melhorias. Corroborando com a afirmação dos autores, os percentuais de AA e IE encontrados para as amostras dos painéis de porongo também foram altas e precisam ser aprimoradas. São materiais apropriados para aplicações não estruturais e uso interno, em ambientes e aplicações sem contato direto com umidade.

Cabe ressaltar que a produção de painéis de partículas vai muito além do aprimoramento das propriedades físicas, mecânicas e estruturais. O desenvolvimento de novos materiais é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos de materiais lignocelulósicos, com destaque para os resíduos agrícolas. O processo deve valorizar as propriedades inerentes das matérias-primas, especialmente as propriedades sensoriais.

Desse modo, partindo da premissa do design como solucionador de problemas, a abordagem do design de superfície pode contribuir no desenvolvimento de painéis de partículas que valorizem as matérias-primas e seus atributos estéticos, além de ampliar as possibilidades de aplicação dos materiais resultantes. Abordar a produção de painéis a partir da perspectiva do design pode resultar em uma visão mais ampla do processo,

considerando os atributos estéticos e os aspectos ambientais dos novos materiais.

### **5.3.1 Sugestões para trabalhos futuros**

A produção dos painéis de partículas de porongo com matriz de amido e glicerol foi experimental. Os testes foram realizados a partir de diferentes parâmetros de especificações dos painéis, dosagem de materiais e ciclo de prensagem, até encontrar os parâmetros adequados para a produção de painéis com adesão entre as partículas e estabilidade estrutural. Por ser um processo experimental, foram produzidas poucas amostras para cada tratamento de painel (cada tratamento é definido pelas especificações de produção do painel, tanto do percentual de partículas e de matriz, quanto das especificações do ciclo de prensagem). A caracterização dos painéis foi realizada com base nas amostras produzidas, de modo que não foi possível utilizar uma abordagem estatística para a definição das propriedades físicas dos painéis.

Para trabalhos futuros seria interessante a produção em grande quantidade dos painéis para que possam ser caracterizados a partir de uma análise estatística dos resultados. Seria interessante produzir um painel com 100% de partículas de madeira, para ser utilizado como referência comparativa para os resultados dos painéis com partículas de porongo. Ainda, a produção de pelo menos três painéis para cada tratamento possibilitaria uma determinação mais apurada dos resultados dos ensaios.

Com relação às propriedades técnicas dos painéis, seria importante realizar ensaios para a caracterização das propriedades isolantes dos painéis de partículas de porongo. Sabendo que os frutos são utilizados empiricamente como material isolante, que a microestrutura do mesocarpo é formada por poros e que é uma matéria-prima caracterizada pela baixa densidade, tudo indica que se trata de um material com excelentes propriedades isolantes. Considerando que os painéis de partículas produzidos



se mantiveram na categoria de painéis de baixa densidade ( $0,46 \text{ g/cm}^3$ ), é muito provável que se configurem como materiais isolantes.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.810-1**: Painéis de partículas de média densidade parte 1: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.810-2**: Painéis de partículas de média densidade parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2019**. São Paulo, SP, 2019.
- AHANKARI, S.; MISRA, M.; MOHANTY, A. K. Mechanical behaviour of agro-residue reinforced poly (PHBV) green composites: A comparison with traditional polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, p. 653–657, 2011.
- ANTÔNIO, Julieta; TADEU, António; MARQUES, Beatriz; ALMEIDA, João S. S.; PINTO, Vasco. Application of rice husk in the development of new composite boards. **Construction and Building Materials**, v. 176, p. 432 – 439, 2018.
- ARRUDA, L.M. et al. Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*) Part 1: Properties of resin bonded particleboards. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v.13, p.297-306, 2011.
- ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara. **Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- ASHORI, A.; NOURBAKHSI, A. Bio-based composites from waste agricultural residues. **Waste Management**, v. 4, p. 680–684, 2010.
- ASHTON, Elisa G. **Design, inovação e sustentabilidade: estudo da reciclagem de produtos multi-materiais poliméricos sem separação prévia**. 2017. Tese (Doutorado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- ASSUNÇÃO, Alexandre V.; ARNONI, Rafael K.; MACHADO JR., Luiz Antônio P. **O chimarrão e seus artefatos: um estudo sob o viés do imaginário e do design vernacular**. Pelotas, RS: Chumbo Edições, 2020.
- BARAUNA, Debora; RAZERA, Dalton L.; HEEMANN, Adriano. Seleção de materiais no design: informações necessárias ao designer na tomada de decisão para a conceituação do produto. **Design & Tecnologia**, v. 10, 2015.
- BELINI, Ugo L.; SAVASTANO JR., Holmer; BARRERO, Núbia G.; LEITE, Marta K.; FILHO, Mario T.; FIORELLI, Juliano. Reforço fibroso em painel de baixa densidade. **Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis**, Guimarães, Portugal, 2014.
- BINICI, Hanifi; AKSOGAN, Orhan; DEMIRHAN, Ceyda. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of na insulation composite made of bio-based materials. **Sustainable Cities and Society**, v. 20, p. 17 – 26,

2016.

BIOFASE. **Produtos**. Disponível em: < <https://www.biofase.com.mx/>>. Acesso em: 30 mar 2020.

BISOGNIN, Dilson A.; AUDE, Maria I. da S.; MARCHEZAN, Enio. Densidade de semeadura e produtividade do porongo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 15-19, 1992.

BISOGNIN, Dilson A. Origin and evolution of cultivated cucurbits. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 715 – 723, 2002.

BORGES, Adélia. **Heloísa Crocco**: um dos principais nomes da junção design e artesanato no país. A Casa Museu do Objeto Brasileiro, 2002. Disponível em: < <http://www.acasa.org.br/biblioteca/texto/26>>. Acesso em 20 fev. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRIEDE, Carlos Juan; ALARCÓN, Jimena. Estrategias sustentables aplicadas al contexto regional: diseño de tableros de madera y materias primas no convencionales para revestimiento decorativo. **Interciencia**, v. 37, n. 12, 2012.

BURATTI, C.; BELLONI, E.; LASCARO, E.; MERLI, F.; RICCIARDI, P. Rice husk panels for building applications: Thermal, acoustic and environmental characterization and comparison with other innovative recycled waste materials. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 338 – 349, 2018.

BURTENSHAW, Mike. The first horticultural plant propagated from seed in New Zealand: *Lagenaria siceraria*. **New Zealand Garden Journal**, 2003.

CALEGARI, Eliana P. **Estudo da aplicação de compósitos biodegradáveis à base de biopolímero e fibras de curauá no design de produto**. 2013. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CALEGARI, Eliana P. **Compósitos poliméricos com casca de arroz**: desenvolvimento, caracterização e possibilidades de aplicação no design de produto. 2018. Tese (Doutorado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CALEGARI, Eliana P.; OLIVEIRA, Branca F. de. Aspectos que influenciam a seleção de materiais no processo de design. **Arcos Design**, v. 8, n. 1, p. 01-19, 2014.

CALEGARI, Eliana P.; OLIVEIRA, Branca F. de. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 1, p. 140-155, 2016.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CAMPOS, Gisela B. de. Design, imagem e superfície. **Educação Gráfica**, v. 19, n. 01, p. 63- 74, 2015.

CARVALHO, A. **Transformações socioespaciais e desenvolvimento rural no 5º distrito de Santa Maria/RS, Arroio do Só**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Geografia) –Universidade Federal

de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CARVALHO, Sylvia T. M.; CÉSAR, Antônia A. da S.; MENDES, Lourival M.; TADAYUKI, Yanagi J. Avaliação do fluxo de calor em painéis aglomerados de bagaço de cana visando o conforto térmico de edificações. **Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis**, Guimarães, Portugal, 2014.

CIDADE, Mariana K.; PALOMBINI, Felipe; LIMA, Natasha F. F.; DUARTE, Lauren C. Método para a determinação de parâmetros de gravação e corte a laser CO<sub>2</sub> com aplicação na joalheria contemporânea. **Design & Tecnologia**, v. 12, 2016.

ÇÖPUR, Y.; GULER, C.; AKGÜL, M.; TASÇIOĞLU, C. Some chemical properties of hazelnut husk and its suitability for particleboard production. **Building and Environment**, v. 42, p. 2568-2572, 2007.

CORTICEIRA AMORIM. **Amorim**. Disponível em: < <https://www.amorim.com/>>. Acesso em 05 set. 2018.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; BALIEIRO, J. C. C.; FIORELLI, J. Compósito à base de resíduos agrícolas para aplicação em forros aviários. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 4, p. 358-367, 2015.

CROCCO STUDIO DESIGN. **Topomorfose**. Disponível em: < <https://www.croccostudiodesign.com/topomorfose>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CURTIS, Maria do C.; BRITO, Thays O.; PERAZZO, Ângela L.; KINDLEIN JR., Wilson; ROLDO, Liane. O uso dos materiais na prática projetual de Bornancini e Petzold. **Revista Tecnologia e sociedade**, v. 13, n. 29, p. 131 – 145, 2017.

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

DISCHINGER, M. C. T.; KINDLEIN JÚNIOR, W. Metodologia de análise da percepção tátil em diferentes classes de materiais e texturas para aplicação no design de produtos. **Revista Design & Tecnologia**, v. 1, p. 28-38, 2010.

EMATER. **Cultura do Porongo é atração em Santa Maria neste final de semana**. 2010. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/noticias/noticia.php?id=10833>>. Acesso em: 24 maio 2019.

EMBRAPA. **Trajatória da agricultura brasileira**. 2018. Disponível em < <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em 26 nov. 2019.

FOGGIATO, Paulo R. **Painéis Decorativos em Bambu**. Prêmio Salão Design 2009: Categoria Indústria – Acessório Doméstico. Disponível em < <http://www.salaodesign.com.br/blog/premiados-salao-design-casa-brasil-2009/>> Acesso em 20 fev. 2020.

GIBERT, V.; LÓPEZ, J.; ORDOÑEZ, J. **Embutidos**. Lisboa: Editorial Estampa, 2000.

GIL, Luís. **Cortiça na construção sustentável e energeticamente eficiente**. Lisboa: Chiado Editora, 2015.

GOMES, Daniel D. T. de C. **O R em design**: a reutilização aplicada ao design. Dissertação (Mestrado em Design Industrial) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2011.

GUBERT, Marjorie Lemos. **Design de interiores: a padronagem como elemento compositivo no ambiente contemporâneo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2019**. Disponível em <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em 30 mar 2020.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola: principais resultados**. 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>>. Acesso em 26 nov. 2019.

IWAKIRI, Sestsuo. **Painéis de madeira reconstituída**. 1. ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.

KARANA, Elvin; HEKKERT, Paul; KANDACHAR, Prabhu. Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers. **Materials and Design**, v. 29, n. 6, p. 1081-1089, 2008.

KARANA, Elvin; HEKKERT, Paul; KANDACHAR, Prabhu. Meanings of material through sensorial properties and manufacturing processes. **Materials and Design**, v. 30, p. 2778 – 2784, 2009.

KISTLER, Logan; MONTENEGRO, Álvaro; SMITH, Bruce D.; GIFFORD, John E.; GREEN, Richard E.; NEWSOM, Lee A.; SHAPIRO, Beth. Transoceanic drift and the domestication of African bottle gourds in the Americas. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 8, 2014.

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

LAGO, Tatiana. **Caracterização e impregnação polimérica do porongo (*Lagenaria siceraria*) visando aplicação no design de biojóias**. 2013. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LARANJEIRA, Mariana A. dos S.; MARAR, João F. Caos & complexidade: design de superfície e os novos paradigmas da ciência. **Educação Gráfica**, v. 18, n. 02, p. 204 – 215, 2014.

LJUNGBERG, Lennart Y. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials and Design**, v. 28, p. 466 – 479, 2007.

LOURENÇO NETO, G.R.; et al. Propriedades tecnológicas de painéis aglomerados produzidos com resíduos lignocelulósicos. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**. Florianópolis, 2017.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos naturais**. 1. ed. São Paulo: Editora da USP, 2008.

MARINHO, N.P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; DE ANDRADE, A.S.; DE MUÑIZ, G.I.B. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 417-422, 2012.

MATERIA BRASIL. **Desenvolvimento de materiais e processos: case Botiá**. Disponível em: <<https://www.materiabrasil.com.br/design/desenvolvimento-de-materiais-e-processos#case-2>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

MAYNARDES, Ana C.; FERREIRA, Frederico H.; IIDA, Itiro; DIETZSCH, Rafael. **Muiradesign**: marchetaria com madeiras alternativas da Amazônia. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

MELLO, Carolina I.; FROELICH, José M. Identidade territorial e artesanato com porongo na região central do RS: a noção de circuito espacial produtivo e suas possibilidades no âmbito do turismo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 2, p. 170-191, Taubaté, SP, 2015.

MESTRE, Ana; GIL, Luís. **Cork for sustainable product design**. Ciência e Tecnologia dos Materiais, v. 23, n. 3/4, 2011.

MOCOLOCO. **Luffa acoustic wall tiles by Maurício Affonso**. Disponível em: <<http://mocoloco.com/vote/luffa-acoustic-wall-tiles-by-mauricio-affonso/>>. Acesso em 20 fev. 2020.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, 2005, v. 29, n. 3, p. 461-470.

NASCIMENTO, Alexandre M do; GARCIA, Rosilei A.; DELLA LUCIA, Ricardo M. Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. **Cerne**, v. 19, n. 04, p. 593 – 601, 2013.

NASIR, M., et al. Recent development in binderless fiber-board fabrication from agricultural residues: a review. **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 502-516, 2019.

NEJELISKI, Danieli M. **O porongo (*Lagenaria siceraria*) como matéria-prima para a produção de recipientes**: caracterização e impermeabilização. 2015. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

NEJELISKI, Danieli; DUARTE, Lauren da C.; PICCOLI, Mariana. Percepção material do porongo (*Lagenaria siceraria*) em relação à madeira e derivados. **13º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, Joinville, SC, 2018.

NEJELISKI, Danieli; DUARTE, Lauren da C. Caracterização do porongo (*Lagenaria siceraria*): análise termogravimétrica, determinação do teor de umidade, da densidade básica e da densidade aparente. **DATJournal**, v. 4, n. 1, p. 14-26, 2019.

NENNEWITZ, Ingo; NUTSCH, Wolfgang; PESCHEL, Peter; SEIFERT, Gerhard. **Manual de tecnologia da madeira**. 2. ed. brasileira. São Paulo: Blucher, 2012.

NOTARIANNI, Flávia. **Elaboração de banco de dados de materiais isolantes térmicos não convencionais**. 2014. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, Stefânia L.; MENDES, Rafael F.; CARVALHO, Amelia G.; MENDES, Lourival M.; TONOLI, Gustavo H. D. Avaliação da estabilidade de painéis utilizados no setor moveleiro. **Revista da Madeira**, v. 135, 2013.

PAES, J.B.; NETO, P.N.M.; DE LIMA, C.R.; DE FREITAS, M.F.; DINIZ, C.E.F. Efeitos dos extrativos e cinzas na

resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Revista Cerne**, v. 19, n. 3, p. 399-405, 2013.

PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JR., W.; SILVA, F. P.; MARIATH, J. E. A. Design, biônica e novos paradigmas: uso de tecnologias 3D para análise e caracterização aplicadas em anatomia vegetal. **Design & Tecnologia**, v. 13, p. 46-56, 2017.

PAIVA, Anabela; PEREIRA, Sandra; SÁ, Ana; CRUZ, Daniel; VARUM, Humberto; PINTO, Jorge. A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 274 – 279, 2012.

PANYAKAEW, Satta; FOTIOS, Steve. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 1732 – 1739, 2011.

PAPANEK, V. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Tradução: Departamento Editorial Edições 70. Lisboa: Edições 70, 1995.

PEREIRA, Andréa F. **Madeiras brasileiras: guia de combinação e substituição**. São Paulo: Blucher, 2013.

PEREIRA, Helena. **Cork: biology, production and uses**. Amsterdam: Ed. Elsevier, 2007.

PICCOLI, Mariana. **Reutilização de tubos de papelão: estudo de parâmetros técnicos visando aplicação no design de produtos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

POHLMANN, Mariana; DUARTE, Lauren da C.; KINDLEIN JR., Wilson. A utilização de rejeitos da casca do coco como matéria-prima no design de bijoias. **VI Congresso Internacional del Materiales**, Bogotá, Colombia, 2011.

RAMÍREZ, Maria Guadalupe L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RASEIRA, C. B. **Design e tecnologia aplicados a resíduos de madeira: especificações para o processo de corte a laser em marfletaria**. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, 2013.

REDDY, N.; YANG, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. **Green Chemistry**, v. 4, p. 190-195, 2005.

RINALDI, Ricardo Mendonça. **A intervenção do design nas superfícies projetadas: processos multifacetados e estudos de caso**. Tese (Doutorado em Design) – FAPESP, São Paulo, 2013.

ROSA, Cláudio A. M.; MELO, Rafael R. de; STANGERLIN, Diego M.; MÜLLER, Marcos T.; SILVESTRE, Raul; CALEGARI, Leandro. Utilização do resíduo de porongo (*Lagenaria vulgaris* L.) na fabricação de chapas aglomeradas. **II Congresso Nordestino de Engenharia Florestal**, Campo Grande, PB, 2009.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio Internacional sobre o Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**, Foz do Iguaçu, PR, 2011.

- ROWELL R. M.; HAN J. S.; ROWELL J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: NATURAL POLYMERS AND AGROFIBERS BASED COMPOSITES, 2000, São Carlos. Anais São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000.
- RUBIM, Renata. Desenhando a superfície. São Paulo: Editora Rosari, 2010.
- RÜTSCHILLING, Evelise Anicet. **Design de superfície**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- SCANDOLA, E. Z. M. Green Composites: An Overview. **Polymer Composites**, p. 1906 - 1915, 2011.
- SCHWARTZ, Ada R. D.; NEVES, Aniceh F.; RUTSCHILLING, Evelise. Design de superfície: por uma abordagem geométrica e tridimensional. **Educação Gráfica**, Edição Especial, 2008.
- SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Madeira: matéria-prima para o design**. São Paulo: SENAI – SP Editora, 2014.
- SILVA, André L. L. et al. Coleta e caracterização morfológica de populações de porongo – *Lagenaria siceraria* (Mol.) Standl. – *Cucurbitaceae*. **Revista Ciência & Natura**, Santa Maria, p. 91 – 100, 2002.
- SILVA, Antônio J. P.; LAHR, Francisco A. R.; CRISTOFORO, André L. Bagaço de cana pode virar painel OSB. **Revista da Madeira**, n. 122, 2010.
- SILVA, M. R.; PINHEIRO, R. V.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Hybrid sandwich particleboard made with sugarcane, Pinus Taeda thermally treated and Malva Fibre from Amazon. **Materials Research-Ibero-American Journal of Materials**, v. 21, n. 1, 2018.
- SILVA, R. V. da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- SILVA, Vinício C. da. **Medida de porosidade em SiC através de processamento digital de imagens**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- SOARES, Susana de J. et al. Design de superfície em madrepérola: efeito degradê por gravação a laser. **Educação Gráfica**, Bauru – SP, v. 20, n. 1, 2016.
- TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T 204 cm-07: Solvent extractives of wood and pulp**. 1997.
- TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T 207 cm-08: Water solubility of wood and pulp**. 1999.
- TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T 211 om-12: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525° C**. 2002.
- TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T 257 sp-12: Sampling and preparing wood for analysis**. 2002.
- TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T 264 cm-07: Preparation of wood for chemical analysis**. 1997.



TRUGILHO, P.F.; et al. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 661-666, 2015.

ULIANA, D.; KAHN, H.; CONTESSOTTO, R.; ANTONIASSI, J. J. Microtomografia de alta resolução no setor mineral. **Holos**, v. 30, n. 3, p. 11-19, 2014.

ÚNICA LAMINADOS. **Pastilhados de coco**. Disponível em:

<<http://www.unicalaminados.com.br/revestimentos/pastilhados/pastilhados-de-coco>>. Acesso em: 30 mar 2020.

URBANIAK, Magdalena; GOLUCH-GORECZENA, Roma; BLEDZKI, Andrzej K. Natural cork agglomerate as an ecological alternative in constructional sandwich composites. **Bioresources**, v. 12, n. 3, p. 5512-5524, 2017.

VIDOR, F. L. R. **Avaliação de processo de inspeção e retratamento de postes de madeira**. Dissertação de Mestrado, Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2006.

VIVA GREEN. **Milho e abacaxi viram pratos e talheres que podem ser plantados**. Disponível em: <<https://vivagreen.com.br/noticias/milho-e-abacaxi-viram-pratos-e-talheres-que-podem-ser-plantados/>>. Acesso em: 30 mar 2020.

WALTER, Yuri. **O conteúdo da forma**: subsídios para a seleção de materiais e design. 2006. Dissertação (Pós-Graduação em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2006.

WEI, Kangcheng; et al. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 116-122, 2015.

YOUNGQUIST, J. A.; ENGLISH, B. E.; SCHARMER, R. C.; CHOW, P.; SHOOK, S. R. **Literature review on use of nonwood plant fibers for building materials and panels**. Forest Prod. Lab., Madison, Wisconsin, USA, 1994.

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J.B.; CARNEIRO, A.C.O, VITAL, B.R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 755 – 760, 2013.

## APÊNDICES

APÊNDICE A: Tabelas com os dados dos ensaios para a determinação da composição química do porongo.

Tabela 13: Teor de umidade

Amostra	Recipiente (g)	Amostra Úmida (g)	Recipiente + Amostra Seca (g)	Amostra Seca (g)	Teor de Umidade (%)
1	0,5645	2,0005	2,4189	1,8544	7,30%
2	0,7534	2,0046	2,6095	1,8561	7,41%
3	0,6455	2,0036	2,4996	1,8541	7,46%
4	0,7919	2,0104	2,6532	1,8613	7,42%
					<b>7,40%</b>

Fonte: autora.

Tabela 14: Teor de cinzas

Amostra	Recipiente (g)	Amostra Úmida (g)	Recipiente + Amostra Seca (g)	Amostra Seca (g)	Teor de Cinzas (%)
1	44,2455	2,1502	44,3155	0,07	3,26%
2	44,4973	2,1502	44,5675	0,0702	3,26%
3	40,955	2,1512	41,0418	0,0868	4,03%
					<b>3,52%</b>

Fonte: autora

Tabela 15: Solubilidade em água fria

Amostra	Amostra Úmida (g)	Cadinho (g)	Recipiente + Amostra Seca (g)	Amostra Seca (g)	Água Fria (%)
1	2,1528	39,6701	41,6072	1,9371	8,93%
2	2,1552	38,4154			
3	2,1652	40,5051	42,4055	1,9004	10,65%
4	2,1658	38,9325	40,8343	1,9018	10,59%
					<b>10,06%</b>

Fonte: autora.

PH da solução de extração em água fria: 1 – 7,46, 3 – 7,21, 4 – 7,03.

Tabela 16: Solubilidade em água quente.

Amostra	Cadinho (g)	Amostra Úmida (g)	Recipiente + Amostra Seca (g)	Amostra Seca (g)	Água Quente (%)
<b>1</b>	39,6576	2,1568	41,4688	1,8112	14,85%
<b>2</b>	39,6119	2,1536	41,4078	1,7959	15,57%
<b>3</b>	38,9418	2,1685	40,7257	1,7839	16,13%
<b>4</b>	39,6822	2,1627	41,4646	1,7824	16,20%
					<b>15,69%</b>

Fonte: autora.

Tabela 17: Etanol-Tolueno.

Amostra	Balão + Pérolas (g)	Amostra Úmida (g)	Recipiente + Amostra Seca (g)	Amostra Seca (g)	Etanol-Tolueno (%)
<b>1</b>	97,2269	2,1515	97,2674	0,0405	98,10%
<b>2</b>	97,1123	2,1539	97,1591	0,0468	97,80%
<b>3</b>	131,8329	2,1614	131,8717	0,0388	98,18%
					<b>98,02%</b>

Fonte: autora.



**VALORIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES SENSORIAIS DE MATERIAIS DE  
ORIGEM VEGETAL NO DESIGN DE SUPERFÍCIE**

***VALUING SENSORIAL PROPERTIES OF PLANT MATERIALS IN SURFACE  
DESIGN***

Danieli Maehler Nejeliski<sup>1</sup>

Lauren da Cunha Duarte<sup>2</sup>

**Resumo**

Materiais de origem vegetal são provenientes de plantas, cultivadas ou nativas, que após alguns processos adquirem as propriedades necessárias para serem utilizados como matéria-prima no design de produto. São materiais heterogêneos, biodegradáveis e de fonte renovável. Um dos fatores que impulsiona o uso destes materiais no design está relacionado com suas propriedades sensoriais: cores, texturas e figuras. Nesse contexto, o design de superfícies tridimensionais pode ser uma abordagem para a valorização das propriedades sensoriais destes materiais, favorecendo a identificação dos mesmos por parte dos usuários. O objetivo do trabalho é apresentar alternativas para o uso de materiais de origem vegetal no design, por meio de projetos de revestimentos modulares. A primeira parte do trabalho apresenta algumas espécies de materiais cultivados e suas propriedades sensoriais. A segunda parte apresenta o design de superfícies tridimensionais como uma alternativa para a valorização das matérias-primas. A terceira parte apresenta projetos de revestimentos modulares produzidos com materiais de origem vegetal.

**Palavras-chave:** materiais de origem vegetal; propriedades sensoriais; design de superfície; revestimentos modulares.

**Abstract**

Plant materials are originated from either cultivated or native plants, which after a few processes obtain properties to be used as raw material in product design. They are heterogeneous, biodegradable and renewable materials. One of the factors that promote the use of these materials in design is related to their sensorial properties: colors, textures and figures. In this context, three-dimensional surfaces design can be an approach to the enhancement the sensorial properties of these materials, favoring their identification by users. This work aims to present alternatives to the use of plant materials in design, through modular coating projects. The first part of the work presents some species of the most used cultivated materials and their sensorial properties. The second part presents three-dimensional surfaces design as an alternative for the valorization of raw materials. The third part presents examples of modular coating projects produced with plant materials.

**Keywords:** plant materials; sensorial properties; surface design; modular coating.

<sup>1</sup> Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, danielinejeliski@gmail.com

<sup>2</sup> Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, lauren.duarte@ufrgs.br



## Proposta de metodologia para o aproveitamento de resíduos no design de superfície

*Proposal of a methodology for the use of solid waste in surface design*

**Danieli Maehler Nejeliski**  
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense  
[danielinejeliski@gmail.com](mailto:danielinejeliski@gmail.com) ✉

**Lauren da Cunha Duarte**  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
[lauren.duarte@ufrgs.br](mailto:lauren.duarte@ufrgs.br) ✉

## PROJÉTICA

### COMO CITAR ESTE ARTIGO:

NEJELISKI, Danieli Maehler; DUARTE, Lauren da Cunha. Proposta de metodologia para o aproveitamento de resíduos no design de superfície. **Projética**, Londrina, v. 12, n. 2, p. 13-38, 2021.

**DOI: 10.5433/2236-2207.2021v12n2p13**

**Submissão:** 25-03-2020

**Aceite:** 07-05-2020





## ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS

Danieli Maehler Nejeliski<sup>1</sup> (danielinejeliski@gmail.com); Lauren da Cunha Duarte<sup>1</sup> (lauren.duarte@ufrgs.br); Érika da Silva Ferreira<sup>2</sup> (erika.ferreira@ufpel.edu.br)

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Programa de Pós-graduação em Design e Tecnologia, Brasil; <sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Engenharia Industrial Madeireira, Brasil.

### Resumo

O crescimento da demanda por matérias-primas na indústria de painéis desencadeou pesquisas e usos de materiais alternativos, como os resíduos agrícolas. O porongo (*Lagenaria siceraria*) é um fruto utilizado na produção de recipientes, devido às suas características morfológicas. No sul do Brasil é utilizado na produção de cuias, recipientes para o chimarrão, bebida típica regional. No processo de seleção para o beneficiamento dos frutos, cerca de 75% do material é descartado. O objetivo deste trabalho é analisar a composição química dos resíduos do porongo para o aproveitamento como matéria-prima na produção de painéis de partículas. Foram utilizadas amostras de duas regiões representativas no cultivo, Santa Maria e Frederico Westphalen, ambas no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Foram determinados o teor de umidade em base úmida, o teor de cinzas, o teor de extrativos em água quente e fria, o teor de extrativos em etanol-tolueno e o teor de lignina insolúvel. Os valores da composição química do porongo têm aspectos em comum com resultados de outras matérias-primas lignocelulósicas, como o bambu e a madeira. Os resultados demonstram a viabilidade da utilização dos resíduos para a produção de painéis de partículas.

Palavras-chave: *Lagenaria siceraria*. Resíduos agrícolas. Painéis de partículas. Composição química.

### Abstract

Growing demand for raw materials in the particleboard industry has triggered research and uses of alternative materials such as agricultural waste. Bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) is a fruit used in the production of containers, due to its morphological characteristics. In southern Brazil is used in the production of gourds, containers for mate, a typical regional drink. In the selection process for fruit processing, about 75% of the material is discarded. The objective of this work is to analyze the chemical composition of bottle gourd residues for use as raw material in particleboard production. Samples from two representative regions were used in the cultivation, Santa Maria and Frederico Westphalen, both in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The moisture content in the wet basis, ash content, extractives content in hot and cold water were determined, ethanol-toluene extractant content and the lignin content. The values of the chemical composition of bottle gourd have aspects in common with results from other lignocellulosic raw materials, such as bamboo and wood. The results demonstrate the feasibility of using the waste to produce particleboard.

Keywords: *Lagenaria siceraria*. Agricultural waste. Particleboard. Chemical composition.

# DAPESQUISA

## Seleção de materiais invertida: da caracterização do material as possibilidades de aplicação no design de produto

### Inverted material selection: from material characterization to application possibilities in product design

Danieli Maehler Nejeliski

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – danielinejeliski@gmail.com – orcid.org/0000-0002-4487-539X

Eliana Paula Calegari

Doutora em pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – elianapaulac@gmail.com – orcid.org/0000-0001-5568-4620

Lauren da Cunha Duarte

Doutora em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – lauren.duarte@ufrgs.br – orcid.org/0000-0001-5690-0794

Branca Freitas de Oliveira

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – branca@ufrgs.br – orcid.org/0000-0003-3383-4581

#### Resumo

A seleção de materiais tradicional parte de um conceito ou produto para a pesquisa e definição de materiais adequados para o projeto. Entretanto, em casos de uso de novos materiais ou materiais não convencionais ocorre uma inversão: parte-se de um material para a pesquisa e definição de produtos possíveis. O objetivo da inversão da seleção de materiais é a introdução de um novo material ou de um material não convencional no mercado. Este trabalho apresenta uma proposta de modelo para a seleção de materiais invertida, constituído pelas etapas de caracterização do material, consideração dos aspectos ambientais, comparação com materiais convencionais, processos de fabricação e definição de aplicações. A partir desse modelo, foram realizados dois estudos de caso com materiais sustentáveis: compósitos com casca de arroz e porongo. Com os estudos de caso, foi possível validar o modelo de seleção de materiais invertida.

**Palavras-chave:** Design de produto; Produtos novos - Aspectos ambientais; Cascas de Arroz; Lagenaria siceraria.

#### Abstract

Traditional material selection starts from a concept or product to research and definition of suitable materials for the project. However, in cases of use of new materials or unconventional materials an inversion occurs: starting with a material for research and definition of possible products. The purpose of reversing the selection of materials is to introduce a new material or an unconventional material on the market. This paper presents an inverted material selection model proposal, consisting of the material characterization steps, consideration of environmental aspects, comparison with conventional materials, manufacturing processes and definition of applications. Based on this model, two case studies were carried out with sustainable materials: composites with rice husks and porongo. With the case studies, it was possible to validate the inverted material selection model.

**Keywords** Product design; New Product - Environmental aspects; Rice hulls; Lagenaria siceraria.

Recebido em: 28/07/2020

Aceito em: 27/07/2021