



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

Danieli Maehler Nejeliski

**O PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A
PRODUÇÃO DE RECIPIENTES: CARACTERIZAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO**

Porto Alegre, RS, Brasil

2015



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

Danieli Maehler Nejeliski

**O PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A
PRODUÇÃO DE RECIPIENTES: CARACTERIZAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESIGN DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM DESIGN.

ORIENTADORA: PROF.^a DR.^a LAUREN DA CUNHA DUARTE

Porto Alegre, RS, Brasil
2015

CIP - Catalogação na Publicação

Nejeliski, Danieli Maehler

O porongo (*Lagenaria siceraria*) como matéria-prima para a produção de recipientes: caracterização e impermeabilização / Danieli Maehler Nejeliski. -- 2015.

131 f.

Orientadora: Lauren da Cunha Duarte.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Porongo (*Lagenaria siceraria*). 2. Recipientes. 3. Impermeabilização. 4. Design de produtos. I. Duarte, Lauren da Cunha, orient. II. Título.

Danieli Maehler Nejeliski

**O PORONGO (*LAGENARIA SICERARIA*) COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE
RECIPIENTES: CARACTERIZAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO**

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

Porto Alegre, 09 de julho de 2015.

Prof.^o Dr.^o Régio Pierre da Silva
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Lauren da Cunha Duarte
Orientadora
Universidade Federal do Rio grande do Sul

Prof.^o Dr.^o Jorge Ernesto de Araújo Mariath
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^o Dr.^o Luis Henrique Alves Cândido
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a Jocelise Jacques de Jacques
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Nada construímos sozinhos, sem a disponibilidade e a boa vontade de muitas pessoas este trabalho não teria se concretizado. Gostaria de agradecer o meu noivo, Gustavo Severo Dalla Costa, pelo incentivo e pela crença no trabalho desde o início, pelo companheirismo e por dividir os planos e as perspectivas, e pela contribuição concreta na revisão dos textos e traduções. Aos meus pais, Miguel e Regiani, pela educação, pela presença e pelo exemplo de trabalho, e à minha irmã, Francieli, pelo incentivo e companheirismo. Dedico este trabalho à minha família.

Meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS e ao grupo de professores envolvidos, pelo trabalho desenvolvido na difusão da pesquisa de ponta em design no Estado. Agradecimentos especiais à minha orientadora, professora Lauren Duarte, por possibilitar a realização deste trabalho, acreditando na ideia, pelo eterno bom-humor e pela forma leve como encara as situações, descomplicando tudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudos que viabilizou a realização do projeto.

Ao Laboratório de Seleção de Materiais – LdSM, pela oportunidade de fazer parte de um ambiente propício para o trabalho de criação em design, com companheirismo e compartilhamento do conhecimento. Agradeço a todos os professores do laboratório, em especial ao prof. Wilson Kindlein Jr., prof. Luis Henrique Alves Cândido e prof.^a Liane Roldo pela concreta contribuição no trabalho. Aos colegas de laboratório, agradecimentos especiais à Bárbara Zanella, pela boa vontade e eficiência em auxiliar nos ensaios, ao Mário Leal pela disponibilidade e pela condução das digitalizações tridimensionais e ao Gabriel Barbieri pela prontidão e disposição em auxiliar.

Às minhas amigas e colegas de pesquisa desde a graduação, Eliana Calegari e Roseane Santos, pela amizade, troca de experiências e contribuições para o trabalho. À Karine Storck, amiga de infância e vizinha, pelo compartilhamento das expectativas do mestrado, das experiências profissionais, pelas trocas de ideias interdisciplinares, design e educação, e por me acolher sempre, da melhor maneira possível, na sua casa.

Ao prof. Jorge Mariath, do Departamento de Botânica da UFRGS, pela pronta receptividade e pela disponibilidade em dividir o conhecimento e auxiliar no desenvolvimento da pesquisa. Sem o seu auxílio, este trabalho não teria tido os mesmos resultados. O design é feito de interdisciplinaridade e é raro encontrarmos pessoas dispostas a entender e contribuir, obrigado por acreditar e contribuir.

Meus agradecimentos ao Instituto Federal Farroupilha, Campus Santa Rosa, pelo excelente programa de incentivo à formação que possibilitou conciliar o trabalho docente com as atividades do mestrado. Agradeço à todos os colegas de trabalho, por constituírem um ambiente agradável e promissor, em especial ao laboratorista Pedro Gallina, pelo auxílio na produção das amostras.

Por fim, agradeço aos profissionais das fábricas de cuias Cuias Fracari e a Fábrica de Cuias Pires, de Santa Maria, RS, pela receptividade e pela troca de informações, indispensáveis para compreender o processo de manufatura do porongo, e por conseguir as amostras utilizadas ao longo da pesquisa.

A natureza pode suprir as necessidades de todos os homens,
mas não a ganância de alguns.

Dalai Lama

RESUMO

O porongo (*Lagenaria siceraria*) é o fruto de uma planta da família das cucurbitáceas que quando colhido, se deixado secar, torna-se oco com o mesocarpo similar ao aspecto da madeira e o exocarpo liso e impermeável. Este fruto disseminou-se por todos os continentes antes do homem e foi uma das primeiras plantas domesticadas. Diferentes povos utilizam o porongo na confecção de recipientes, instrumentos musicais, boias e máscaras. No sul do Brasil é empregado na fabricação das cuias, recipientes para o chimarrão. Planta de hábito tropical, adapta-se facilmente à qualquer clima, com ciclo produtivo anual configura-se em alternativa de fonte renovável. Como material natural orgânico, é suscetível à degradação sem tratamento. Buscando viabilizar sua utilização na fabricação de recipientes para alimentos e bebidas priorizou-se a caracterização da estrutura e a aplicação de técnicas de impermeabilização. Para a confecção das amostras foram utilizados frutos coletados em Santa Maria, RS, e para a impermeabilização foi utilizada resina poliuretana à base de óleo de mamona. A caracterização do material constituinte do porongo foi feita com auxílio de microscópio eletrônico de varredura, microscópio de luz transmitida, análise termogravimétrica, determinação do teor de umidade, da densidade básica e da aparente e através da digitalização tridimensional para análise da variação dimensional. A caracterização da resina foi feita por espectroscopia de infra-vermelho com transformada de Fourier e a eficiência da impermeabilização foi analisada através de ensaio de absorção de água e ângulo de contato de gota. Pela microscopia identificou-se o exocarpo como uma fina camada de células compactas, por isso impermeável, e o mesocarpo formado pelo parênquima, com células que aumentam de tamanho progressivamente em direção ao centro, caracterizadas por grandes espaços vazios com parede espessada lignificada e canais de comunicação intercelular, que faz o material ser altamente hidrofílico. Ao absorver a água, há o preenchimento dos vacúolos das células até a saturação, sem grandes alterações das dimensões do material, dimensionalmente estável. O porongo possui densidade heterogênea muito baixa, em média $0,124 \text{ g/cm}^3$, na faixa de densidade das espumas poliméricas. Quanto à absorção de água, as amostras sem tratamento tiveram aumento de massa de cerca de 150% até a saturação. Após a impermeabilização, as amostras com uma camada de resina tiveram aumento de massa entre 23% e 37%, enquanto que àquelas com duas camadas de resina de apenas 5% e 6%, o que indica a eficiência do método de impermeabilização.

Palavras-chaves: porongo, recipientes, impermeabilização, design de produtos.

ABSTRACT

The bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) is the fruit of the Cucurbitaceae family plant which when harvested, if allowed to dry, becomes hollow with the mesocarp similar to the appearance of the wood and with a smooth and impermeable exocarp. This fruit has spread to all continents before man and was one of the first domesticated plants. Different people use the gourd in the manufacture of containers, musical instruments, floats and masks. In southern Brazil it is used to manufacture the bowls, containers for mate. Tropical habit plant, easily adapts to any climate, with annual production cycle sets itself as renewable source alternative. As an organic natural material, it is susceptible to degradation without treatment. Seeking to enable its use in the manufacture of containers for food and beverages it has prioritized the characterization of the structure and the application of waterproofing techniques. Seeking allow its use in the manufacture of containers for food and beverages prioritized the characterization of the structure and the application of waterproofing techniques. To prepare the samples were used fruits collected in Santa Maria, RS, and for waterproofing was used polyurethane resin on castor oil base. The characterization of the material which constitutes porongo was made thorough electron microscope scanning, transmitted light microscope, thermal analysis, determination of moisture content, basic and apparent density and by three-dimensional scanning to analyze the dimensional variation. The characterization of resin was made by infrared spectroscopy with Fourier transform and the efficiency of the waterproofing was analyzed by water absorption and drop contact angle test. Microscopy enabled to identify the exocarp as a thin layer of compact cells, thus waterproof, and the mesocarp formed by parenchyma with cells that progressively increase in size towards the center, characterized by large empty spaces with thickened and lignified wall and intercellular communication channels, which makes the material be highly hydrophilic. By absorbing the water, there is filling in the vacuoles of the cells until the saturation without large re-arranging of the material dimensions, dimensionally stable. The gourd has very poor heterogeneous density, on average 0.124 g / cm^3 , in the density range of polymeric foams. Regarding to water-absorbing, untreated samples had mass increase of about 150% until saturation. After sealing, the samples with a resin layer had increased mass between 23% and 37%, while those with two resin layers only had increased mass from 5% to 6%, which indicates the sealing method efficiency.

Key-words: bottle gourd, food containers, waterproofing, product design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aspecto externo do fruto após o processo de secagem. Fonte: Politis, 2014.	25
Figura 2: Variações morfológicas dos frutos de porongo. Fonte: Adaptado de Seedman, 2014.	26
Figura 3: Do porongo à cuia.....	27
Figura 4: Modificação da cor da superfície interna do porongo ao longo da sua utilização como cuia de chimarrão.....	30
Figura 5: Genealogia do porongo. Fonte: Modificado de Kistler <i>et al.</i> , 2014.	38
Figura 6: Pai <i>Kanohi</i> com recipientes de porongo, Nova Zelândia, 1903. Fonte: Clarke, 2006.	40
Figura 7: <i>Taha wai</i> – recipiente de água Maori – Museu Te Papa Tongarewa, N. Zelândia. Fonte: Coetzee, 2013.	40
Figura 8: Recipientes dos Índios Guaranis confeccionados a partir de porongos. Fonte: Acervo do Museu do Parque Gaúcho, 2015.	41
Figura 9: Cultivos do porongueiro.	42
Figura 10: Detalhes do porongueiro. Fonte: Modificado de Politis, 2014.	43
Figura 11: Parte interna do fruto seco.	45
Figura 12: Produtos artesanais oriundos da Índia. Fonte: Isha, 2014.	46
Figura 13: Porongos utilizados para transportar água, na África. Fonte: National Geographic, 2014.	47
Figura 14: Recipientes diversos produzidos a partir do porongo na África. Fonte: Malika, 2009.	48
Figura 15: Recipientes feitos de porongo decorados com pirogravura. Fonte: HIWTC, 2013; Thunga, 2014.	49

Figura 16: Porongos decorados, cultura Inca. Fonte: Politis, 2014.	49
Figura 17: Cuia uruguaia de formato elíptico (à direita) com a erva-mate utilizada no preparo do mate (à esquerda). Fonte: WH3, 2014.	50
Figura 18: Desenhos em relevo e tingidos em cuias. Fonte: Imgarcade, 2014.	50
Figura 19: Diferentes modelos de cuias típicas do sul do Brasil. Fonte: Tunesilva, 2014.	51
Figura 20: Cuia com desenhos feitos com pirogravura, e bocal em metal. Fonte: Churrasco a Cavalo, 2014.	51
Figura 21: Etapas do processo de fabricação de cuias das empresas visitadas.	53
Figura 22: Gravação a laser na superfície externa da cuia.	54
Figura 23: Área interna da cuia escurecida após a queima com maçarico.	55
Figura 24: Grupos funcionais envolvidos na reação química de sintetização de um poliuretano.	68
Figura 25: Reação de polimerização de um poliuretano.	69
Figura 26: Estrutura do ácido ricinoléico.	69
Figura 27: Preparação das amostras: corte longitudinal do fruto na serra tico-tico.	73
Figura 28: Amostras de porongo sendo cortadas na serra esquadrejadeira.	74
Figura 29: Conjunto de amostras de porongo, após o corte, sem lixamneto da parte interna.	74
Figura 30: Componentes da resina poliuretana.	75
Figura 31: Conjunto de amostras com as variáveis selecionadas para este estudo.	76
Figura 32: Detalhe do processo de corte das amostras de porongo.	78
Figura 33: Bancada com os instrumentos utilizados no preparo das lâminas semi-permanentes.	79
Figura 34: Lâminas para observação posicionadas entre lamínulas de vidro.	80
Figura 35: Microscópio de luz transmitida com aparato para obtenção de imagens.	80
Figura 36: Corpos de prova dos ensaios para a determinação das propriedades físicas.	81
Figura 37: Método de definição do volume por deslocamento de água.	83
Figura 38: Amostras de porongo organizadas para serem digitalizadas.	86
Figura 39: Amostras de porongo em recipiente com água.	88
Figura 40: Indicação do local para obtenção da medida do ângulo de contato de gota molhante sobre superfície sólida. Fonte: Wolf, Santos e Philippi, 2006.	89

Figura 41: Diferenças observáveis a vista desarmada entre a casca (exocarpo) e a parte interna (mesocarpo) do porongo.....	91
Figura 42: Localização das amostras extraídas no corpo do fruto.....	92
Figura 43: Exocarpo e mesocarpo do porongo.	93
Figura 44: Exocarpo do porongo, onde se enfatiza a homogeneidade da camada externa, densa e compacta, com materiais inorgânicos.....	94
Figura 45: Detalhe dos elementos do parênquima.....	95
Figura 46: Paredes externas das células do mesocarpo.....	96
Figura 47: Cristais de oxalato de cálcio alojados nas cavidades de algumas células do parênquima.	96
Figura 48: Localização da amostra no fruto e das seções das amostras observadas.	97
Figura 49: Aumento progressivo das dimensões das células do porongo.....	97
Figura 50: Variação no diâmetro das unidades celulares.	98
Figura 51: Paredes espessadas do parênquima.	99
Figura 52: Distribuição e arranjo das células do exocarpo ao mesocarpo.....	100
Figura 53: Amostras de porongo organizadas para a digitalização do exocarpo.....	107
Figura 54: Amostras de porongo organizadas para a digitalização do mesocarpo.....	108
Figura 55: Gráfico comparativo das digitalizações da casca, secas e após 24 horas na água.	109
Figura 56: Gráfico comparativo das digitalizações da parte interna, secas e após 24 horas na água.....	110
Figura 57: Amostras de porongo sem tratamento e após aplicação das resinas.	112
Figura 58: Amostras de porongo após aplicação das resinas.....	112
Figura 59: Imagens do tipo BSE das amostras de porongo resinadas.....	113
Figura 60: Espectros de FTIR das resinas poliuretanas à base de óleo de mamona.....	114
Figura 61: Espectros de FTIR de resina poliuretana de óleo de mamona e de compósito. Fonte: Merlini, 2011.....	115
Figura 62: Ensaio de ângulo de gota por método de espalhamento.	119
Figura 63: Indicação do ângulo de contato menor que 90° nas amostras resinadas.	120

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Termogramas da casca e da parte interna do porongo.	101
Gráfico 2: Termogramas do pinus e da garapeira. Fonte: Bianchi <i>et al.</i> (2010).	102
Gráfico 3: Termogramas comparativos entre o porongo, o pinus e a garapeira.....	103
Gráfico 4: Absorção de água em aumento de massa (g) x tempo (h).....	117
Gráfico 5: Absorção de água em aumento de massa (%) x tempo (h).....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Nomenclatura para os diferentes formatos de porongos encontrados no RS.	44
Quadro 2: Comparativo entre o creosoto, pentaclorofenol, CCB e CCA.	64
Quadro 3: Compartivo entre alguns preservantes naturais.....	67
Quadro 4: Grupos químicos do espectro do poliuretano.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medições das massas dos corpos-de-prova em câmara de secagem.	104
Tabela 2: Teor de umidade U(%) do porongo.	104
Tabela 3: Densidade aparente do porongo.	105
Tabela 4: Medições das massas dos corpos-de-prova submersos em água.	106
Tabela 5: Densidade básica do porongo.	106

LISTA DE REDUÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATG	Análise Termogravimétrica
BSE	<i>Backscattered Electron</i>
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CTO	<i>Crude Tall Oil</i>
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
FTIR	Espectroscopia Infravermelho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LACER	Laboratório de Materiais Cerâmicos
LdSM	Laboratório de Seleção de Materiais
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDI	Difenilmetano di-isocianato
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMA	Metilmetacrilato
NBR	Normas Brasileiras
RS	Rio Grande do Sul
TDI	Tolueno di-isocianato
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A: Tabelas com medições do ensaio de absorção de água	130
--	-----

SUMÁRIO

Resumo	9
Abstract	10
Lista de Figuras	11
Lista de Gráficos	14
Lista de Quadros	15
Lista de Tabelas	16
Lista de Reduções	17
Lista de Apêndices	18
Capítulo 1.....	23
Introdução	23
1.1. Delimitação do tema	25
1.1.1. Definição do problema e hipótese	31
1.2. Objetivos.....	32
1.2.1. Objetivo geral	32
1.2.2. Objetivos específicos.....	32
1.3. Justificativa	33
Capítulo 2.....	35
Fundamentação Teórica	35
2.1. Porongo	36
2.1.1. Origens da mais antiga das plantas domesticadas	37
2.1.2. Do plantio ao fruto	42
2.1.3. Do fruto aos mais variados recipientes.....	46
2.1.4. Processo de fabricação de cuias	52

2.2.	Propriedades dos Materiais.....	56
2.3.	Preservação de materiais naturais orgânicos.....	59
2.3.1.	Principais preservantes químicos.....	62
2.3.2.	Alternativas de preservantes naturais	65
2.3.3.	Resina poliuretana à base de óleo de mamona.....	68
Capítulo 3.....	72	
Materiais e Métodos	72	
3.1.	Materiais.....	72
3.2.	Métodos de caracterização	77
3.2.1.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	77
3.2.2.	Microscopia por Luz Transmitida	78
3.2.3.	Análise Termogravimétrica (ATG)	81
3.2.4.	Ensaio para determinação de propriedades físicas.....	81
3.2.5.	Digitalização tridimensional	84
3.3.	Métodos de Impermeabilização.....	86
3.3.1.	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	87
3.3.2.	Ensaio de absorção de água	87
3.3.3.	Ângulo de contato	89
Capítulo 4.....	90	
Resultados	90	
4.1.	Caracterização do porongo	90
4.1.1.	Microestrutura e histologia.....	91
4.1.2.	Propriedades físicas	103
4.2.	Impermeabilização	111
4.2.1.	Caracterização da resina	113
4.2.2.	Absorção de água	116
Capítulo 5.....	121	
Considerações Finais	121	
5.1.	Considerações do estudo	121
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	123
Referências Bibliográficas.....		125

Referências das Imagens	130
Apêndices	132

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O estudo dos materiais no design é tão importante quanto o processo de projeto em si, os mesmos são responsáveis pela materialização dos conceitos, por trazer para a realidade comum o que antes só existia no mundo das ideias do projetista. Se design é forma, função e emoção, ambos têm relação direta com os materiais. No processo de evolução do homem os recursos naturais foram de extrema importância. O domínio de materiais específicos determinou na narrativa histórica a passagem de um ciclo para outro. Inicialmente, a exploração da madeira como combustível foi decisiva para o domínio do fogo, que possibilitou o processamento dos metais para a produção de novas e mais eficazes ferramentas, utilizadas para viabilizar o uso de outros recursos, e assim sucessivamente. O homem aprendeu que a natureza oferecia mais do que ele precisava e desenvolveu a habilidade de criar novas necessidades, assim, do barro fez-se a cerâmica, das fibras as roupas, e já naquela época, o porongo era utilizado como recipiente para alimentos e bebidas, máscaras, boias, entre outros.

Com o transcorrer dos séculos, a criação de novas necessidades foi tomando proporções sem precedentes e os materiais naturais disponíveis já não davam conta da demanda. O homem se volta então à pesquisa e desenvolvimento de materiais sintéticos, em busca de maior controle e produtividade. Chegamos a um ponto de alto investimento e avanço tecnológico no que se refere ao desenvolvimento de materiais artificiais, em detrimento da observação atenta do que a natureza nos oferece. A produção de novos materiais tem como vantagem o controle dos processos, onde a produção é realizada conforme a demanda. Já o manejo dos materiais naturais é mais complexo porque envolve uma rede de interdependências. O material natural está profundamente relacionado com o território de onde é extraído ou cultivado e logo, com a comunidade envolvida, que dele depende. 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.

A utilização de materiais naturais como matéria-prima no design de produtos, em geral, é um trabalho mais complexo do que o uso de materiais desenvolvidos e processados industrialmente. Ao trabalhar com materiais naturais, automaticamente uma rede de pessoas é envolvida, a começar pelas responsáveis por plantar ou mesmo extrair o material da natureza, 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 naturais característicos de cada região, bem como da comunidade envolvida, é apenas mais uma possibilidade de atuação do design.

O porongo é um material natural orgânico muito disseminado no estado do Rio Grande do Sul como matéria-prima para a produção de cuias para o preparo do chimarrão, bebida típica da região. É o tipo de material que chama a atenção pela peculiaridade e que, na ótica do design, nos induz a imaginar quantos outros artefatos poderiam ser pensados a partir dele. Assim como é utilizado como recipiente para a bebida no sul do Brasil, tem função semelhante em outros países da América Latina. Existem muitos registros da utilização do porongo como recipiente para alimentos e bebidas, desde tempos remotos, em países de todos os continentes, o que nos remete à máxima instituída pela Bauhaus – a forma segue a função – talvez uma das explicações da utilização intuitiva do material para a mesma função em uma época em que povos não tinham nenhum tipo de contato ou comunicação. Tanto que o nome científico do porongo (*Lagenaria siceraria*), significa “vaso de beber”, referência a uma de suas principais aplicações.

Nesse capítulo introdutório, será delimitado o tema do estudo, definindo os limites da abordagem do porongo para o presente trabalho. Na sequência será definido o problema de pesquisa, construída uma hipótese para a resolução do mesmo e apresentados os objetivos do trabalho. Por fim, será descrita a justificativa, com o intuito de mostrar a relevância da pesquisa para a área de design e para a comunidade em geral.

1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA

O porongo, de nome científico *Lagenaria siceraria*, é o fruto de uma planta da família das cucurbitáceas, da qual também fazem parte a abóbora, o melão, a melancia e outras amplamente utilizadas na alimentação. As estruturas das plantas desta família são muito semelhantes entre si, com folhas grandes e hábito rasteiro. Entretanto, com relação aos frutos, o porongo possui características muito peculiares. Quando o fruto amadurece e é colhido, se deixado secar a sombra por alguns meses, a placenta com as sementes seca e o fruto torna-se oco. A parte interna da casca adquire características semelhantes à da madeira, e a casca externa, extremamente fina e lisa, torna-se impermeável e com coloração em tons de marrom (Fig. 1), e quando polida adquire brilho acentuado. Em função da casca dura, é conhecido como cabaça em várias regiões do Brasil, sendo o termo porongo mais utilizado na região sul do país.



Figura 1: Aspecto externo do fruto após o processo de secagem. Fonte: Politis, 2014.

A forma e o tamanho dos frutos do porongo são variações morfológicas comuns à espécie (SILVA *et al.*, 2002). Estes podem ser alongados, cilíndricos, curvados, oblongos, redondos, ou mesmo cônicos (Figura 2a). Existem seis espécies identificadas como pertencentes ao gênero *Lagenaria*, sendo cinco selvagens e apenas uma domesticada. Evidências arqueológicas indicam a utilização do porongo em diversas civilizações de várias partes do planeta. Há registros do cultivo da espécie na América do Norte entre 10.000 e 7.500 A.C. e na América do Sul nos períodos entre 6.000 e 5.000 A.C. (BISOGNIN, 2002).

Atualmente no Brasil, mais especificamente no estado do Rio Grande do Sul, duas variantes da espécie são cultivadas, uma de casco grosso e outra de casco fino. Ambas possuem, em geral, formato do fruto achatado/piriforme, em formato de pêra (Fig. 2b) ou octoforme, em formato do número oito (Fig. 2c), variando entre si a espessura da casca. Segundo Bisognin, Marchesan e Aude (1992), o porongo do casco fino produz, em média, duas vezes mais do que o do casco grosso, o que justifica a preferência pelo primeiro para o plantio e fabricação de cuias, sendo o porongo de casco grosso dificilmente encontrado.

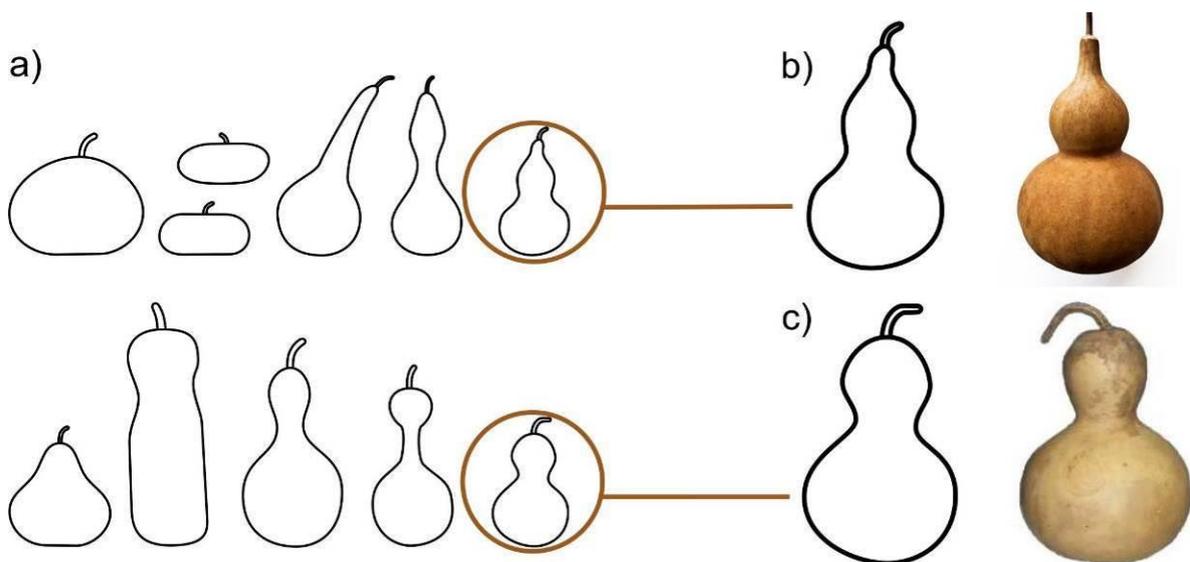


Figura 2: Variações morfológicas dos frutos de porongo: a) Tamanhos e formas do porongo; b) Piriforme; e c) Octoforme. Fonte: Adaptado de Seedman, 2014.

A produção de porongos no Rio Grande do Sul está vinculada aos pequenos produtores da agricultura familiar e tem um destino certo: a fabricação artesanal de cuias para o chimarrão, bebida típica da cultura gaúcha. A cuia é o recipiente onde se prepara e se toma a bebida. Para a fabricação da mesma, o porongo é cortado no sentido transversal, separando a parte superior a ser utilizada no processo (Fig. 3a), da parte inferior que se converte em resíduo posteriormente incinerado ou triturado para adubo. A parte interna da peça é lixada até ficar homogênea, a casca externa é polida e pode receber aplicações de desenhos na superfície ou incrustações de outros materiais (Fig. 3b). Herança dos índios que aqui habitavam antes dos colonizadores, a cuia e o chimarrão (Fig. 3c) são símbolos da hospitalidade e da cultura gaúcha. O porongo faz parte da cultura material e da história do estado, personificado na figura da cuia.

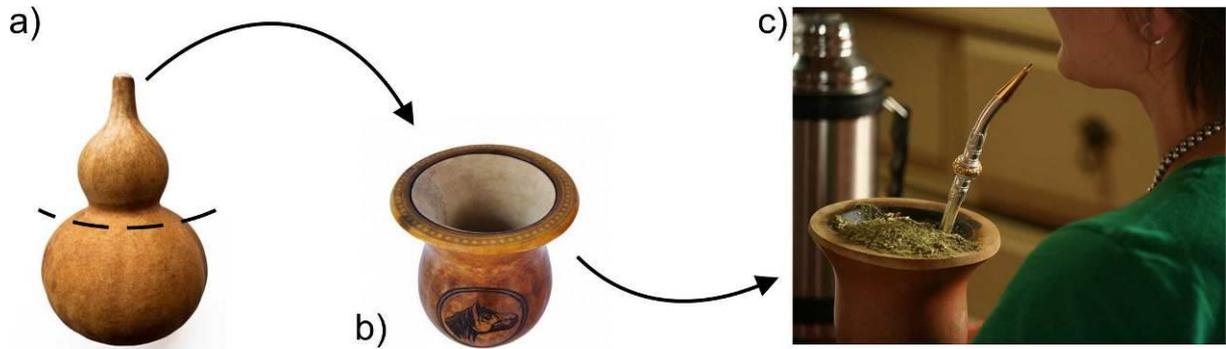


Figura 3: Do porongo à cuia: a) Corte no porongo para a fabricação da cuia; b) Cuia com adorno na superfície; e c) Cuia sendo utilizada para tomar o chimarrão.

Além da fabricação de cuias, uma pequena parcela dos frutos colhidos é utilizada na produção de artesanatos variados, convertendo-se em fonte de renda para as famílias envolvidas. Apesar do porongo fazer parte do dia-a-dia do povo gaúcho e ser um cultivo representativo na agricultura familiar do estado, o seu aproveitamento é pontual e limitado no Brasil. O porongo, em relação ao território brasileiro, permanece desconhecido à maioria da população. Por ser uma planta de hábito tropical, adapta-se facilmente em ambientes distintos, prova disso são as evidências de sua utilização em diversos países e em épocas variadas. Desde os primeiros indícios encontrados, até os dias atuais, o porongo é utilizado mundo afora como matéria-prima para a produção artesanal de recipientes para alimentos, instrumentos musicais, boias para embarcações, máscaras (BURTENSCHAW, 2003), enfim, aplicações que exploram as características intrínsecas do fruto que propiciam a confecção destes artefatos.

O potencial de aplicação do porongo na produção de recipientes para alimentos e bebidas é incontestável, sua própria anatomia induz à tal utilização. Entretanto, dos registros existentes de recipientes produzidos a partir do fruto, são todos de maneira artesanal, induzidos pela própria natureza morfológica do porongo. Ao aliar o conhecimento empírico acumulado por gerações com o esforço consciente e sistemático do design as possibilidades se multiplicam. Para Krucken (2009) a busca por agregar valor a produtos, fortalecendo e estimulando a identidade local, é um forte impulsionador do investimento em design. O design possibilita, a partir de sua metodologia de análise, síntese e aplicação, a identificação de potenciais locais latentes e sua transferência para o processo de projeto, resultando em produtos com maior qualidade percebida pelo usuário. Nesse sentido, o

design não pode ser considerado isoladamente, pois depende de todos os atores envolvidos no processo, é um fenômeno social.

O porongo como matéria-prima originada a partir de uma planta, está indissolúvelmente vinculado ao território onde é cultivado, carrega em si a história do local e do povo. Nesse processo, é fonte de trabalho e renda para os produtores que o cultivaram e para aqueles que o transformam em artefatos, sendo o centro de uma rede de interdependências. Considerando o caráter sistêmico que envolve o produto em questão, faz-se necessário que a abordagem de design utilizada siga os mesmos preceitos. No conceito de design sistêmico o produto não é o fim, mas o meio a partir do qual todos os agentes envolvidos participam do processo e se beneficiam.

A partir da abordagem sistêmica, os produtos que podem ser gerados a partir do porongo surgem como consequência de um trabalho complexo, cuja ênfase se dá no processo. Nesse sentido, o projeto do ciclo de vida é fundamental. Há que se considerar a origem da matéria-prima, cultivada pelos pequenos produtores que tem na plantação do porongo uma alternativa de diversificar a produção; a fabricação de diversos recipientes para alimentos e bebidas como forma de geração de renda para a população local, uma produção mais ecológica, desvinculada do sistema industrial tradicional; produtos que transmitam características do local onde foram produzidos, fortalecendo a identidade e que sejam duráveis; e, por fim, a destinação final dos produtos, de modo que causem o menor impacto possível ao meio ambiente.

Os elementos que permitem ao consumidor apreciar valores relacionados com o perfil socioambiental de produtos e serviços referem-se a origem das matérias-primas; processos de fabricação e de distribuição; história do produto, do território e da comunidade que o produz; iniciativas de preservação do território e dos serviços ambientais associados; impacto do produto e da embalagem – ciclo de vida (KRUCKEN, 2009, p.48).

A perspectiva sistêmica do design é intrinsecamente sustentável, pois o próprio conceito de sustentabilidade é interdependente, baseado no equilíbrio entre os sistemas para a continuidade dos recursos e da vida. Sachs (2008) evidencia o caráter sistêmico da sustentabilidade ao propor a existência das cinco dimensões: a sustentabilidade social, ambiental, territorial, econômica e política. A partir destas dimensões, é proposto o desenvolvimento em cima de ações que compatibilizem a melhoria nos níveis de qualidade de vida com a preservação ambiental. Toda ação que visa à sustentabilidade deve ter início

em escala local e crescer em abrangência, ter uma base consistente para poder se disseminar de forma eficiente. Portanto, ações que privilegiam o desenvolvimento local, são o primeiro passo para o desenvolvimento de uma sociedade sustentável.

Papanek (1995) nos faz pensar sobre o papel do design na construção de soluções mais sustentáveis quando afirma que talvez não devesse existir a categoria especial chamada design sustentável, se todos se comprometessem em realizar seu trabalho com ética e valorizando os elementos interdependentes e a natureza, a sustentabilidade seria uma consequência. Nesse período de transição em que nos encontramos, o papel do designer não será o de projetar estilos de vida sustentáveis, mas sim de propor oportunidades que os tornem praticáveis (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Mais importante do que o projeto de novos produtos é o projeto de novos contextos que tornem possível a construção de uma sociedade mais sustentável como um todo.

O aproveitamento de materiais naturais oriundos de fontes renováveis, como o porongo, além de promover o desenvolvimento local, é uma alternativa aos recursos não renováveis fadados à extinção. Entretanto, a viabilidade da aplicação de materiais orgânicos na fabricação de produtos como recipientes para alimentos e bebidas, depende de dois fatores primordiais: a identificação de suas propriedades básicas, para que possa ser caracterizado como material e potencializar sua utilização em outros produtos; e a aplicação de tratamentos que possam aumentar a durabilidade e estender a vida útil do material, em virtude de sua natureza orgânica, degradável.

Em um primeiro momento, a identificação das propriedades do material através de análises preestabelecidas é importante para potencializar e orientar a utilização da matéria-prima. A seleção de materiais é extremamente importante no processo de design, pois toda a interação do usuário com o produto é baseada nas impressões do material, sendo sensoriais primeiramente e posteriormente relacionadas à funcionalidade do mesmo. Por isso é extremamente importante a identificação das propriedades do material, para que ele possa ser utilizado da maneira mais adequada. O porongo, por ser empiricamente utilizado, carece de estudos mais específicos a respeito de suas propriedades.

Sabe-se que a parte interna do porongo é porosa e assemelha-se à madeira. Tal verificação pode ser feita ao observar uma cuia ao longo do seu uso. O porongo não recebe nenhum tratamento de impermeabilização, uma cuia nova, não utilizada, possui a parte interna com uma coloração bem clara, natural do porongo (Fig. 4a). A erva-mate (*Ilex*

paraguariensis), utilizada para preparar o chimarrão (Fig. 4b), tem coloração verde escura, conforme a cuia vai sendo utilizada, o porongo vai absorvendo o líquido e a coloração da parte interna da cuia vai sendo modificada, ficando mais escura (Fig. 4c).

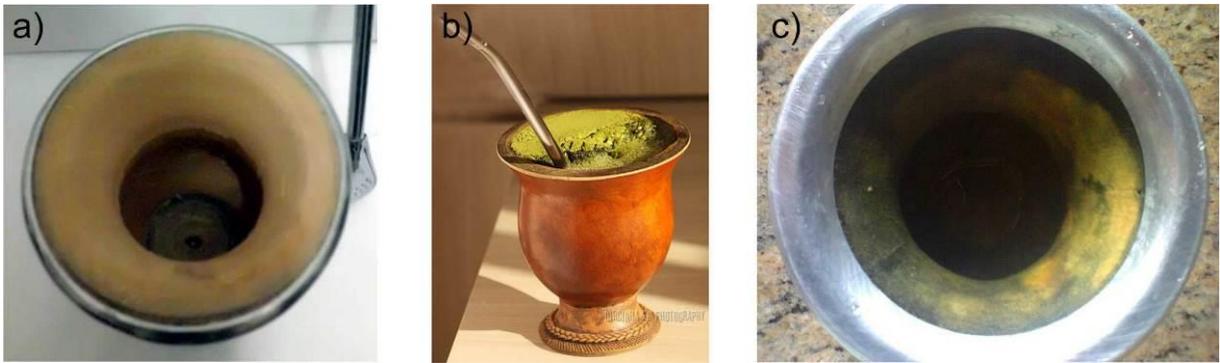


Figura 4: Modificação da cor da superfície interna do porongo ao longo da sua utilização como cuia de chimarrão: a) Parte interna de cuia não utilizada; b) Chimarrão; e c) Manchas esverdeadas na cuia após o uso.

Em uma das poucas pesquisas científicas referentes à caracterização do porongo como material, Lago (2013), através de técnica de análise de estrutura por microtomografia de raios-X, identificou com precisão o índice de porosidade da parte interna do porongo, em média de 54%, entre poros abertos e fechados, o que indica que o material possui mais espaços vazios do que sólidos. A porosidade é um dos fatores que tornam os materiais orgânicos suscetíveis aos agentes externos, como fungos e umidade, que aceleram a degradação do material.

Materiais orgânicos se alteram rapidamente quando em contato com fatores físicos, químicos e biológicos, justamente por serem compostos por elementos suscetíveis à ação desses fatores, que naturalmente ativam e interferem no processo de decomposição. A função dos tratamentos de preservação aplicados em tais materiais é a de retardar os efeitos causados pelos agentes externos, aumentando a vida útil do material. A qualidade de um produto percebida pelo usuário está relacionada com a durabilidade e condições de limpeza do mesmo, fatores diretamente relacionados à sensibilidade do material aos fatores externos.

Para que um material seja utilizado na produção de recipientes para alimentos e bebidas é necessário que ele possua algumas características básicas, especialmente relacionadas com a atoxicidade e estabilidade do material. Para armazenar alimentos e bebidas o material deve ser atóxico, quimicamente estável, de fácil limpeza e minimamente durável. A parte interna do porongo, por ser porosa, não possui tais características

naturalmente, tornando imprescindível a aplicação de técnicas para retardar a deterioração do material, sendo que as substâncias utilizadas nesse processo deverão ser, obrigatoriamente, atóxicas, para entrar em contato com alimentos e bebidas.

A madeira é um exemplo de material natural orgânico cujas pesquisas relacionadas às soluções para preservação encontram-se muito avançadas. Mais recentemente, pesquisas em processos menos agressivos ao ambiente com foco na utilização de materiais atóxicos vêm ganhando destaque, como o óleo de linhaça (GONZAGA, 2006), o *Crude Tall Oil* (BOSSARDI; BARREIROS, 2011) e a resina poliuretana à base de óleo de mamona (DIAS, 2005; CANGEMI, 2006). O tratamento de preservação da madeira já é consolidado pela sua história como matéria-prima explorada desde os primórdios das civilizações. Outros materiais orgânicos ainda carecem de estudos e investimentos nesse sentido, mas o certo é que experiências bem sucedidas no tratamento da madeira podem ser testadas em outros materiais com características similares, como é o caso do porongo.

Nesse contexto, divisou-se a oportunidade de estudar a viabilidade do aproveitamento do porongo na produção de recipientes para alimentos e bebidas, num primeiro momento determinando suas principais propriedades para caracterizá-lo como material e, posteriormente, estudando e aplicando técnicas de impermeabilização atóxicas, a fim de alcançar as condições de não toxicidade, durabilidade e higiene necessárias para ser considerado um material adequado para a fabricação destes produtos. A pesquisa a ser desenvolvida é aplicada quanto à sua natureza, na primeira etapa foi realizada pesquisa bibliográfica para embasar a pesquisa experimental, correspondente à segunda etapa, onde foram identificadas as propriedades e avaliadas técnicas de impermeabilização do porongo, a partir de análises em laboratório.

1.1.1. Definição do problema e hipótese

Como viabilizar a utilização do porongo (*Lagenaria siceraria*) como matéria-prima na produção de recipientes para alimentos e bebidas?

Parte-se da hipótese de que a viabilidade da utilização do porongo como matéria-prima na fabricação de outros recipientes de alimentos e bebidas depende de dois fatores iniciais: o reconhecimento qualitativo e quantitativo das propriedades do porongo,

para caracterizá-lo como material natural para uso em design de produto; e a aplicação de técnicas atóxicas de impermeabilização na parte interna, com o intuito de aumentar a durabilidade e a vida útil do material. Com base no vasto material disponível sobre caracterização e preservação da madeira, acredita-se que tais métodos podem ser utilizados com o porongo, por se tratar de um material similar.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Caracterizar e mensurar as principais propriedades do porongo e aplicar técnicas atóxicas de impermeabilização na parte interna, a fim de viabilizar tecnicamente sua utilização na produção de recipientes para alimentos e bebidas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar recipientes de alimentos e bebidas que já são produzidos utilizando o porongo como matéria-prima, através de pesquisa do estado da arte do material;
- Caracterizar a microestrutura do porongo através de técnicas de microscopia;
- Definir as principais propriedades do porongo, através de técnicas consolidadas na caracterização de materiais similares;
- Aplicar e avaliar técnicas atóxicas para a impermeabilização da parte interna do porongo, a partir de métodos utilizados com materiais similares, como a madeira.

1.3. JUSTIFICATIVA

O cultivo do porongo é uma importante atividade agrícola no estado do Rio Grande do Sul, onde o fruto é produzido para a fabricação de cuias para chimarrão e artesanatos (BISOGNIN; SILVA, 2004). Segundo dados da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) do Estado, a safra do porongo do ano de 2011 gerou cerca de 11,2 milhões de frutos aproveitáveis no RS (GLOBO, 2012). O fato de estar associado basicamente à produção de artefatos da cultura local acaba restringindo o cultivo em outras regiões do país, bem como o seu aproveitamento como matéria-prima para a fabricação de outros produtos. Ainda assim, é a principal fonte de renda para dezenas de pequenos produtores no RS (SILVA, 2005).

A agricultura familiar é considerada meio de desenvolvimento sustentável, pois em pequenas propriedades com produção diversificada se obtém maiores rendimentos do que nos latifúndios, além de minimizar as agressões ao meio ambiente, como o desmatamento, o uso de agrotóxicos e o desgaste do solo. Ignacy Sachs, um dos autores responsáveis pela definição do conceito de desenvolvimento sustentável, ressalta que a diversificação da produção é um fator determinante para a agricultura familiar e que não há produto agrícola que não seja compatível com a mesma (FELIPPI, 2001). A diversificação da produção é importante porque trabalha com rotação de culturas e oferece ao produtor estabilidade econômica. O cultivo do porongo é uma alternativa de diversificação da produção.

Com o aproveitamento na confecção de novos produtos, como recipientes diversos para alimentos e bebidas, a demanda pelo cultivo do porongo aumentaria, incentivando a agricultura familiar como um todo. Além disso, a manufatura de novos produtos se converte em geração de renda para famílias envolvidas e em incentivo para a manutenção dessas famílias no campo. No contexto do design como promotor do desenvolvimento sustentável, estratégias que beneficiem a agricultura familiar são extremamente importantes, já que a mesma constitui um estilo de vida sustentável.

A utilização de matérias-primas oriundas de fontes naturais renováveis, como o porongo, vem se tornando mais do que alternativas, mas uma necessidade, quando a exaustão de recursos não renováveis é certa e se aproxima a cada dia. Na iminência da extinção de tais materiais, há que se focar em materiais de fontes renováveis, naturais, que

ao longo de todo o ciclo de vida agridam menos a natureza. Uma alternativa é a exploração de materiais naturais, oriundos de fontes renováveis, biodegradáveis, de modo que possam ser absorvidos novamente pela natureza ao final de seu ciclo de vida, e que gerem, ao longo deste menos gasto de energia e resíduos, sendo assim uma opção ambientalmente mais amigável.

Mais especificamente no contexto do design, a utilização de materiais naturais vinculados à determinado território, que carregam em si a simbologia local e cultural, contribui no fortalecimento da identidade dos produtos, transmitindo uma maior qualidade percebida para os usuários. Considerando a massificação dos produtos disponíveis no mercado, genéricos e desprovidos de significados, estratégias de diferenciação são extremamente importantes no design de novos produtos.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O segundo capítulo, de fundamentação teórica, aborda os três eixos centrais do trabalho: o porongo, o estudo das propriedades dos materiais e os tratamentos de preservação de materiais naturais. As informações são expostas na sequência supracitada que é a ordem lógica da relação entre os temas, de modo que num primeiro momento são apresentadas as potencialidades do porongo como matéria-prima, passando para a importância da identificação das propriedades dos materiais e finalizando com as técnicas de preservação de materiais naturais.

A primeira seção trata da matéria-prima, o porongo. São resgatadas as origens da planta, do processo de domesticação e os primeiros artefatos produzidos a partir do fruto. Voltando ao tempo presente, serão descritas as principais etapas do processo do cultivo no estado do Rio Grande do Sul e as características morfológicas do fruto. Na sequência, serão apresentados exemplares de artefatos produzidos a partir da matéria-prima ao redor do mundo, com ênfase nos recipientes para alimentos e bebidas, de modo que se possa visualizar o potencial de aplicação do porongo na confecção de produtos a partir do que já é produzido. Por fim, será apresentado o processo de fabricação de cuias, a partir de informações coletadas *in loco* em indústrias da região central do RS.

A partir da descrição da matéria-prima, parte-se para a segunda seção, sobre as propriedades dos materiais. A viabilidade da utilização de um material no projeto de produtos depende do conhecimento que se tem do mesmo para direcionar a sua aplicação condizentemente. Sabe-se que o porongo é utilizado empiricamente e ainda não tem as suas propriedades devidamente mensuradas. Nesse sentido, será abordada a importância da identificação das propriedades dos materiais, as principais propriedades para definir um

material e as técnicas e análises mais utilizadas em cada caso. A partir dessas informações serão definidos os métodos a serem utilizados para a caracterização do porongo.

Por se tratar de um material natural orgânico, tratamentos de preservação são indispensáveis para retardar o processo de degradação e estabilizar as características físicas. Assim, a terceira e última seção da fundamentação teórica é referente às técnicas de preservação de materiais naturais. Como estudos científicos sobre o porongo são escassos, serão abordados os principais métodos utilizados com a madeira, por ser um material similar e com vasto referencial teórico. Serão destacados os prós e os contras dos métodos tradicionais, principalmente no que se refere aos impactos negativos ao ambiente e, conseqüentemente, à saúde do homem. Como alternativa, serão apresentadas técnicas atóxicas e ambientalmente corretas, das quais as mais eficientes serão aplicadas no porongo neste estudo e posteriormente serão avaliados os resultados.

2.1. PORONGO

A julgar pela produção pontual e limitada do porongo no Brasil, direcionada basicamente para a confecção de artesanatos e cuias no Rio Grande do Sul, corre-se o risco de concluir erroneamente que se trata de uma planta restrita ao território e à história do estado. Entretanto, tão remotas são as suas origens e tamanha a sua influência em todos os continentes ao longo da história, que é considerado um dos maiores presentes da natureza para o homem, tanto que traz no nome a comprovação da sua utilidade para a humanidade. 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). A origem do nome remete a uma das principais funções do fruto para os diversos povos que o utilizaram. Ainda disseminado em muitas partes do mundo, tem inúmeros nomes vernáculos, a maioria dos quais dizem respeito às diferentes formas dos frutos. No Brasil é popularmente conhecido como cabaça e, particularmente no RS, mais conhecido como porongo.

2.1.1. Origens da mais antiga das plantas domesticadas

Antes de iniciar o projeto de algo novo, há que se conhecer o que o antecedeu. Assim é em qualquer área e não seria diferente no design, tanto que, independente da metodologia de projeto, uma das primeiras etapas é a pesquisa da história do produto, da sua evolução, para, a partir dessas informações, dar continuidade às demais etapas, reduzindo as chances de repetir erros do passado. No caso do presente trabalho o foco não é um produto, mas sim um material, que por ser natural torna a sua história muito mais longínqua e ampla, o que reforça a necessidade de conhecê-la, a fim de facilitar o processo de identificação de elementos de valorização do território.

Ao planejar um projeto de valorização, é necessário compreender o espaço onde nasce o produto, sua história e suas qualidades, associados ao território e à comunidade de origem. Essa compreensão abrangente, juntamente com a identificação dos “marcadores de identidade”, constitui a base para projetar produtos e serviços ligados ao território (KRUCKEN, 2009, p. 99).

O porongo pertence à família das cucurbitáceas (*Cucurbitaceae*), uma das mais importantes famílias de plantas utilizadas pelo homem, fornecendo alimentos e fibras. As cucurbitáceas estão relacionadas com a origem da agricultura e das civilizações humanas, estando entre as primeiras espécies de plantas a serem domesticadas (BISOGNIN, 2002). Pertencem às cucurbitáceas a abóbora, o pepino, o melão e a melancia, alimentos importantes, e o porongo, fruto utilizado para diversos fins. De acordo com Jeffrey (1990), as cucurbitáceas consistem de cerca de 118 gêneros e 825 espécies, divididas em cinco subfamílias: *Fevilleae*, *Melothriaceae*, *Sicyoideae*, *Cyclanthereae* e *Cucurbitaceae*, sendo a última, a mais representativa em termos de aproveitamento. Em estudo taxonômico mais recente, são reconhecidas 15 tribos: *Gomphogyneae*, *Triceratieae*, *Zanonieae*, *Actinostemmateae*, *Indofevilleae*, *Thladiantheae*, *Siraitieae*, *Momordiceae*, *Joliffieae*, *Bryonieae*, *Sicyoeae*, *Coniandreae*, *Cucurbiteae* e *Benincaseae*, sendo a última composta por 24 gêneros, 204 a 214 espécies, incluindo a *Lagenaria*, composta por seis subespécies (SCHAEFER; RENNER, 2011).

Evidências arqueológicas da utilização do porongo foram encontradas em diferentes continentes e relacionadas a várias civilizações. Exemplares do fruto que datam

de 11.000 AC foram encontrados na Ásia Oriental. No continente americano porongos eram utilizados desde, pelo menos, 10.000 AC (KISTLER *et al.*, 2014). Com relação à América do Sul, mais especificamente, os registros datam de 6.000 a 5.000 AC, entretanto, não há argumento seguro que possa resolver a questão da distribuição bi-hemisférica incomum do porongo (BISOGNIN, 2002).

Com o intuito de esclarecer a disseminação do porongo em todos os continentes e suas origens, um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual da Pensilvânia, liderados por Logan Kistler, reuniram exemplares oriundos de todos os continentes e sequenciaram 86.000 pares de bases do DNA no cloroplasto e assim, foram capazes de rastrear os ramos da árvore genealógica do porongo (Fig. 5) (KISTLER *et al.*, 2014).

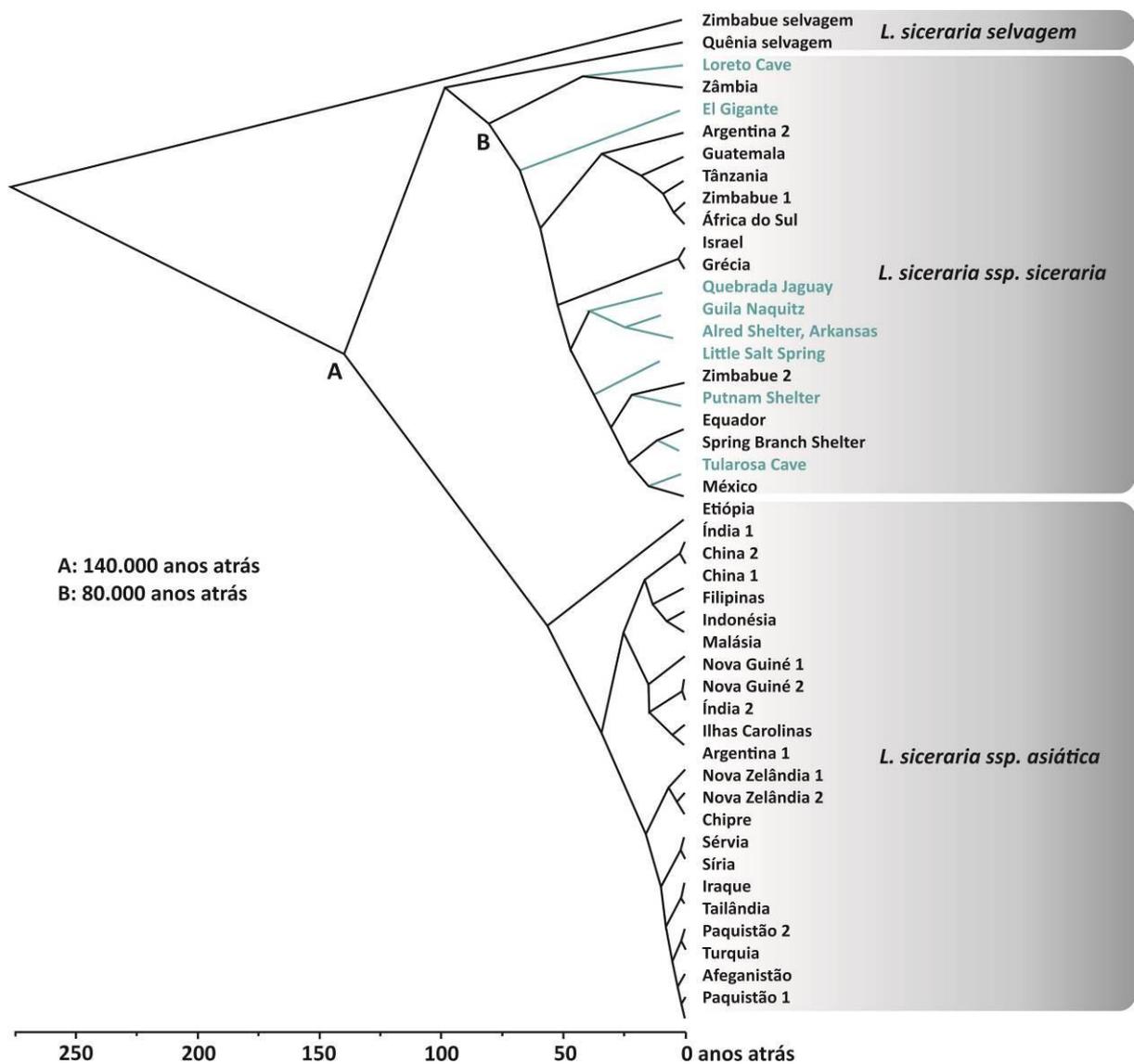


Figura 5: Genealogia do porongo. Fonte: Modificado de Kistler *et al.*, 2014.

Na imagem da genealogia do porongo, o eixo X é uma escala de tempo que vai de 250 mil anos atrás até os dias de hoje e os nomes em verde referem-se aos exemplares de porongo encontrados em sítios arqueológicos no continente americano. Na árvore genealógica do porongo pode-se observar que um ancestral comum origina outros dois, A e B, a partir dos quais são geradas todas as demais variações asiáticas e africanas, respectivamente. Um exemplar africano selvagem é a origem de tudo, relacionado no primeiro nome da lista (*Zimbabwe selvagem*), e que surgiu a aproximadamente 250 mil anos atrás. A partir dele, a árvore se divide em duas linhagens principais: uma que inclui os espécimes africanos domesticados, e outra que inclui os asiáticos. Os porongos do continente americano compartilham um ancestral comum com os africanos entre 60.000 a 103.000 anos atrás, muito tempo antes dos primeiros homens que migraram para as Américas, o que aconteceu cerca de 15.000 anos atrás. Ou seja, o porongo chegou ao continente americano sem a interferência dos seres humanos (KISTLER *et al.*, 2014).

Há cerca de 80.000 anos atrás, cabaças selvagens cresciam apenas na África. A teoria do transporte marítimo é uma das explicações para a disseminação da espécie. As sementes podem ter sido transportadas pelo mar, pois modelos computacionais das correntes marítimas indicam que levaria apenas alguns meses para que as sementes de porongos selvagens chegassem ao continente americano. A casca dura e impermeável conservaria as sementes que, ao sair do oceano, teriam brotado. Enquanto o Alasca teria sido um lugar inóspito para as cabaças crescerem, lugares com clima tropical como Flórida, México e Brasil teriam sido ideais (KISTLER *et al.*, 2014).

A África foi provavelmente o primeiro lugar onde o porongo foi domesticado pelo homem. Kistler *et al.* (2014) sugerem que diferentes grupos de pessoas podem ter se deparado com diferentes populações selvagens da planta e selecionado àquelas com a casca mais dura para utilizar como recipientes. Também na Ásia o porongo está entre as primeiras plantas domesticadas, trazidas pelos primeiros polinésios a se assentar na Nova Zelândia há milhares de anos atrás estava um membro da família *Cucurbitaceae*. O porongo foi a primeira planta propagada a partir de sementes por pessoas em solos neozelandeses (BURTENSCHAW, 2003). Os Maoris, povo nativo neozelandês, utilizam utensílios feitos em porongo como recipientes (Fig. 6), sendo que ainda hoje podem ser observados exemplares que eram utilizados para armazenar e beber água, expostos em museus (Fig. 7).



Figura 6: Pai Kanohi com recipientes de porongo, Nova Zelândia, 1903. Fonte: Clarke, 2006.

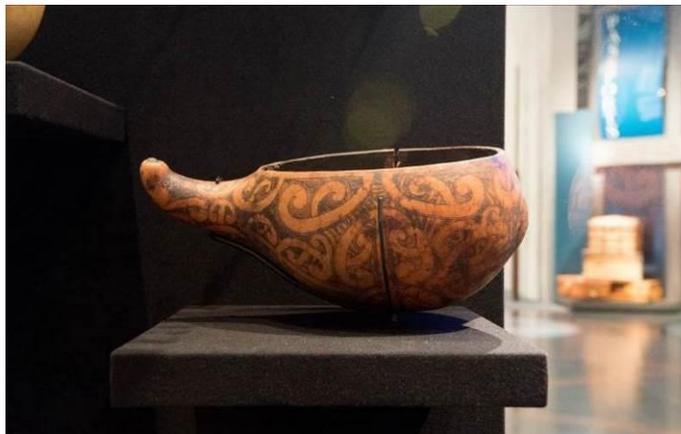


Figura 7: *Taha wai* – recipiente de água Maori – Museu Te Papa Tongarewa, N. Zelândia. Fonte: Coetzee, 2013.

Na Nova Zelândia o porongo também foi valorizado como planta alimentícia. Os frutos jovens se assemelham a uma abobrinha e eram cozidos em *hangi* (cozido com vapores naturais saídos do solo de terrenos vulcânicos). No entanto, também forneceu aos nativos uma ampla gama de recipientes, boias, instrumentos musicais, adornos e máscaras. O uso do porongo disseminou-se rapidamente na Polinésia Oriental porque ali as fontes de argila estavam escassas e com o tempo as técnicas cerâmicas foram esquecidas. Daí a importância de uma planta que poderia produzir anualmente uma série de recipientes de tamanhos diferentes (BURTENSCHAW, 2003).

Foi a partir dessa planta (*L. siceraria*) que os Maoris obtiveram todos os seus recipientes, para retenção de água, óleos, alimentos cozidos com origem animal, etc. Isto foi feito secando e endurecendo cuidadosamente os frutos totalmente maduros com o calor do sol e o fogo, e tão cuidadosamente escavando para fora

todo conteúdo, através de um pequeno orifício feito perto do fim do talo. Nos recipientes feitos a partir de cabaças muito pequenas, eles mantiveram seus óleos perfumados para unção; das de tamanho médio e grande fizeram recipientes (COLENZO, 1880, *apud* BURTENSHAW, 2003, p. 11).

Na África, além do porongo ser utilizado na produção de recipientes para alimentos e bebidas, suas excelentes propriedades acústicas são exploradas há milhares de anos na confecção de instrumentos musicais. O porongo é utilizado na fabricação de uma gama de flautas, tambores e instrumentos de cordas na Índia, onde ele é utilizado como câmara de ressonância para o sitar e outros instrumentos musicais (BURTENSHAW, 2003).

Com relação à disseminação do porongo na América do Sul, mais especificamente no sul do Brasil, sabe-se que já era conhecido pelos índios Guaranis no ano de 1580, quando os jesuítas de Manoel da Nóbrega chegaram no território que corresponde hoje ao estado do Rio Grande do Sul (LESSA, 1986). O próprio chimarrão era hábito dos nativos que os europeus assimilaram. Mas os índios e os primeiros imigrantes da região não utilizavam o porongo apenas para a confecção de cuias, aproveitavam-no para a produção de outros recipientes, conforme pode ser visualizado no acervo permanente do Museu do Parque Gaúcho, em Gramado/RS. O museu remonta as origens e os hábitos que formaram o povo gaúcho, e juntamente com o couro e a cerâmica, o porongo era um dos principais materiais utilizados na produção de artefatos do cotidiano, como recipientes para alimentos (Fig. 8a) e água (Fig. 8b), este último muito similar ao utilizado pelos Maori (Fig.7).



Figura 8: Recipientes dos Índios Guaranis confeccionados a partir de porongos: a) Recipientes para alimentos; b) Recipiente para água. Fonte: Acervo do Museu do Parque Gaúcho, 2015.

O porongo faz parte da história e da evolução de inúmeros povos e culturas. Manteve suas principais características estéticas e funcionais intactas ao longo de milhares de anos, e continua servindo tão bem para o armazenamento de alimentos e bebidas hoje, quanto o fazia no início das civilizações. O triunfo do porongo há muito impressiona os cientistas. Entre as espécies domesticadas, apenas o cachorro se espalhou mais sobre o globo terrestre (KISTLER *et al.*, 2014).

2.1.2. Do plantio ao fruto

Com relação ao plantio do porongo, as informações encontradas referem-se ao cultivo na região central do estado do RS, onde predomina o cultivo do tipo de casco fino. Para a semeadura do fruto na região de Santa Maria são utilizadas sementes selecionadas na própria lavoura, pelo tamanho e formato do fruto, sem nenhuma atribuição à planta, é uma seleção fenotípica de frutos individuais. Não se conhece a origem das populações de porongo utilizadas na região (SILVA *et al.*, 2002). O hábito de crescimento da planta é trepador e se mantém rasteiro (Fig. 9a) na ausência de um tutor (Fig. 9b), o qual tem como vantagem um maior controle do formato final dos frutos (TREVISOL, 2013).



Figura 9: Cultivos do porongueiro: a) Rasteiro; b) Guiado por tutor, no caso, uma árvore de erva-mate (*Ilex paraguariensis*).

Com relação às estruturas da planta que dá origem ao porongo, possui um sistema radicular bem desenvolvido e ramificado, o caule é herbáceo firme, de onde se originam as folhas, brotações, inflorescências e gavinhas. Com relação às folhas do porongueiro (Fig. 10a), são geralmente simples, reniformes¹, onduladas, com margem inteira.

O porongo é uma planta monóica², em que os gametas masculinos e femininos estão separados, as flores apresentam uma corola de cor branca com cinco pétalas (Fig. 10b). O fruto (Fig. 10c) é classificado como uma baka do tipo pepônio, por causa de seu casco duro e resistente, sendo que o termo cabaça refere-se à casca dura. Quanto à morfologia interna, o fruto apresenta o exocarpo, mesocarpo e endocarpo. Quanto à forma o fruto pode ser alongado, cilíndrico, curvado, largo, oblongo, redondo, redondo-achatado e cônico (TREVISOL, 2013).

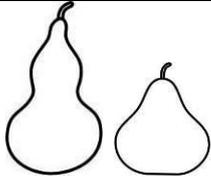
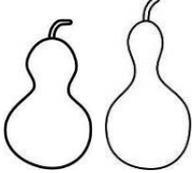
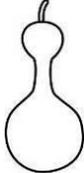
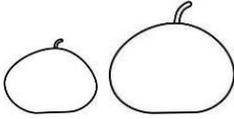
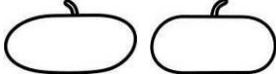


Figura 10: Detalhes do porongueiro: a) Folhas; b) Flor; c) Frutos. Fonte: Modificado de POLITIS, 2014.

A espécie *L. siceraria* possui grande variabilidade de formatos de fruto, quanto a grossura do casco, comprimento, simetria, largura e número de sementes. A fim de classificar os tipos de porongo mais recorrentes cultivados no RS, Silva *et al.* (2002) sugerem a seguinte nomenclatura (Quadro 1):

¹ Que tem a forma de um rim.

Quadro 1: Nomenclatura para os diferentes formatos de porongos encontrados no RS.

Ilustração	Nomenclatura	Formato
	Achatado Piriforme	Em formato de pêra
	Octoforme	Em formato do numeral oito
	Halteriforme	Em formato de halteres
	Globular Piriforme	Em formato de globo
	Elíptico Piriforme	Em formato de elipse

Fonte: Adaptado de SILVA *et al.*, 2002.

O posicionamento do fruto no solo, ainda pequeno, deve ser na vertical, de modo a formar a base da cuia na forma correta. Frutos mantidos na posição horizontal podem entortar e perder a qualidade para cuia (TREVISOL, 2013). A colheita é realizada após a senescência natural da planta, em que os frutos são colhidos e amontoados à sombra para secar lentamente. O processo de secagem na sombra pode demorar mais de seis meses para permitir a cura do material. O verde da epiderme exterior irá desaparecer e o fruto perderá 90% do seu peso com a evaporação da água presente. Quando o porongo estiver totalmente seco, as sementes irão chacoalhar dentro do mesmo (Fig. 11a) e a polpa se desgrudará do mesocarpo (Fig. 11b). Neste estágio, os restos da epiderme podem ser lavados e a casca externa pode ser escovada (BURTENSCHAW, 2003).

² Espécie em que o mesmo indivíduo possui órgãos sexuais dos dois sexos.



Figura 11: Parte interna do fruto seco: a) Polpa, membrana seca de coloração clara; b) Sementes, pontos escuros no fundo do fruto.

A importância de saber a época da colheita tem relação direta com a qualidade da cúa, pois a secagem do fruto no campo, após esta fase, aumenta o risco de necrose do material placentário causado pelos fungos, com o escurecimento da cúa no casco externo e interno, e perda da qualidade. Na pesquisa realizada por Trevisol (2013), o fim do ciclo deu-se aos 195 dias, o autor desenvolveu uma técnica que relaciona o ponto de colheita com a cor do pedicelo do fruto. A mudança da cor verde escura do pedicelo para a cor parda e, depois, a pardo-escura é o atributo morfológico que indica o ponto de colheita do fruto. A colheita nessa fase diminui o risco de manchas escuras, porque evita a decomposição microbiana da massa de semente e da placenta, no interior do fruto (TREVISOL, 2013).

Segundo Bisognin *et al.* (1992), a produtividade média do porongo de casco fino chega a 12.000 frutos e o do casco grosso a 6.000 frutos por hectare, o que justifica a preferência dos produtores e dos fabricantes de cuias pela variante do casco fino. A pesquisa realizada por Trevisol (2013) teve por objetivo a orientação do manejo da cultura do porongo, a fim de aumentar a produtividade e a qualidade do fruto. Ao final da pesquisa, concluiu que o baixo rendimento de frutos comercializáveis está relacionado com a variabilidade genética da espécie.

No experimento realizado pelo autor, o número de frutos por hectare variou conforme a densidade de plantas, ficando entre 9.000 e 10.000 exemplares. A morfologia do fruto não foi prejudicada pelo aumento da densidade de plantas e manteve a qualidade

comercial do porongo. Do total de frutos formados, 66% tinham qualidade comercial. A média da espessura da casca foi de 12 mm; do diâmetro maior do fruto foi de 14 cm; do diâmetro da cuia foi de 7,4 cm; do comprimento do fruto foi de 24 cm; e, por fim, do diâmetro da constrição do fruto foi de 6,7 cm (TREVISOL, 2013).

2.1.3. Do fruto aos mais variados recipientes

O porongo é uma das mais antigas matérias-primas utilizadas pelo homem para a confecção de artefatos. O fato de fazer parte da evolução da humanidade, justifica a variedade de produtos confeccionados a partir do mesmo. Alguns artefatos são universais, comuns à todos os povos que utilizaram o porongo, como recipientes, instrumentos musicais, boias e máscaras, outros são específicos de determinadas regiões. A união de métodos tradicionais de beneficiamento do porongo com técnicas modernas possibilita a confecção de produtos diferenciados, como luminárias, recipientes e outros adereços confeccionados artesanalmente a partir do porongo (Fig. 12).



Figura 12: Produtos artesanais oriundos da Índia. Fonte: Isha, 2014.

Características inerentes do porongo, principalmente o formato e a resistência, sempre induziram o homem a utilizá-lo como matéria-prima na fabricação de recipientes para alimentos e bebidas, muitos destes ainda hoje são confeccionados em diferentes partes do planeta. A partir da ótica do design de produtos, é importante observar a diversidade de processos e técnicas utilizados na fabricação de tais artefatos, que variam conforme o lugar onde são produzidos.

O fato de a África ser, possivelmente, o primeiro local onde o porongo foi domesticado, talvez explique a variedade e a riqueza dos trabalhos manuais desenvolvidos a partir do material. Utensílios domésticos feitos a partir do porongo são muito comuns nos domicílios de toda a África Ocidental. Eles são utilizados para limpar arroz, transportar água (Fig. 13), e como recipientes para alimentos diversos.



Figura 13: Porongos utilizados para transportar água, na África. Fonte: National Geographic, 2014.

Outro fator que merece destaque é o trabalho de design de superfície realizado no porongo. A estética destes produtos é igualmente rica, pois carrega referências culturais de onde foi produzido. Cada povo incutiu características próprias no processo, mas em todos percebe-se a atenção aos detalhes e alta qualidade estética. As características da casca exterior do porongo possibilitam a aplicação de diversas técnicas de design de superfície,

como relevos, tingimento e desenhos, bem como amplas possibilidades de combinação entre os mesmos (Fig. 14). A cor natural da casca exterior é amarelada e escurece com o tempo. Os africanos desenvolveram técnicas que alteram a coloração original, esfregando os frutos com folhas de milho obtém-se a cor rosa; com o índigo, a cor azul; e pendurando-os em uma sala cheia de fumo, ficam escurecidos (POLITIS, 2014).



Figura 14: Recipientes diversos produzidos a partir do porongo na África. Fonte: Malika, 2009.

O porongo pode ser decorado por várias técnicas ou métodos diferentes, de acordo com a tradição da área, as principais são raspagem e pirogravura. A raspagem é realizada na superfície do material com uma ferramenta afiada, formando desenhos ao retirar uma fina camada. A pirogravura é uma técnica onde são gravados com ferro incandescente os mais variados motivos na superfície do material, o que faz com que os desenhos apresentem, em geral, coloração escura, em função da queima do material no local (Fig. 15). Na maioria das vezes as técnicas são combinadas (POLITIS, 2014).



Figura 15: Recipientes feitos de porongo decorados com pirogravura: a) Cumbucas decoradas na parte externa e interna. Fonte: HIWTC, 2013; b) Colheres decoradas com pirogravura. Fonte: Thunga, 2014.

Na América Latina, mais especificamente Peru, Bolívia e Equador, o porongo é utilizado para fins medicinais por povos andinos, há milhares de anos. Na cultura Inca, desenhos que representam o folclore e a simbologia são aplicadas na superfície externa de porongos, que são passados de geração para geração (Fig. 16). Esta prática ainda é realizada nos dias atuais. A decoração destes frutos é uma tradição antiga entre os nativos da América do Sul, notadamente dos planaltos centrais do Peru.



Figura 16: Porongos decorados, cultura Inca. Fonte: Politis, 2014.

Ainda na América do Sul, o hábito do chimarrão não é exclusividade do sul do Brasil. Por ser herança dos povos nativos que habitavam a região, ainda hoje, países como o Uruguai e a Argentina também são adeptos da bebida. A erva-mate e o porongo são a matéria-prima básica para a bebida independente do país, entretanto, a forma como a infusão e o recipiente são feitos, varia de um lugar para o outro. No Uruguai e na Argentina,

o porongo utilizado para a fabricação das cuias é menor (Fig. 17), e com formato mais arredondado, globular ou elíptico (conforme Quadro 1).



Figura 17: Cua uruguaia de formato elíptico (à direita) com a erva-mate utilizada no preparo do mate (à esquerda). Fonte: WH3, 2014.

A cua uruguaia ou argentina pode apresentar bocal metálico (Fig. 17), desenhos na superfície também são muito comuns, feitos a partir de técnicas de pirogravura e tingimento (Fig. 18). Outros materiais como couro e resinas acrílicas são utilizados para revestir o porongo e modelar pés de apoio ou desenhos diferenciados.



Figura 18: Desenhos em relevo e tingidos em cuias. Fonte: Imgarcade, 2014.

Sobre a cua que é utilizada no sul do Brasil, herança dos índios Guaranis, tanto o processo de obtenção da erva-mate para o chimarrão, quanto a fabricação da cua a partir do porongo pouco se alteraram do que era feito pelos nativos séculos atrás. O princípio é o mesmo, no caso da cua, apenas ganhou alguns adornos em materiais diferenciados para agregar valor estético. Aqui, os formatos de porongo mais utilizados para a fabricação do

recipiente são o achatado/piriforme e o octoforme (Quadro 1). Além do porongo, é comum a utilização de metais, como alumínio e prata, para a confecção do bocal da cuia (Fig. 19), agregando valor e beleza ao produto.



Figura 19: Diferentes modelos de cuias típicas do sul do Brasil. Fonte: Tunesilva, 2014.

A superfície externa pode receber grafismos, geralmente referentes à cultura gaúcha. Os desenhos são realizados com técnicas de pirogravura (Fig. 20) e, mais recentemente, técnicas de gravação a laser vêm sendo testadas na superfície do porongo, para a fabricação de peças personalizadas.



Figura 20: Cuia com desenhos feitos com pirogravura, e bocal em metal. Fonte: Churrasco a Cavallo, 2014.

O potencial do porongo como matéria-prima para a produção de recipientes para alimentos e bebidas é um fator explorado em muitos países. É interessante observar como um único material possibilita tão vasta gama de produtos, tantas referências

funcionais e estéticas para o trabalho de design. Cada povo deixa a sua marca, e o resultado é uma variedade incrível de técnicas utilizadas. O porongo possibilita a sua combinação com outros materiais, como metais e resinas, e apresenta alguns processos de manufatura consolidados. O processo de fabricação de cuias descrito a seguir é baseado na cultura do estado do RS, no Brasil.

2.1.4. Processo de fabricação de cuias

A visita técnica em duas fábricas de cuias teve como objetivo conhecer o processo produtivo: equipamentos e ferramentas utilizados, tecnologias empregadas, perfil dos colaboradores e métodos de impermeabilização para a parte interna do porongo, se utilizados. A região central do estado do Rio grande do Sul concentra várias fábricas de cuias com perfil semelhante: pequenas empresas familiares, com poucos funcionários e produção semi-artesanal. Foram visitadas duas fábricas de cuias na cidade de Santa Maria, RS, a Cuias Fracari e a Fábrica de Cuias Pires, que fabricam produtos que abastecem todas as regiões do estado. As etapas do processo de fabricação são muito similares nas empresas (Fig. 21).

Os porongos são adquiridos de produtores externos, sem vínculo com as empresas. O material chega às fábricas de cuias já processados, apenas a parte do porongo que vai ser utilizada para a fabricação dos recipientes (Fig. 21a). Os resíduos, que são o volume mais representativo, ficam nas plantações e são triturados e utilizados como adubo. A matéria-prima chega às indústrias sem nenhuma limpeza ou acabamento, tanto na parte interna quanto na externa, o material é bem rústico.

Inicialmente, as peças que chegam cortadas das plantações têm a parte externa escovada para a retirada de resíduos decorrentes do processo de secagem, a fim de deixar a casca mais lisa e uniforme. Posteriormente, passam por um procedimento para a retirada do excesso do material interno (Fig. 21b), o processo é realizado com uma ferramenta rotativa. A etapa seguinte é a de homogeneização da parte interna do porongo. É realizado o processo de lixamento (Fig. 21c), de modo que a espessura fique o mais uniforme possível.



Figura 21: Etapas do processo de fabricação de cuias das empresas visitadas: a) Matéria-prima; b) Retirada do material interno; c) Lixamento da parte interna; d) Alteração da cor da casca; e) Polimento da casca; f) Aplicação do bocal de metal; g) Cuia finalizada.

No lixamento não há uma espessura padrão, já que cada fruto tem uma estrutura única, o procedimento é lixar até adquirir uma espessura regular. A ferramenta utilizada é um bloco maciço cônico, no qual é colada uma lixa, e o mesmo é fixado em um eixo rotativo. Com a parte interna lixada é realizado o acabamento na superfície externa do porongo. O fruto apresenta uma tonalidade natural que varia do marrom claro ao escuro, que muitas vezes é mantida na produção. Entretanto, existem métodos de alterar a cor natural. Uma técnica utilizada nas indústrias é a aplicação de ácido nítrico na casca. O produto é aplicado com uma esponja, após a casca é aquecida com maçarico (Fig. 21d), e a cor se altera. Quanto mais calor, mais escura fica a casca do porongo. Com pouco calor a superfície fica avermelhada, com muito calor fica marrom escura.

Para finalizar o acabamento da superfície externa, o porongo é polido. É aplicada uma fina camada de cera, a mesma utilizada para polir joias, e a superfície externa é polida na politriz (Fig. 21e). Caso haja a necessidade de se fazer algum trabalho de desenho e relevo na casca, primeiro este é finalizado, para depois polir a peça. No caso da aplicação de bocal de metal na cuia, a empresa adquire as chapas de alumínio e realiza os processos de corte e prensa nas próprias dependências, com ferramenta específica (Fig. 21f).

Com relação às técnicas de decoração da superfície, as indústrias, em geral, são conservadoras e utilizam métodos tradicionais bem difundidos, como a pirogravura e o entalhe. Entretanto, uma das empresas visitadas, dispõe de um equipamento de gravação a laser (Fig. 22), no qual são feitos trabalhos personalizados, geralmente gravação de logos de empresas. A técnica agrega valor ao produto final, pois alcança altos níveis de detalhamento.

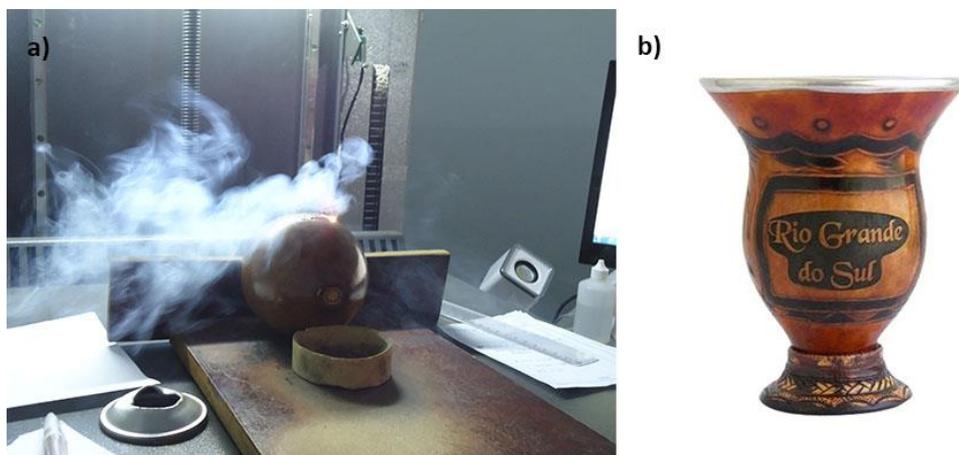


Figura 22: Gravação a laser na superfície externa da cuia: a) Processo de gravação a laser; b) Cuia com o detalhe da escrita no centro gravada a laser..

A impermeabilização da parte interna do porongo é um aspecto central neste trabalho, por isso a necessidade de pesquisar a questão *in loco*. As duas fábricas visitadas não aplicam nenhum produto na superfície interna das cuias. Via de regra, o acabamento padrão é o lixamento. Entretanto, uma das empresas se utiliza, eventualmente, de uma técnica onde a parte interna é superficialmente queimada com um maçarico (Fig. 23). Com isso, o usuário não precisa fazer a cura do porongo antes de utilizá-lo. Como os poros da superfície são fechados após a ação do calor, o resultado é uma superfície mais impermeável. Não é o processo padrão da empresa.



Figura 23: Área interna da cua escurecida após a queima com maçarico.

As empresas visitadas possuem um perfil muito semelhante: pequenas empresas, com mão-de-obra familiar, poucos funcionários, com ferramental simples, muitas vezes improvisado, que alcançam uma produtividade relativamente alta, de 3.000 a 7.000 unidades por mês, dependendo do modelo de cua a ser fabricado. São caracterizadas pela exploração de diversas técnicas já consolidadas e, com o maior acesso às informações, observa-se um crescente interesse por novas tecnologias, como é o caso da gravação a laser no design de superfície das peças.

2.2. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Como seres humanos, estamos condicionados à vida em um mundo essencialmente material no planeta Terra. Toda a evolução da espécie esteve profundamente relacionada com a forma como o homem interage com os recursos materiais à sua volta. O desenvolvimento e o avanço das sociedades estiveram intimamente ligados às habilidades de seus integrantes em manipular materiais para satisfazer as suas necessidades. Ao longo dos séculos a importância de se conhecer a fundo os materiais com os quais se trabalhava foi ficando mais nítida, e conforme o avanço tecnológico das técnicas analíticas chega-se ao ponto de conhecer a estrutura atômica dos materiais.

O design como uma área orientada, também, para o desenvolvimento de novos produtos, o conhecimento dos materiais a serem utilizados é parte essencial de qualquer trabalho. O design é consensualmente definido como o meio transformador de ideias, planos, em produtos passíveis de serem utilizados por usuários. Tal transformação se dá através dos materiais, responsáveis pela passagem do abstrato para o concreto, daí a importância do processo de seleção dos mesmos durante o projeto.

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. A estrutura subatômica refere-se aos elétrons nos átomos e as interações com o núcleo, passando para o nível atômico, onde a estrutura está relacionada com a organização dos átomos em moléculas, no próximo nível, chamado microscópico, os átomos estão organizados em grandes grupos, por fim, o último nível estrutural corresponde aos elementos que podem ser visualizados a olho nu, o nível macroscópico (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

Já as propriedades dos materiais correspondem à reação dos elementos estruturais à um estímulo externo. Segundo Callister e Rethwisch (2012, p. 3) “uma propriedade é uma característica de um dado material, em termos do tipo e da magnitude da sua resposta a um estímulo específico que lhe é imposto”. De um modo geral, as definições das propriedades são feitas de modo que sejam independentes da forma e do

tamanho do material. As propriedades são quantificáveis, representadas numericamente, de modo que possa haver um comparativo entre os diferentes materiais.

Cada família de materiais apresenta propriedades que lhe são mais características do que outras. Os metais distinguem-se por suas propriedades mecânicas de tração, compressão, cisalhamento e flexão. Já os vidros apresentam excelentes propriedades ópticas, como transparência e translucidez, que não são encontradas nos metais, por exemplo. Os polímeros caracterizam-se pelas propriedades de plasticidade e deformação. As propriedades magnéticas são específicas para determinados materiais, não sendo relevantes para outros. Com relação aos materiais naturais orgânicos é mais difícil estabelecer atributos comuns, pois eles variam muito conforme o material.

A madeira é um material natural orgânico tradicional, utilizado para vários fins, por isso possui suas propriedades principais bem definidas. O porongo pode ser considerado similar à madeira, em função de sua constituição e estrutura. Portanto, para este estudo, foi assumido que as propriedades relevantes para caracterizar o porongo são as mesmas que são relevantes para a caracterização da madeira. As propriedades consideradas mais importantes de serem qualificadas e quantificadas para a caracterização destes materiais são as organoléticas (sensoriais), as físicas, as mecânicas, as térmicas, as elétricas e as acústicas (MORESCHI, 2014).

O termo propriedades organoléticas é utilizado por alguns autores para tratar das características estéticas da madeira, é um termo específico deste material. De um modo geral, em design, estas propriedades são conhecidas como sensoriais, estão relacionadas com a percepção visual e tátil do material, sem entrar em detalhes estruturais, são as qualidades estéticas. As propriedades físicas dizem respeito à organização estrutural e suas interferências, como a densidade do material, porosidade e teor de umidade. Já as propriedades mecânicas relacionam a deformação do material com uma carga ou força aplicada. As propriedades elétricas se referem à reação ao estímulo de um campo elétrico, o comportamento térmico dos materiais sólidos está relacionado com a capacidade calorífica e a condutividade térmica, por fim, as propriedades acústicas estão relacionadas à reação aos impulsos sonoros. No presente trabalho serão abordadas as principais propriedades físicas do porongo, diretamente relacionadas com o objetivo da utilização do material na produção de recipientes para alimentos e bebidas.

A definição das propriedades físicas das madeiras e materiais similares é baseada nos parâmetros de densidade e contração (PEREIRA, 2013). A densidade pode ser definida como a relação entre a quantidade de massa e o volume do material, compreendendo o volume também ocupado pelos poros. As unidades utilizadas mais comumente são kg/m^3 ou g/cm^3 , a primeira definida como unidade padrão pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Para madeiras, três valores de densidade podem ser obtidos: densidade em madeira verde, densidade básica e densidade aparente. A primeira corresponde à relação entre o peso verde e o volume verde. Já a densidade básica é a relação entre o peso seco em estufa e o volume verde. Por fim, a densidade aparente é aquela medida a um determinado teor de umidade, no caso entre 12% e 15%. Para a madeira, além dos valores numéricos, a densidade também é apresentada em valores qualitativos: leve (densidade aparente $\leq 550 \text{ kg/m}^3$); média ($> 550 \text{ kg/m}^3$ a $\leq 750 \text{ kg/m}^3$); pesada ($> 750 \text{ kg/m}^3$).

Outra propriedade importante de ser qualificada e quantificada é a contração. Segundo Pereira (2013, p. 54), “contração é um conceito relacionado às mudanças nas dimensões de uma peça, ocasionada pelas variações de umidade. Ditas variações são medidas em percentuais”. Estas informações são importantes para o design de produto quando as peças são colocadas muito próximas umas das outras ou em encaixes, portanto, as mudanças de dimensões devem ser observadas a fim de que o resultado final não seja comprometido em função de alterações no teor de umidade do ambiente.

A caracterização completa de um material, através da mensuração de todas as suas principais propriedades é uma tarefa complexa e que demanda tempo. Dentro do escopo deste trabalho, a prioridade foi a definição de algumas propriedades físicas, densidade, porosidade, teor de umidade e contração, para uma compreensão inicial das características do material, dentro do tempo hábil disponível. O estudo mais aprofundado das demais propriedades do porongo, mecânicas, térmicas, elétricas e acústicas, ficam como sugestão para trabalhos futuros.

2.3. PRESERVAÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS ORGÂNICOS

Um material natural, conforme definição de Lima (2006, p. 85) “é todo aquele extraído pelo homem da natureza, de forma planejada ou não, sendo que para a sua utilização artesanal ou industrial não tenha havido modificações profundas em sua constituição básica”. Podem ser orgânicos, quando obtidos a partir de um animal ou de um vegetal, ou inorgânicos se obtidos de um mineral. O porongo é um material natural orgânico ainda pouco explorado na fabricação de produtos, entretanto, existem outros já consagrados em determinados setores, como as fibras de origem vegetal na indústria têxtil, como algodão, linho, cânhamo e sisal, dentre outras, e a madeira amplamente utilizada na construção civil, na fabricação de móveis e de produtos diversos.

Os materiais naturais orgânicos estão entre os primeiros a serem utilizados pelos seres humanos. Há registros de restos de fogueiras associadas a agrupamentos humanos, com mais de 16 mil anos (GONZAGA, 2006) bem como evidências arqueológicas da utilização do porongo na Ásia Oriental que datam de 11.000 AC, e na América, pelo menos, 10.000 AC (KISTLER *et al*, 2014). Com o advento dos materiais sintéticos, os naturais perderam importância. Segundo Lima (2006) a substituição, em parte, se justifica pelas propriedades dos materiais naturais, como menor resistência a esforços frequentes, a exposição às intempéries e aos altos custos de produção, especialmente em grandes volumes. Outro fator deve-se à heterogeneidade dos materiais, visto que os fatores que influenciam e controlam as propriedades não podem ser uniformizados. Enquanto que os materiais sintéticos são produzidos em ambientes controlados de acordo com a demanda, os materiais naturais orgânicos são gerados a partir do ciclo natural dos seres vivos, o que pode levar muitos anos, e num contexto industrial onde a prioridade é o maior volume de produção no menor intervalo de tempo, o espaço para esse tipo de material é cada vez menor.

Em contrapartida, com o crescimento dos problemas ambientais muitos materiais naturais vêm merecendo destaque em virtude das reais possibilidades de renovação natural de suas reservas, ou mesmo pela renovação programada como ocorre com espécies vegetais como o eucalipto e a teca, ou mesmo pela biocompatibilidade como a facilidade de absorção pela natureza quando descartados (LIMA, 2006, p. 86).

Nesse contexto, existem métodos utilizados para melhorar o desempenho dos materiais naturais com relação às suas propriedades mais críticas. Os tratamentos preservantes 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). Em última instância, estes tratamentos são um incentivo ao aumento da utilização dos materiais naturais na indústria. De um modo geral, as técnicas mais importantes estão relacionadas com o retardo da degradação, já que a mesma desencadeia uma série de outras condições desfavoráveis.

A evolução das técnicas de preservação dos materiais orgânicos aconteceu naturalmente, pois a partir do momento que o homem passou a utilizá-los como matéria-prima para a confecção de artefatos mais elaborados, como cabos para ferramentas, se deparou com o problema da degradação dos mesmos e começou a buscar meios de preservação. A madeira foi um dos primeiros materiais utilizados pelo homem, conseqüentemente, foi a partir dela que começaram as pesquisas e aplicações de tratamentos, consolidando inúmeras técnicas.

A história dos tratamentos da madeira está fortemente vinculada ao desenvolvimento de barcos e navios, em todas as civilizações, o que se explica pelo fato de a madeira ceder mais rapidamente quando em contato com a água. O betume, derivado do petróleo, é um dos produtos mais antigos utilizados para a preservação, tendo sido mencionado na Bíblia como técnica utilizada por Noé para a construção da arca. Muito difundido no Oriente Médio, era usado tal como surgia, sob a forma de piche, e continuou a ser utilizado pelos fenícios. Já os gregos procuraram aperfeiçoar os tratamentos existentes, extraíram alcatrão do carvão, buscando preservantes mais eficientes. Os romanos utilizavam mantas de chumbo para proteger a parte submersa do casco das galeras de guerra, bem como óleos vegetais para a conservação de madeiras em obras civis, a fim de preservar e manter a cor (GONZAGA, 2006).

Os materiais naturais orgânicos são degradados 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 basicamente pela ação do sol e da chuva. Os raios solares ultravioleta agem apenas na superfície do material,

destruindo a pigmentação da camada mais externa e abrindo pequenas fendas por onde penetra umidade. Os raios infravermelhos penetram mais profundamente, aquecem e evaporam substâncias provocando o colapso da superfície. A chuva degrada o material através da umidade, que abre caminho para a ação de fatores biológicos, e configura-se em um dos principais fatores a serem evitados no material.

Com relação aos fatores biológicos, em clima tropical ou subtropical, a ação dos agentes biológicos é muito mais intensa do que em clima frio, o que reforça a atenção a ser dada no controle destes. Os principais fatores biológicos que atacam os materiais naturais são as bactérias, os insetos e os fungos. Algumas bactérias têm a capacidade de decompor a celulose, facilitando a penetração dos fungos, trabalhando assim, como agentes auxiliares dos fungos. Com relação aos insetos, os principais são as brocas (besouros) e os cupins. Distinguem-se pelos resíduos, sendo que as primeiras produzem um pó fino e claro, enquanto que os cupins geram fezes granuladas e escuras, ambos destroem a madeira ao cavar galerias ao longo do material. Por fim, alguns fungos específicos atuam na degradação da madeira produzindo bolores, manchas e podridão. Para tanto, requerem certas condições ambientais para o seu desenvolvimento, como umidade da madeira acima de 20%, temperatura ideal entre 25°C e 30°C, oxigênio e pouca luz solar. Para combater os fungos e necessário privá-los das condições favoráveis (GONZAGA, 2006).

Assim como a lista de fatores degradantes é extensa, também o é a variedade de produtos existentes para retardar os efeitos dos agentes biológicos e não biológicos. Em meio a tantas alternativas, é necessário estabelecer critérios para a escolha do produto mais adequado. O preservante ideal deveria possuir características únicas de eficiência e segurança, incluindo ter o menor risco possível para o aplicador, para quem manipula o material tratado e para o usuário final. De tal modo que as características ideais seriam mínima toxicidade aos seres vivos, proteção do material natural contra os organismos xilófagos³, retenção do produto aplicado ao longo dos anos e custo reduzido (APPEL *et al.*, 2006). Dentre os produtos pesquisados, nenhum contempla todos estes requisitos.

A preservação pode ser realizada por métodos naturais, biológicos e químicos. A secagem da madeira é a primeira etapa do tratamento independente do produto a ser

³ São conhecidos como xilófagos os organismos capazes de causar danos à madeira, como os fungos e cupins.

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. Para esta pesquisa, serão abordados com maior detalhamento os principais métodos químicos, por serem os mais difundidos, e os principais métodos naturais, por ser o foco de interesse para a preservação do porongo.

A esterilização do material antes da aplicação dos produtos preservantes é uma alternativa para tornar o processo mais efetivo. A esterilização por radiação gama de cobalto é amplamente difundida para a descontaminação de produtos alimentícios, materiais cirúrgicos descartáveis, vacinas, entre outros. Esse tipo de técnica não aquece o produto, podendo assim, ser aplicada a produtos biológicos, suscetíveis a mudanças de temperatura. É extremamente eficiente para a descontaminação, entretanto, um procedimento muito oneroso, o que limita a sua utilização (SANTOS *et al.*, 2003).

A aplicação dos produtos preservativos nos materiais naturais pode ser realizado através de métodos sem incremento de pressão e caseiros ou métodos com incremento de pressão ou industriais. Os primeiros são técnicas simples que não requerem pressão externa para forçar a penetração do preservativo no material, como pincelamento, aspersão, pulverização, imersão e banho quente-frio. Já os segundos, requerem equipamentos especiais de impregnação, trabalhando com pressões superiores à atmosférica, são mais eficientes porque a distribuição e a penetração são mais uniformes; substituição de seiva e autoclavagem fazem parte desta segunda categoria (APPEL *et al.*, 2006).

2.3.1. Principais preservantes químicos

Dentre os produtos utilizados para tratamento químico de materiais naturais, os quatro preservantes de ação prolongada mais utilizados e responsáveis por cerca de 80% da

madeira tratada existente são o creosoto, o pentaclorofenol, o borato de cobre cromatado (CCB) e o arseniato de cobre cromatado (CCA), sendo o CCA responsável pelo maior volume de madeira tratada (APPEL *et al.*, 2006). São divididos em três categorias: os oleosos, os oleossolúveis e os hidrossolúveis. O creosoto é oleoso, o pentaclorofenol é oleossolúvel, enquanto que o CCB e o CCA são hidrossolúveis.

O creosoto é extraído a partir da destilação do alcatrão de hulha, composto basicamente por hidrocarbonetos (90%), ácidos e bases de alcatrão. É uma substância escura oleosa, solúvel em óleo, repelente à água, tem propriedades anticorrosivas e um cheiro forte característico. Considerado um dos mais eficientes preservativos da madeira, tem como ponto negativo a alteração das propriedades estéticas do material, deixando a madeira escura e oleosa, o que impede a aplicação de tintas e outros acabamentos (APPEL *et al.*, 2006).

Já o pentaclorofenol é obtido a partir da reação entre o fenol e o cloro pela completa substituição dos átomos de hidrogênio pelo de cloro, sendo insolúvel em água e normalmente solúvel em óleo diesel, podendo ser utilizados também outros óleos. Ainda, quando aplicado na superfície do material apresenta certa toxicidade aos animais e seres humanos que têm contato com a peça, restringindo a sua aplicação. É facilmente removido pela incidência de chuvas e deteriorado pelos raios ultravioletas, muito eficiente de imediato, entretanto, tem uma duração média de cinco anos (MORESCHI, 2014).

O CCB e o CCA são indicados para as mais diversas aplicações, como peças e produtos para a jardinagem, mobiliário, *playgrounds* e construção civil em geral. O CCB foi desenvolvido na Índia durante a 2ª Guerra Mundial, é composto por sais de cobre, cromo e boro em solução aquosa (PINHEIRO, 2001). Recomendado para a aplicação na madeira recém-cortada, o tratamento evita os fungos manchadores e reduz a ação de bactérias e insetos, recomendado para madeiras que não terão contato com solo e umidade (MORESCHI, 2014). Estes preservantes permitem a aplicação posterior de qualquer acabamento.

O CCA é composto por sais de cobre, cromo e arsênio. Solúvel em água, no Brasil encontra-se com uma consistência pastosa e coloração castanha avermelhada e é o mais utilizado pelas usinas de tratamento preservativo em aplicações por autoclavagem. Inodoro, não exala vapores que causam irritação à pele e permite acabamentos como pintura, verniz

e laqueamento (PINHEIRO, 2001). Indicado para aplicação em materiais sujeitos ao intemperismo, inclusive em contato com o solo, possui alta fixação e elevado poder fungicida e inseticida. O Quadro 2 compara os principais preservantes químicos utilizados pela indústria.

Os preservantes químicos são comprovadamente mais eficientes do que os biológicos e os naturais, embora possuam efeitos tóxicos contra o homem, não sendo adequada a sua aplicação em recipientes de alimentos e bebidas. Ainda devido à toxicidade que apresentam, estes preservantes foram praticamente banidos do manuseio direto, de modo que são tolerados apenas em plantas industriais de autoclavagem. Os preservantes à base de arsênio e metais pesados, como o chumbo, são os mais efetivos contra os xilófagos, mas também os mais tóxicos por seu efeito cumulativo no organismo dos seres vivos.

Quadro 2: Comparativo entre o creosoto, pentaclorofenol, CCB e CCA.

Método	Preservante	Componentes	Categoria	Aplicação	Toxicidade
Químico	Creosoto	Hidrocarbonetos	Oleoso	Pincelamento Pulverização	Não mencionado
	Pentaclorofenol	Cloro	Oleossolúvel	Pincelamento Pulverização	Cancerígeno
	CCB	Cobre Cromo Boro	Hidrossolúvel	Vácuo-pressão	Metais pesados
	CCA	Cobre Cromo Arsênio	Hidrossolúvel	Vácuo-pressão	Metais pesados

Fonte: Adaptado de Pinheiro, 2001; Appel *et al.*, 2006; Moreschi, 2014.

A respeito do creosoto, não foram encontradas referências que mencionassem possíveis efeitos tóxicos contra seres vivos, mas por alterar as características físicas naturais do material, criando um acabamento escuro e oleoso onde é aplicado, não é adequado para a finalidade requerida nesta pesquisa. Já o pentaclorofenol é altamente persistente no ambiente e cancerígeno, podendo afetar os sistemas cardiovascular, respiratório, gastrointestinal, neurológico, endócrino e reprodutivo, além de causar problemas dermatológicos (APPEL *et al.*, 2006). Com relação ao CCB e o CCA, a toxicidade está

diretamente relacionada aos metais pesados componentes dos produtos, no caso cobre, cromo, boro e arsênio, que são liberados no ambiente ainda no processo de aplicação do preservante ou através da lixiviação quando expostos às intempéries. Tais elementos podem ser prejudiciais à saúde em determinadas quantidades no ambiente.

Em função das inúmeras pesquisas realizadas no mundo inteiro sobre os efeitos colaterais dos preservantes químicos tradicionais, as legislações referentes à tais produtos estão cada vez mais exigentes, restringindo ou mesmo proibindo o uso de alguns produtos, tornando todo o processo mais demorado. Para Brand, Anzaldo e Moreschi (2006, p. 130) “o desenvolvimento de pesquisas sobre preservantes de madeira está em uma fase crucial, sendo necessário o seu direcionamento para a análise de produtos com menor potencial de danos ambientais e à saúde de outros organismos”. É o momento de rever prioridades, abrir mão da alta eficiência dos preservantes químicos em troca de soluções mais amigáveis para todo o ambiente.

Outro método importante de preservação de materiais naturais orgânicos é a impregnação. Consiste no preenchimento das paredes celulares com monômeros vinílicos – estireno, cloreto de vinila, acetato de vinila, metilmetacrilato, entre outros – sendo que a deposição destas substâncias nos espaços vazios do material, seguida de polimerização, configura a técnica de impregnação (BAYSAL *et al.*, 2007; YILDIZ *et al.*, 2005). Com relação ao porongo, Lago (2013) utilizou métodos de impregnação através de solução composta por metilmetacrilato, metanol e peróxido de benzoila, alcançando resultados expressivos na impermeabilização do porongo.

2.3.2. Alternativas de preservantes naturais

Tão remota quanto a utilização de produtos naturais pelo homem é a aplicação de produtos preservantes de fontes naturais, utilizados de forma empírica ao longo dos séculos. A secagem de materiais como a madeira, o porongo e outros similares, é o primeiro e mais importante tratamento a que deve ser submetido o material, antes de qualquer uso. Os benefícios da secagem são a redução no peso, o que facilita o transporte e o manuseio; maior resistência a quase todos os esforços aos quais será submetido o material; maior

estabilidade dimensional; maior durabilidade, pois a umidade é fator de desenvolvimento de fungos apodrecedores. A secagem pode ser natural ou artificial, por meio de estufas. Gonzaga (2006) coloca que a secagem à sombra, em local coberto e com ventilação seria o método perfeito, entretanto, inviabilizado na maioria das vezes em função do espaço e dos custos de armazenagem.

As ceras ainda são muito utilizadas como preservantes, 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, é retirada das folhas da palmeira carnaúba, nativa do Nordeste. Oferece excelente proteção e brilho acetinado à 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 produto preservante 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 (GONZAGA, 2006). Os preservantes naturais supracitados são tradicionais, extraídos e aplicados naturalmente, sem intervenção de técnicas específicas. Nos últimos anos, com o aumento da demanda por produtos de menor impacto ao meio ambiente, as pesquisas por produtos naturais se intensificaram e novos preservantes foram descobertos.

O desenvolvimento de produtos alternativos para o tratamento de madeiras é de vital importância para o setor madeireiro mas, ao contrário do que a prática nos tem mostrado, os benefícios pretendidos normalmente não são obtidos em sua plenitude. Para que isto aconteça, será necessário que, além da proteção dada à madeira, a nocividade ao homem seja minimizada ou, se possível, eliminada (MORESCHI, 2014, p. 2).

Com base na elevada resistência natural que algumas espécies apresentam contra a degradação, muitas pesquisas estão sendo realizadas a partir de extrativos de plantas, madeiras e sementes. Um dos preservantes alternativos encontrados é o *Crude Tall Oil* – CTO. Trata-se de um subproduto do processamento de madeiras resinosas para a produção de celulose. É uma mistura de ácidos graxos e resínicos, com o percentual de cada

um variando conforme a idade e as espécies de madeira, dentre outros fatores. Considerado um dos óleos de fonte renovável mais baratos do mercado, já que não é afetado por fatores climáticos, apenas pela produção de celulose. Pode ser refinado em diferentes composições químicas, é utilizado para várias finalidades, como por exemplo produtos emulsificantes, materiais de junção e colagem, indústria de tintas, entre outros. Por ser um extrativo da madeira, possui resistência natural à deterioração e reduz significativamente a absorção de água (BOSSARDI; BARREIROS, 2011).

Já o óleo de mamona, também conhecido como óleo de rícino, é extraído da semente da mamona (*Ricinus communis*), planta encontrada em regiões tropicais e subtropicais, abundante no Brasil. Segundo Dias (2005), a partir desse óleo, é possível sintetizar polióis e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados a frio levam à polimerização, originando uma resina poliuretana à base de mamona. Variando a porcentagem dos componentes são alcançadas durezas diferentes do produto final, podem ser empregados catalisadores a fim de aumentar a velocidade de polimerização.

Quadro 3: Compartivo entre alguns preservantes naturais.

Método	Preservante	Componentes	Categoria	Aplicação	Toxicidade
Natural	Óleo de linhaça	Óleo de linhaça	Oleoso	Métodos com ou sem pressão	Atóxico
	CTO	Ácidos graxos, ácidos resínicos insaponificáveis	Oleoso	Métodos com ou sem pressão	Atóxico
	Resina de mamona	Óleo de mamona	Isento de solventes	Métodos com ou sem pressão	Atóxico

Fonte: Adaptado de Gonzaga 2006; Bossardi e Barreiros, 2011; Imperveg, 2014.

Além dos preservantes naturais descritos acima, existem uma infinidade de outros produtos sendo pesquisados e testados. Brand, Anzaldo e Moreschi (2006, p. 130) colocam que “apesar da eficiência comprovada de algumas alternativas ambientalmente corretas para o tratamento da madeira, as informações sobre sua viabilidade econômica são difíceis de serem encontradas, ou ainda nem começaram a ser avaliadas”. Entretanto, as alternativas existem, a anulação dos impactos no meio ambiente é impraticável, ao passo que toda ação humana gera uma reação, seja ela positiva ou negativa. O fato é que alguns

materiais são mais poluentes do que outros, de modo que cabe aos profissionais envolvidos no processo a responsabilidade pela seleção de matérias-primas menos agressivas.

Considerando o objetivo do presente trabalho, estudar a impermeabilização de recipientes para alimentos e bebidas, foram realizados ensaios utilizando resina poliuretana derivada do óleo da mamona, a fim de testar sua viabilidade, aderência, comportamento e a estabilidade química do material. O fato de a aplicação da resina poder ser realizada por métodos sem incremento de pressão é importante, pois viabiliza a utilização da técnica por pequenas empresas, sem a necessidade de equipamentos adicionais.

2.3.3. Resina poliuretana à base de óleo de mamona

Um polímero poliuretano é o produto da reação química entre um grupo isocianato, composto orgânico formado por $N=C=O$, e um grupo hidroxila, cuja base é o radical OH (Fig. 24). Foi sintetizado pela primeira vez em 1848, entretanto, só teve aplicação comercial em 1947, quando Otto Bayer desenvolveu na Alemanha os primeiros polímeros de poliuretano em escala industrial.

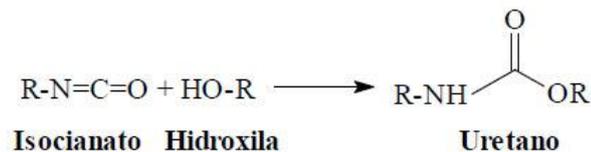


Figura 24: Grupos funcionais envolvidos na reação química de sintetização de um poliuretano.

A polimerização dos poliuretanos ocorre a partir da reação de um composto com dois ou mais isocianatos com um poliálcool (Fig. 25). Este último é um álcool contendo múltiplos grupos hidroxila, muito utilizado na indústria alimentícia e na síntese de polímeros. Além dos isocianatos e dos poliálcoois, na polimerização dos poliuretanos são também utilizados agentes de cura, extensores de cadeia, agentes de expansão, catalisadores, aditivos, cargas, entre outros (CANGEMI, 2006).

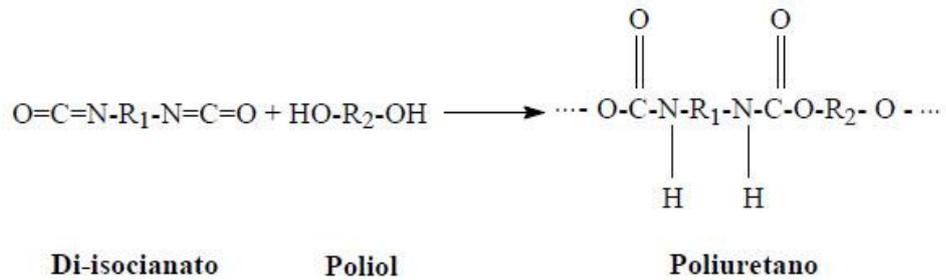


Figura 25: Reação de polimerização de um poliuretano.

Existe uma grande variedade de polióis utilizados na sintetização de poliuretanos, sendo os derivados do tolueno di-isocianato (TDI) e do difenilmetano di-isocianato (MDI) os mais empregados. Há algumas décadas as matérias-primas naturais de fontes renováveis vêm se consolidando como uma alternativa ambiental, tecnológica e economicamente viável no processo de polimerização. Em razão de suas propriedades, os óleos vegetais têm sido amplamente pesquisados, em especial o óleo de mamona.

Obtido da semente da planta *Ricinus communis*, comum em regiões tropicais e subtropicais, abundante no Brasil, o óleo de mamona possui em sua composição 89,5% do triglicerídeo do ácido ricinoléico, responsável pelas características químicas singulares desse óleo vegetal. O ácido ricinoléico é um dos poucos ácidos graxos naturais que possui três grupos funcionais altamente reativos: o grupo hidroxila, a instauração no 9º carbono e o grupo carbonila (Fig. 26). A partir do ácido ricinoléico pode-se obter polioli poliéster, matéria-prima para a síntese do poliuretano (CANGEMI, 2006).

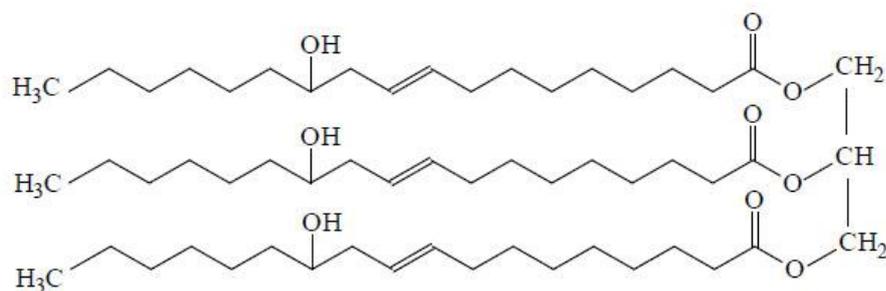


Figura 26: Estrutura do ácido ricinoléico.

A partir do óleo de mamona é possível sintetizar polióis com diferentes características que, quando misturados com grupos de isocianatos, resulta em poliuretanos. Os polímeros resultantes variam em termos de estrutura e propriedades, desde espumas de

diversas densidades até resinas. A mistura que leva à polimerização é realizada a frio, sem pressão, variando a porcentagem do polioliol, vai variar a dureza do poliuretano (DIAS, 2005).

O poliuretano à base de óleo de mamona que será empregado neste estudo é uma resina. Para a utilização do mesmo em recipientes para alimentos e bebidas, é imprescindível que o material seja atóxico, que não libere substâncias prejudiciais à saúde, para tanto, deve ser estável quimicamente na faixa de temperatura a qual será submetido. As análises térmicas de um material fornecem informações sobre a estabilidade química, pois avaliam o comportamento das amostras mediante taxas de aquecimento progressivo, determinando as faixas de temperatura em que existem alterações no material.

Os poliuretanos à base de óleo de mamona são foco de inúmeras pesquisas, há décadas vêm sendo estudados nas mais diversas áreas, química, engenharia, design, com distintas aplicações, desde material para implantes ósseos (CLARO NETO, 1997) até a produção de compósitos com fibras naturais (SILVA, 2003). O comportamento térmico do material, amplamente analisado, foi bem definido e caracterizado por diversos autores (ARAÚJO, 1992; CLARO NETO, 1997; CANGEMI, 2006).

Quanto à estabilidade térmica do poliuretano à base de óleo de mamona, Araújo (1992), verificou através de termogramas que até 220°C ocorre apenas uma pequena perda de massa no material, o que evidencia a estabilidade térmica até esta temperatura. Já Claro Neto (1997) mostra que a decomposição térmica do polímero inicia em temperaturas superiores a 150°C. Segundo o autor, a curva de decomposição do poliuretano apresenta três etapas: a primeira decomposição, no intervalo de 150 a 300°C, está relacionada com a perda de compostos voláteis; a segunda, no intervalo de 300 a 400°C, relacionada com o rompimento das ligações uretano; por fim, a terceira decomposição, ocorre no intervalo de 400 a 550°C, relacionada com a cisão da ligação éster proveniente do polioliol.

A finalidade da aplicação da resina neste trabalho é como impermeabilizante da parte interna de recipientes para alimentos e bebidas. Tomando como base a temperatura da água fervente, de 100°C, como a temperatura máxima que entrará em contato com a resina durante a utilização dos recipientes, e considerando que o polímero começa a se alterar a partir de temperaturas de 150°C, conclui-se que o mesmo não sofrerá alterações químicas durante o uso, sendo adequado para a aplicação predeterminada.

Além da estabilidade química do material, outro aspecto relevante quando se trabalha com materiais naturais de fonte renovável é a degradação do material. Não se trata de um objetivo primordial do presente trabalho, mas seria interessante que a resina utilizada para impermeabilização do porongo fosse biodegradável, completando o ciclo de vida do produto. Nesse sentido, Cangemi (2006), estudou a biodegradação da espuma de poliuretano obtida a partir do óleo de mamona, utilizando culturas de microrganismos oriundos de agentes biológicos degradadores de gorduras. A partir das análises realizadas o autor pôde concluir que a espuma poliuretana utilizada apresenta características biodegradáveis, entre as quais cita: formação de halo em contato com os microrganismos degradadores de gordura, áreas de erosão e mudança significativa na curva do termograma, relacionada com a perda de massa da ligação éster.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos utilizados na pesquisa. Com relação aos materiais, são apresentadas informações referentes ao porongo e às resinas poliuretanas à base de óleo de mamona utilizadas. Quanto ao primeiro, é mencionada a origem dos frutos utilizados e o processo de obtenção das amostras para os ensaios, e quanto às resinas utilizadas para a impermeabilização, são descritas a procedência e as principais características dos materiais. Com relação aos métodos, estão divididos em caracterização e impermeabilização. Em cada seção são descritos detalhadamente os ensaios e análises utilizados para a determinação das informações pertinentes.

3.1. MATERIAIS

As amostras de porongo utilizados nesta pesquisa foram coletadas em Santa Maria, RS. Todas as amostras são do tipo casco fino, que é o mais representativo nas plantações e nas fábricas de cuias da região e responsável pela quase totalidade de frutos plantados e processados. Foram colhidos na safra de 2014 e adquiridos com a Fábrica de Cuias Pires. Os frutos utilizados possuem formato achatado/piriforme ou octoforme. Foram selecionados exemplares com dimensões similares para que as amostras obtidas de cada fruto também possuíssem dimensões semelhantes. As amostras foram confeccionadas a partir de quatro frutos diferentes.

A confecção das amostras foi adaptada de uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 7190-1997: Projeto de estruturas de madeira; já que não foi encontrada nenhuma norma específica para o material, ou mesmo para materiais com

formas e espessuras heterogêneas. A norma utilizada estabelece que os corpos de prova de madeira devam ter a seção transversal retangular medindo 20 x 30 mm, e comprimento ao longo das fibras de 50 mm. Como o porongo possui formas côncavas e espessura da casca irregular, adaptaram-se as medidas para 50 mm na transversal do fruto, 30 mm no sentido longitudinal e 5 mm de espessura. No total, foram confeccionadas 36 amostras.

A parte inicial da confecção das amostras foi realizada no Laboratório de Móveis do Instituto Federal Farroupilha, Campus Santa Rosa. Inicialmente, os frutos foram cortados ao meio, no sentido transversal, na serra tico-tico de bancada. A parte utilizada para a confecção das amostras foi a inferior, que apresenta diâmetro maior e espessura mais regular do que a parte superior, mais estreita. Foram retiradas as sementes. Ainda na serra tico-tico, a parte inferior do porongo foi cortada longitudinalmente (Fig. 27).



Figura 27: Preparação das amostras: corte longitudinal do fruto na serra tico-tico.

Para o corte mais minucioso das peças, já nas dimensões corretas, foi utilizada a serra esquadrejadeira, que com o auxílio de um esquadro possibilitou a marcação exata da medida final das peças (Fig. 28). Primeiro foram cortadas tiras com pouco mais que 30 mm de largura, e a partir destas, peças com 50 mm de comprimento.

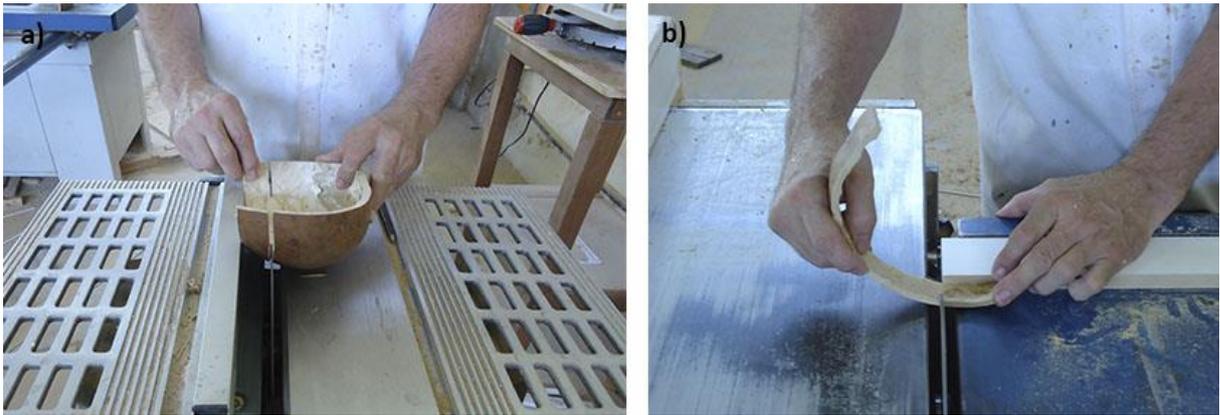


Figura 28: Amostras de porongo sendo cortadas na serra esquadrejadeira: a) Corte no sentido transversal, tiras com 30 mm de largura; b) Corte no sentido longitudinal, peças com 50 mm de comprimento.

Ao final, obteve-se 36 amostras com dimensões aproximadas de 30 mm de largura por 50 mm de comprimento, ainda com a espessura irregular (Fig. 29). A parte interna dos porongos apresentam texturas variadas, algumas até com uma membrana seca aderida à superfície.



Figura 29: Conjunto de amostras de porongo, após o corte, sem lixamneto da parte interna.

O acabamento final das amostras foi realizado nas dependências do Laboratório de Seleção de Materiais (LdSM), UFRGS. Para homogeneizar a espessura das amostras, estas foram lixadas com auxílio de uma lixa rotativa elétrica. O acabamento nas laterais, a fim de deixar todas as peças com as mesmas dimensões foi feito manualmente, com lixas para madeira, numeração 320 e 600.

Para os ensaios de impermeabilização do material, foram utilizadas resinas poliuretanas à base de óleo de mamona de duas empresas distintas, Imperveg®(A) e Sinergia®(B), a fim de fazer um comparativo entre os resultados. Ambas apresentam características muito similares. São resinas bicomponentes, (I+II), sendo o primeiro o óleo de mamona e o segundo o catalizador, estes devem ser misturados na proporção de 1:2, uma parte do componente I + duas partes do componente II, em volume, para que a polimerização tenha início (Fig. 30). A mistura é viscosa, o tempo de trabalho gira em torno de 20 minutos, quando a resina entra no ponto de gel dificultando a aplicação do material.



Figura 30: Componentes da resina poliuretana, da esquerda para a direita: componente I (óleo de mamona), componente II e resina bicomponente, após a mistura e polimerização dos componentes I e II.

Com relação ao tempo de secagem, varia de 40 a 180 minutos, dependendo da temperatura e umidade do ambiente. O tempo máximo entre a aplicação de demãos subsequentes é de aproximadamente seis horas, período em que ocorre a polimerização total. A cor das resinas após a cura é âmbar, devido ao óleo de mamona que possui coloração escura. O material é isento de solventes e forma uma membrana sobre a superfície na qual foi aplicada. É um sistema moldado *in loco* e aderente ao substrato.

Antes da aplicação da resina, as amostras de porongo foram colocadas em uma estufa por 12h a 90°C para a secagem, eliminando assim a umidade do material que poderia interferir no tratamento. O forno utilizado encontra-se nas dependências do LdSM local onde, posteriormente, também foi realizada a aplicação da resina nas amostras. As resinas foram preparadas conforme as recomendações do fabricante, em recipientes plásticos (Fig. 27). A aplicação foi realizada por método sem pressão, através de pincelamento.

As amostras (Fig. 31) foram divididas em três grupos. O primeiro é composto por seis peças *in natura*, sem nenhum tipo de tratamento, o segundo é composto por doze

amostras com aplicação da resina A, e o terceiro grupo por mais doze peças com aplicação da resina B, totalizando as 36 amostras. Em cada grupo de amostras resinadas, seis receberam a aplicação de uma demão do produto e as outras seis, duas demãos da resina.

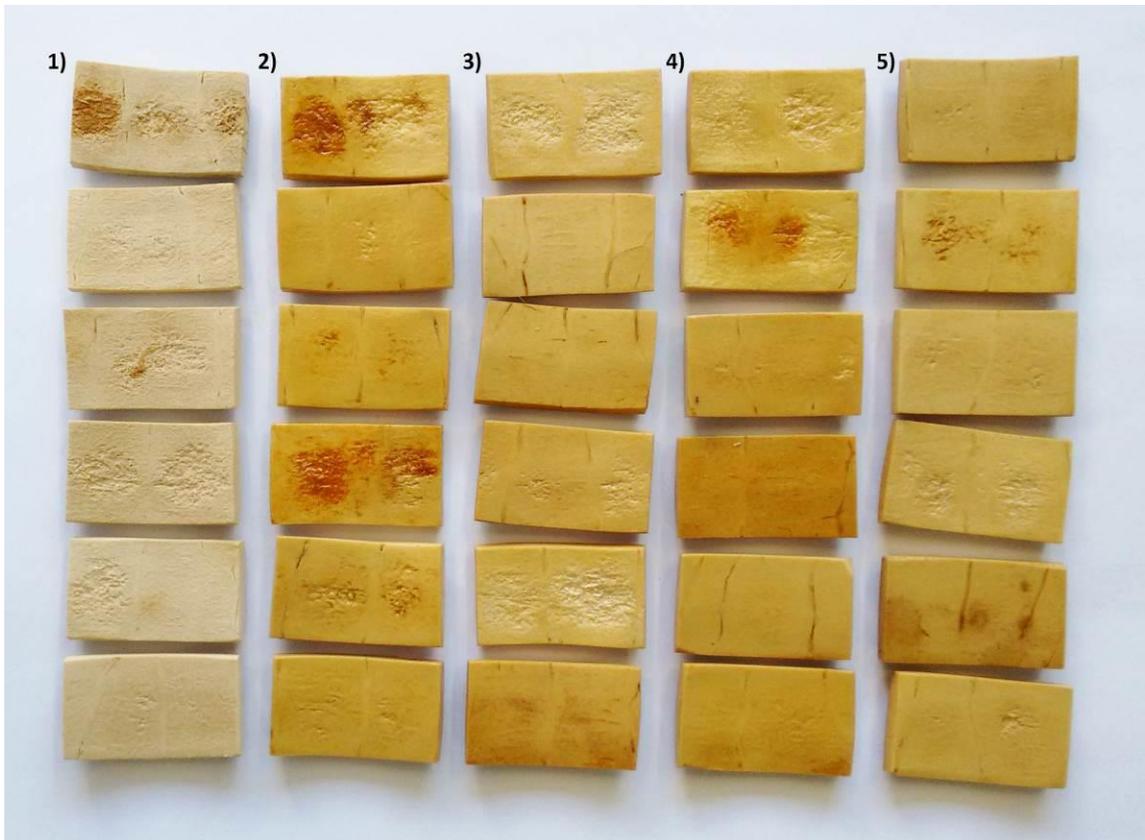


Figura 31: Conjunto de amostras com as variáveis selecionadas para este estudo, quais sejam: 1) Porongo *in natura*; 2) Amostras com aplicação da resina A com uma demão e; 3) com duas demãos; 4) Amostras com aplicação da resina B, com uma demão e; 5) com duas demãos.

A composição das amostras tem o intuito de realizar um comparativo em três esferas: na mais abrangente, comparar o comportamento do porongo *in natura* com o do material impermeabilizado; na esfera das amostras resinadas, confrontar o desempenho das duas resinas e, por fim, a diferença entre as amostras com uma demão daquelas com duas demãos da resina. Esses comparativos serão realizados ao longo de todos os ensaios.

3.2. MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO

A primeira etapa dos ensaios tem como objetivo conhecer melhor o material propriamente dito, portanto, os métodos utilizados visam identificar a microestrutura do porongo, da casca e da parte interna, entender como se comporta com influências externas como calor e água, bem como definir propriedades físicas básicas. Para tanto, foram utilizadas as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia por Luz Transmitida, Análise Termogravimétrica (ATG), ensaios para determinação das principais propriedades físicas e digitalização tridimensional, que serão descritos mais detalhadamente nos tópicos que se seguem.

3.2.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o objetivo de identificar as microestruturas no porongo foi realizada a caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV), que é um método não destrutivo e 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 - 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).

A fim de melhor visualizar a morfologia do porongo, as amostras foram preparadas para análise de acordo com um procedimento utilizado na área de conhecimento da botânica, pois deste modo não ocorre deformação da superfície e das estruturas do material durante o processo de corte. O método consiste em imersão das amostras em solução de etilenodiamina 10% durante 24 horas. Esta substância amolece o material sem alterar sua estrutura, facilitando o corte. Uma primeira unidade foi retirada com o auxílio de uma pinça e colocada em um recipiente com água destilada, logo depois o excesso de água da amostra foi retirado com papel toalha e foi realizado o corte com lâmina de barbear (Figura 32).



Figura 32: Detalhe do processo de corte das amostras de porongo utilizando lâmina de barbear, após estas terem sido submetidas ao amolecimento por imersão em etilenodiamina 10% durante 48 horas.

Para as amostras de porongo, o tempo de imersão foi modificado para 48 horas, pois o tempo recomendado de 24 horas não amoleceu o suficiente as amostras para serem submetidas ao corte sem que ocorresse a danificação da estrutura e morfologia. Por fim, as amostras secaram a temperatura ambiente e, posteriormente, na estufa com temperatura de 90° durante 60 minutos, para serem submetidas à microscopia eletrônica de varredura.

3.2.2. Microscopia por Luz Transmitida

Para a observação da morfologia e da histologia do porongo foi utilizado um procedimento da botânica, onde foram preparadas lâminas semi-permanentes para a visualização em microscópio de luz, no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Botânica da UFRGS.

Para o preparo das lâminas foram utilizadas amostras de porongo anteriormente imersas em etilenodiamina 10% por 48 horas. As amostras retiradas da solução secaram em ambiente controlado de 20°C com umidade de 50%. Para o procedimento, foram hidratadas em água por 24 horas em temperatura ambiente. As amostras hidratadas (Fig. 33-1) foram seccionadas com micrótomo de Ranvier (Fig. 33-2) e, posteriormente, com corte à mão de lâminas com espessura entre 15 μm e 8 μm , aproximadamente.



Figura 33: Bancada com os instrumentos utilizados no preparo das lâminas semi-permanentes: 1) Amostras hidratadas; 2) Micrótomo de Ranvier; 3) Placa de Kline para coloração.

Na sequência, as lâminas passaram pelo processo de coloração na placa de Kline (Fig. 33-3). A função dos corantes é destacar aspectos das amostras que sem a sua utilização não seriam visíveis, como é o caso da lignina no porongo, que não pôde ser observada nas imagens do MEV. Existem vários tipos de corantes, cada um ressalta diferentes aspectos, e a escolha do corante depende do objetivo a ser alcançado. No caso do porongo, foram utilizados o corante Azul de Toluidina 0,05%, para observar a presença de lignina na amostra, e a Safranina, corante avermelhado, para melhor visualizar as paredes do parênquima e compostos fenólicos, como as ligninas (Fig. 34).

As lâminas cortadas com o micrótomo de Ranvier não contemplaram a casca do porongo, então foram realizados pequenos cortes manuais, visando a camada mais externa, com poucos micrômetros de espessura. As lâminas utilizadas para a observação foram sobrepostas em lamínulas de vidro (Fig. 34), para então serem observadas no microscópio de luz transmitida.

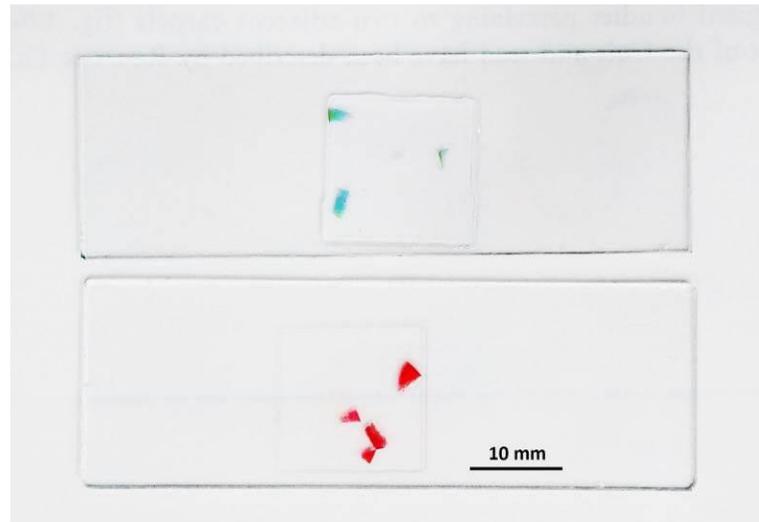


Figura 34: Lâminas para observação posicionadas entre lamínulas de vidro: a superior com Azul de Toluidina 0,05%, e a inferior com Safranina.

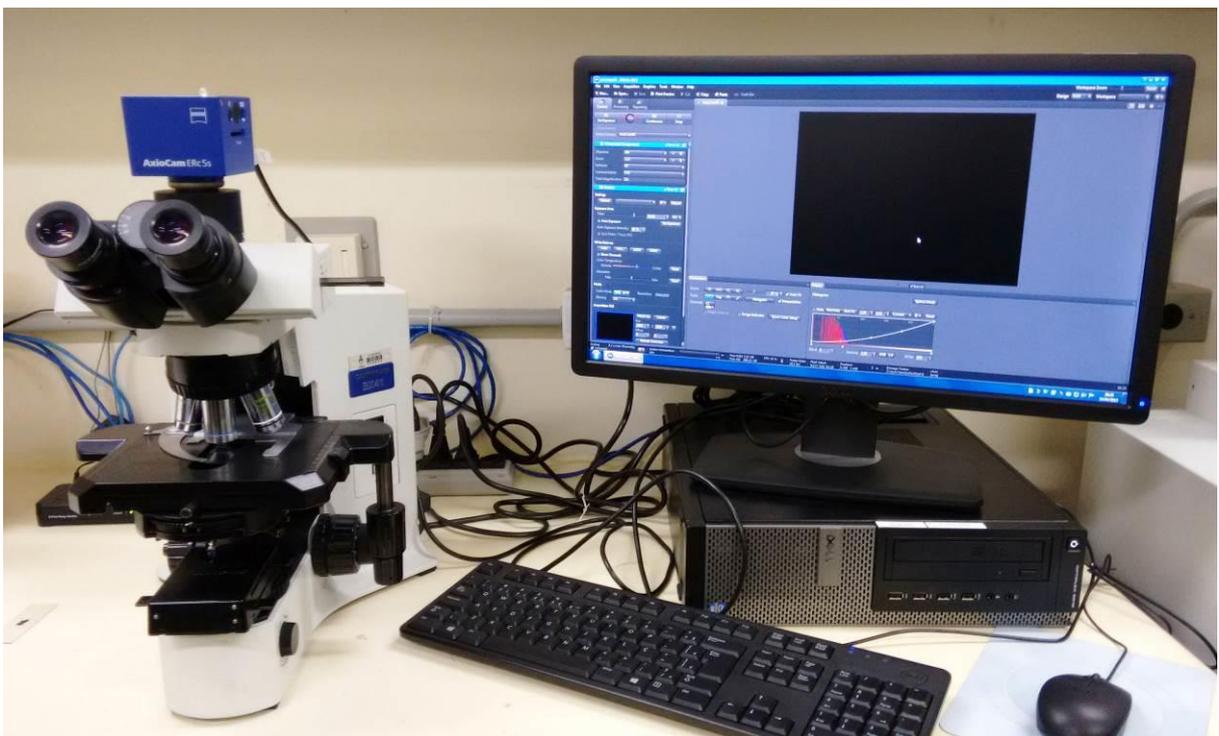


Figura 35: Microscópio de luz transmitida com aparato para obtenção de imagens.

As imagens foram geradas em um microscópio da marca Olympus® BX41 (Fig. 35), utilizando uma câmera digital modelo Axiocam ERc5s, nas dependências do Laboratório de Anatomia Vegetal, no Departamento de Botânica da UFRGS.

3.2.3. Análise Termogravimétrica (ATG)

Esta análise tem como objetivo identificar as modificações da massa no material devido ao aumento de temperatura, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada. Esta técnica possibilita identificar as temperaturas em que ocorrem alterações provocadas por aquecimento do material, o que permite estabelecer a faixa de temperatura em que este inicia a se decompor, permite também acompanhar a evolução das reações de desidratação, entre outras informações. Para a realização das análises os materiais foram pulverizados. As análises foram desenvolvidas no Laboratório da Engenharia Química da UFRGS, com um equipamento da marca Mettler-Toledo, modelo SDTA 851e, em um programa de aquecimento controlado de 30 a 600°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de O_2 a 99,9%.

3.2.4. Ensaios para determinação de propriedades físicas

Os ensaios para a determinação do teor de umidade e das densidades aparente e básica das amostras de porongo selecionadas foram feitos tendo como base a ABNT NBR 7190/1997: Projeto de Estruturas de Madeira, com algumas adaptações necessárias em função das peculiaridades do material. Foram utilizados seis corpos de prova do material *in natura*, oriundos de diferentes frutos, medindo 50 mm de largura, 30 mm de altura e 5 mm de espessura, em média (Fig. 36). Os ensaios foram realizados no LdSM, UFRGS.



Figura 36: Vista da parte interna das amostras para os ensaios para determinação das propriedades físicas.

Segundo a norma, o teor de umidade corresponde à relação entre a massa de água nela contida e a massa do material seco. Tal definição é representada pela seguinte equação:

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

m_i é a massa inicial, medida em gramas com precisão de 0,01g.

m_s é a massa seca, medida em gramas com precisão de 0,01g.

A massa inicial foi medida com o auxílio de uma balança de precisão. Após este procedimento, as peças foram levadas para uma estufa, com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A cada 12 horas as amostras foram pesadas, até o momento em que a variação de massa dos corpos de prova entre duas medidas consecutivas atingiu um valor igual ou menor do que 0,01 em relação à última medida. Quando isso acontece, apropria-se como situação de massa seca do material.

A densidade aparente do material é definida como uma massa específica convencional dada pela razão entre a massa e o volume dos corpos de prova com teor de umidade de 12%. Conforme a ABNT/NBR 7190/1997, quando a umidade relativa do ambiente é menor ou igual a 65%, considera-se que o material apresenta 12% de umidade. A equação utilizada para a determinação da densidade aparente é:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{v_{12}}$$

Onde:

m_{12} é a massa do porongo a 12% de umidade, medida em quilogramas.

v_{12} é o volume do porongo a 12% de umidade, medida em metros cúbicos.

Os ensaios para a determinação da densidade aparente foram realizados em laboratório climatizado com temperatura controlada de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ambiente de 50%. As amostras permaneceram no local até as medidas das massas das mesmas se estabilizarem, alcançando assim os 12% de umidade. Posteriormente, as amostras foram pesadas com o auxílio da balança de precisão. Para a definição do volume foi utilizado o método do deslocamento de água, onde a amostra é submersa rapidamente

no líquido e é então medido o volume de água deslocada, que corresponde ao volume da peça (Fig. 37).

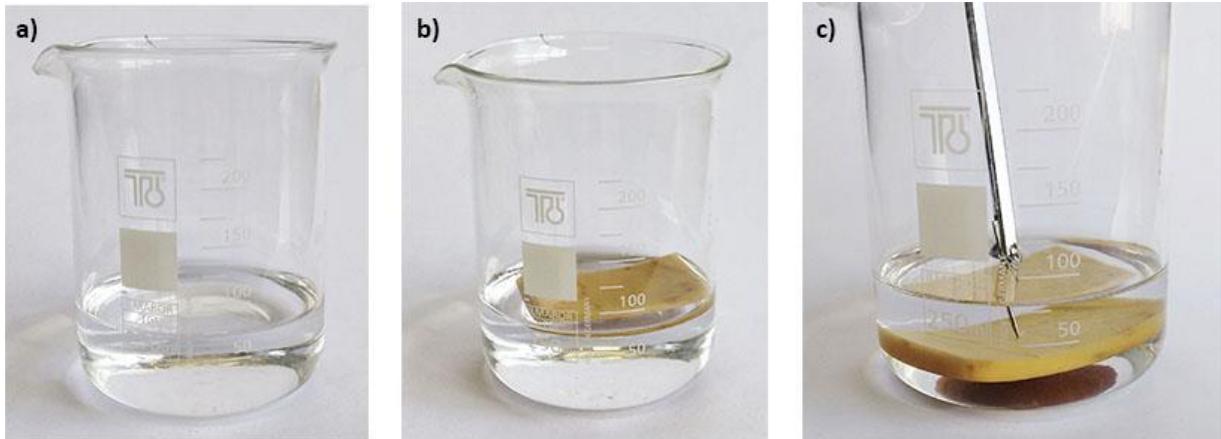


Figura 37: Método de definição do volume por deslocamento de água: a) Béquero com água deionizada; b) Amostra de porongo flutuando na água; c) Agulha pressionando o porongo para o fundo do recipiente, para finalizar o deslocamento do líquido.

O porongo é um material extremamente poroso e pouco denso, por isso ele não afunda na água, mesmo quando saturado. Portanto, foi utilizada uma agulha para afundar os corpos de prova e ter a medida do deslocamento da água mais aproximada possível (Fig. 34c). Para o posterior cálculo do volume dos corpos de prova foi utilizada a seguinte equação:

$$V = \pi * r^2 * h$$

Onde:

r é o raio do recipiente que foi utilizado.

h é a altura do deslocamento de água.

Assim, com os valores da massa e do volume dos corpos de prova a 12% de umidade, determina-se a densidade aparente do porongo. Com relação a densidade básica, é definida como uma massa específica convencional dada pela razão entre a massa seca e o volume saturado, dada pela seguinte equação:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}}$$

Onde:

m_s é a massa seca do porongo, medida em quilogramas.

v_{sat} é o volume do porongo saturado, medido em metros cúbicos.

A massa seca do porongo foi determinada conforme descrito no ensaio do teor de umidade. Após se estabilizarem na estufa, as amostras foram pesadas e então submersas na água. A cada doze horas os corpos de prova foram pesados, até o momento em que a variação de massa dos corpos de prova entre duas medidas consecutivas atingiu um valor igual ou menor do que 0,01 em relação a última medida, o que significa que as amostras estão saturadas. Repete-se então o procedimento para obtenção do volume das amostras por deslocamento de água, para obter o volume saturado. Assim, com os valores da massa e do volume dos corpos de prova a 12% de umidade, determina-se a densidade básica do porongo.

3.2.5. Digitalização tridimensional

A digitalização tridimensional consiste em capturar dados da superfície de determinado objeto e reconstruí-lo virtualmente, com o auxílio de ferramentas computacionais. O processo é composto por duas etapas fundamentais: digitalizar e manipular dados. A primeira consiste em obter os dados de um objeto, geralmente através de uma varredura completa da superfície. Os dados de saída são chamados de nuvem de pontos, consistem em numerosos pontos na superfície do objeto em termos de coordenadas x, y, z. Normalmente apresentam falhas, podem estar muito distantes ou possuir muito ruído, de modo que um processamento adicional através de softwares especializados é indispensável para posteriores aplicações diretas.

A reconstrução de volumes através da digitalização tridimensional é muito precisa, e sua utilização nesse trabalho tem como objetivo a análise detalhada do comportamento dimensional do porongo com relação à absorção de água, quanto à retração e ao inchamento. Parte-se da hipótese de que o porongo não apresenta alterações significativas em suas dimensões quando absorve água, apenas preenchendo o vazio dos poros, o que se verifica empiricamente na cuia quando absorve parte da água quente e há um aumento de peso, mas não um aumento visível das dimensões, internas e externas, do

porongo. Ainda, o material apresenta forma côncava e densidades diferentes na casca e na parte interna, de modo que há a hipótese de que vai se comportar de forma heterogênea quando em contato com a água. Assim, uma análise superficial, apenas com as medidas realizadas com o auxílio de um paquímetro, seria insuficiente, já a digitalização tridimensional como ferramenta que fornece informações mais detalhadas é adequada ao objetivo desta análise.

Para o processo de digitalização tridimensional foi utilizado um equipamento modelo Digimill 3D, marca Tecnodrill[®], instalado nas dependências do LdSM, UFRGS. Consiste em um equipamento CNC híbrido, que pode trabalhar com uma Fresadora CNC ou como um Scanner Tridimensional a Laser. O sistema trabalha com comprimento de onda de 655nm, potência máxima de 1mW, e tem por característica adquirir até 1.000 pontos por segundo, sendo a precisão variável conforme a lente utilizada. No LdSM, podem ser utilizadas três lentes para o equipamento 50mm, 150mm e 250mm, sendo que para a maioria das aplicações é utilizada a lente de 150mm, em função de sua precisão (0,015 e 0,035mm respectivamente), associada à faixa de trabalho, proporcionando uma maior velocidade de digitalização (SILVA, 2011). Para a digitalização das amostras de porongo foi utilizada a lente de 150mm e resolução de 0,01 mm, o tempo de cada aquisição foi de aproximadamente 30 minutos.

Para o procedimento foram utilizadas seis amostras de porongo sem nenhum tratamento. As digitalizações foram feitas da casca das peças (Fig. 38a) e da parte interna (Fig. 38b). Na primeira etapa, com as amostras secas (umidade de 12%), e na segunda etapa após 24 horas submersas na água. A digitalização de objetos submersos em água ou mesmo úmidos é difícil pois a água tende a desfocar o laser, de modo que nem todo scanner 3D consegue capturar dados nessas condições, sendo especificidade dos equipamentos de digitalização tridimensional a laser, como o que foi utilizado.

Como o porongo possui densidade muito baixa, mesmo após absorver certa quantidade de água, permanece flutuando. Para viabilizar a digitalização das amostras após 24 horas na água, foi retirado o excesso do líquido, mantendo o suficiente para a adesão do porongo com a superfície do recipiente. Como o tempo de aquisição dos dados foi relativamente pequeno (30 min.), acredita-se que a perda de água das amostras nesse meio tempo não tenha sido significativa, a ponto de interferir nos resultados.

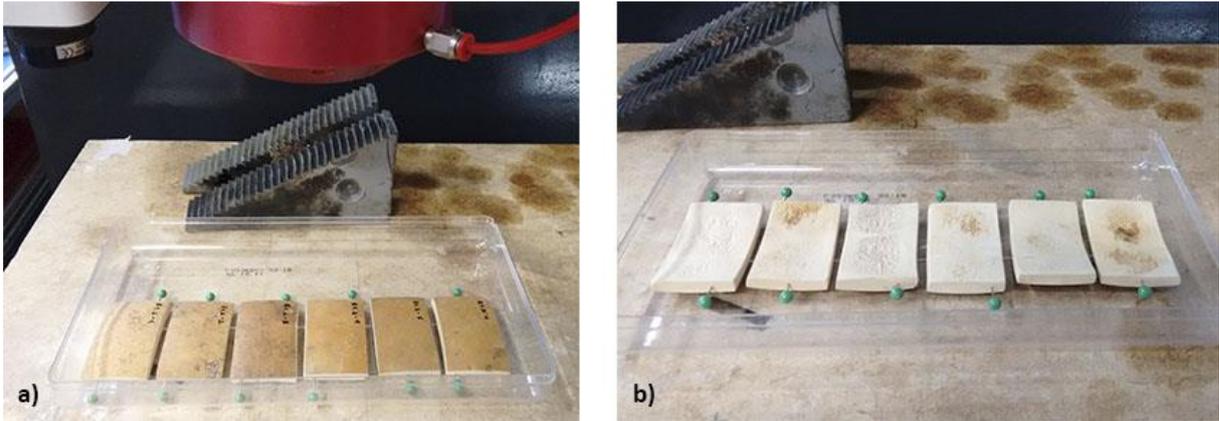


Figura 38: Amostras de porongo organizadas para serem digitalizadas: a) Parte externa; b) Parte interna.

Os dados foram adquiridos a partir de quatro digitalizações, onde as amostras foram posicionadas horizontalmente e escaneadas simultaneamente, a fim de tornar o processo de aquisição mais rápido. Na etapa seguinte, com o auxílio do software Geomagic®, as peças foram separadas em arquivos individuais e, posteriormente, sobrepostas aos pares: a amostra seca da casca posicionada com sua correspondente que ficou 24 horas na água, o mesmo procedimento para todas as peças. A sobreposição das digitalizações foi feita a partir de referências específicas de cada peça, como relevos e marcações.

Na sequência, os arquivos com os pares de peças sobrepostas foram transferidos para o software Geomagic Qualify®, onde as análises comparativas entre as amostras foram realizadas. A partir de parâmetros definidos pelo usuário, o software identifica pontos em comum e divergentes entre as digitalizações sobrepostas, e mostra essas informações em um gráfico com uma escala de cores e valores, onde cada cor representa um intervalo de valores, positivos ou negativos.

3.3. MÉTODOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A descrição dos métodos de impermeabilização divide-se em duas etapas: a primeira referente à caracterização das resinas utilizadas, e a segunda relacionada com o desempenho das amostras após a aplicação das resinas, em comparação ao material natural. A Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foi utilizada para caracterizar as resinas poliuretanas de óleo de mamona. Para a avaliação do desempenho

das amostras impermeabilizadas foram realizados ensaios de absorção de água e ângulo de contato.

3.3.1. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia no infravermelho é uma das mais importantes técnicas analíticas disponíveis atualmente, pois permite identificar compostos e investigar a composição de amostras orgânicas e inorgânicas devido ao módulo vibracional das moléculas ao serem submetidas ao infravermelho (CANGEMI, 2006). As análises a partir da FTIR têm como objetivo identificar o polímero para um melhor entendimento dos constituintes da estrutura química das resinas poliuretanas à base de óleo de mamona utilizadas. As análises foram realizadas no LdSM, com equipamento modelo Spectrum 100 Perkin Elmer, na faixa espectral de $4000-452\text{ cm}^{-1}$ com 32 varreduras por minuto e resolução de 2 cm^{-1} .

3.3.2. Ensaio de absorção de água

Para a realização do ensaio foi utilizada como referência a norma brasileira do MDF, ABNT NBR 15316:2014, já que não existe norma específica para o porongo. O ensaio de absorção de água consiste na mensuração do aumento da massa (em água) que um corpo de prova do material apresenta, após ser imerso em água a $20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pelo tempo de $24\text{h} \pm 36\text{ min}$.

Os corpos de prova utilizados para o ensaio possuem as mesmas dimensões dos descritos anteriormente: $50 \times 30\text{ mm}$, com 5 mm de espessura. Inicialmente devem ser pesados em balança de precisão, em seguida, devem ser acondicionados em um recipiente contendo água fria (Fig. 39), a temperatura ambiente. Após duas horas devem ser retirados, removido o excesso de água, e realizada novamente a pesagem. Em seguida devem ser recolocados no recipiente com água por mais 22 horas até completar às 24 horas de

imersão, e seus valores registrados para a definição da absorção de água do porongo. Sendo assim, inicialmente, todos os corpos de prova foram pesados em balança digital da marca Quimis®, para verificar a massa seca.

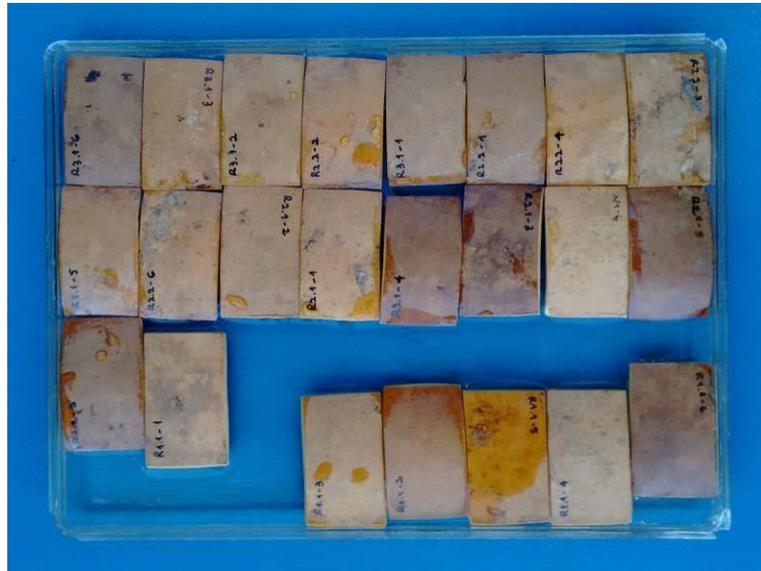


Figura 39: Amostras de porongo em recipiente com água, com a parte interna do material, mais porosa, em contato direto com o líquido.

Foram utilizadas para o ensaio amostras de porongo sem tratamento, amostras com aplicação da resina A e com aplicação da resina B, com uma e com duas camadas de cada, respectivamente (Fig. 31). Como o porongo flutua na água, as peças foram posicionadas com a parte interna em contato com a água (Fig. 39), que é a região mais porosa do material. Os valores da massa dos corpos de prova foram registrados para a definição da absorção de água e calculadas as porcentagens a partir das seguintes fórmulas:

$$A\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100$$

$A\%$ é a absorção de água, em percentual.

M_1 é a massa inicial do corpo de prova em gramas.

M_2 é massa final do corpo de prova após ensaio em gramas.

Foram realizadas duas medições, uma após duas horas de imersão na água, e outra após 24 horas na água. A partir dos dados serão gerados gráficos no programa Microsoft Excel® para melhor visualização dos resultados.

3.3.3. Ângulo de contato

O ângulo de contato (θ) entre uma superfície sólida, uma fase líquida e uma fase gasosa, é definido como o ângulo entre a interface sólido-líquido e a tangente à interface líquido-gás, na linha de contato destas três fases (Fig. 40). A partir dessa informação pode-se classificar um material sólido como hidrofílico⁴ ou hidrofóbico⁵.

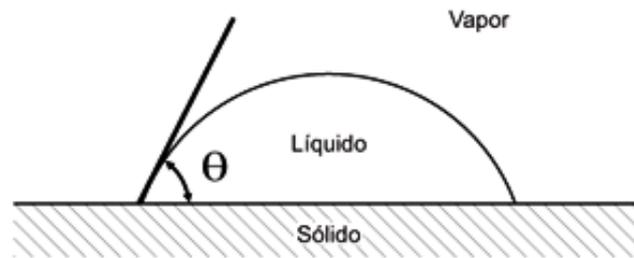


Figura 40: Indicação do local para obtenção da medida do ângulo de contato de gota molhante sobre superfície sólida. Fonte: Wolf, Santos e Philippi, 2006.

Existem vários métodos para a determinação do ângulo de contato. O método por espalhamento é o processo no qual uma gota de líquido é depositada na superfície plana de um sólido posicionado horizontalmente. O líquido forma uma superfície esférica, se espalhando pela superfície do sólido até atingir o ângulo de contato de equilíbrio (θ_e), no qual as forças de adesão sólido/líquido estão em equilíbrio (LAZGHAB *et al.*, 2005). Os ensaios para determinar o ângulo de contato foram realizados com três amostras de porongo: natural, com uma e com duas camadas de resina. As imagens foram obtidas no LACER da UFRGS.

⁴ Com alta absorção de água.

⁵ Que não absorve água.

Capítulo 4

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da caracterização do porongo como material e do desempenho dos métodos de impermeabilização utilizados. Na primeira parte deste capítulo, detalhes morfológicos da microestrutura do porongo relacionam-se com diferentes propriedades deste material, tal como a densidade e o comportamento quando em contato com água, favorecendo a compreensão dos fatores que delimitam e conferem as características específicas do material. Na segunda parte, são apresentados os resultados estéticos e de desempenho do material após a impermeabilização com resina poliuretana à base de óleo de mamona, através de análise comparativa entre as amostras sem tratamento e as amostras com tratamento.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO PORONGO

Algumas características do porongo podem ser visualizadas sem o auxílio de equipamentos de magnificação, como a nítida distinção entre a casca e a parte interna (Fig. 41). Um dos principais aspectos é a coloração, que é mais escura na parte externa do que a observada na parte interna, que possui coloração clara. A diferença de espessura entre estas duas zonas também é observável, sendo que a casca é constituída por uma camada de espessura de grandeza micrométrica, em que suas proporções só podem ser quantificadas com o uso de técnicas de microscopia, a camada porosa interna abrange a quase totalidade do material, chegando a ter espessura milimétrica. Outra diferença marcante é com relação às texturas. A casca é extremamente lisa e homogênea ao tato, em contraponto à parte

interna, que é irregular e possui rugosidades (Fig. 41a), pois tem a função de segurar a placenta com as sementes enquanto fruto.

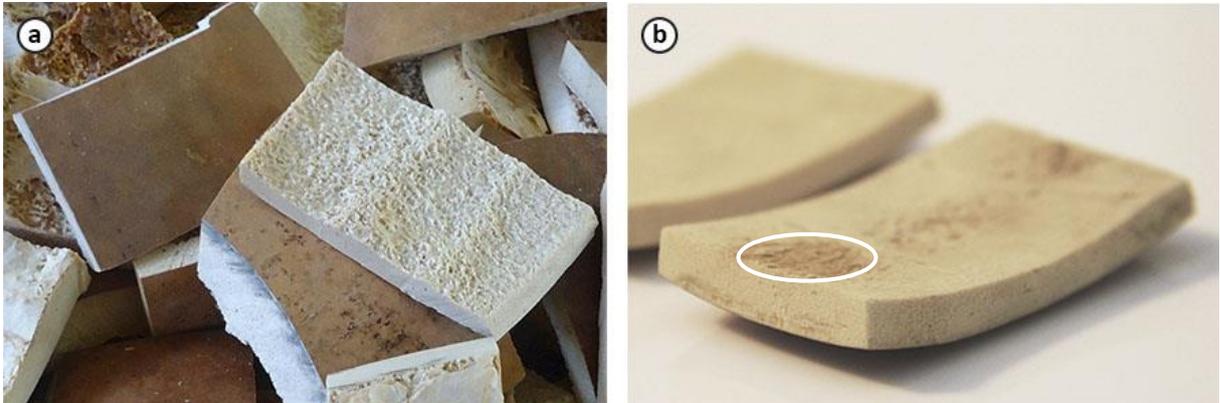


Figura 41: Diferenças observáveis a vista desarmada entre a casca (exocarpo) e a parte interna (mesocarpo) do porongo: a) Exocarpo do porongo (coloração escura) e mesocarpo (coloração clara); b) Detalhe das saliências e poros do porongo após processo de lixamento.

A parte mais interna do porongo geralmente é excluída do produto final por lixamento, conforme observado no processo de produção de recipientes (Fig. 21c), para que a peça adquira uma superfície menos rugosa, de percepção tátil mais lisa e homogênea. Mesmo após o processo de lixamento, o material ainda pode permanecer heterogêneo, com saliências específicas (Fig. 41b). Outro aspecto que pode ser observado a olho nu é a porosidade do porongo. Em uma observação atenta e aproximada do material, são visualizados os poros, especialmente nas laterais das amostras lixadas (Fig. 41b).

4.1.1. Microestrutura e histologia

Embora algumas características possam ser observadas a olho nu, o entendimento da morfologia e da microestrutura do material só pode ser realizado a partir da análise de técnicas de microscopia. A caracterização do porongo como material inicia-se pela análise da sua microestrutura e tem como objetivo identificar as diferenças entre a estrutura da casca com aquelas observadas na parte interna. A observação de estruturas em escala micrométrica auxilia na visualização e identificação das unidades básicas que configuram a microestrutura do material, e deste modo auxiliam na compreensão de como

estas unidades dão ao material dado comportamento e propriedades. Uma das técnicas utilizadas foi a microscopia eletrônica de varredura, conforme descrito anteriormente. Para esta técnica foram selecionadas amostras que favorecessem a identificação das diferentes porções dos frutos (Figura 42).

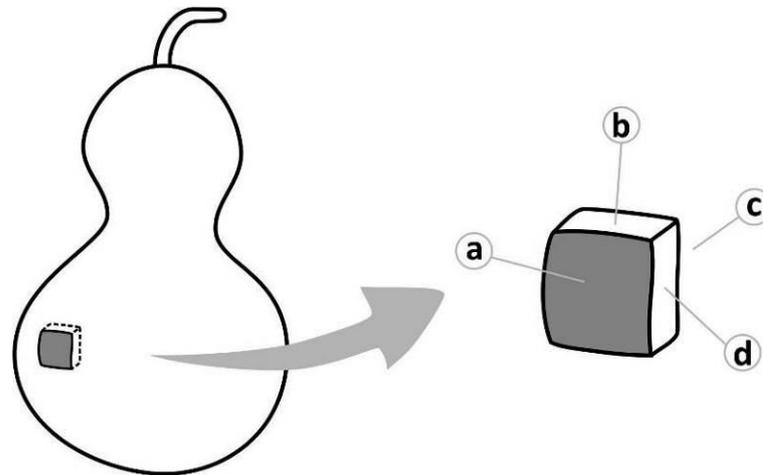


Figura 42: Localização das amostras extraídas no corpo do fruto: a) Porção externa (exocarpo); b) Vista da espessura (corte transversal ao alongamento do fruto); c) Porção da parede interna; d) Vista da espessura (corte longitudinal em relação ao alongamento do fruto).

Nos frutos das angiospermas, a parede do ovário fecundado transforma-se durante o desenvolvimento em pericarpo do fruto maduro, o qual normalmente se desenvolve em três camadas distintas: exo-, meso-, e endocarpo (ROTH, 1977). O exocarpo é a camada mais externa, enquanto que o mesocarpo se desenvolve em uma camada carnosa e o endocarpo tem a função da proteção das sementes. No porongo, o exocarpo é a camada mais externa, a casca, o mesocarpo é a parte porosa dominante, e o endocarpo é a camada mais interna, que se localiza entre o mesocarpo e as sementes, que geralmente é lixada para a confecção de produtos.

A diferença entre o exocarpo e o mesocarpo no porongo é facilmente perceptível, a parede externa do fruto apresenta coloração mais escura e é mais compacta, enquanto que a camada interna tem coloração mais clara e é porosa (Fig. 41a). Essas diferenças tornam-se mais acentuadas quando observada a microestrutura. O exocarpo é observado como uma estrutura compacta e possui pontuações claras, que são materiais inorgânicos (Fig. 43a). Já o mesocarpo mostra-se como uma rede de poros, de tamanhos e

formas variadas e direções de alongamento distintas (Fig. 43b), o que a define como uma estrutura menos compacta e menos densa que o exocarpo.

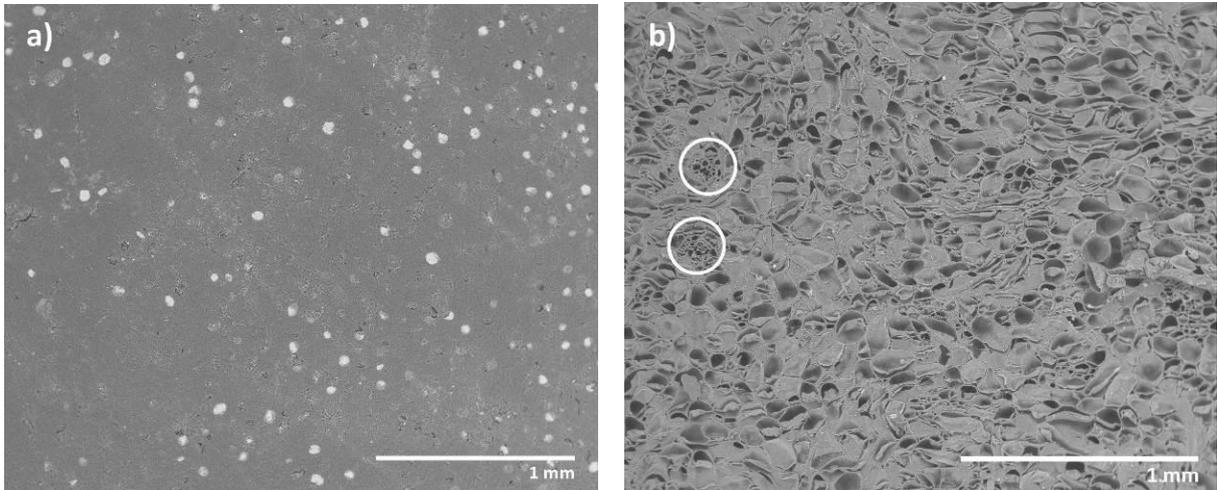


Figura 43: Exocarpo e mesocarpo do porongo: a) Exocarpo, camada compacta e homogênea, com pontos claros de materiais inorgânicos; b) Mesocarpo, estrutura porosa formada pelas células do parênquima. No detalhe, feixes vasculares.

Segundo Roth (1977), o mesocarpo frequentemente desenvolve-se como um tecido parenquimatoso carnoso, sendo o parênquima constituído de grandes células isodiamétricas, com paredes mais ou menos finas e grandes vacúolos. No caso do porongo, o que visualizamos como poros no mesocarpo são as células do parênquima do fruto (Figura 43b). Em frutos jovens, o parênquima periférico é geralmente rico em clorofila e realiza a fotossíntese. No porongo, quando o fruto é colhido e passa pelo processo de secagem, as células do parênquima morrem, salientando suas paredes lignificadas e seu conteúdo interno aparentemente vazio. Espalhados pelo mesocarpo estão os feixes vasculares (destacados por círculos brancos na Fig. 43b).

O exocarpo, quando observado em grandes magnificações (Fig. 44), pode-se observar que os materiais inorgânicos que constituem os pontos mapeados em tons mais claros nas imagens do tipo BSE indicam que estes são constituídos de elementos químicos distintos da matriz e que estão alojados no interior das células e dispersos por toda a extensão da parede externa.

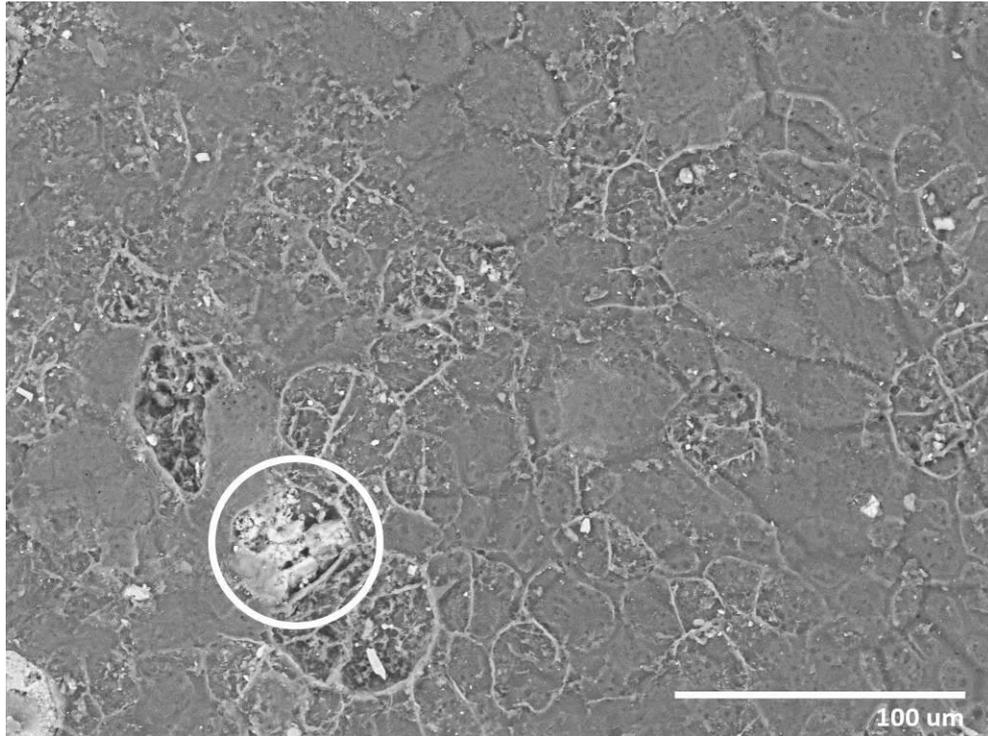


Figura 44: Exocarpo do porongo, onde se enfatiza a homogeneidade da camada externa, densa e compacta. No detalhe, materiais inorgânicos alojados nas cavidades do exocarpo.

As células do parênquima se distribuem ao redor dos feixes vasculares (Fig. 45) e na maior parte do mesocarpo. Pode-se reconhecer que as células do parênquima possuem estrutura isodiamétrica enquanto que as células dos feixes vasculares são alongadas. Espaços intercelulares são frequentes entre estes tipos celulares (ROTH, 1977), sendo de ordem de grandeza micrométrica. Nas células do parênquima, pode-se observar que são constituídas por parede espessada e que possuem pontuações através das quais a célula se conecta com as demais. Esse mecanismo de comunicação faz com que o porongo seja um material extremamente poroso, o que acarreta na capacidade de permeabilidade do material a fluídos.

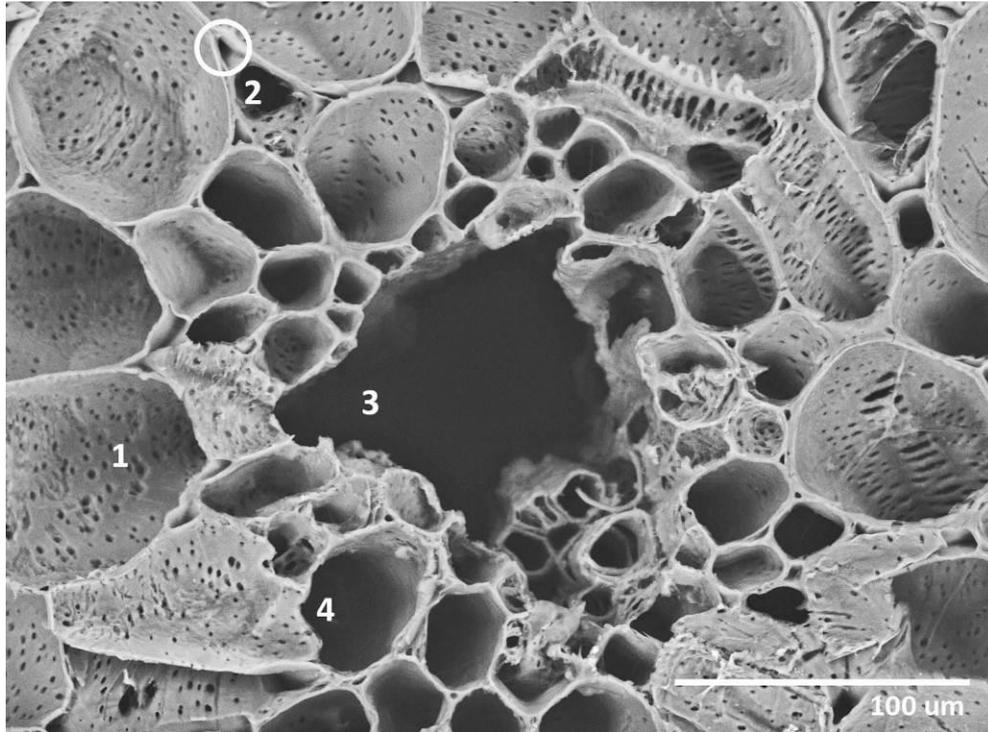


Figura 45: Detalhe dos elementos do parênquima: 1) Célula do parênquima, onde as pontuações são os vasos condutores; 2) Espaço intercelular; 3) Orifício por onde passa o floema; 4) Células condutoras.

Com relação aos feixes vasculares, são compostos por floema (Fig. 45-3) e xilema (Fig. 45-4). Na imagem, o floema aparece como um espaço vazio, pois é constituído por células de parede primária fina, que quando em contato com a solução de etilenodiamina 10%, utilizada para a preparação das amostras, se degradam. O floema é responsável pelo transporte da seiva elaborada. Já as células do xilema que se opõem ao floema, transportam a água e sais minerais. Os feixes vasculares são colaterais e se apresentam espalhados pelo mesocarpo (ROTH, 1977). Isso explica o fato de que em um único corte podem aparecer feixes vasculares seccionados em diferentes orientações, transversal, longitudinal ou intermediária.

As células do parênquima possuem estrutura diferente daquelas que constituem as células condutoras, sendo que as do parênquima possuem pontuações entre unidades vizinhas (Figura 46-1), enquanto que a parede interna dos elementos do xilema possui espessamentos de parede característicos de elementos traqueais (Figura 46-2).

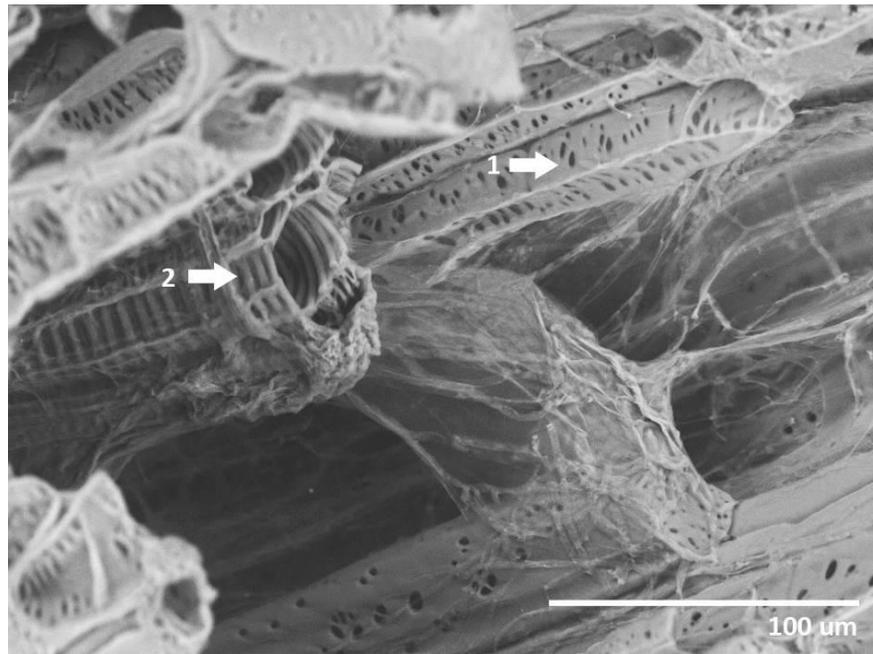


Figura 46: Paredes externas das células do mesocarpo: 1) Célula do parênquima, com cavidades que fazem a conexão entre as células; 2) Parede externa das células condutoras com feições traqueais.

A presença de cristais é também observada no interior (ou lume) das células do parênquima (Fig. 47). Esses cristais já foram identificados por Roth (1977) como sendo cristais de oxalato de cálcio, e são de presença recorrente no pericarpo de muitas espécies de cucurbitáceas, como observado nas amostras de porongo.

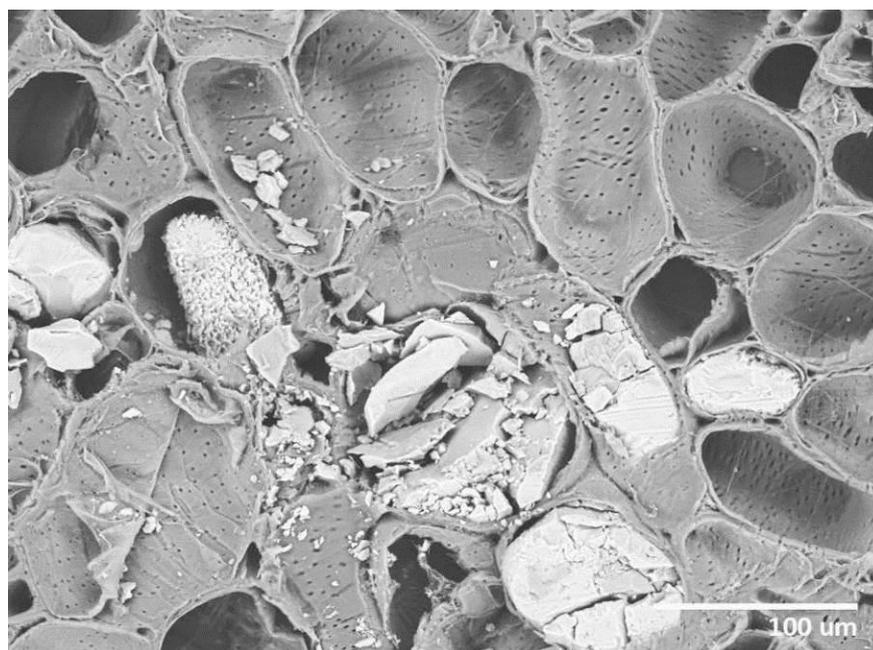


Figura 47: Imagem eletrônica do tipo BSE, mostrando como estão alojados os cristais de oxalato de cálcio (brancos) no lume de algumas das células do parênquima.

Para identificar se existe um padrão de crescimento e de disposição das células ao longo do pericarpo do porongo, foram agrupadas imagens do tipo BSE de uma amostra, que contemplasse as diferentes porções do fruto (Figura 48), contemplando desde a parte mais externa do exocarpo, até a parte mais próxima do endocarpo.

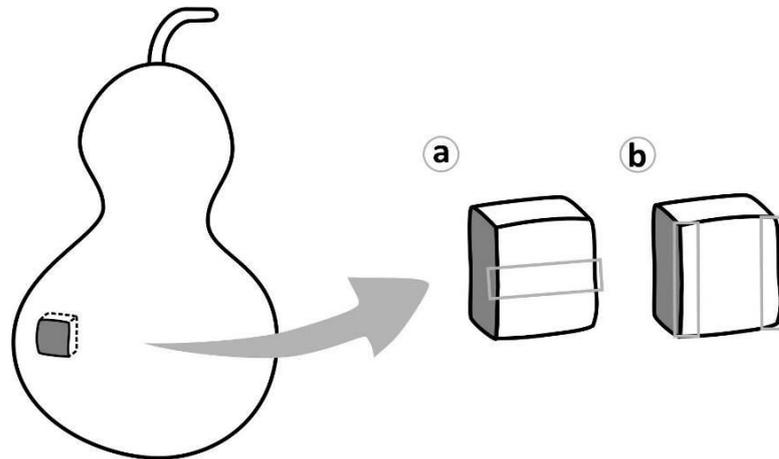


Figura 48: Localização da amostra no fruto e das seções: a) Seção de um corte transversal para observação do aumento das dimensões das células; b) Seções de um corte longitudinal, próximo à casca e ao endocarpo.

A seleção de imagens contempla o exocarpo (Fig. 49a), a porção central (Fig. 49b) e a porção mais interna (Fig. 49c) do mesocarpo. Conforme as células se interiorizam, as dimensões das células do parênquima e a densidade de espaços vazios aumenta. Na porção mais externa do exocarpo, que inclui a casca externa do porongo, há uma camada muito compacta de células, onde não se visualiza nenhum espaço intercelular (Fig. 49a), são células muito densas e próximas, o que justifica a impermeabilidade da casca. Esta situação vai sendo modificada conforme se adentra para as porções mais internas, com o progressivo aumento das dimensões das células (Fig. 49a, b, c), com diferentes orientações.

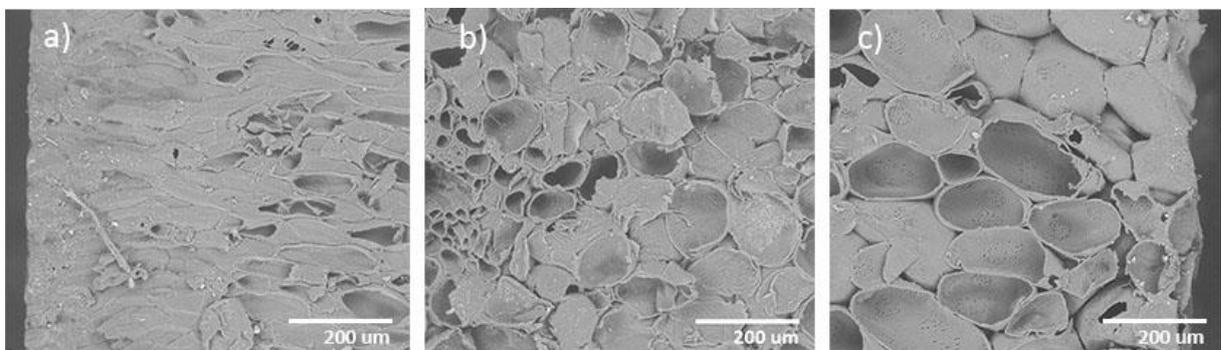


Figura 49: Aumento progressivo das dimensões das células do porongo: a) Exocarpo; b) Centro do mesocarpo e; c) Parte mais interna do mesocarpo.

É facilmente percebido que há diferenças nas dimensões das células (Fig. 49), o que acarreta em quantidades relativas distintas entre massa de material celular e volumes vazios em cada setor analisado. Esta razão está relacionada com a densidade do material, o que pode o levar a ser considerado como um material com densidade heterogênea. Dadas as observações, percebe-se então que quanto mais próximo da casca, mais denso é o material e conforme vai-se adentrando as dimensões das células (vazios) aumentam, reduzindo então a densidade do material. O diâmetro das unidades celulares foi obtido com o auxílio de imagens do tipo BSE, e na porção mais externa, mais próxima do exocarpo, os poros têm diâmetro variando entre 24 e 55 μm (Fig. 50a), e os valores de dimensões para os poros localizados na parte mais interna do mesocarpo estão entre 67 e 93 μm (Fig. 50b).

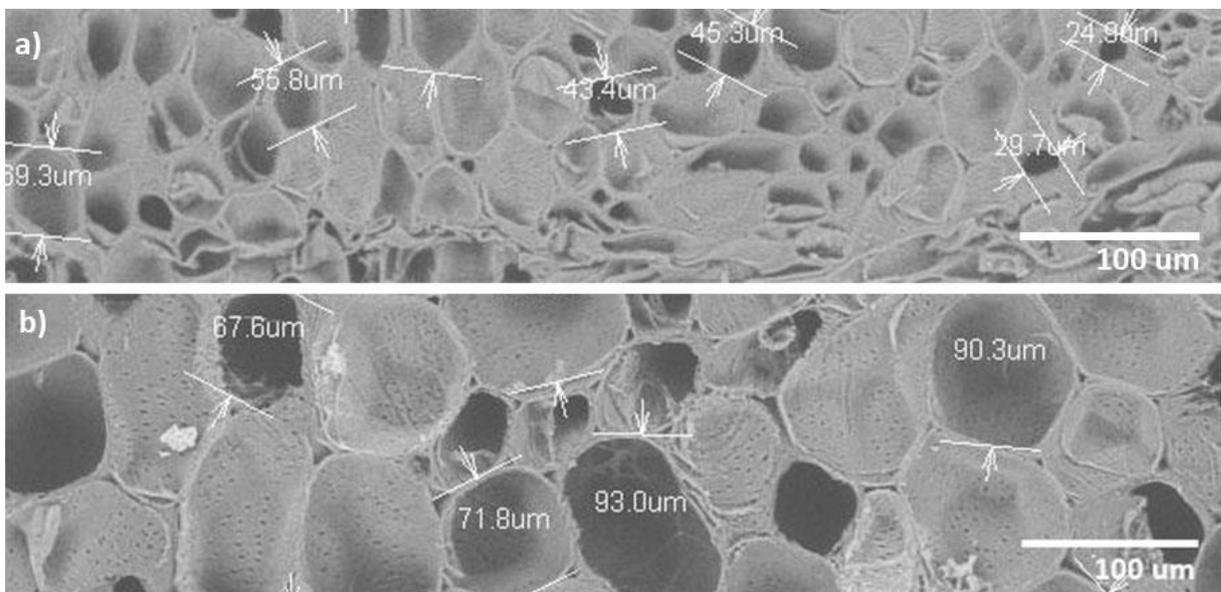


Figura 50: Variação no diâmetro das unidades celulares: a) Diâmetro dos poros mais externos, próximos ao exocarpo; b) Diâmetro de poros mais internos do mesocarpo.

A fim de melhor visualizar aspectos que não aparecem claramente no MEV, como detalhes das células e a lignina nas paredes, utilizou-se microscópio de luz transmitida para obter estas informações. Com esta técnica pode-se observar detalhes das células do parênquima e as pontuações que servem de comunicação entre células vizinhas (Fig. 51). Estas células possuem a parede espessada, impregnada por lignina, que é responsável pela dureza e resistência do material. As estruturas observadas ao microscópio de luz transmitida são as daquelas observadas ao MEV, porém, detalhes como paredes espessadas são bem evidenciadas com esta técnica.

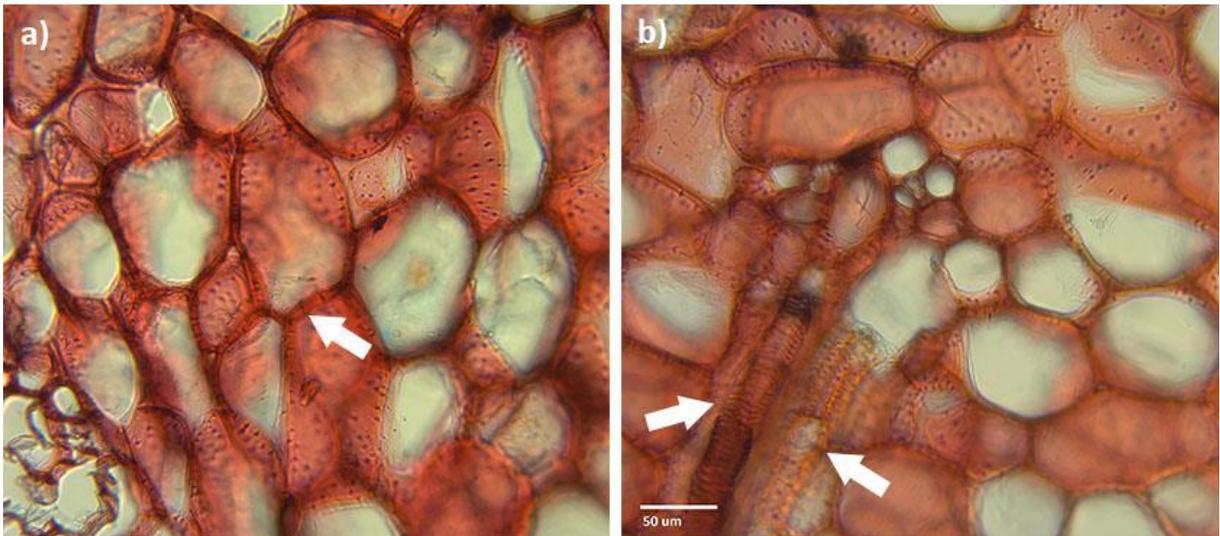


Figura 51: Paredes espessadas do parênquima: a) Detalhe podem ser vistos os canais de comunicação, que são as linhas horizontais escuras; b) À esquerda, um feixe vascular no sentido longitudinal, com sua estrutura traqueal, e à direita, uma célula do parênquima em um corte longitudinal, com os canais de comunicação.

A distribuição e o arranjo das células desde o exocarpo até o mesocarpo ficam bem expostos quando observados ao microscópio de luz transmitida (Figura 52). Nesta situação, percebe-se que a parte mais externa, o exocarpo, ocorre como uma camada micrométrica muito fina e de caráter impermeável, que é difícil de ser visualizada no microscópio (Fig. 52-1). A primeira camada do mesocarpo, formada por esclereides ou células pétreas, que são células com parede muito espessa, estão dispostas muito próximas umas das outras, de modo que não há espaço intercelular entre as mesmas (Fig. 52-2). Na segunda camada do mesocarpo, as células do parênquima começam a ficar com maiores dimensões, começam a ter paredes celulares menos espessas e a presença de vacúolos é maior, sendo incrementada progressivamente conforme avança para o interior, para o endocarpo (Fig. 52-3). Com relação ao endocarpo, não foi possível visualizar o mesmo, pois é uma camada muito fina, entre o mesocarpo e as sementes, formado por células muito grandes e dispersas, que na preparação das amostras acabaram se deteriorando.

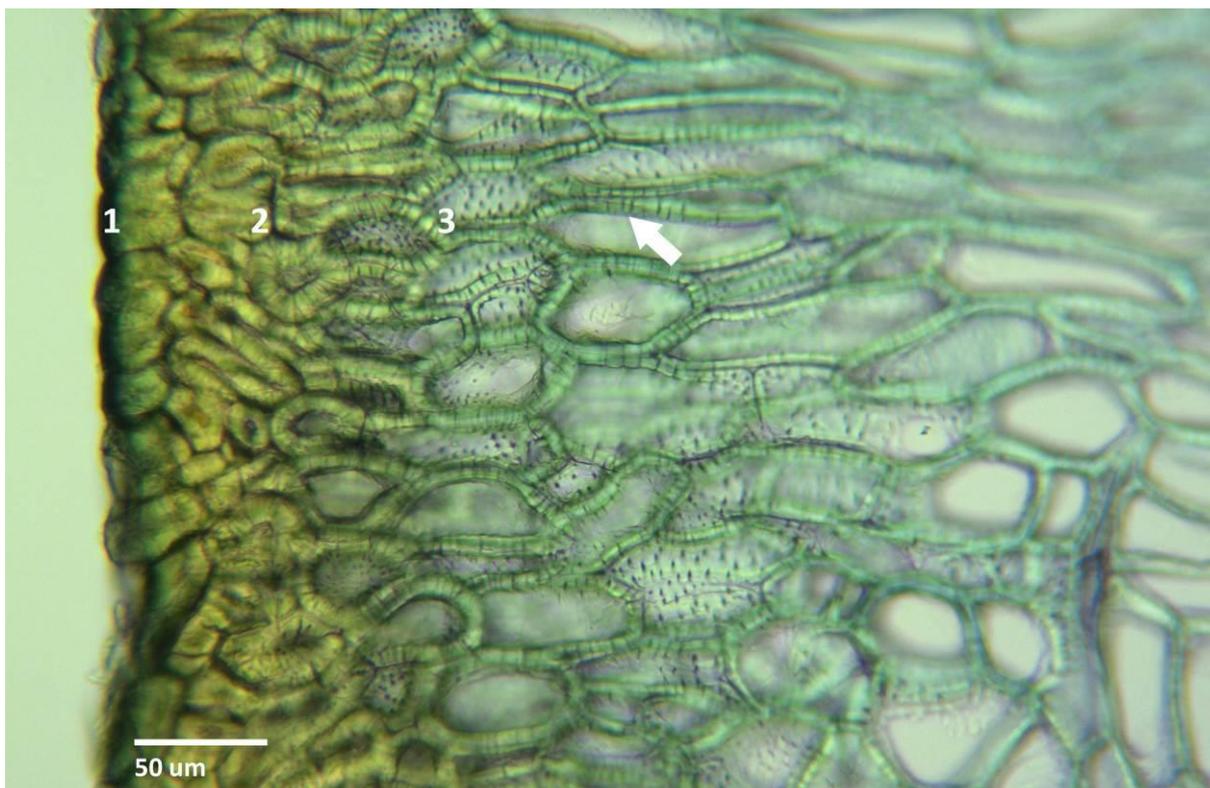


Figura 52: Distribuição e arranjo das células do exocarpo ao mesocarpo: 1) Camada mais externa do exocarpo, fina e compacta; 2) Esclereídes do mesocarpo; 3) Mesocarpo, onde pode-se observar o aumento progressivo nas dimensões das células do parênquima. A seta indica os canais de comunicação intercelular.

A lignina é observada pela adição de corante (conforme descrito nos métodos), o que favorece a visualização. No exocarpo (Fig. 52-1), observa-se uma coloração esverdeada bem escura, que indica a maior presença de lignina. Conforme o mesocarpo avança para o interior, as paredes das células afinam, e a tonalidade esverdeada torna-se mais clara, indicando redução progressiva da lignina nas camadas mais internas. A quantidade de lignina no fruto seco é relativa, vai depender do momento em que maturou. A lignina é responsável pela dureza e resistência do material.

A partir da análise da microestrutura do porongo é possível compreender o comportamento do material em diferentes situações. Dois fatores são fundamentais para a definição das principais propriedades do material: a diferença de densidade entre o exocarpo e o mesocarpo, e a complexa rede de vascularização que forma a estrutura do mesmo. A compacta organização das células do exocarpo explica a impermeabilidade da casca, ao passo que as grandes células vazias do parênquima justificam a elevada porosidade

do material, altamente hidrofílico, bem como a densidade reduzida da parte interna do fruto.

Com relação à análise termogravimétrica, Órfão *et al.* (1999) e Órfão e Figueiredo (2001) distinguem quatro fases envolvidas na pirólise de material celulósico. Até os 150°C ocorre a perda da água absorvida, entre 230°C e 260°C é observado o início da decomposição dos biopolímeros, principalmente hemicelulose. Entre 240°C e 400°C ocorre a decomposição da celulose e da lignina, sendo o primeiro o processo dominante nessa etapa. As curvas da perda de massa em função da temperatura para a casca e a parte interna do porongo são apresentadas no Gráfico 1. Pode-se observar que as duas curvas são muito semelhantes, já que o exocarpo e o mesocarpo são constituídos basicamente por celulose, lignina e água, diferenciando-se pelo espessamento das paredes das células e pela compactação das mesmas, sendo a casca mais densa e a parte interna, à medida que se afasta do exocarpo, menos densa.

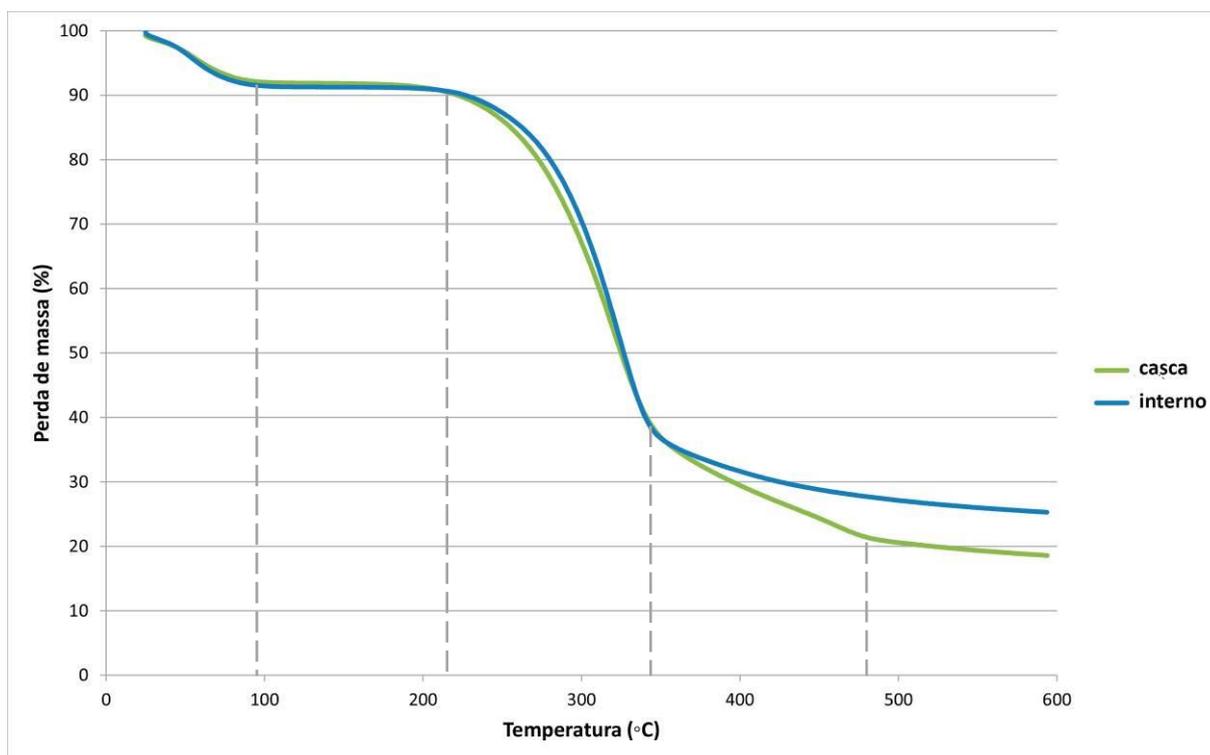


Gráfico 1: Termogramas da casca e da parte interna do porongo.

Nos gráficos termogravimétricos do porongo podem-se observar as quatro etapas da pirólise de materiais celulósicos. O primeiro evento, próximo aos 100°C indica a perda da água absorvida. A segunda inflexão da curva acontece próximo aos 250°C, faixa de

temperatura onde tem início a decomposição dos biopolímeros. Na sequência, entre 330°C e 340°C observa-se outro evento, correspondente ao início da decomposição da celulose e da lignina. Foi registrado um evento de perda de massa no patamar de 490°C, que pode estar relacionado com a decomposição mais tardia da lignina, já que a região do exocarpo possui as paredes mais espessas e maior concentração da substância (Fig. 52-1).

Os termogramas do porongo possuem curvas muito similares aos de espécies de madeira. O Gráfico 2 ilustra os termogramas do pinus e da garapeira. Novamente, pode-se observar as quatro fases propostas (Órfão *et al.*; 1999; Órfão e Figueiredo; 2001). Aos 90°C ocorre a perda da água, próximo aos 300°C o início da decomposição dos biopolímeros e, por fim, entre 470°C e 490°C, a decomposição da celulose e da lignina.

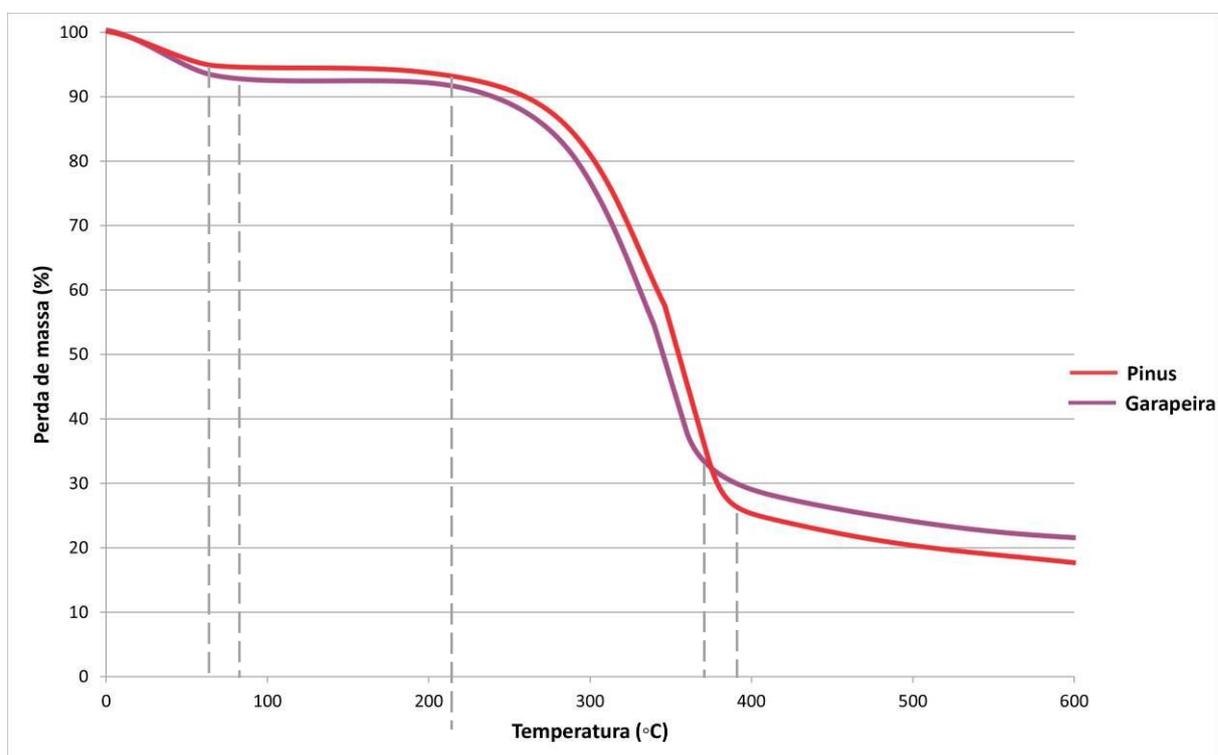


Gráfico 2: Termogramas do pinus e da garapeira. Fonte: Bianchi *et al.* (2010).

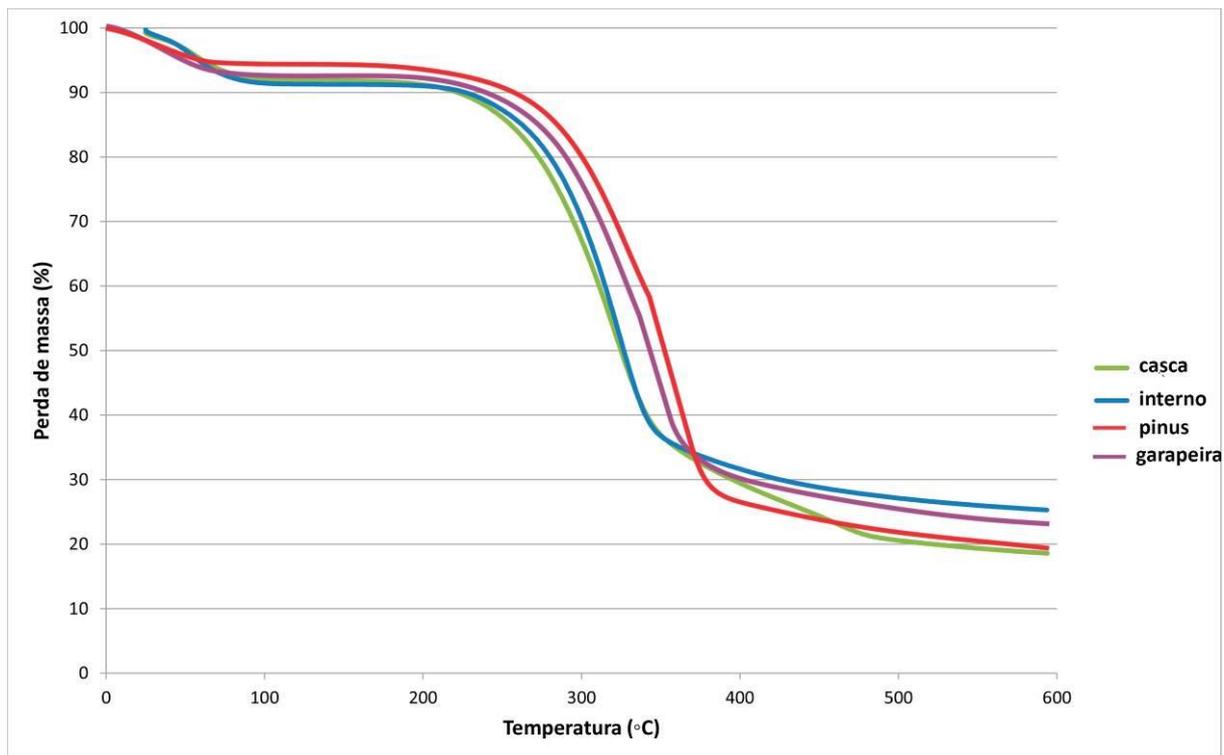


Gráfico 3: Termogramas comparativos entre o porongo, o pinus e a garapeira.

Através da análise dos termogramas do exocarpo e do mesocarpo do porongo na comparação com as duas espécies de madeira ficam claras as relações existentes entre os materiais (Gráfico 3). O comportamento similar dos materiais à exposição ao calor confirma que a composição química de ambos tem muitos aspectos em comum. Essa confirmação é importante no sentido de que parâmetros de ensaios e testes utilizados para a madeira podem ser aplicados ao porongo, material que carece de normas específicas. Esta similaridade reforça também a hipótese de que substâncias impermeabilizantes que têm um bom desempenho para a madeira, provavelmente também o terão quando aplicadas no porongo.

4.1.2. Propriedades físicas

Nos ensaios de determinação do teor de umidade do porongo, para a obtenção da massa seca das amostras foram necessárias três medições, ou seja, após 24 horas na

estufa as amostras estabilizaram. A Tabela 1 indica as médias dos valores das massas obtidas pelos seis corpos, dispostos em estufa para secagem, medidas de doze em doze horas.

Tabela 1: Medições das massas dos corpos-de-prova em câmara de secagem.

Amostra	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
	0h	12h	24h
N - 1	1,731	1,539	1,539
N - 2	1,523	1,359	1,359
N - 3	1,730	1,542	1,542
N - 4	2,801	2,499	2,499
N - 5	1,783	1,591	1,591
N - 6	1,474	1,312	1,312
Média	1,840	1,643	1,643

A partir dos dados da massa inicial das amostras com 12% de umidade, correspondente a primeira medição realizada, e da massa seca, última medição, foi determinado o teor de umidade de cada amostra, bem como a média de todos os valores, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Teor de umidade U(%) do porongo.

Amostra	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade (%)
N - 1	1,731	1,539	11,1%
N - 2	1,523	1,359	10,8%
N - 3	1,730	1,542	10,9%
N - 4	2,801	2,499	10,8%
N - 5	1,783	1,591	10,8%
N - 6	1,474	1,312	11,0%
Média	1,840	1,643	10,9%

O teor de umidade obtido para as amostras de porongo foi regular. De um modo geral, o material possui teor de umidade inferior ao de madeiras como angelim, cedro mara, garapeira, entre outras, que possuem variação entre 10,34% e 14,10% (RASEIRA, 2013). Para a obtenção dos dados para o cálculo da densidade aparente das amostras, foram utilizados os valores da massa inicial (Tabela 2) e os valores de volume (Tabela 3). Para o cálculo final,

os valores de volume foram convertidos de milímetros cúbicos (mm^3) para centímetros cúbicos (cm^3). A Tabela 3 mostra a densidade aparente de cada amostra, bem como a média para os valores das seis peças.

Tabela 3: Densidade aparente para as amostras de porongo.

Amostra	Massa (g)	Volume (cm^3)	Densidade aparente
	Umidade 12%	Umidade 12%	(g/cm^3)
N - 1	1,731	15,82	0,109
N - 2	1,523	12,85	0,118
N - 3	1,730	14,50	0,119
N - 4	2,801	15,82	0,177
N - 5	1,783	15,16	0,117
N - 6	1,474	13,51	0,109
Média	1,840	14,61	0,124

Os valores resultantes indicam que o porongo é um material com a densidade média extremamente baixa. Tomando como base a densidade aparente média encontrada de $0,124 \text{ g}/\text{cm}^3$, é relativamente semelhante e da mesma ordem de grandeza da densidade de algumas espumas poliméricas, como a espuma de PVC ($0,09$ a $0,130 \text{ g}/\text{cm}^3$) e de PU ($0,08$ a $0,150 \text{ g}/\text{cm}^3$). Quando comparado com outros materiais naturais de fontes renováveis, possui densidade muito menor que a do bambu ($\approx 0,8 \text{ g}/\text{cm}^3$) e que a da cortiça ($\approx 0,3 \text{ g}/\text{cm}^3$), sendo a densidade da madeira balsa com os valores mais semelhantes ($\approx 0,2 \text{ g}/\text{cm}^3$) (ASHBY; JOHNSON, 2011).

A densidade básica foi determinada a partir do valor da massa seca (Tabela 2) e do volume saturado. Para a obtenção do volume saturado foram necessárias cinco obtenções de medida com intervalo de 12 horas cada (Tabela 4), onde foi então possível calcular a média dos valores das massas obtidos nas seis amostras submersas em água. Com relação à absorção de água, as amostras *in natura* apresentaram alta taxa de absorção de água, conforme esperado por ser um material poroso. Na média, as amostras tiveram um ganho de massa de cerca de 150% de peso até o ponto de saturação. Este dado reforça a informação de que a microestrutura do porongo é constituída por inúmeros espaços vazios aptos a serem preenchidos por água, ou outro fluido qualquer. Os dados da Tabela 4 indicam

ainda que o maior ganho de massa ocorreu nas primeiras 24 horas, e gradativamente vai sendo reduzido até ficar estável.

Tabela 4: Medições das massas dos corpos-de-prova submersos em água.

Amostra	Peso (g)				
	0h	12h	24h	48h	60h
N - 1	1,731	3,025	3,894	4,867	4,866
N - 2	1,523	2,618	3,190	3,821	3,823
N - 3	1,730	2,792	3,537	4,297	4,297
N - 4	2,801	4,789	5,854	6,493	6,491
N - 5	1,783	3,122	3,787	4,476	4,476
N - 6	1,474	2,362	3,006	3,483	3,483
Média	1,840	3,118	3,878	4,572	4,572

Para o cálculo da densidade básica foram utilizados os valores de massa seca (Tabela 2) e os dados do volume saturado foram transformados de milímetro cúbico (mm^3) para centímetro cúbico (cm^3). Estes valores, bem como a densidade básica de cada tipo de amostra, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Densidade básica das amostras de porongo.

Amostra	Massa seca (g)	Volume saturado (cm^3)	Densidade básica (g/cm^3)
N - 1	1,539	16,48	0,093
N - 2	1,359	13,84	0,098
N - 3	1,542	14,83	0,103
N - 4	2,499	16,15	0,154
N - 5	1,591	15,82	0,100
N - 6	1,312	13,51	0,097
Média	1,643	15,10	0,107

Similar aos resultados da densidade aparente, a densidade básica do porongo também é muito baixa, $0,107 \text{ g}/\text{cm}^3$ na média. Com relação aos valores de volume saturado encontrados, chama a atenção o fato de que os valores das amostras com umidade 12% e das saturadas é muito similar, com uma pequena variação, média de $14,61 \text{ cm}^3$ nas primeiras e $15,10 \text{ cm}^3$ para as segundas. Esse fato reforça a hipótese de que, apesar de o

porongo ser um material altamente hidrofílico, pouco altera suas dimensões iniciais quando saturado, apenas preenchendo os vacúolos internos, sem grandes alterações dimensionais.

A técnica de digitalização tridimensional foi utilizada com o intuito de complementar a análise do desempenho do porongo em contato com a água, no que se refere à contração e estabilidade dimensional. Inicialmente as seis amostras foram digitalizadas secas, a casca (Fig. 53a) e a parte interna (Fig. 54a). Em função das condições apropriadas, os dados adquiridos neste primeiro momento foram satisfatórios, muito fiéis às amostras reais (Fig. 53b e Fig. 54b).

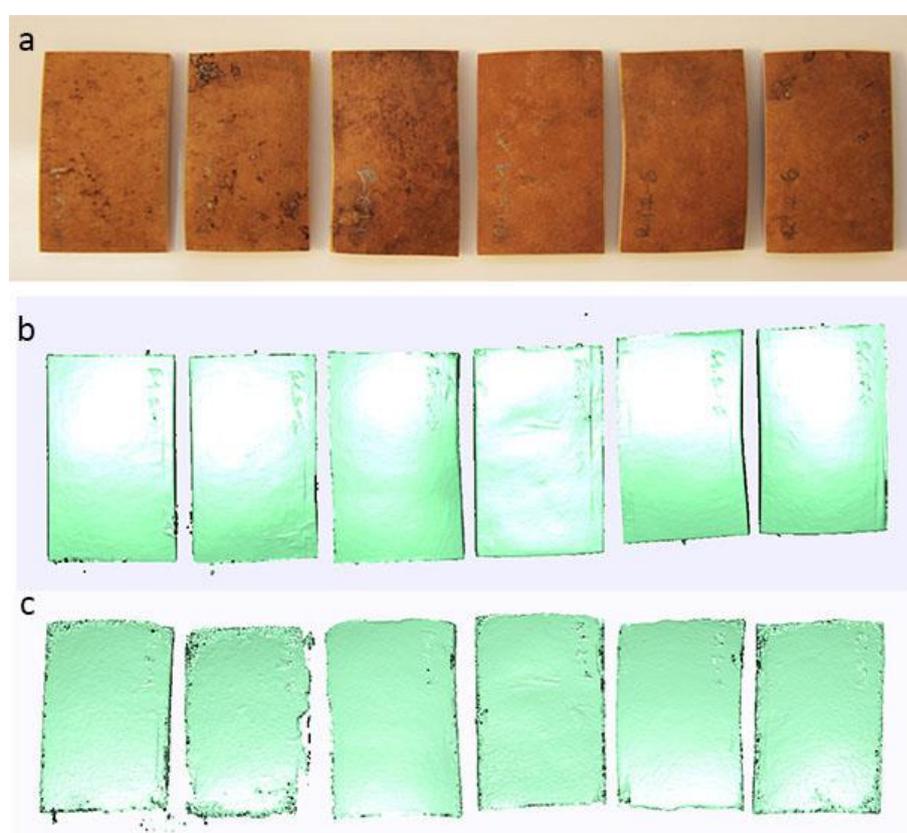


Figura 53: Amostras de porongo organizadas para a digitalização do exocarpo: a) Exocarpo das amostras; b) Aquisição das amostras secas; c) Aquisição após 24 horas na água.

Mesmo a digitalização da parte interna do porongo seco, que possui irregularidades, ficou muito semelhante às amostras, apresentando detalhes característicos de cada peça, como pode ser observado comparando as Figuras 54a e 54b.

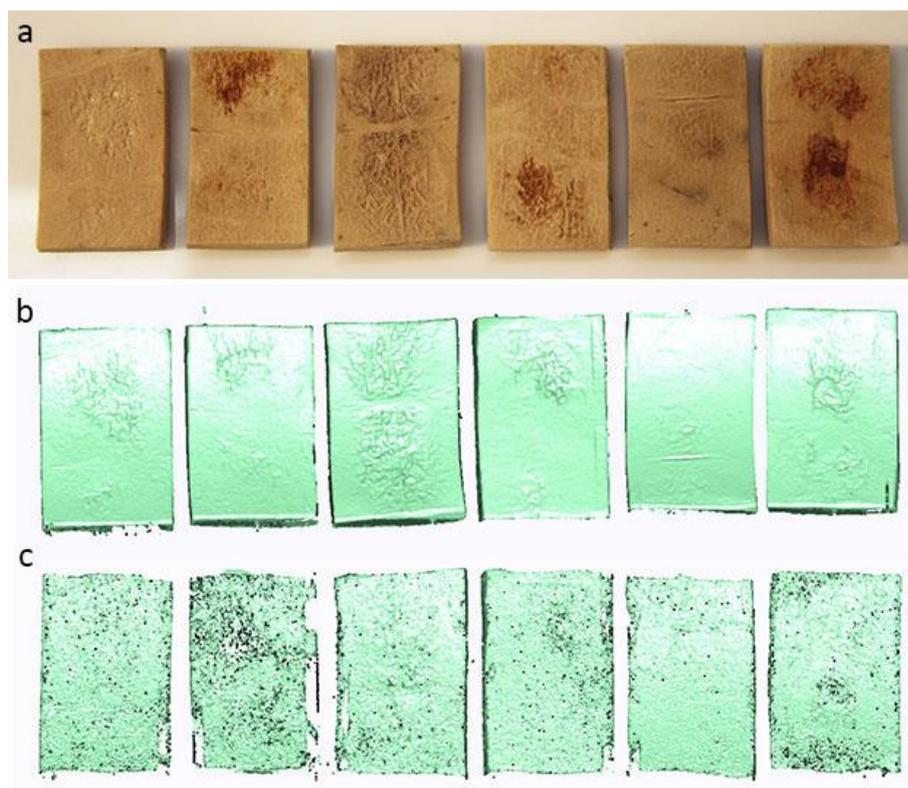


Figura 54: Amostras de porongo organizadas para a digitalização do mesocarpo: a) Parte interna das amostras; b) Aquisição das amostras secas; c) Aquisição após 24 horas na água.

Na segunda etapa do processo, onde foram digitalizadas as amostras após 24 horas na água, os resultados não foram tão satisfatórios. A água contida nas peças dificultou o foco do laser para a captura dos dados, o que resultou em uma aquisição com ruídos, como pode ser observado na Figura 53c e 54c. A digitalização da casca, por ser mais regular e impermeável, foi satisfatória. Entretanto, a aquisição dos dados da parte interna do porongo, que é extremamente porosa e hidrofílica, apresentou ruído considerável (Fig. 54c).

Apesar do comprometimento na aquisição dos dados das peças após 24 horas na água, referências básicas como comprimento, largura e marcas específicas da superfície das peças foram digitalizadas com sucesso, o que permite uma análise comparativa entre os dados das mesmas.

Nos gráficos gerados pelo software Geomagic Qualify®, os valores positivos (as cores quentes na escala) representam divergências de volume positivo, enquanto que os valores negativos (as cores frias na escala) representam variações de volume negativo, já os pontos em comum nas duas amostras são representados no gráfico pela cor verde (Fig. 55 e 56). A unidade da escala é o milímetro e o parâmetro estabelecido varia de 0,1 mm até 1

mm, positivo e negativo, sendo a menor variação correspondente à resolução utilizada para a digitalização, e a maior variação (1 mm), o máximo definido para as análises. Na Figura 55 pode-se observar o comparativo das digitalizações da casca do porongo, secas e após 24 horas na água, e na Figura 56 o comparativo das digitalizações da parte interna.

No gráfico comparativo da casca do porongo (Fig. 55), a cor verde predomina nas amostras, mostrando que a maioria dos pontos das digitalizações é comum, o que significa que o exocarpo do material pouco se alterou após 24 horas na água. As áreas em azul na imagem mostram que as amostras, depois de imersas na água, tiveram uma retração negativa, de 0,1 a 0,4 mm especialmente nas bordas das amostras. E as manchas amarelas, esporádicas, mostram áreas onde a variação foi um inchamento positivo de cerca de 0,1 mm. A boa qualidade dos dados adquiridos na digitalização, com pouco ruído, corrobora para a validação das informações obtidas.

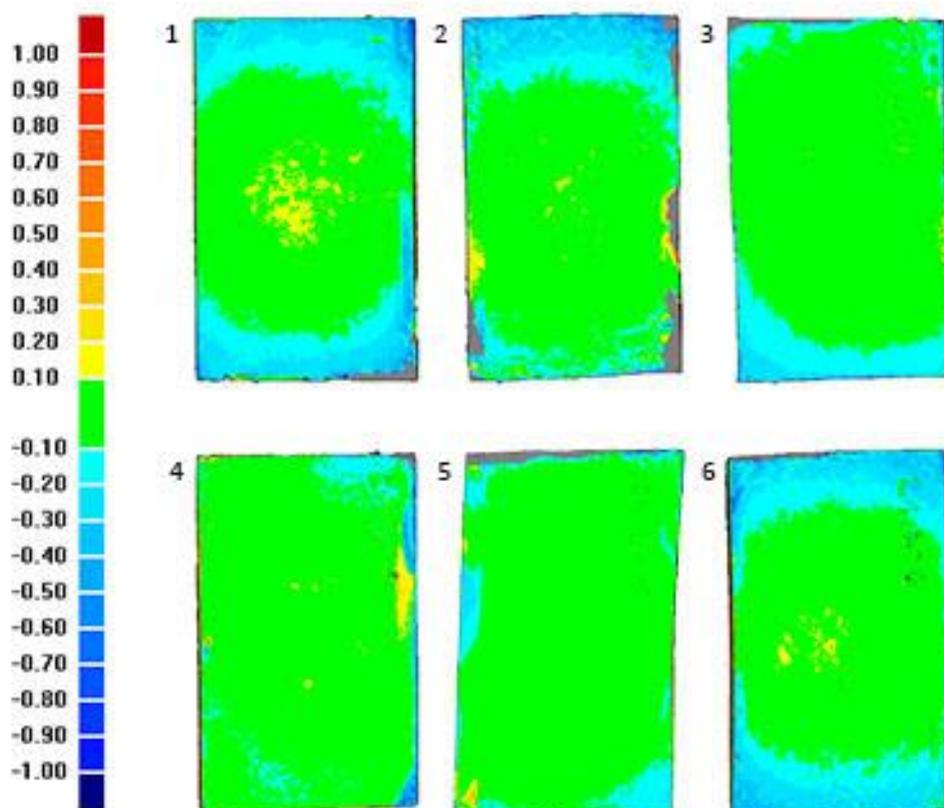


Figura 55: Gráfico comparativo das digitalizações da casca, secas e após 24 horas na água: na escala, as cores quentes representam divergências de volume positivo e as cores frias, variações de volume negativo, os pontos em comum são representados pela cor verde, a unidade da escala é o milímetro e o parâmetro estabelecido varia de 0,1 mm até 1 mm, positivo e negativo.

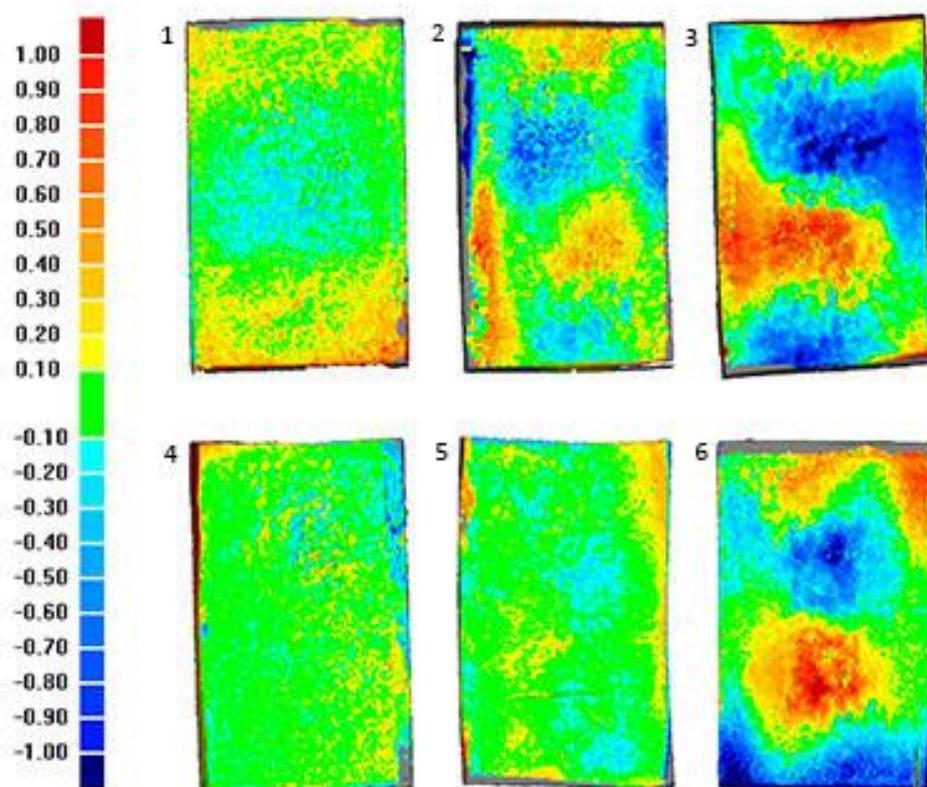


Figura 56: Gráfico comparativo das digitalizações da parte interna, secas e após 24 horas na água: na escala, as cores quentes representam divergências de volume positivo e as cores frias, variações de volume negativo, os pontos em comum são representados pela cor verde, a unidade da escala é o milímetro e o parâmetro estabelecido varia de 0,1 mm até 1 mm, positivo e negativo.

Com relação ao gráfico comparativo da parte interna do porongo (Fig. 56), as digitalizações das amostras secas e das 24 horas na água apresentaram pontos divergentes. De um modo geral, pode-se observar nas amostras um inchamento (volume positivo) nas extremidades, e uma retração (volume negativo) na parte central das amostras após o contato com a água. Essa divergência varia de amostra para amostra. Nas amostras 1, 4 e 5, tanto a variação positiva quanto a negativa, ficaram entre 0,1 a 0,3 mm, com poucos pontos mais acentuados. Já nas amostras 2, 3 e 6, as divergências são mais pronunciadas, podendo atingir 1,0 mm em pontos específicos, volume positivo na cor vermelha, e volume negativo na cor azul escura. O que é comum a todas as amostras é a tendência do material empenar após o contato com a água, de modo que a parte central fica mais funda enquanto que as laterais se sobressaem. As variações mais acentuadas observadas no mesocarpo do porongo podem ter tido interferência dos ruídos observados na aquisição de imagens.

Os resultados da digitalização tridimensional das amostras de porongo secas e após 24 horas na água corroboram a hipótese de que, mesmo absorvendo grande quantidade de água, as dimensões gerais do material pouco se alteram. A explicação seria de que o porongo absorve o líquido até preencher os vazios das células do parênquima, até ficar saturado. A lignina presente nas paredes das células mantém o formato das mesmas estável, fazendo com que as dimensões pouco se alterem.

4.2. IMPERMEABILIZAÇÃO

A impermeabilização do porongo com vistas à utilização na fabricação de recipientes para alimentos e bebidas será analisada perante requisitos estabelecidos previamente: o uso de uma resina atóxica e de fonte renovável, que seja de fácil aplicação e mantenha as características sensoriais originais do porongo, visando a valorização do material. Para os testes de impermeabilização foram utilizadas duas resinas à base de óleo de mamona de fabricantes diferentes. De um modo geral, os dois produtos obtiveram resultados muito semelhantes em todos os aspectos.

Quanto à aplicação, a possibilidade de aplicar a resina sem métodos com vácuo ou com uso de equipamentos específicos é um ponto positivo, já que objetivo é facilitar o processo de produção dos recipientes, tornando-o acessível. As resinas foram aplicadas com o auxílio de pincéis. Entretanto, por serem isentas de solventes, ambas são de difícil diluição, sendo recomendado pelos fabricantes o uso de álcool 96% para a limpeza dos pincéis e recipientes, mas o método não se mostrou eficiente, de modo que ao final da aplicação e após a cura das resinas, o material utilizado teve que ser descartado, sem possibilidades de reutilização. Esse é um fato negativo da aplicação por pincelamento, tornando-se necessária a pesquisa de outros meios de aplicação mais eficazes.

Com relação ao aspecto estético do material, após a aplicação e a cura das resinas, as amostras apresentam uma coloração ligeiramente mais escura, um tom âmbar, como descrito nas informações do produto (Figura 57). Esse escurecimento do material ocorre em função do óleo de mamona, que possui coloração bem escura. Essa alteração na cor original do material não era o objetivo, mas não chega a descaracterizar o porongo.

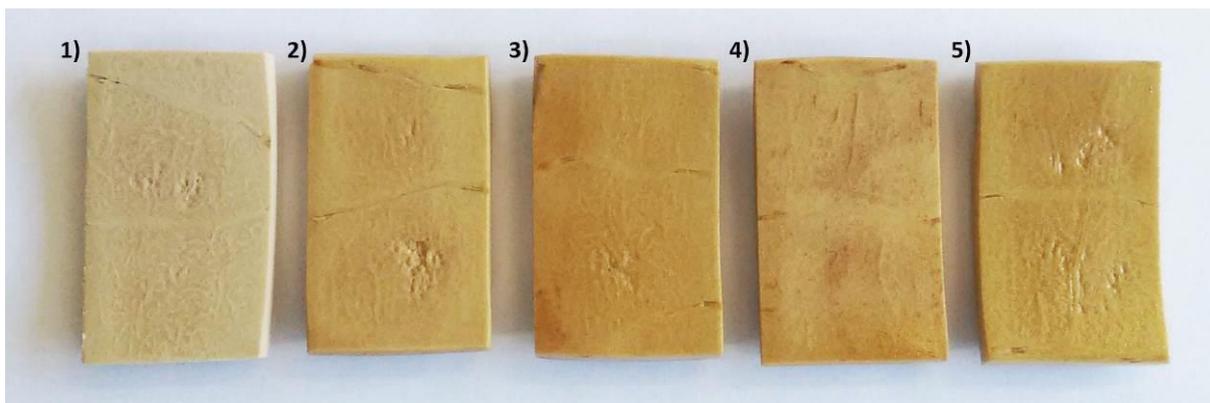


Figura 57: Amostras de porongo sem tratamento e após aplicação das resinas: 1) Amostra de porongo sem tratamento; 2) Com uma camada da resina A; 3) Com duas camadas da resina A; 4) Com uma camada da resina B; 5) Com duas camadas da resina B.

Antes da aplicação das resinas as amostras permaneceram por três horas na estufa a 100°C, para eliminar a água que poderia interferir no processo de impermeabilização, fato que contribuiu para uma melhor absorção da substância pelo porongo. As amostras que receberam uma camada das resinas apresentaram acabamento fosco uniforme, excelente absorção, sem deposição do material nas reentrâncias (Fig. 58a). Já as amostras que receberam duas camadas não obtiveram um acabamento final muito satisfatório. Pelo fato de a segunda camada polimérica se sobrepor a primeira, em muitas regiões das amostras houve acúmulo da resina (Fig. 58b). As amostras apresentaram acabamento com brilho heterogêneo, com áreas mais salientes que outras, o que descaracterizou o aspecto natural do porongo.

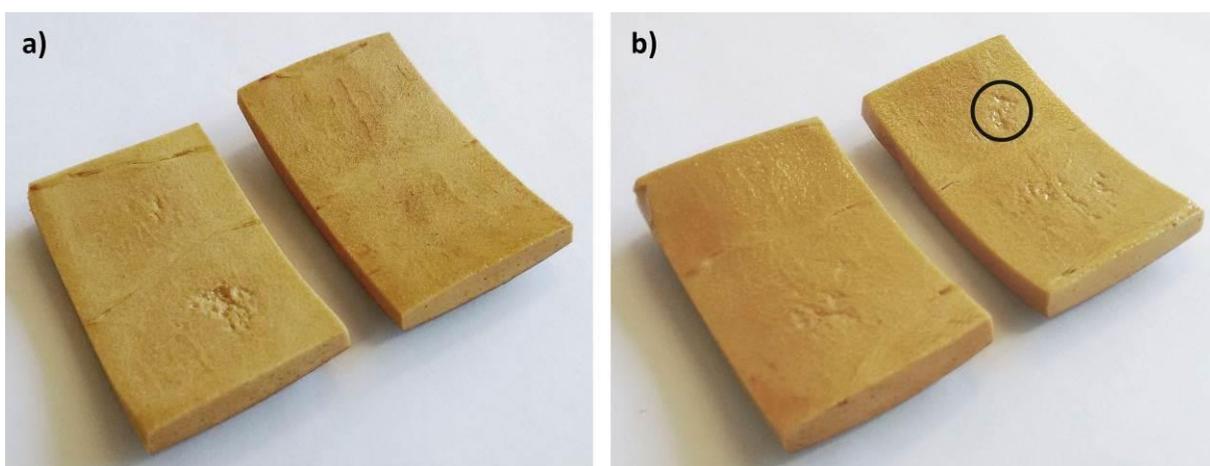


Figura 58: Amostras de porongo após aplicação das resinas: a) Amostras com uma camada das resinas A e B; b) Amostras com duas camadas das resinas A e B. No detalhe, o acúmulo da resina nas reentrâncias.

Com relação aos aspectos estéticos esperados, as amostras com uma camada de resina adequaram-se aos requisitos iniciais. A diferença entre as amostras que receberam uma camada de resina daquelas que receberam duas fica mais visível nas imagens vistas no microscópio eletrônico de varredura (Fig. 59).

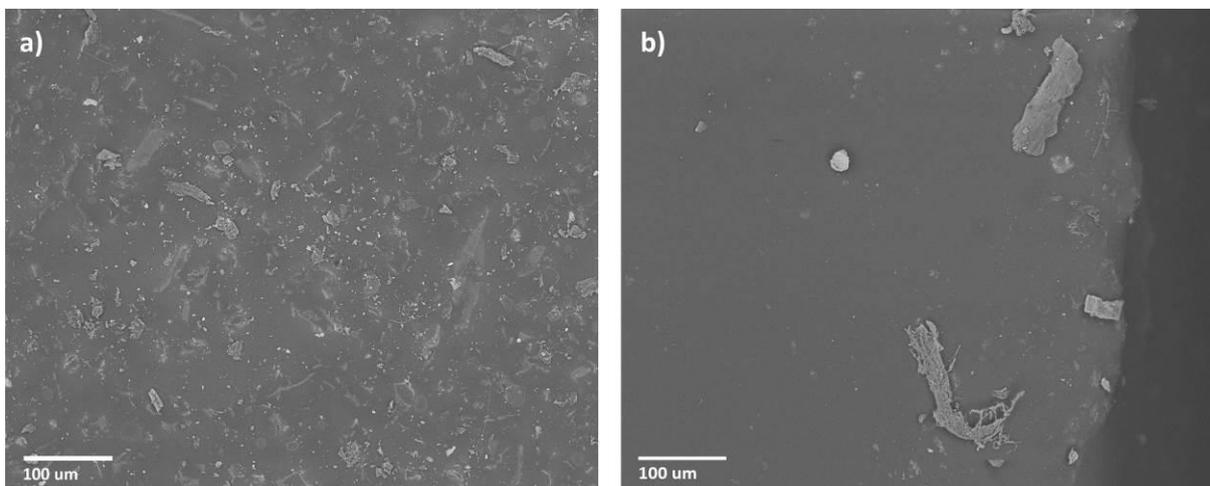


Figura 59: Imagens do tipo BSE das amostras de porongo resinadas: a) Amostra com uma camada de resina; b) Amostras com duas camadas de resina.

A Figura 59a mostra que a resina foi bem absorvida nas amostras que receberam uma camada da mesma, pois ainda podem-se observar elementos da superfície do porongo, indicando que a camada superficial da resina ficou bem fina e aderida ao material. Já na Figura 59b pode-se observar que as amostras que receberam duas camadas de resina a última se sobrepôs à já existente, sem contato com o porongo propriamente dito, formando uma película polimérica, que na imagem do microscópio aparece como uma camada regular, onde não mais se pode visualizar aspectos do porongo, o que justifica o acabamento com brilho destas amostras.

4.2.1. Caracterização da resina

Para identificar a composição química das resinas utilizadas recorreu-se ao FTIR. Foram analisadas amostras líquidas das resinas A e B e os espectros resultantes estão na Figura 60. Como esperado, os dois espectros apresentaram picos muito semelhantes, ressaltando a similaridade das resinas utilizadas.

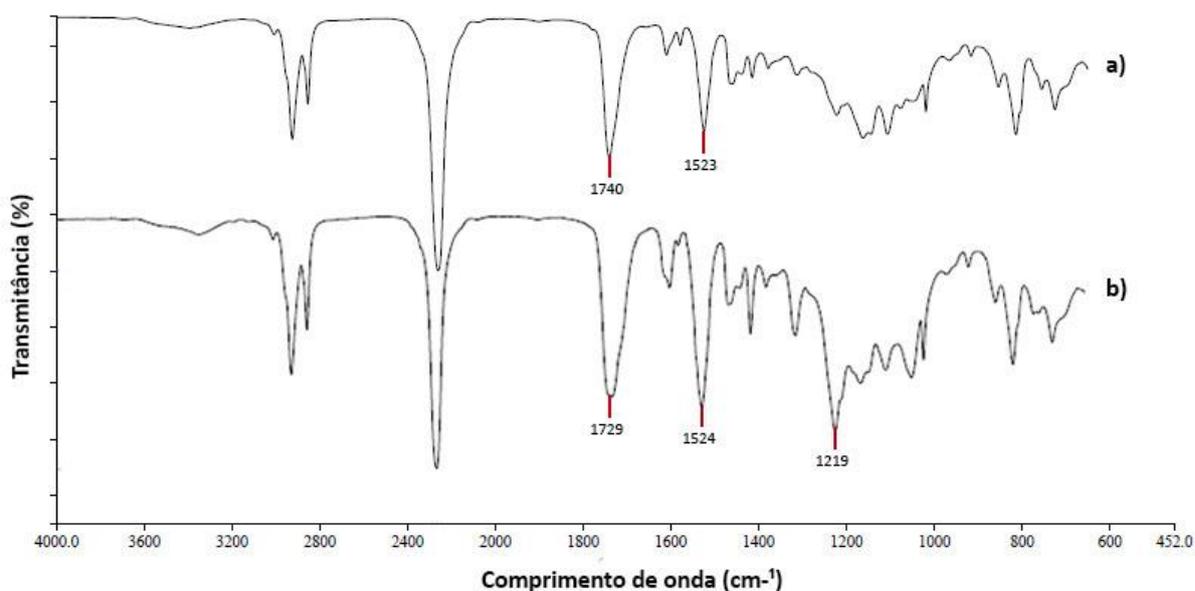


Figura 60: Espectros de FTIR das resinas poliuretanas à base de óleo de mamona: a) Espectro da resina A, com os principais picos; b) Espectro da resina B, com os principais picos indicados.

Para a interpretação dos espectros, buscou-se na literatura referências de análises realizadas a partir de resina poliuretana de óleo de mamona. Silverstein e Webster (2000) relacionam em uma tabela os grupos químicos de interesse na análise dos resultados, bem como as respectivas regiões de absorção no infravermelho (Quadro 4).

Quadro 4: Grupos químicos do espectro do poliuretano.

Possível distribuição	Absorção cm^{-1}
Éster C = O	1700
Éster C – O	1300 - 1000
Éter C – O – C	1150 - 1085
Uretano C = O	1700
Uretano N – H	1500

Fonte: SILVERSTEIN; WEBSTER (2000).

Conforme os autores, a identificação do éster (C=O) se dá na faixa de comprimento de onda de 1700, na resina A este pico aparece em 1740 e na resina B, em 1729. Outro éster (C-O) é identificado entre 1000 e 1300, sendo que a resina A possui vários picos entre esses valores e a resina B possui um pico mais saliente em 1219. Quanto ao éter (C-O-C) entre 1085 e 1150, ambas as resinas possuem vários picos nesse intervalo. Quanto à formação do uretano (C=O), que coincide com o éster, em 1700, a resina A possui o pico em

1740 e a resina B em 1729. Já quanto ao uretano (N-H), em 1500, a resina A apresenta um pico em 1523 e a resina B em 1524, entretanto um pico menos acentuado.

Merlini (2011) traz um comparativo entre as análises de FTIR da resina pura e de compósitos com fibras de bananeiras (Figura 61). Segundo análise do autor, as bandas do poliuretano em 3330 , 2927 e 2853 cm^{-1} referem-se à deformação dos grupos $N-H$, $C-H_3$ e $C-H_2$, respectivamente, enquanto que as bandas em 1726 e 1607 cm^{-1} são atribuídas aos grupos $C=O$ e $C-C$. Já a banda em 1521 refere-se à deformação vibracional dos grupos $C-N$ e $N-H$ e em 1216 e 1047 cm^{-1} aos grupos $C-O-C$. A banda em 2273 está associada à vibração dos grupos isocianato $N=C=O$ livres.

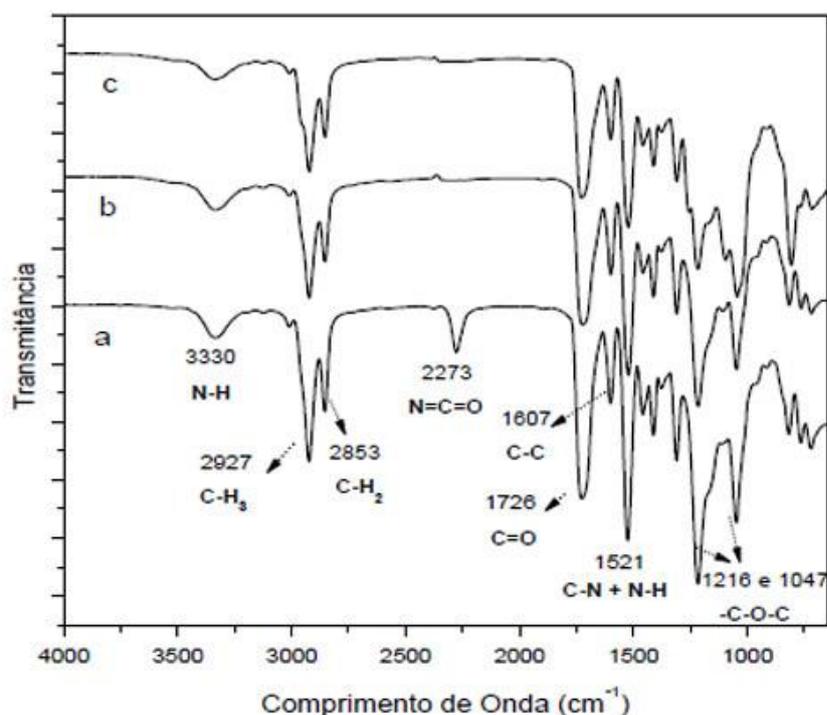


Figura 61: Espectros de FTIR de resina poliuretana de óleo de mamona e de compósito: a) Espectro da resina poliuretana; b e c) Espectros dos compósitos. Fonte: Merlini, 2011.

Os espectros de FTIR das resinas poliuretanas à base de óleo de mamona analisadas estão de acordo com os resultados encontrados na literatura para este material. A partir da confirmação da identificação química das resinas, pode-se prever o comportamento das mesmas frente a estímulos já pesquisados por outros autores. Desse modo, pode-se concluir que as resinas A e B começam a ser alteradas quimicamente entre

150 e 300°C, mantendo-se estáveis até os 100°C, que é o limite de temperatura de interesse para este trabalho. Quanto à degradação, conforme pesquisa de Cangemi (2006) mencionada anteriormente, em condições adequadas a resina poliuretana à base de óleo de mamona possui propriedades biodegradáveis.

4.2.2. Absorção de água

O ensaio de absorção de água é muito importante quando se trata de avaliar a eficiência da impermeabilização em um material, especialmente quando este será utilizado para a fabricação de recipientes para alimentos e bebidas, onde o contato com a água e outros líquidos será constante. O ensaio realizado é um comparativo entre os níveis de absorção de água do porongo natural com as amostras impermeabilizadas, com as resinas A e B, com uma e com duas camadas da resina. Foram utilizados seis corpos de prova para cada caso, totalizando 36 amostras. Os Gráficos 4 e 5 foram montados a partir das médias das massas de cada grupo de amostras em 0, 2 e 24 horas. As tabelas com as medições de todas as amostras encontram-se no Apêndice A.

A partir dos dados da massa saturada do porongo, no cálculo das propriedades físicas, sabe-se que o material natural é hidrofílico e possui altos índices de absorção de água, sendo que o aumento da massa foi de cerca de 150% até a saturação (Tabela 4). O objetivo deste ensaio é gerar um comparativo entre os índices das amostras naturais com as resinadas, e entre estas, com uma camada e duas de resina, visando analisar a eficiência do método de impermeabilização. O Gráfico 4 mostra a relação de absorção de água entre massa (g) x tempo (h), onde parte-se da massa inicial das amostras.

A curva de ganho de massa para o porongo natural é claramente mais acentuada que as demais. Com relação às resinas, as duas marcas apresentaram desempenho muito semelhante. Pode-se observar que as amostras com uma camada impermeabilizante tiveram um ganho de massa ligeiramente superior que as com duas camadas e que, estas últimas, tiveram um ganho de massa mínimo. Para melhor visualizar estes dados, o Gráfico 5 traz os dados de absorção de água a partir do aumento de massa em porcentagem.

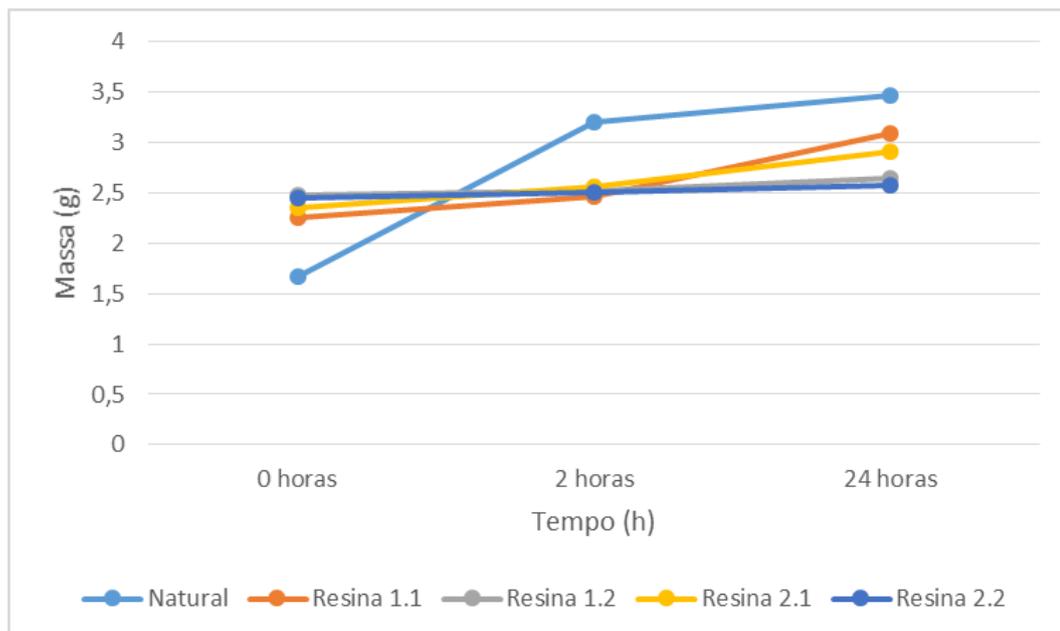


Gráfico 4: Absorção de água em aumento de massa (g) x tempo (h). Natural: Amostras sem tratamento; Resina 1.1: Amostras com uma camada da resina A; Resina 1.2: Amostras com duas camadas da resina A; Resina 2.1: Amostras com uma camada da resina B; Resina 2.2: Amostras com duas camadas da resina B.

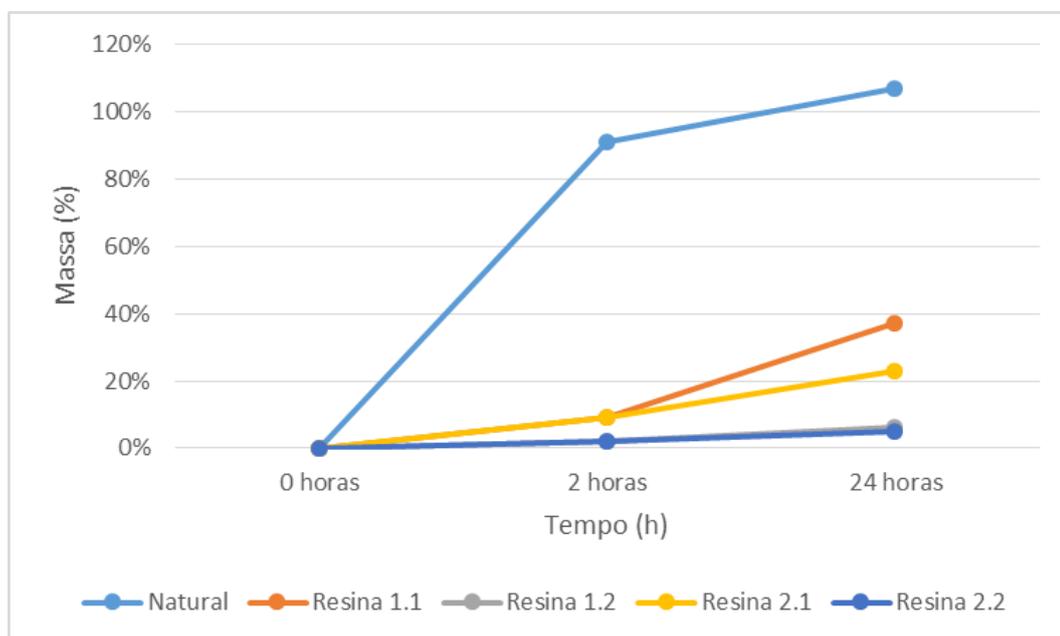


Gráfico 5: Absorção de água em aumento de massa (%) x tempo (h). Natural: Amostras sem tratamento; Resina 1.1: Amostras com uma camada da resina A; Resina 1.2: Amostras com duas camadas da resina A; Resina 2.1: Amostras com uma camada da resina B; Resina 2.2: Amostras com duas camadas da resina B.

Ao comparar a porcentagem de aumento de massa das amostras, há uma disparidade maior entre os resultados. Novamente a absorção de água do porongo sem

tratamento é muito alta, nesse caso chegando a um aumento de massa de 107% com relação à medida inicial. As amostras com uma camada de resina, das marcas A e B, após 2 horas na água tiveram um aumento de 9% de massa, e após 24 horas, aumento de 37% e 23%, respectivamente. Já as amostras com duas camadas de resina foram as que apresentaram os menores índices de absorção de água, com resultados muito similares. Após 2 horas, ganho de 2% de massa e após as 24 horas, 6% e 5%, respectivamente.

A fim de corroborar os resultados de impermeabilização alcançados com a resina poliuretana à base de óleo de mamona, os resultados do teste de absorção foram comparados com os alcançados por Lago (2013), a partir da impregnação polimérica do porongo com soluções de metilmetacrilato – MMA e metanol – MeOH, em proporções de 70/30, 80/20 e 90/10, e diferentes métodos de impregnação. No método de impregnação por imersão simples, sem vácuo, após 24 horas na água as amostras tiveram um aumento de massa considerável, entre 45 e 60%. Já no método 30 min vácuo + 30 min imersão, após 24 horas, as amostras obtiveram um ganho de massa entre 30 e 45%. Por fim, o método 30 min vácuo + 24 horas de imersão foi o que obteve os resultados mais satisfatórios, onde após 24 horas de imersão houve um ganho de massa entre 20 e 35%.

Partindo dos resultados mais satisfatórios alcançados pelo método de impregnação polimérica de Lago (2013), em que as amostras com menor índice de absorção de água ficaram entre 20 a 35%, pode-se dizer que as amostras com uma camada de resina poliuretana de óleo de mamona atingiram resultados muito semelhantes, variando de 23 a 37%, com eficiência similar. Já os resultados das amostras com duas camadas de resina deixaram o porongo praticamente impermeável, com 5 e 6% de ganho de massa após 24 horas na água. De modo geral, podem-se considerar satisfatórios os resultados de impermeabilização com as resinas, já que houve uma redução nos índices de absorção de água, tanto com uma quanto com duas camadas da substância.

Complementando os ensaios de absorção de água, o teste de ângulo de contato é utilizado para classificar o material, impermeabilizado ou não, como hidrofílico ou hidrofóbico. Dentre os diferentes métodos existentes para a definição do ângulo de contato, optou-se pelo método de molhamento por espalhamento. Foram comparadas amostras do porongo natural, com uma e duas camadas de resina.

No método de molhamento por espalhamento, segundo Lazghab (2005), baixos ângulos de contato indicam que o espalhamento não foi acentuado. Quando o teste é conduzido com água é possível classificar o sólido em hidrofílico, para ângulos de contato menores que 90° , ou hidrofóbico, para ângulos de contato maiores do que 90° . A Figura 62 mostra as imagens resultantes do molhamento por espalhamento de água nas amostras de porongo.

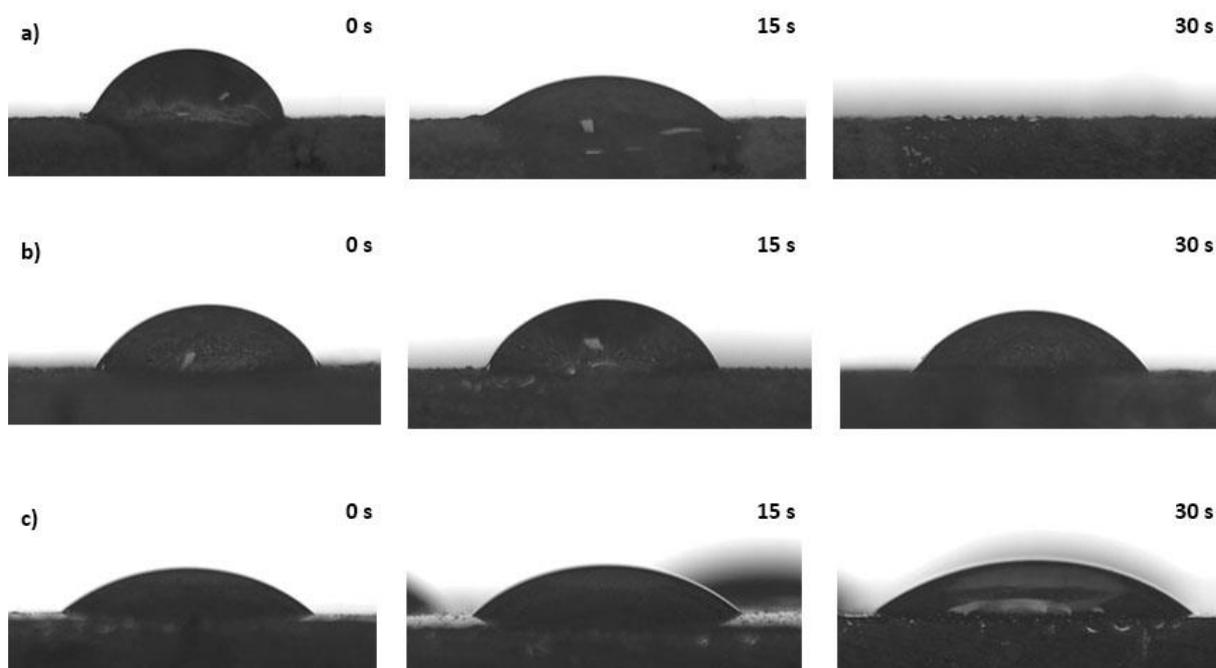


Figura 62: Ensaio de ângulo de gota por método de espalhamento: a) Amostra de porongo natural; b) Amostra com uma camada de resina; c) Amostra com duas camadas de resina. A numeração 0 s, 15 s e 30 s, no canto superior direito de cada figura, indica o tempo em segundos.

Os resultados do ângulo de contato da amostra de porongo natural (Fig. 62a) confirma a grande porosidade do material, que pode ser definido como altamente hidrofílico, já que a água foi totalmente absorvida pela amostra do material. Os resultados das amostras com uma e duas camadas de resina (Fig. 62b e 62c) foram similares. Na Figura 63 pode-se observar a demarcação do ângulo de contato formado nas amostras com uma camada de resina e com duas.

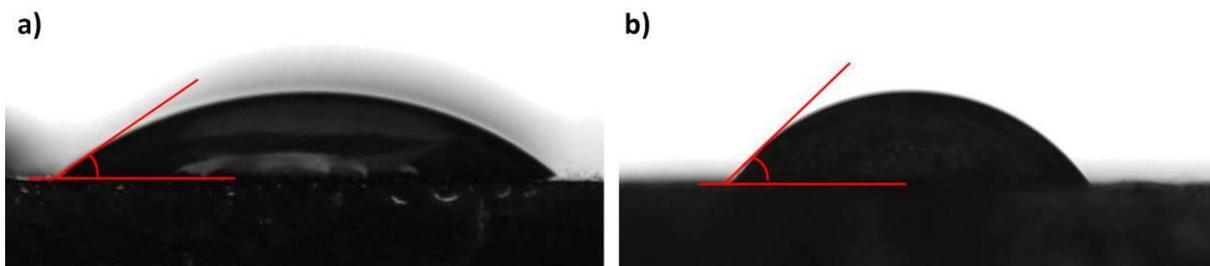


Figura 63: Indicação do ângulo de contato menor que 90° nas amostras resinadas: a) Amostras com uma camada de resina; b) Amostra com duas camadas de resina.

Pode-se observar que, apesar de não absorverem totalmente o líquido, o ângulo de contato formado nas duas amostras é menor do que 90° , de modo que o porongo com aplicação da resina não pode ser considerado um material hidrofóbico, mas possui um certo grau de impermeabilidade. Esse resultado pode ser reiterado através dos dados obtidos no teste de absorção de água das amostras, que prova que mesmo com a camada de resina, o porongo continua absorvendo certa quantidade de água.

Assim, a partir das análises dos resultados dos testes de impermeabilização do porongo chega-se a dois aspectos principais: a caracterização do porongo como material altamente hidrofílico e da resina poliuretana à base de óleo de mamona como impermeabilizante eficiente quando aplicado ao porongo, reduzindo substancialmente os dados de absorção de água do material, possibilitando a utilização do mesmo na fabricação de recipientes que terão contato com água ao longo do seu uso, retardando a degradação do material e facilitando a limpeza do mesmo, aumentando a sua durabilidade.

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta o fechamento do presente trabalho, o qual está dividido em duas seções. A primeira aborda as considerações finais do estudo referente aos resultados da pesquisa. Já na segunda seção são apresentadas sugestões para estudos futuros, verificadas a partir das lacunas encontradas na elaboração desta pesquisa.

5.1. CONSIDERAÇÕES DO ESTUDO

O porongo é fruto de uma das primeiras plantas domesticadas pelo homem, por isso sua história como matéria-prima é muito antiga. Atualmente, segue sendo cultivado em diversos países e continentes, em cada local com um nome vernáculo diferente. Em virtude dessa ampla disseminação, a diversidade de produtos confeccionados a partir do porongo é grande. De todos os produtos, destaca-se a produção de recipientes para alimentos e bebidas, inerente à todos os povos que tiveram contato com a matéria-prima. O que pode explicar esse uso comum são as características particulares do fruto, que naturalmente incitam tal utilização, é a máxima do design “a forma segue a função” em sua aplicação empírica. O próprio nome científico do porongo, *Lagenaria siceraria*, faz referência a essa utilização, significa “vaso para beber”.

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 plantado, já 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 as propriedades do material. 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. A partir de um estudo sistemático do material e da identificação de suas principais propriedades, podem surgir novas aplicações para o porongo, bem como uma qualificação do que já é produzido. Com um melhor aproveitamento do fruto na confecção de outros artefatos, toda a cadeia produtiva aumenta, assim como o número de pessoas beneficiadas com o processo.

Como matéria-prima natural artesanal, sabe-se que a falta de conhecimento das propriedades e a deterioração são fatores limitantes para sua utilização. A partir do conhecimento da microestrutura e histologia do porongo pôde-se caracterizar o material e compreender as suas propriedades. O exocarpo (casca) é uma camada micrométrica formada por células muito compactas, o que o torna praticamente impermeável. O mesocarpo é formado pelo tecido do parênquima, com células arredondadas que aumentam de dimensões progressivamente em direção ao centro do fruto. Quando o porongo é colhido e após o processo de secagem, essas células se esvaziam e suas paredes espessadas lignificam-se, tornando-se muito resistentes, caracterizando a estrutura porosa do material.

O sistema de comunicação intercelular é muito eficiente, cada célula comunica-se com todas as outras da sua volta, o que resulta em um material extremamente hidrofílico, com altos índices de absorção de água, com aumento da massa de cerca de 150% até a saturação. Os vacúolos das células preenchem-se até saturar, mas como as paredes são lignificadas e resistentes, não alteram sua forma, de modo que o material saturado tem pouca dilatação das suas dimensões externas, configurando-se como um material dimensionalmente estável.

O porongo possui densidade heterogênea, sendo mais denso na camada do exocarpo, reduzindo quanto mais se aproxima do centro. É um material muito leve, sua densidade média é extremamente baixa, com densidade aparente média de $0,124 \text{ g/cm}^3$, é da mesma ordem de grandeza da densidade de algumas espumas poliméricas, como a espuma de PVC ($0,09$ a $0,130 \text{ g/cm}^3$) e de PU ($0,08$ a $0,150 \text{ g/cm}^3$). Quando comparado com outros materiais naturais de fontes renováveis, possui densidade muito menor que a do bambu ($\sim 0,8 \text{ g/cm}^3$) e que a da cortiça ($\sim 0,3 \text{ g/cm}^3$), sendo a densidade da madeira balsa com os valores mais semelhantes ($\sim 0,2 \text{ g/cm}^3$).

Com relação à resina poliuretana à base de óleo de mamona, é uma das alternativas de novos materiais poliméricos onde a matéria-prima é um material de fonte renovável. Por ser um material relativamente novo no mercado, a aquisição foi dificultada, tendo sido amostradas somente duas marcas. Como é um material que está em fase de pesquisa, possui alguns aspectos a serem melhorados, como é o caso de se estabelecer uma substância para remover os resíduos da resina após a aplicação, para que as ferramentas utilizadas possam ser reutilizadas.

Aplicada ao porongo, a resina pouco alterou as características estéticas naturais do material, um dos pré-requisitos, apenas escurecendo um pouco a parte interna. Como impermeabilizante, reduziu drasticamente os índices de absorção de água do porongo. 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. Pode-se dizer que a resina poliuretana à base de óleo de mamona mostrou-se eficaz e atingiu os objetivos na impermeabilização do porongo para a fabricação de recipientes para alimentos e bebidas.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como são poucos trabalhos científicos sobre o porongo, principalmente no que tange à sua aplicação no design de produto, o leque de possibilidades para trabalhos futuros é muito grande. Com relação às propriedades do material, no presente trabalho foram definidas as principais propriedades físicas, de modo que as propriedades mecânicas,

elétricas, acústicas, estão por definir. A partir da caracterização do material, podem ser estudadas outras aplicações que contemplem as características peculiares do material, como a baixa densidade, a alta absorção de água e a estabilidade dimensional. Na área da biônica, estudos podem explorar a organização e distribuição celular do mesocarpo e a impermeabilidade do exocarpo.

Com relação aos processos de fabricação, é necessário estabelecer as ferramentas e máquinas mais adequadas para a matéria-prima e os parâmetros de corte, lixamento, acabamento, entre outros. Quanto à impermeabilização, a resina à base de óleo de mamona mostrou-se eficaz, mas existem outras substâncias que contemplam os requisitos de origem natural, atóxicas e baixo impacto ambiental que podem ser utilizadas, podendo-se testar outras possibilidades e fazer um comparativo de resultados. Como os canais de comunicação intercelular do porongo são muitos pequenos, acredita-se que o uso de substâncias menos viscosas pode ser mais eficiente.

Por fim, no design de produtos, uma das finalidades de uma pesquisa é a sua aplicação em produtos tridimensionais. Portanto, a oportunidade de aplicar o conhecimento gerado a partir desta pesquisa está disponível, e pode ser usado na fabricação de recipientes para alimentos e bebidas, contemplando todo o ciclo de vida do produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15316: Painéis de fibras de média densidade**. Rio de Janeiro, 2014.

APPEL, Júlio S. L.; *et al.* **Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA** (arseniato de cobre cromatado): revisão. *Revista Brasileira de Toxicologia*, 19, n. 1, p. 33 – 47, 2006.

ARAÚJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Instituto de Física e Química de São Carlos, 1992.

ASHBY, Michael. F.; JOHNSON, Kara. **Materiais e design: arte e ciência na seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BAYSAL, E. *et al.* **Some physical, biological, mechanical, and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture**. *Construction and Building Materials*, v. 21, p. 1879-1885, 2007.

BIANCHI, Otávio; *et al.* **Avaliação da degradação não-isotérmica de madeira através de termogravimetria – TGA**. *Polímeros*, vol. 20, n. especial, p. 395 – 400, 2010.

BISOGNIN, D. A.; MARCHESAN, E.; AUDE, M. I. DA S. **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**. *Revista Ciência Rural: Santa Maria*, v. 32, n. 5, p. 715 – 723, 2002.

BISOGNIN, Dilson A.; SILVA, André. L. L. **A cultura do porongo**. Informe técnico, ed. Pelo Departamento de Fitotecnia do centro de Ciências Rurais (CCR) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2004.

BOSSARDI, Kelly; BARREIROS, Ricardo M. **Produtos naturais como preservantes para madeira de rápido crescimento: uma revisão**. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 02, n. 02, p. 109 – 118, 2011.

BRAND, Martha A.; ANZALDO, José; MORESCHI, João C. **Novos produtos para o tratamento preservante da madeira: perspectivas da pesquisa e utilização**. Floresta, Curitiba, PR, v. 36, n. 1, 2006.

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

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

CANGEMI, José Marcelo. **Biodegradação de Poliuretano Derivado do Óleo de Mamona**. Tese (Doutor em Ciências). Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, 2006.

CLARO NETO, S. **Caracterizações físico-químicas de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, 1997.

DIAS, Fabrício M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. Tese (Doutor em Ciências e Engenharia dos Materiais). Universidade de São Paulo, 2005.

FELIPPI, A. Entrevista Ignacy Sachs. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, v. 2, n. 4, out/dez 2001.

GLOBO. **Colheita do porongo termina com ótimos resultados no RS – 31/05/2011**. Disponível em: <g1.globo.com/economia/agronegócios>. Acesso em: 20 jul. 2012.

GONZAGA, Armando L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília, DF: IPHAN/Monumenta, 2006.

IMPERVEG. **Poliuretano vegetal Imperveg**. Disponível em: <http://imperveg.com.br/poliuretano-vegetal-imperveg/>. Acesso em: 20 jul. 2014.

JEFFREY, D. Appendix: An outline classification of the *Cucurbitaceae*. In: BATES, D. M., ROBINSON, R. W., JEFFREY D. **Biology and utilization of the Cucurbitaceae**. Ithaca and London: Cornell University, 1990, p. 449 – 463, 485 p.

KISTLER, Logan; *et al.* **Transoceanic drift and the domestication of African bottle gourds in the Americas**. PNAS, vol. 111, nº 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**. Dissertação (Mestrado em Design), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LAZGHAB, M.; SALEH, K.; PEZRON, I.; GUIGON, P.; KOMUNJER, L. **Wettability assesment of finely divided solids**. Powder Technology, v. 157, n. 1-3, p. 79-91, 2005.

LESSA, Barbosa. **História do chimarrão**. Porto Alegre: Sulina, 1986.

LIMA, Marco A. M. **Introdução aos materiais e processos para designers**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.

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

MERLINI, Cláudia. **Análise experimental de compósitos de poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras de bananeira**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia dos Materiais - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

MORESCHI, João C. **Produtos preservantes de madeira**. Disponível em: <<http://engmadeira.yolasite.com/resources/Preservantesdemadeira.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

ÓRFÃO, J. J. M.; ANTUNES, F. J. A.; FIGUEIREDO, J. L. **Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials – three independent reactions model**. Fuel, London, v. 78, p. 349 – 358, 1999.

ÓRFÃO, J. J. M.; FIGUEIREDO, J. L. **A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments**. Thermochemica Acta, Amsterdam, v. 380, p. 67 – 78, 2001.

PAPANEK, Victor. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Lisboa: Edições 70, 1995.

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

PINHEIRO, Roberto V. **Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. Tese (Doutor em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Carlos, São Paulo, 2001.

POLITIS, Michael. **Bottle Gourd: a multi purpose utensil 10.000 old**. Disponível em: http://www.valentine.gr/lagenaria_en.php. Acesso em 05 jul. 2014.

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

ROTH, Ingrid. **Fruits of angiosperms: encyclopedia of plant anatomy**. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1977.

SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SANTOS, A. F.; *et al.* **Determinação da dose de radiação gama** para reduzir a população de *Salmonella spp* em carne de frango. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 23 (2): 200-205, maio-ago, 2003.

SCHAEFER, H.; RENNER, S. S. **Phylogenetic relationships in the order Cucurbitales and a new classification of the gourd family (*Cucurbitaceae*)**. Taxon 60 (1), p. 122 – 138, February 2011.

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, André L. L. **Germinação in vitro de sementes e morfogênese do porongo (*Lagenaria siceraria* (Mol.) Standl.) e mogango (*Curcubita pepo* L.)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2005.

SILVA, F. P. **Usinagem de espumas de poliuretano e digitalização tridimensional para fabricação de assentos personalizados para pessoas com deficiência**. Tese de doutorado. PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

SILVA, Rosana Vilarim da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, 2003.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Identificação espectométrica de compostos orgânicos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

TREVISOL, Wolmar. **Morfologia e fenologia do porongo**: produtividade e qualidade da cuia. Tese (Doutor em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

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.

YILDIZ, U. C.; YILDIZ, S.; GEZER, E. D. **Mechanical properties and decay resistance of wood-polymer composites prepared from fast growing species in Turkey.** Bioresource Technology, v. 96, p. 1003-1011, 2005.

REFERÊNCIAS DAS IMAGENS

CHURRASCO A CAVALO. **Cuia bocal ouro e prata**. Disponível em: <http://www.churrascoacavalo.com.br/produto/25/cuia-ms-prata-bocal-01>. Acesso em 10 dez. 2014.

CLARKE, Andrew C. **Origins of the Polynesian Bottle Gourd (Hue)**. Disponível em: http://www.clarkeresearch.org/prev_research.html. Acesso em 01 jul. 2014.

COETZEE, Derrick. **Taha wai** (Maori water vessel) on display at Te Papa. Disponível [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taha_wai_\(Maori_water_vessel\)_on_display_at_Te_Papa.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taha_wai_(Maori_water_vessel)_on_display_at_Te_Papa.jpg). Acesso em 05 jul. 2014.

HIWTC. **Calabash bowls**. Disponível em: <http://www.hiwtc.com/products/calabash-bowls-151198486-228988.htm>. Acesso em 05 jul. 2014.

HOME DESIGN. **Table lamp gourdlight handmade gourd lamps**. Disponível em: <http://www.associerge.com/gourd-lamp/table-lamp-iii-gourdlight-handmade-gourd-lamps-516707/>. Acesso em 06 jul. 2014.

IMGARCADE. Gallery for: **Calabash Gourd Mate**. Disponível em: <http://imgarcade.com/1/calabash-gourd-mate/>. Acesso em 10 dez. 2014.

ISHA FOUNDATION. **Tuma: decorative gourd craft of India**. Disponível em: <http://blog.ishafoundation.org/inside-isha/isha-yoga-center/decorative-gourd-craft/>. Acesso em 06 jul. 2014.

MALIKA, Fairly traded goods fro the Sahara region of West Africa. **Calabash & Gourds**. Disponível em: <http://www.malika.org.uk/calabashgourds.htm>. Acesso em 05 jul. 2014.

SEEDMAN. **Gourd identification chart kettle: boutle gourd**. Disponível em: <https://www.seedman.com/Gourds.htm>. Acesso em 06 jul. 2014.

SEED SAMPLE. **Cucuzzi.** Disponível em: <http://seedsample.com/wp-content/uploads/2011/08/cucuzzi.jpg>. Acesso em 05 jul. 2014.

THUNGA. African craft and design inspirations. **Pottery & Prescraft in Limbe, Cameron.** Disponível em: <http://thungablog.wordpress.com/>. Acesso em 05 jul. 2014.

TUNESILVA. **Cuias com bocal em prata e ouro.** Disponível em: <http://www.tunesilva.com.br/MostraProduto/39/Cuias-com-bocal-em-prata-e-ouro>. Acesso em 10 dez. 2014.

WH3. **Uruguai vence Argentina no duelo de mate da Copa.** Disponível em: <http://wh3.com.br/noticia/118512/uruguai-vence-argentina-no-duelo-de-mate-da-copa.html>. Acesso em 10 dez. 2014.

WOLF, F. G.; SANTOS, L. O. E. dos; PHILIPPI, P. **Formação e dinâmica da interface líquido-vapor simulada pelo método *Lattice-Boltzmann*.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 28, n. 2, São Paulo, 2006.

APÊNDICES

Apêndice A:

Tabelas com medições do ensaio de absorção de água.

Tabela A1: Medições da absorção de água das amostras naturais.

Amostra	Absorção 0hs	Absorção 2hs	Absorção 24hs
N - 1	1,371	3,416	3,459
N - 2	2,531	3,665	3,933
N - 3	1,528	3,34	3,773
N - 4	1,652	3,072	3,195
N - 5	1,38	2,857	3,036
N - 6	1,586	2,843	3,422
Média	1,674	3,198	3,469

Tabela A2: Medições das amostras com uma camada da resina A.

Amostra	Absorção 0hs	Absorção 2hs	Absorção 24hs
R A.1 - 1	1,706	1,903	3,464
R A.1 - 2	1,862	2,086	2,89
R A.1 - 3	2,777	2,99	3,242
R A.1 - 4	2,561	2,77	2,976
R A.1 - 5	2,872	3,108	3,39
R A.1 - 6	1,742	1,976	2,605
Média	2,253	2,472	3,094

Tabela A3: Medições das amostras com duas camadas da resina A.

Amostra	Absorção 0hs	Absorção 2hs	Absorção 24hs
R A.2 - 1	2,668	2,72	2,87
R A.2 - 2	2,788	2,833	2,955
R A.2 - 3	1,927	1,997	2,097
R A.2 - 4	2,743	2,762	2,856
R A.2 - 5	3,033	3,089	3,226
R A.2 - 6	1,712	1,759	1,836
Média	2,478	2,526	2,64

Tabela A4: Medições das amostras com uma camada da resina B.

Amostra	Absorção 0hs	Absorção 2hs	Absorção 24hs
R B.1 - 1	2,539	2,749	2,984
R B.1 - 2	2,044	2,234	2,366
R B.1 - 3	1,616	1,826	2,532
R B.1 - 4	2,766	3,004	3,301
R B.1 - 5	2,644	2,812	3,306
R B.1 - 6	2,518	2,762	2,968
Média	2,354	2,564	2,909

Tabela A5: Medições das amostras com duas camadas da resina B.

Amostra	Absorção 0hs	Absorção 2hs	Absorção 24hs
R B.2 - 1	3,026	3,086	3,179
R B.2 - 2	2,548	2,597	2,652
R B.2 - 3	2,932	2,988	3,073
R B.2 - 4	2,757	2,841	2,923
R B.2 - 5	1,686	1,739	1,775
R B.2 - 6	1,759	1,806	1,829
Média	2,451	2,509	2,571