

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
MESTRADO ACADÊMICO EM DESIGN
ÊNFASE: DESIGN E TECNOLOGIA

Flávia Lopes da Silveira

**USO DE USINAGEM POR JATO DE ÁGUA, USINAGEM POR CONTROLE NUMÉRICO
COMPUTADORIZADO E CORTE A LASER NO DESIGN DE SUPERFÍCIES TÁCTEIS
A PARTIR DE PADRÕES MODULARES ENCAIXÁVEIS EM ÁGATA E CEDRO**

Porto Alegre, 2011.

Flávia Lopes da Silveira

Uso de usinagem por jato de água, usinagem por controle numérico computadorizado e corte a laser no design de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis em ágata e cedro

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design - ênfase em Design e Tecnologia - da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito à obtenção do título de Mestre em Design, modalidade acadêmico.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Orientadora: Prof. Dra. Lauren da Cunha Duarte

Porto Alegre, 2011.

DEDICATÓRIA

Foi o tempo que perdi com minha rosa que a fez tão importante.

(O pequeno príncipe - Antoine de Saint Exupéry)

AGRADECIMENTOS

Ao Escher, pela sua técnica da divisão regular da superfície, que não me foi o suficiente para conseguir o infinito, mas sim, um fragmento do infinito.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o design e a fabricação de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis. Estas superfícies foram construídas em diferentes materiais naturais (minerais e madeiras) e em distintos processos de fabricação inovadores (usinagem por jato de água, usinagem por controle numérico computadorizado ou CNC e corte a laser). A intenção foi desenvolver uma metodologia de *design & tecnologia* para aplicá-la em painéis de revestimento que possam ser produzidos em baixa escala de forma semi-industrial. A grande variedade de materiais naturais encontrados no estado do Rio Grande do Sul; a carência de design associado a estes materiais quando do produto final e o volume de rejeitos oriundos deste beneficiamento, foram os principais motivadores para a utilização destas matérias primas. O estudo de diferentes técnicas de design de superfície auxilia na transformação destes materiais, para que os mesmos passem a ter o formato de módulo. Dentro deste contexto, foram estudadas as técnicas desenvolvidas pelo artista Maurits Cornelis Escher. Ele dedicou boa parte de sua vida profissional à composição de desenhos que, justamente, partem da utilização da simetria, modularidade, continuidade e encaixe. Neste sentido, após a compreensão das técnicas utilizadas por Escher, alguns de seus desenhos foram aplicados nos materiais selecionados através dos processos de fabricação adequados, possibilitando a construção das diferentes superfícies tácteis. Os resultados obtidos identificam que a utilização de processos de fabricação inovadores para interferência nos materiais naturais são ferramentas importantes para a promoção de uma nova geração de produtos locais. Conclui-se que estas interferências viabilizam a fabricação de produtos com maior valor estético, social e econômico.

Palavras-chave: ecodesign, design de superfície, padrões modulares encaixáveis, materiais naturais, usinagem por jato de água, usinagem CNC e corte a laser.

ABSTRACT

This work aims at the design and the manufacturing of tactile surfaces from modular plug patterns. These surfaces were built in different natural materials (mineral and wood) and in distinct innovative manufacturing processes (waterjet machining, computerized numerical control machining or CNC and laser cutting). The objective was to develop a *design & technology* methodology for applying it in coating panels that can be produced on a semi-industrial small scale. The huge variety of natural materials found in Rio Grande do Sul State, the lack of design associated to these materials as to the final product and the volume of waste from this processing were the main motivators for the use of these raw materials. The study of these different techniques of surface design helps the transformation of these materials in order that they start to have the modular format. Within this context, the techniques developed by the artist Maurits Cornelis Escher were studied. He devoted much of his professional life to the composition of drawings beginning exactly with the use of symmetry, modularity continuity and joint. In this sense, after understanding the techniques used by Escher, some of his drawings were applied in the materials selected through suitable manufacturing processes, enabling the construction of different tactile surfaces. The results obtained identify that the utilization of innovative manufacturing processes to interfere in the natural materials are important tools for the promotion of a new generation of local products. It is conclude that these interferences enable the manufacture of products with greater aesthetic, social and economic value.

Keywords: ecodesign, surface design, modular plug patterns, natural materials, waterjet machining, computerized numerical control machining or CNC and laser cutting.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS E OBSERVAÇÕES

LISTA DE QUADROS E TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	17
1.3 PROBLEMA	19
1.3.1 Variáveis	19
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo Geral	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
1.5 JUSTIFICATIVA	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 ECODESIGN	23
2.2 DESIGN DE SUPERFÍCIE	25
2.3 MAURITS CORNELIS ESCHER	33
2.3.1 Vida e profissão	33
2.3.2 Período das paisagens: 1922-1937	35
2.3.3 Período dos ladrilhamentos e metamorfoses: 1937-1945	36
2.3.4 Período das gravuras subordinadas à perspectiva: 1945-1956	41
2.3.5 Período da aproximação ao infinito: 1956-1970	43
2.4 ESTADO DA ARTE	47
2.4.1 Antônio Bernardo - padrões modulares encaixáveis	48
2.4.2 Camila Tessmann - descartes de opala e ágata	49
2.4.3 Cerâmica Atlas - rejeitos industriais e padrões modulares	52
2.4.4 Heloisa Crocco - descartes de madeira e padrões modulares	53
2.4.5 Irmãos Campana - descartes de madeira e padrões modulares	56
2.4.6 Maurício Azeredo - descartes de madeira e padrões encaixáveis	57
2.4.7 Análise dos estudos de caso	59

3. MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.1 MATERIAIS NATURAIS NO RS	61
3.1.1 Ágata - propriedades e contexto no estado	63
3.1.1.1 Lodi Pedras Preciosas Ltda.	68
3.1.2 Cedro - propriedades e contexto no estado	74
3.1.2.1 Banco de Mobiliários	78
3.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO INOVADORES	83
3.2.1 Usinagem por jato de água	86
3.2.2 Usinagem CNC	88
3.2.3 Corte a laser	92
4. APLICABILIDADE DOS MÉTODOS AOS MATERIAIS E PADRÕES	95
4.1 ACRÍLICO: CORTE A LASER	97
4.2 ÁGATA: CORTE POR JATO DE ÁGUA	100
4.3 MADEIRAS: USINAGEM CNC E CORTE A LASER	108
4.3.1 Grápia	111
4.3.2 Cedro	111
4.3.3 Pinus	112
4.3.4 Pinho	114
4.3.5 Eucalipto	114
4.3.6 União dos módulos de madeira	115
4.4 RESULTADOS PRÉVIOS E DIRECIONAMENTOS	117
5. DESENVOLVIMENTO DE CONJUNTO DE PAINÉIS DE REVESTIMENTO	119
5.1 PAINEL 1: USINAGEM POR JATO DE ÁGUA	119
5.2 PAINEL 2: USINAGEM CNC	126
5.3 PAINEL 3: CORTE A LASER	131
5.4 RESULTADOS	139
6. CONCLUSÃO	142
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	144
7. BIBLIOGRAFIA	145

LISTA DE FIGURAS E OBSERVAÇÕES

Figura 1: Detalhe dos petróglifos do Abrigo da Pedra Grande.....	26
Figura 2: <i>Portal de Ishtar</i>	26
Figura 3: <i>El Castillo</i>	27
Figura 4: Peças do vestuário feminino com estampas de Sonia Delaunay.....	29
Figura 5: (A) Quadro II de Piet Mondrian; (B) Tênis <i>Authentic Modular</i> da Vans.....	29
Figura 6: (A) Pannel de azulejos criado por Athos; (B) Caneca da Fundathos.....	30
Figura 7: Calçada do Café do Porto em Porto Alegre – RS.....	31
Figura 8: <i>Autorretrato</i> em litogravura de 1929.....	34
Figura 9: (A) Esboço em lápis e pastel; (B) <i>Atrani</i> , Costa Amalfitana em litogravura 1931...	35
Figura 10: <i>Oito cabeças</i> em xilogravura de 1922.....	36
Figura 11: Formas fundamentais de divisão regular do plano.....	37
Figura 12: Cinco exemplos de sistemas baseados no quadrado.....	38
Figura 13: Ladrilhamento com pássaros e peixes em guache, tinta e aquarela de 1950.....	39
Figura 14: <i>Ciclo</i> em litografia de 1938.....	40
Figura 15: <i>Metamorfose I</i> em xilogravura de 1937.....	40
Figura 16: <i>Dia e noite</i> em xilogravura de 1939.....	41
Figura 17: (A) Esboço antes da deformação central; (B) Sistema de rede para o abaulamento central; (C) Gravura final, <i>Varanda</i> em litografia de 1945.....	42
Figura 18: (A) Estudo para <i>Profundidade</i> em lápis; (B) <i>Profundidade</i> em xilogravura de 1955.....	43
Figura 19: (A) Diagrama para limites quadrados; (B) <i>Evolução II</i> em xilogravura de 1939...	44
Figura 20: (A) Estudos de limites circulares em lápis; (B) Limite circular III em xilogravura de 1958.....	45
Figura 21: Instalação disponível na exposição para interação do público.....	46
Figura 22: (A) Anel Puzzle em ouro amarelo 18K; (B) Anel Puzzle Curvo em prata 925.....	49

Figura 23: Depósito de rejeito de opala branca.....	50
Figura 24: Face humana capturada por scanner 3D.....	51
Figura 25: (A) Simulação 3D de camafeu; (B) Camafeus usinados em opala e ágata.....	51
Figura 26: Linha Suprema REC 65.....	52
Figura 27: (A) Texturas dos veios; (B) Carimbos.....	53
Figura 28: (A) Carimbo; (B) Aplicação do carimbo em papelaria.....	54
Figura 29: (A) Simulação 3D de painel de madeira; (B) Justaposição de madeiras e minerais.....	55
Figura 30: (A) Madeiras descartadas; (B) Quadro feito a partir de rejeitos.....	55
Figura 31: (A) Cadeira Favela original; (B) Cadeira Favela fabricada pela Edra.....	56
Figura 32: (A) Cadeira Taboa; (B) Detalhe cadeira Taboa.....	57
Figura 33: Junta tridimensional; (B) Mesa de centro com junta tridimensional.....	58
Figura 34: Classificação dos materiais.....	62
Figura 35: Mapa gemológico brasileiro.....	64
Figura 36: Materiais gemológicos no RS.....	64
Figura 37: Formas do sistema cristalino trigonal.....	66
Figura 38: (A) Ágata natural; (B) Pedaçõs de ágata tingida.....	67
Figura 39: (A) Porta-copos; (B) Objeto decorativo; (C) Porta-talheres.....	70
Figura 40: (A) Resíduos de ágata; (B) Chapas de ágata quebradas.....	71
Figura 41: Áreas de ocorrência do cedro no estado do RS.....	75
Figura 42: (A) Secção transversal; (B) Três planos.....	76
Figura 43: (A) Estrutura microscópica do abeto vermelho; (B) Estrutura microscópica da faia.....	77
Figura 44: Bancos Sociais.....	79
Figura 45: (A) Excedentes de pré-consumo; (B) Excedentes de pós-consumo.....	80
Figura 46: (A) Caixa; (B) Cadeira; (C) Conjunto escolar.....	81
Figura 47: (A) Rolo; (B) Mesa de centro.....	81

Figura 48: (A) Máquinas caça-níqueis; (B) Brinquedo feito da carcaça.....	82
Figura 49: (A) Casinha porta-chaves; (B) Porta-treco.....	82
Figura 50: Equipamento de usinagem por jato de água, marca Jet Tek WaterJet®.....	86
Figura 51: Colar em tecido e ágata.....	88
Figura 52: Equipamento de usinagem CNC, marca Tecnodrill®, modelo Digimill 3D.....	89
Figura 53: (A) Protótipo em MDF; (B) Aplicação do revestimento.....	91
Figura 54: Equipamento de corte a laser, marca Automatisa®, modelo Mira.....	92
Figura 55: (A) Painel da linha 4MC; (B) Echarpe da linha Fitaflor.....	94
Figura 56: (A) Caixa de bolachas de fábrica holandesa; (B) Pilar de ladrilhos vidrados de 1959.....	95
Figura 57: <i>Intersecção de dois planos</i> em xilografia de 1952.....	96
Figura 58: (A) Cavalo alado; (B) Cavalo marinho; (C) Lagarto.....	96
Figura 59: (A) Modelo 1 em acrílico; (B) Modelo 2 em acrílico; (C) Modelo 3 em acrílico.....	97
Figura 60: Formas geométricas (A) Quadrado; (B) Paralelogramo; (C) Hexágono.....	99
Figura 61: (A) Superfície obtida a partir do modelo 1 em acrílico; (B) Detalhe.....	99
Figura 62: (A) Superfície obtida a partir do modelo 2 em acrílico; (B) Detalhe.....	99
Figura 63: (A) Superfície obtida a partir do modelo 3 em acrílico; (B) Detalhe.....	100
Figura 64: (A) Chapa de ágata e módulos recortados; (B) Tentativa de encaixe dos módulos.....	102
Figura 65: (A) Modelo 3 em três cores de ágata; (B) Tentativa de encaixe dos módulos.....	102
Figura 66: Encaixe dos módulos.....	103
Figura 67: Digitalização da face superior de todas as peças em formato vetor.....	105
Figura 68: (A) O desenho original encontra-se na cor vermelha e a digitalização da peça 1 encontra-se na cor preta; (B) Na sobreposição a borda em vermelho equivale à perda de material.....	106
Figura 69: (A) O desenho original encontra-se na cor cinza e a digitalização da peça 1 encontra-se na cor azul; (B) Detalhe.....	106

Figura 70: (A) Níveis de alteração entre a peça cortada e o desenho original através de legenda de cores; (B) Detalhe.....	108
Figura 71: Usinagem dos corpos de prova.....	109
Figura 72: Modelos de teste criados no CorelDRAW X3.....	110
Figura 73: Corpos de prova em cinco espécies de madeira.....	110
Figura 74: (A) Teste em madeira grápia; (B) Modelo 3 em madeira grápia.....	111
Figura 75: (A) Teste em madeira cedro; (B) Marcação do laser em cedro.....	112
Figura 76: (A) Corte transversal com ampliação 11x; (B) Corte tangencial com ampliação de 11x.....	112
Figura 77: (A) Teste em madeira pinus; (B) Microscopia da madeira pinus.....	113
Figura 78: (A) Teste em madeira pinho; (B) Laser em contato com a superfície.....	114
Figura 79: (A) Teste em madeira eucalipto; (B) Modelo 3 em eucalipto.....	114
Figura 80: (A) Superfície a partir do modelo 3 a partir de 5 diferentes espécies; (B) Detalhe.....	115
Figura 81: (A) Superfície formada a partir do modelo 1; (B) Superfície formada a partir do modelo 2.....	116
Figura 82: (A) Seis diferentes módulos; (B) Placa com 15 peças.....	119
Figura 83: (A) Pannel composto de quatro pequenas placas; (B) Chapas de ágata tingidas de preto e rosa.....	120
Figura 84: Etapa de montagem do Pannel 1.....	122
Figura 85: (A) Placa; (B) Pannel em formado retangular ou listelo.....	125
Figura 86: (C) Pannel 1 em formato quadrado.....	125
Figura 87: Pannel composto de dez placas modulares.....	126
Figura 88: Três diferentes módulos.....	126
Figura 89: (A) Retalhos de cedro; (B) Processo de usinagem CNC.....	127
Figura 90: (A) Módulo após usinagem; (B) Módulos após lixamento.....	128
Figura 91: (A) Três módulos; (B) Encaixe dos módulos.....	130

Figura 92: (C) Painei 2.....	130
Figura 93: (A) Painei; (B) M3dulo.....	131
Figura 94: M3dulos inteiros e parciais.....	131
Figura 95: (A) Ripas de cedro; (B) Etapa de montagem do Painei 3.....	132
Figura 96: Painei 3.....	138
Figura 97: Detalhe do painei 3.....	138

SOBRE AS IMAGENS

A fonte das imagens est3 indicada abaixo das mesmas. Na aus4ncia desta informa4o, deve-se considerar que a autoria das imagens 3 da pesquisadora e da equipe LdSM.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Etapas do processo de beneficiamento da empresa Lodi Pedras Preciosas.....	69
Quadro 2: Máquinas industriais e manuais disponíveis no Banco de Mobiliários.....	80
Tabela 1: Questões relacionadas ao aspecto resíduos sólidos.....	72
Tabela 2: Parâmetros utilizados para o corte a laser em acrílico.....	98
Tabela 3: Parâmetros utilizados para o corte por jato de água em ágata.....	101
Tabela 4: Avaliação da largura e altura das peças cortadas.....	104
Tabela 5: Parâmetros utilizados na usinagem para a confecção dos corpos de prova.....	109
Tabela 6: Informações coletadas através dos testes em diferentes espécies de madeira.....	115
Tabela 7: Parâmetros utilizados para o corte por jato de água em ágata.....	121
Tabela 8: Cálculo de tempo de corte para as chapas pretas.....	122
Tabela 9: Cálculo de tempo de corte para as chapas rosas.....	123
Tabela 10: Cálculo de tempo de corte para as chapas pretas e rosas.....	123
Tabela 11: Tabela de custo.....	124
Tabela 12: Parâmetros utilizados para a usinagem CNC em cedro.....	127
Tabela 13: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.....	128
Tabela 14: Cálculo de tempo de corte para todos os módulos.....	128
Tabela 15: Tabela de custo.....	129
Tabela 16: Parâmetros utilizados para o corte a laser em cedro.....	132
Tabela 17: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.....	133
Tabela 18: Cálculo de tempo de corte para todos os módulos.....	136
Tabela 19: Tabela de custo.....	137
Tabela 20: Tabela de custos.....	139

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3D - três dimensões

A - altura

AGEFLOR - Associação Gaúcha de Empresas Florestais

CAM - Computer Aided Manufacturing

cm - centímetro

CNC - Controle Numérico Computadorizado

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CTPedras - Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Jóias

CV - cavalos

DF - Distrito Federal

DWG. - Design Web Graphic

EVA - Etil Vinil Acetato

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

FIERGS - Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IGES. - International Graphics Exchange Specification

JPEG. - Joint Photographic Experts Group

K - quilate

km - quilômetro

L - largura

LdSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais

Ltda. - limitada

m - metro

m/s - metros por segundo

MDF - Medium Density Fiberboard

min. - minuto

mm - milímetro

MPa – megapascal

NDS - Núcleo de Design de Superfície

P - profundidade

PLT. - Plotter

RS - Rio Grande do Sul

SDA - Surface Design Association

SEBRAE - RS - Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Porto Alegre

Sindipedras - Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração, Lapidação e Beneficiamento de Pedras do Rio Grande do Sul

SiO₂ - dióxido de silício

TAP. - Tape File

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UnB - Universidade de Brasília

UPF - Universidade de Passo Fundo

W - watt

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa está inserida em uma estrutura de ensino predominantemente direcionada para o design e a tecnologia. Além deste enfoque o trabalho também lança um olhar atento às investigações relacionadas à seleção de materiais, beneficiamento de materiais gemológicos, sustentabilidade, projeto de produto e engenharia de produção. Estes aspectos reforçam a importância da interdisciplinaridade e do trabalho em equipe nos projetos de design. Essa é a tônica do Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A presente pesquisa foi planejada com três pilares de sustentação: a aplicação do design de superfície direcionado para o desenvolvimento de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis; a valorização de matérias primas encontradas na região e a utilização de processos de fabricação inovadores nesta área em prol do desenvolvimento prático de um conjunto de painéis de revestimento.

Estes três pilares básicos forneceram o suporte principal para a construção da pesquisa, contudo, outros métodos auxiliares foram necessários para a pesquisa ser, de fato, aplicada. O principal método auxiliar utilizado nesta pesquisa foram os estudos de aplicabilidade efetuados em diferentes materiais. Na primeira etapa, os estudos de aplicabilidade foram realizados com o objetivo de estudar as possibilidades de encaixe, ou seja, o processo de produção dos módulos, e foram testados em acrílico. Na segunda etapa, os testes foram realizados com o objetivo de definir os parâmetros de diferentes máquinas adequados para a intervenção nos materiais selecionados, além de permitir o primeiro contato entre materiais escolhidos e tecnologias propostas.

Alguns dos fatores que motivaram o início deste estudo foram a grande variedade de materiais naturais encontrados no Rio Grande do Sul e o volume de rejeitos gerados pelas indústrias e fábricas beneficiadoras. O estado é produtor de uma série de matérias primas de alto valor comercial. Muitas delas são exportadas em estado bruto, com pouco valor agregado, enquanto outras são beneficiadas nas suas cidades e municípios de origem, os quais geram uma grande quantidade de rejeitos descartados como subprodutos.

Acredita-se que o designer pode e deve interferir no processo de beneficiamento destas matérias primas, e propor o desenvolvimento de projetos que, justamente, partam do reaproveitamento dos resíduos descartados.

De outro lado está o design de superfície, área do design que permite o desenvolvimento de atributos estéticos, funcionais e estruturais direcionados para o tratamento de superfícies. Aqui, o design de superfície exerceu um papel importante no beneficiamento dos materiais, pois foi através dele que foram executados os padrões modulares encaixáveis, os quais tomaram forma física a partir dos materiais selecionados.

Por fim, o terceiro pilar que viabilizou a construção desta pesquisa, foram os processos de fabricação inovadores. Os processos de fabricação também foram de vital importância para a execução prática deste trabalho, porque possibilitaram as devidas interferências nos materiais até que os mesmos tomassem a forma modular de encaixe, conforme o pré-estabelecido na etapa de tratamento de superfície. Estabelecendo assim uma relação diacrônica entre materiais naturais e processos de fabricação inovadores, pois apresenta tanto a descrição das interferências tecnológicas, como as mudanças que os materiais adquiriram ao longo da evolução dos testes.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A partir das informações lançadas anteriormente na contextualização do tema, a presente pesquisa direcionou-se ao seguinte caminho:

Optou-se por trabalhar com minerais e madeiras, principalmente com ágata e cedro. Tanto o cedro, quanto as outras espécies utilizadas experimentalmente - grápia, pinus, pinho e eucalipto -, foram doadas pelo Banco do Mobiliário da Fiergs (Federação das Indústrias do estado do Rio Grande do Sul), localizado na cidade de Porto Alegre, e são provenientes de excedentes industriais vindos de fábricas madeireiras do estado. Já as ágatas, foram doadas pela empresa Lodi Pedras Preciosas, localizada no município de Soledade, região conhecida por concentrar as principais empresas de beneficiamento e comércio de materiais gemológicos explorados no estado, e são provenientes de excedentes industriais da própria produção.

Tanto os resíduos de ágata quanto os de cedro possuem espessuras variadas, uma vez que provêm de rejeitos industriais vindos das mais diversas aplicações. Quando estas matérias primas foram transformadas em partes modulares, que se encaixaram umas às outras, as variadas espessuras postas lado a lado formaram uma superfície com diferentes níveis.

A particularidade das diferentes espessuras determinou uma característica importante na construção das superfícies, pois fez com que as mesmas ultrapassem as fronteiras das duas dimensões, passando a ter três dimensões. Característica esta que justifica o emprego da expressão *táctil*, uma vez que *táctil* se refere a tudo àquilo em que o tacto se pode exercer, ou seja, permitir detectar os altos e baixos relevos através do toque com os dedos.

Para tanto, o corte dos minerais foi feito a partir da tecnologia de usinagem por jato de água. O corte das madeiras foi feito a partir das tecnologias de usinagem CNC e corte a laser. As três tecnologias juntas forneceram uma gama de possibilidades que permitiu o direcionamento do processo mais adequado às características do material que recebeu tal interferência. Houve a preocupação com a otimização do processo em função da execução em menor tempo, mas também com a obtenção do melhor resultado no que tange ao acabamento final dos materiais e à viabilidade produtiva em baixa escala.

Os equipamentos de tecnologia jato de água, CNC e laser estiveram disponíveis para a realização da pesquisa no Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, e no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul - CTPedras, localizado em Soledade¹.

Através da união de técnicas de design de superfície e do uso de processos de fabricação inovadores, transformaram-se as matérias primas em diferentes modelos de superfícies tácteis. Estas superfícies foram compostas da seguinte forma: os materiais naturais selecionados - ágata e cedro - receberam interferências dos processos de fabricação citados até que os mesmos adquirissem o formato de módulo pré-definido na etapa de design de superfície. Os módulos quando replicados encaixaram-se uns aos outros, formando uma superfície contínua. Estas superfícies também podem ser entendidas como placas ou mosaicos, e possuem diferentes padrões.

Os padrões foram definidos por meio de estudos das diferentes técnicas utilizadas pelo artista Maurits Cornelis Escher, justamente pelo fato de encontrar em suas obras uma fonte de referência ideal para a proposta da pesquisa. O artista dedicou boa parte de sua vida profissional à composição de desenhos que, exatamente, partem da utilização da simetria, modularidade, continuidade e encaixe. Neste sentido, três de seus desenhos foram selecionados e aplicados nos materiais escolhidos, compondo o conjunto de painéis.

O conjunto foi formado de três painéis, onde os três desenhos eleitos direcionaram a composição de cada um destes painéis. O primeiro painel foi construído a partir de pequenos módulos de ágata, o segundo e o terceiro painel foram construídos a partir de pequenos módulos de madeira. A construção dos três painéis teve por objetivo não só a aplicação dos materiais naturais escolhidos, mas também o uso das três tecnologias propostas, uma vez que cada painel recebeu a interferência de uma das três tecnologias.

¹ Protocolo de cooperação entre UFRGS, UPF, Município de Soledade e Sindipedras assinado em Março de 2010, o qual prevê o apoio das universidades por meio das atividades de ensino-pesquisa-extensão para com os setores produtivos da sociedade.

1.3 PROBLEMA

Como é possível desenvolver superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis para aplicação em painéis de revestimento produzidos em baixa escala de forma semi-industrial, visando executá-las em diferentes materiais naturais e distintos processos de fabricação inovadores, de modo a valorizar as matérias primas encontradas na região?

1.3.1 Variáveis

A variável independente foi o desenvolvimento de superfícies tácteis. A variável dependente foi a valorização da matéria prima encontrada na região. As variáveis intervenientes foram: padrões modulares, processos de fabricação inovadores e estudos de aplicabilidade.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis para aplicação em painéis de revestimento produzidos em baixa escala de forma semi-industrial. Compor estas superfícies a partir de padrões criados pelo artista M. C. Escher. Utilizar materiais naturais na confecção dos módulos: minerais e madeiras. Empregar as tecnologias de usinagem por jato de água, usinagem CNC e corte a laser no beneficiamento dos materiais.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Compreender as técnicas adotadas pelo artista Maurits Cornelis Escher na composição de seus desenhos, com foco naquelas que abordam questões relacionadas à simetria, modularidade, continuidade e encaixe;
- Investigar os processos de fabricação disponíveis e verificar como eles podem contribuir para o beneficiamento das matérias primas;
- Promover o beneficiamento das matérias primas selecionadas através da interferência de processos de fabricação inovadores, valorizando os materiais naturais encontrados na região;
- Analisar a viabilidade produtiva dos módulos e sua aplicação em painéis de revestimento;

1.5 JUSTIFICATIVA

O estado é palco de uma série de matérias primas naturais de alto valor comercial. Algumas delas são encontradas em abundância somente no estado do Rio Grande do Sul, com esporádicas ocorrências em outras regiões. A quantidade e qualidade do material encontrado justificam a exploração, uma vez que os recursos gerados através das matérias primas extraídas serão mais altos que o investimento aplicado. Neste caso, regiões onde não há quantidade significativa de material ou que a qualidade dos mesmos não seja de bom aproveitamento, inviabilizam a exploração, pois certamente o investimento aplicado será mais alto que os recursos gerados.

Considera-se importante o desenvolvimento de projetos que, justamente, partam da utilização de rejeitos de matérias primas naturais encontradas no estado, como a ágata e o cedro. Pretende-se aumentar a vida útil destas matérias primas que seriam descartados, uma vez que ambas provêm de rejeitos industriais. Também pretende-se incentivar a produção mais limpa através da minimização dos desperdícios gerados.

A região sul do Brasil é considerada um dos maiores polos de extração mineral do país. As ocorrências de ametista e ágata apontam em maior quantidade para o estado do Rio Grande do Sul se comparada aos outros estados. Depois da ametista, a ágata é o mineral de maior ocorrência no estado.

A escolha da ágata para a realização prática desta pesquisa, e não da ametista, deu-se por conta de algumas especificidades, que foram: a ametista é comumente encontrada em forma de cristais, característica que dificulta sua transformação em padrões modulares encaixáveis por conta da irregularidade da forma. Além disto, a ametista é relativamente bem aproveitada nas indústrias e fábricas da região, pois os subprodutos gerados pela produção são direcionados à confecção de joias e outros adereços; já os rejeitos de ágata são normalmente encontrados em chapas fatiadas em máquinas convencionais, uma vez que este é o formato de corte mais utilizado pelas fábricas, ou seja, formato ideal para a transformação em padrões modulares encaixáveis por conta da regularidade da forma. Além disto, as indústrias que trabalham com o beneficiamento da ágata geram grande quantidade de rejeitos pouco aproveitados, característica que, novamente, justifica a escolha da ágata nesta pesquisa.

O corte da ágata foi feito a partir da tecnologia de usinagem por jato de água. Grande parte dos minerais, em especial a ágata, são matérias primas de média a alta dureza e também frágeis ao corte. Podem ocasionar fraturas se trabalhados de forma inadequada. Estas características requerem ferramentas e condições especiais para o corte.

Caso utilizada a tecnologia CNC para o corte dos minerais, seria necessário a utilização de fresas diamantadas e a fixação do material em condições de refrigeração. Optou-se pela tecnologia por jato de água para o corte dos minerais, pois este tipo de operação não exige que ferramentas entrem em contato com o material, uma vez que o corte é feito através da pressão da água e seu abrasivo. Além disto, esta tecnologia é de alta precisão, o acabamento é de boa qualidade e o material não tem impedimento ao contato com a água.

A escolha das madeiras como o segundo material natural que foi utilizado na parte prática desta pesquisa, justifica-se por algumas características deste material em relação às tecnologias de intervenção. Dentre as cinco espécies de madeira testadas experimentalmente, optou-se por trabalhar com o cedro pelos seguintes motivos: além de ser encontrado em praticamente todas as matas nativas do estado, foi a espécie que teve um melhor desempenho quando em contato com as tecnologias propostas. O bom desempenho está relacionado à facilidade de corte e a ausência de resina² acumulada na região em que o corte foi efetuado.

O corte do cedro foi feito primeiramente a partir da tecnologia de usinagem CNC, pois este é um material poroso que absorve umidade, impossibilitando que o corte fosse feito através da tecnologia por jato de água. O material entraria em contato com o fluído de corte e absorveria o líquido através dos poros, ocasionando um inchaço e outros problemas subsequentes. Estes foram os motivos que direcionaram a escolha da usinagem CNC para o corte das madeiras juntamente com o laser, que também é uma tecnologia seca.

Tendo em vista o direcionamento das tecnologias de acordo com as necessidades de cada material, justifica-se a escolha das madeiras pelo fato de que estas necessitam, em função de suas características, a interferência das tecnologias de usinagem CNC e corte a laser, as quais não seriam utilizadas caso o único material natural escolhido fosse a ágata, uma vez que este último necessita, também em função de suas características, a intervenção da tecnologia de usinagem por jato de água. A seleção dos dois materiais naturais em questão - minerais e madeiras - permitiu o contato com as três tecnologias propostas.

Com esta pesquisa pretende-se valorizar estes materiais, gerar mão de obra qualificada, criar um diferencial competitivo, possibilitar maior arrecadação quando da venda do produto final, movimentar e fortalecer a economia local. Acredita-se que o designer possa colaborar com este processo, uma vez que possui conhecimento teórico e prático capaz de enfrentar a transição da valorização de recursos locais os quais são exportados em estado bruto e/ou com pouco valor agregado.

² Resina é a secreção formada em canais de resina de algumas plantas. Esta secreção é produzida com fins de cicatrizar as feridas da planta, matar insetos e fungos, e permitir que a planta elimine substâncias desnecessárias.

Além disso, propõe unir o moderno ao tradicional, uma vez que utilizou processos de fabricação inovadores para intervenção em materiais que há gerações é beneficiado de forma artesanal e pouco valorizado. Acredita-se que estas interferências viabilizaram a geração de produtos com maior valor estético, social e econômico.

A decisão em adotar os desenhos de Escher se deu por conta do potencial encontrado em suas ilustrações. Potencial este considerado fundamental para a pesquisa. A desenvoltura e o desembaraço que o artista apresenta em desenhos de alta complexidade e transformação foi uma excelente fonte de referência não só quanto a autenticidade técnica, mas também como inspiração. Além disso, boa parte das obras de Escher está diretamente ligada às questões de simetria, modularidade, continuidade e encaixe, foco desta investigação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta a fundamentação teórica. Nele estão inseridos os assuntos inerentes ao ecodesign, ao design de superfície, ao artista Maurits Cornelis Escher, e ao estado da arte. Dentro do tópico ‘ecodesign’ são abordados modelos projetuais orientados por critérios ecológicos, e exemplos de como os rejeitos industriais podem ser reaproveitados seguindo os mesmos preceitos. O tópico ‘design de superfície’ aborda de forma sucinta os primeiros registros de manifestações em superfícies, passando pela Revolução Industrial, até a contemporaneidade. Também cita movimentos artísticos importantes e profissionais atuantes na área. O tópico ‘Maurits Cornelis Escher’ aborda temas relativos à vida e à profissão do artista, enfatiza principalmente as técnicas adotadas, e de que modo influenciaram em suas criações. Por fim, no tópico ‘estado da arte’ são abordados exemplos atuais de projetos imersos no mesmo campo de estudo desta pesquisa.

2.1 ECODESIGN

O termo *ecodesign* é utilizado para representar modelos projetuais orientados por critérios ecológicos, ou seja, é a expressão que sintetiza um vasto conjunto de atividades que enfrentam temas postos pela questão ambiental. A conscientização acerca do problema ambiental levou à discussão e à reorientação de novos comportamentos sociais (MANZINI & VEZZOLI, 2005).

Um exemplo dos novos comportamentos sociais são os tratamentos contra a poluição, a interferência nos processos produtivos que geram tal poluição e o redesenho dos produtos. Dentro desta perspectiva, o papel do design é o de sintetizar o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário, dando origem a novas propostas que sejam social e culturalmente corretas (MANZINI, 1994).

Cabe aqui destacar duas expressões muito utilizadas quando o assunto é ecodesign, são elas: *reutilizar* e *reciclar*. Entende-se reutilização como o segundo uso de um produto ou material quando descartado, ou seja, quando este produto/material, ou alguma de suas partes, podem ser reutilizadas com a mesma função anterior, ou com outra função diferente (MANZINI & VEZZOLI, 2005). Um exemplo disto é reutilizar uma garrafa plástica como vaso de flores. Para que um produto ou material seja reutilizado, é preciso ter alguns cuidados como limpeza e facilidade de desmontagem. Tudo isso irá conservar a integridade do produto e facilitará a sua reutilização.

Também cabe destacar outro caso clássico de reutilização, o processo chamado *Upcycling*. De acordo com matéria publicada no Jornal Estadão - 26 de abril de 2010 -, o termo *upcycling* é usado para a reinserção de materiais que teriam como único destino o lixo, inserindo os mesmos em novos processos produtivos para a criação de novos produtos. *Upcycling* é transformar algo que chegou ao fim de sua vida útil em um produto novo, de maior valor. As vantagens deste processo incluem reduzir a quantidade de entulho que vai para aterros ou que acabaria descartada de maneira incorreta. O processo também substitui o uso de matérias primas virgens na criação de novos produtos, evitando a poluição causada pela atividade industrial (VIALLI, 2010).

Já a reciclagem, é quando os materiais são reprocessados e transformados em matérias primas secundárias, ou seja, submetidos a uma série de processos que permitem serem utilizados na fabricação de novos produtos como matérias primas virgens (MANZINI & VEZZOLI, 2005). Um exemplo disto é o alumínio das latas de refrigerante, que são reprocessados e viram latas novamente, como se fossem novas, pois o alumínio ao ser processado não perde suas propriedades.

No caso desta pesquisa, tanto os rejeitos minerais quanto os de madeira foram reutilizados, e não reciclados, pois a matéria prima foi utilizada no formato original, sem passar por nenhum processo de transformação.

Ainda há outra distinção. Existem basicamente dois tipos de materiais: pré-consumo e pós-consumo. O que vai caracterizá-los e distingui-los é a fase do ciclo de vida em que cada um se encontra e está disponível. Os materiais pré-consumo são refugos e subprodutos de um ciclo produtivo, normalmente são limpos, bem identificados e adaptados a uma reciclagem de alta qualidade, às vezes dentro do mesmo processo produtivo. Já os materiais pós-consumo provêm de produtos e embalagens eliminados pelo consumidor final; têm baixa qualidade e são mais difíceis de serem reutilizados (MANZINI & VEZZOLI, 2005).

No caso deste trabalho, temos ambas as situações. Os rejeitos minerais e os retalhos de madeira vindos das indústrias e fábricas são refugos e subprodutos de um ciclo produtivo, ou seja, materiais de pré-consumo que, por motivos diversos, foram descartados durante o ciclo produtivo, sem chegar ao seu destino final. No entanto, ainda há os retalhos de madeira vindos de móveis em desuso, os quais provêm de produtos projetados no passado que estão sendo descartados hoje pelo consumidor final, ou seja, materiais de pós-consumo e de menor qualidade.

É importante destacar alguns parâmetros ambientais que são aplicados no desenvolvimento desta pesquisa: reduzir, prolongar a vida útil e valorizar/diferenciar. Reduzir significa minimizar a quantidade de matérias primas virgens utilizadas, uma vez que faz uso de materiais descartados na criação de novos produtos. A redução de material tem dupla vantagem: permite a proteção dos recursos naturais graças a uma utilização cuidadosa dos materiais trabalhados, e reduz as emissões para o ambiente (BARBERO & COZZO, 2009). Por fim, valorizar/diferenciar significa agregar valor a materiais refugados, transformando-os em produtos novos. Além disso, oportunizar que o usuário possa escolher, numa oferta de produtos análogos, por produtos ecológicos (PÊGO, 2010).

2.2 DESIGN DE SUPERFÍCIE

A palavra *superfície*, derivada do latim (*superior* + *facies*), está relacionada geometricamente à área definida por comprimento e largura, e, figurativamente, à parte externa dos corpos – a aparência (WEISZFLOG, 2001).

As superfícies recebem a interferência humana desde tempos imemoriais, onde cada povo possuía suas próprias características de intervenção, sendo estas relacionadas aos motivos, cores, materiais, aplicações e técnicas. Estas características passaram a definir as diferentes culturas, uma vez que cada povo se manifesta de maneira singular.

A arte rupestre, por exemplo, é considerada um dos primeiros registros de manifestações do homem na superfície. Arte rupestre é toda pintura ou gravação - isolada ou agrupada, solta ou fixa, em paredes de abrigos, cavernas ou em simples paredões - feita pelo homem pré-histórico sobre uma rocha. Os sítios que apresentam arte rupestre geralmente são relacionados a sítios cerimoniais (RIBEIRO, 1991).

A Figura 1 mostra um exemplo de inscrição rupestre em São Pedro do Sul, cidade localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, rica em fósseis animais e vegetais do período triássico.

Um dos elementos de maior importância histórica e etnográfica da ocupação humana na região é um monumento petroglífico com inscrições rupestres, localizado junto ao sítio arqueológico conhecido como “Abrigo da Pedra Grande”. As datações obtidas pelo professor e padre Pedro Ignácio Schmitz nos sítios arqueológicos do Rio Grande do Sul oscilam entre 3750 a.C. e 1250 d.C., em números globais. Isto não significa que os todos os petróglifos tenham sido produzidos na mesma época ou, ainda, pelos mesmos homens (POHLMANN *et al.*, 2010).



Figura 1: Detalhe dos petróglifos do Abrigo da Pedra Grande (Fonte: Pohlmann *et al.*, 2010).

Os petróglifos no Rio Grande do Sul possuem temas variados e já foram registrados motivos abstratos geométricos (gradeados, serpentiforme), representativos esquematizados (biomorfo, tridáctilo ou pegada de ave, pegada de felino, figura humana, pequeno animal, vulvas com e sem traços exteriores sobre a região superior), abstratos puntiformes (série de pontos em linha reta, curva e combinados) e, com menor frequência, abstratos geométricos combinados. As dimensões dos elementos são variáveis (RIBEIRO, 1991).

Os Mesopotâmicos também são um exemplo de povos que, há milhares de anos, já se manifestavam por meio da superfície. A inexistência de madeira e de pedra na região em que viviam levou este povo a realizar suas obras com tijolos cozidos. Este material também foi usado em construções como a do *Portal de Ishtar* (Figura 2), de Nabucodonosor, na cidade da Babilônia, construído em 575 a.C. As portas eram decoradas na época Assíria e Neobabilônica por conjuntos modulares (JANSON, 2001).



Figura 2: *Portal de Ishtar* (Fonte: Janson, 2001).

A representação pictórica de animais, dentro de uma estrutura de faixas ornamentais, é uma das características que diferenciaram os Mesopotâmicos das outras culturas. Além disso, estas particularidades também fizeram com que suas obras fossem identificadas e reconhecidas ao longo da história.

Outro exemplo são os povos pré-colombianos, principalmente os Maias e os Astecas (2000 a.C. a 250 d.C.), que criaram importantes peças com pedaços de minerais postos sobre uma superfície. Os minerais utilizados com maior frequência eram quartzo, jade, serpentina e ônix. Estes materiais eram lapidados e aplicados em objetos de valor para uso pessoal. A obra *El Castillo* (Figura 3) representa uma orientação astronômica que permite marcar o caminho do sol. É um disco coberto com pedrinhas de turquesa, formando um simbolismo sagrado entre o Deus *Kukulkán* e o astro rei (SOLÍS, 1999).



Figura 3: *El Castillo* (Fonte: Solís, 1999).

As obras citadas são apenas alguns exemplos pontuais de povos da Antiguidade que utilizaram o tratamento da superfície como um meio de expressão. Diferentemente da arte Mesopotâmica e Asteca, que tinha por característica a suntuosidade, o acabamento rigoroso e o planejamento prévio, os desenhos rupestres, ao contrário, eram marcantes pela naturalidade, rusticidade e improviso.

Também é importante destacar que, independente da época, os materiais mais utilizados para o tratamento da superfície eram os materiais naturais oferecidos pela região em que estes povos viviam. Além de materializar as suas manifestações, também era possível aproveitar a matéria prima disponível em cada localidade, o que também contribuía para a geração da identidade de cada cultura, uma vez que os materiais disponíveis variavam de região para região.

Encontrava-se ali a repetição de traços e figuras, como forma de estabelecer uma narrativa. A tendência à repetição gerava um ritmo visual. Essas duas noções permanecem como característica da representação que depois passou a ser chamada de decoração (MANZINI, 1993), e o que hoje chamamos de design de superfície.

Da antiguidade até o advento da industrialização foram desenvolvidos inúmeros objetos com tratamento de superfície, no entanto, somente na revolução industrial, entre os séculos XVII e XIX, tais superfícies passaram a ser produzidas em série. Até certo ponto, as origens do design podem remontar à Revolução Industrial e ao início da produção mecanizada. Em outras palavras, o marco do surgimento do design foi quando ocorreu a separação nítida entre projetar e fabricar, porém, neste período, o design ainda era visto apenas como um dos muitos aspectos interrelacionados da produção mecanizada (FIELL, C. J & FIELL, P. M., 2001).

Mesmo de forma sucinta, é importante destacar alguns movimentos artísticos que foram essenciais para a construção do design de superfície: *Arts and Crafts* (Inglaterra, séc. XIX), *Art Nouveau* (França, séc. XIX), *Art Deco* (França, séc. XX) e Escola *Bauhaus* (Alemanha, séc. XX). Junto destes movimentos estão alguns nomes igualmente importantes: Piet Mondrian (1872 - 1944), Sonia Delaunay (1885 - 1979), Maurits Cornelis Escher (1898 - 1972) e, recentemente, Athos Bulcão (1918 - 2008).

Diante dos inúmeros artistas que tiveram influência na construção do que hoje chamamos design de superfície, os nomes citados de forma particular e específica dão preferência aqueles que tiveram um forte direcionamento de suas técnicas para as questões ligadas à modularidade e continuidade. As obras destes artistas são um reflexo de suas técnicas, e mostram de forma peculiar *como* o sistema de repetição pode criar, de maneira única, uma superfície.

Sonia Delaunay, por exemplo, desempenhou um papel tão importante que por vezes é considerada como a fundadora do design de superfície. A artista inaugura a lógica fundamental do design de superfície constando das noções de continuidade e de preenchimento. Transferia sua criação em pintura para diversas superfícies, trata-se da ocupação da parte externa dos objetos da vida cotidiana como suporte para expressões com significados, além de seu desempenho funcional (RÜTHSCHILLING, 2008). A Figura 4 mostra três exemplos de peças do vestuário feminino, as quais foram confeccionadas com tecidos que estampam pinturas de Sonia Delaunay.

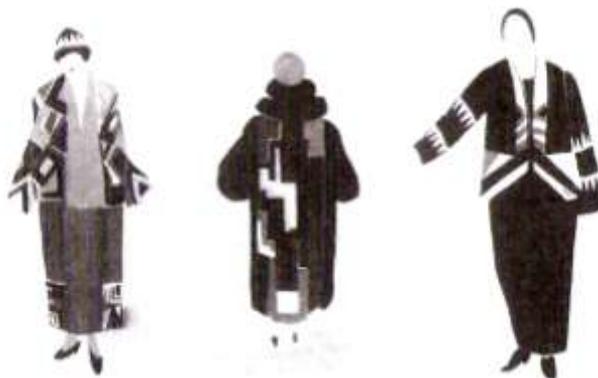


Figura 4: Peças do vestuário feminino com estampas de Sonia Delaunay (Fonte: Anscombe, 1985).

A técnica de transferir pinturas para a superfície de objetos do cotidiano, desenvolvida primeiramente por Sonia Delaunay, também pode ser conferida na atualidade. A Vans, empresa e marca americana que desde 1966 fabrica tênis também conhecidos como *sneakers*, partindo desta mesma premissa, fez uma homenagem ao pintor Piet Mondrian. Mondrian participou ativamente do De Stijl (Holanda, séc. XX), também conhecido como Neoplasticismo, movimento artístico que derivou dos ideais de harmonia e ordem. Neste período, as obras do artista apresentavam uma forte dialética entre linhas verticais e horizontais, que formavam uma grade de ângulos retos, com intervalos preenchidos pelas cores primárias, preto e branco (BONFAND, 1996).

Na letra A da Figura 5, através de uma das obras criadas por Mondrian na década de 20, pode-se observar as características que compunham os elementos básicos representados pelo artista. Em contraponto, a letra B da Figura 5 mostra um exemplar da coleção intitulada *Authentic Modular* da marca Vans. Esta coleção foi lançada no ano de 2008 e, como mencionado anteriormente, faz uma homenagem ao pintor holandês.

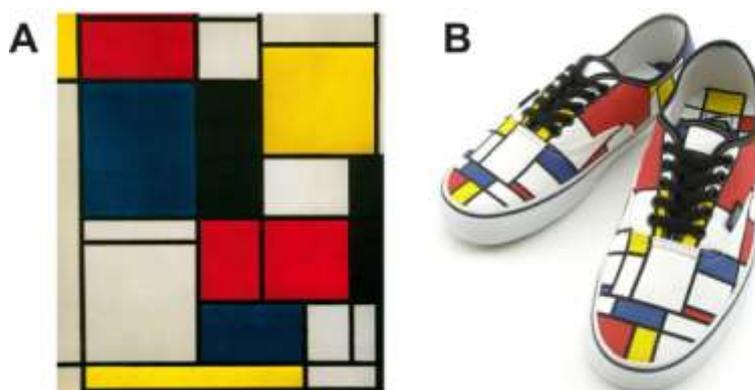


Figura 5: (A) Quadro II de Piet Mondrian (Fonte: modificado de Bonfand, 1996);
(B) Tênis *Authentic Modular* da Vans (Fonte: modificado de shop.vans.com).

No caso de Mondrian, o artista não chegou a aplicar seus próprios desenhos em objetos do uso cotidiano assim como Sonia Delaunay. Seus desenhos eram vendidos e aplicados em produtos por outros profissionais e empresas. Outro exemplo disto são os vestidos estampados desenvolvidos por Yves Saint Laurent nos anos 60.

A Fundação Athos Bulcão, também chamada de Fundathos, criada em 18 de dezembro de 1992, tem como missão preservar e difundir a obra do artista. No site oficial da fundação (<http://www.fundathos.org.br>) é possível encontrar à venda produtos com tratamento de superfície que faz referência às obras de Athos, transferindo a arte para objetos de uso comum, inclusive sob o slogan “Leve um Athos Bulcão para casa”.

De acordo com a fundação, Athos Bulcão teve sua primeira exposição individual em 1944, na inauguração da sede do Instituto dos Arquitetos do Brasil, em sua cidade natal no Rio de Janeiro. No entanto, o artista ficou mundialmente conhecido no ano de 1957 quando passou a colaborar com Oscar Niemeyer na construção de Brasília. Na época Athos Bulcão assumiu a função de escultor e mosaísta.

Athos, assim como Piet Mondrian e Sonia Delaunay, também é um referencial no campo do design de superfície, uma vez que atuou de múltiplas formas na construção e elaboração de superfícies. A letra A da Figura 6 mostra um painel de azulejos criado por Athos no ano de 1998 para o Instituto Rio Branco em Brasília - DF.

Nota-se que há apenas um módulo que pode se repetir tanto de forma ordenada quanto aleatória, compondo sempre diferentes desenhos quando da replicação. A liberdade de repetição, aliada à criatividade em compor os módulos, tornou-se um referencial nos projetos de Athos. A letra B da Figura 6 mostra mais um exemplo de transferência de obra, neste caso arquitetônica, para a superfície de um objeto cotidiano.

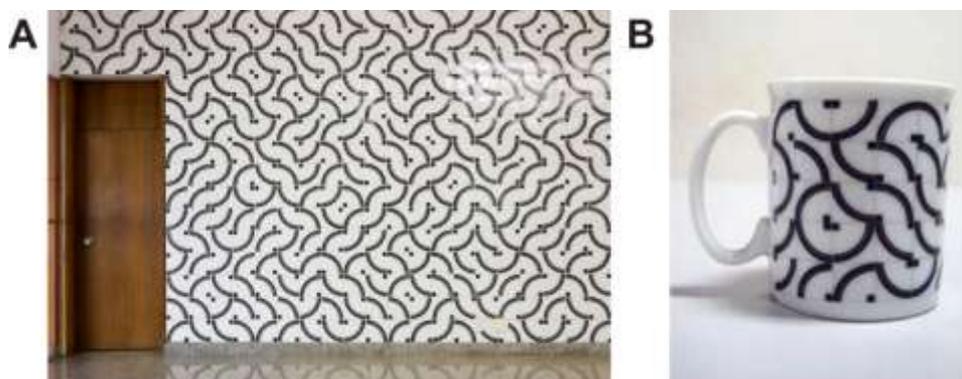


Figura 6: (A) Painel de azulejos criado por Athos; (B) Caneca da Fundathos.

(Fonte: modificado de www.fundathos.org.br)

Mesmo diante de inúmeras manifestações, já identificadas como design de superfície, a expressão passou a ser utilizada de maneira informal no Brasil em 1987 quando Renata Rubim, profissional da área do design, que estudou nos Estados Unidos, passou a adotar a nomenclatura já utilizada pela fundação *Surface Design Association - SDA*, porém, em sua tradução literal: design de superfície (RÜTHSCHILLING, 2008).

A Figura 7 mostra um detalhe da calçada do Café do Porto, localizado na Rua Padre Chagas, nº 293, Bairro Moinhos de Vento, em Porto Alegre - RS. Este é um dos trabalhos de design de superfície mais conhecidos de Renata Rubim. O projeto utilizou a técnica do mosaico a partir da união de diferentes tipos e tamanhos de rochas - mármore, arenito, basalto - e foi desenvolvido no ano de 1999.



Figura 7: Calçada do Café do Porto em Porto Alegre – RS (Fonte: Rubim, 2004).

A partir de 1987 a expressão passou então a ser divulgada por Renata Rubim no meio profissional, e por Evelise Anicet nos meios acadêmicos e científicos. Evelise Anicet, por sua vez, é artista plástica, fundadora e coordenadora do Núcleo de Design de Superfície - NDS da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

Posteriormente, uma série de eventos foram realizados, os quais foram fundamentais não só para a construção conceitual do design de superfície, mas também para a delimitação da área de atuação. Destaca-se o 1º Encontro Nacional de Design de Superfície (1991), evento que convencionou e oficializou o design de superfície no Brasil, estendendo sua aplicação a todos os tipos de superfícies: concretas e virtuais.

Fizeram parte deste evento Rose Lutzemberger, Evelise Anicet e Flávio Cauduro representando a UFRGS/POA; Ana Norogrande, Reinilda Minuzzi e Lúcia Isaia representando a UFSM/SM; Anais Missabian representando a Rhode Island School of Design - RISD e os designers Renata Rubim, Eduardo Du Pasquier e Heloísa Crocco.

Outro exemplo que deve ser citado na área do design de superfície é Francisco Brennand, natural de Recife, capital do estado de Pernambuco. De acordo com informações divulgadas no site oficial do artista (<http://www.brennand.com.br>), em novembro de 1971 Brennand começou a reconstruir a velha Cerâmica São João da Várzea, fundada pelo seu pai em 1917. Esse conjunto deu início a um projeto de esculturas cerâmicas que deveriam povoar os espaços internos e externos do ambiente. Além da cerâmica, Brennand também trabalha com desenho e pintura.

Somente em 2005, após receber o código do CNPq, o design de superfície passa a integrar a área do design como uma especialidade. Então abre-se a possibilidade de ser incluído na graduação dos diversos cursos de design do país, assim como serem disponibilizados mais subsídios para pesquisas na área (SCHWARTZ *et al.*, 2008).

Através de alguns exemplos pode-se perceber que as interferências na superfície são praticadas há milênios, passando pelos desenhos rupestres nas paredes das cavernas até os mosaicos aplicados em fachadas arquitetônicas e objetos de uso pessoal.

Após a revolução industrial o tratamento da superfície passou a ser desenvolvido de forma seriada, e as etapas de projeto e execução passaram a ser consideradas distintas, caracterizando a atividade do designer. Alguns movimentos artísticos também foram destacados como eventos que fizeram parte da construção do significado e da prática do design de superfície. Também foram destacados alguns profissionais de igual importância, e exemplos de como a arte pode ser aplicada em objetos do cotidiano.

Nesta seleção de exemplos foi possível verificar diferentes tipos de técnicas e de materiais. As técnicas destacadas tráfegaram entre o desenho, o mosaico, a pintura, a tecelagem, impressão em tecido e em cerâmica. Já os materiais, variaram entre rochas, tijolos cozidos, minerais, tintas, tecidos e cerâmicas.

O design de superfície exerce um papel importante nesta pesquisa. É através dele que foram executados os padrões modulares encaixáveis, os quais tomaram forma física a partir dos materiais selecionados: minerais e madeiras. Além disso, os padrões modulares foram compostos por diferentes modelos de superfícies tácteis, que foram direcionadas para a composição de um conjunto de painéis de revestimento.

Os padrões foram definidos após estudos das diferentes técnicas utilizadas pelo artista Maurits Cornelis Escher. Em suas obras encontrou-se uma fonte de referência fundamental para a proposta da pesquisa, uma vez que o artista utilizou a simetria, modularidade, continuidade e encaixe na composição de desenhos.

Neste âmbito, seja qual for a abordagem tomada como referência ou fio condutor para a elaboração da superfície, a função predominante estabelecida, a percepção a ser projetada ou o tipo de desenho utilizado, o projeto guiou-se necessariamente pela expressividade que estimula sensações e percepções, para que a superfície fosse notada como um elemento elaborado, projetado (SCHWARTZ *et al.*, 2008).

Sendo o design de superfície uma atividade projetual, é de suma importância entender *como* ela foi desenvolvida por Escher, quais as técnicas utilizadas pelo artista e outros conhecimentos que ampliem as perspectivas de aplicação. Julgou-se necessário a criação de um tópico para abordar as especificidades que envolvem este universo.

2.3 MAURITS CORNELIS ESCHER

Esta etapa da pesquisa tem por objetivo estudar a vida e o trabalho de Escher. O artista é tomado como referência não só quanto à autenticidade de suas técnicas, mas também como inspiração. Neste contexto, diante de uma carreira de mais de 50 anos, faz-se necessário subdividir sua trajetória em períodos, para facilitar a compreensão dos caminhos percorridos em uma carreira repleta de transformações.

2.3.1 Vida e profissão

Maurits Cornelis Escher (Figura 8) nasceu em 17 de junho de 1898 em Leeuwarden, cidade Holandesa. Com treze anos de idade começou a frequentar uma Escola Secundária em Arnheim, cidade para onde seus pais se mudaram em 1903. Escher não era considerado um bom aluno, havia reprovado duas vezes e não obtinha boas notas, no entanto, destacava-se nas aulas de desenho.

Seguindo os conselhos de seu pai, Escher mudou-se em 1919 para Haarlem, onde passou a estudar na Escola de Arquitetura e Artes Decorativas sob a orientação do arquiteto Vorrink. O seu estudo em arquitetura não durou, e dentro de pouco tempo verificou-se que o talento do jovem inclinava-se mais para as artes decorativas do que para a arquitetura. Foi então que Samuel Jesserun de Mesquita, professor de técnicas de gravura artística, passou a ser seu principal mestre, e despertou em Escher a paixão e o domínio das técnicas de xilografia e litografia (ERNST, 1991).

Xilografia é a arte de reproduzir imagens em relevo sobre pranchas de madeira gravadas em relevo, e litografia é o processo de gravar sobre pedra. Independente do suporte – madeira, pedra – após a gravação a matriz recebe a tinta e é prensada contra o papel, gravando assim o desenho (FERREIRA, 1987).

Em 1922, Escher deixou a escola de arte, pois já havia adquirido uma boa base de desenho e de técnicas de gravura. Achava então que deveria trilhar seu próprio caminho. Na carreira independente, passou a se destacar não só pelo autorrigor e trabalho árduo até adquirir a excelência da técnica, mas também pelo uso da matemática, das proporções, das séries logarítmicas, das transformações algébricas, das distorções espaciais rigorosamente calculadas com base em refinado conhecimento de geometria descritiva. A partir daí, seu trabalho passou a ser reconhecido por matemáticos, físicos e cristalógrafos. No entanto, as academias de arte não o consideravam um artista, mas sim, um geômedra (MENDONÇA, 2009).

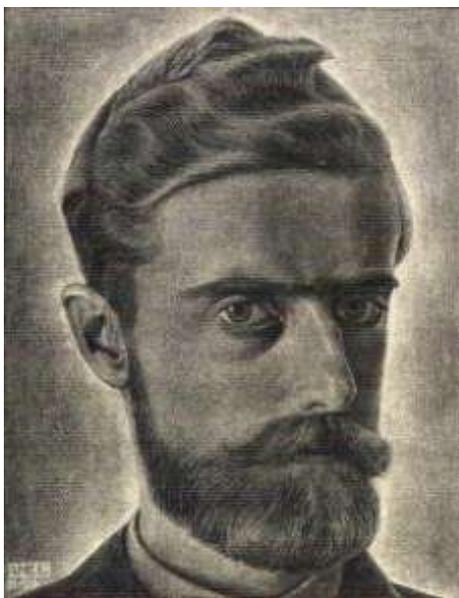


Figura 8: *Autorretrato* em litogravura de 1929 (Fonte: Tjabbes, 2011).

Após esta brevíssima síntese da vida de Escher, cabe destacar que suas obras dividem-se basicamente em duas grandes fases: antes e após o ano de 1937. Antes de 1937 as obras de Escher eram puramente pictóricas, dominadas pela representação da realidade visível, orientadas pela beleza das paisagens e arquitetura italianas. Tratava-se de um realismo agudo, mas que, ao mesmo tempo, denotava um modo muito próprio de observar o real. Já a partir de 1937, o pitoresco e o real deixam de lhe interessar. Nesta época, Escher fascina-se com a regularidade e as estruturas matemáticas, a continuidade e o infinito inerente a todas as imagens, a reprodução de três dimensões sobre uma superfície bidimensional (ERNST, 1991).

Para tanto, estas duas grandes fases são subdivididas em quatro períodos: período das paisagens (1922-1937); período dos ladrilhamentos e metamorfoses (1937-1945); período das gravuras subordinadas à perspectiva (1945-1956) e período da aproximação ao infinito (1956-1970). Estes períodos serão particularmente destacados evidenciando os métodos de trabalho, as fontes de inspiração e as variações dos temas.

2.3.2 Período das paisagens: 1922-1937

Em 1922, após terminar o curso em Haarlem, Escher partiu para a Itália. Em 1924 se casa com Jetta Umiker, e no ano seguinte mudam-se para Roma, onde têm três filhos e permanecem durante dez anos. Escher descobre um país e uma paisagem pelos quais se apaixona. Durante este período, fez numerosas viagens de estudo pela Itália, França e Espanha. Estas viagens tinham por fim recolher impressões e fazer esboços.

A natureza sempre desempenhou um papel importante no trabalho de Escher, a paisagem italiana, em especial, continuou a cativá-lo por muito tempo. Como muitos outros artistas, Escher fazia esboços que serviam como estudos preliminares para suas obras em gravura. Este processo era uma espécie de “anotação visual” do trabalho a ser desenvolvido. Além de facilitar a elaboração das ideias, era importante para o trabalho ser visualizado com antecedência e, se preciso, alguma modificação ser realizada (TJABBES, 2011). Na letra A da Figura 9 observa-se um esboço detalhado que retrata a realidade, o qual serviu como preparação para a gravura mostrada na letra B.

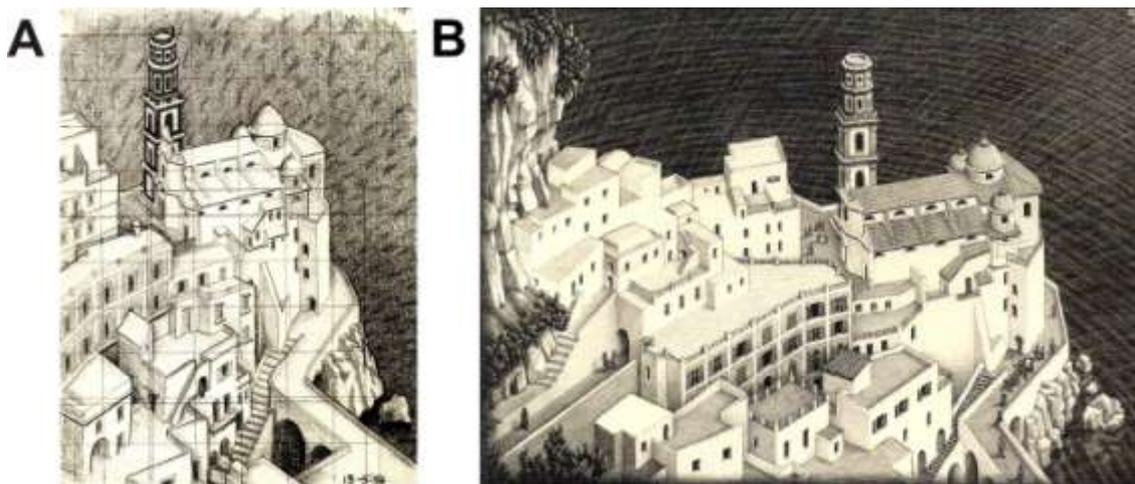


Figura 9: (A) Esboço em lápis e pastel; (B) *Atrani*, Costa Amalfitana em litogravura de 1931.

(Fonte: modificado de Tjabbes, 2011)

Nesta época, Escher ainda era desconhecido, tinha organizado algumas pequenas exposições e ilustrado dois ou três livros. Raramente vendia uma obra, e ficou durante algum tempo dependente financeiramente dos pais. Somente alguns anos mais tarde é que seus rendimentos passaram a vir de suas gravuras (ERNST, 1991).

2.3.3 Período dos ladrilhamentos e metamorfoses: 1937-1945

A partir de 1937, Escher passou a concentrar-se de forma cada vez mais intensa na transmissão de suas idéias pessoais, culminando na sua partida da Itália.

Na Suíça, Bélgica e Holanda, locais onde sucessivamente morou, os aspectos exteriores da paisagem e da arquitetura já não o sensibilizavam como na Itália. Forçado pelas circunstâncias afastou-se da reprodução direta e exata do ambiente. O artista foi estimulado a criar imagens interiores, que deram início à arte do ladrilhamento.

A arte do ladrilhamento, ou preenchimento regular da superfície, consiste no preenchimento do plano sem superposição ou buracos. O ladrilhamento era considerado por Escher a técnica ideal, pois, teoricamente, um padrão de ladrilhagem poderia ser estendido indefinidamente, tanto no espaço quanto no tempo. Sua primeira ladrilhagem importante foi *Oito cabeças* (Figura 10), de 1922, onde um padrão de oito cabeças diferentes encaixa-se uns aos outros, e se repetem quatro vezes (TJABBES, 2011).

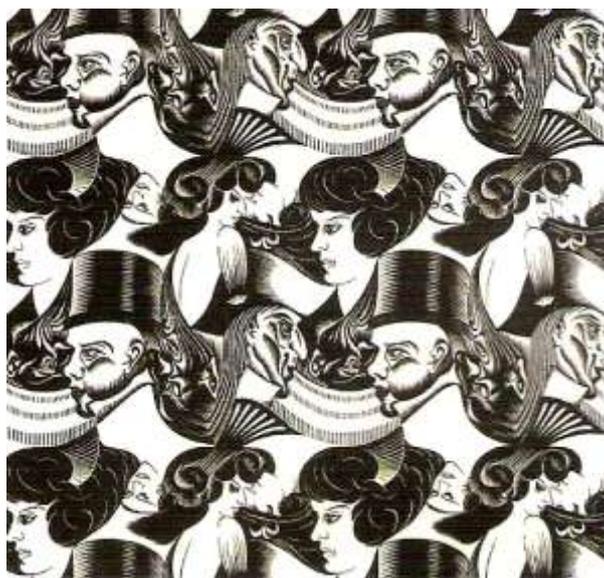


Figura 10: *Oito cabeças* em xilogravura de 1922 (Fonte: Tjabbes, 2011).

Os mouros e árabes utilizavam a técnica da ladrilhagem para decorar ambientes, como por exemplo, o complexo de palácios chamado de Alhambra, localizado na cidade de Granada, na Espanha. O Alhambra foi construído no século XIV, e sua arte tem por característica a utilização de figuras geométricas complexas e entrelaçadas.

No mesmo ano em que criou a obra *Oito cabeças*, Escher copiou os ladrilhos mouriscos durante uma visita ao Alhambra. Da mesma forma fez com os azulejos decorativos etruscos de Ravello, na Itália. Esta era uma maneira de estudar as composições (ERNST, 1991).

Primeiramente, as noções de ladrilhamento eram utilizadas por Escher de maneira intuitiva, aplicando esta técnica em trabalhos que fazia por encomenda, como azulejos e bolas de madeira. Em seguida sentiu a necessidade de um conhecimento mais aprofundado, foi quando Berend, irmão mais velho de Escher, professor de geologia da Universidade de Leiden, o familiarizou com o aspecto matemático. Ao perceber a estreita relação da cristalografia com o trabalho do irmão, Berend forneceu a Escher livros que abordavam temáticas relacionadas a esta ciência (TJABBES, 2011).

A Figura 11 mostra as formas básicas que passaram a ser usadas por Escher: paralelogramo, retângulo, quadrado, triângulo, losango e hexágono na seqüência.

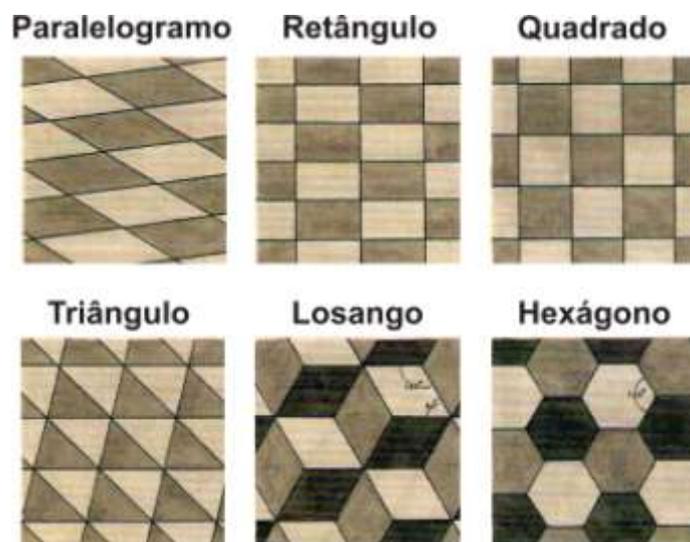


Figura 11: Formas fundamentais de divisão regular do plano (Fonte: modificado de Tjabbes, 2011).

Uma característica especial, e pode-se dizer única, da técnica da divisão das superfícies utilizada por Escher, é que ele desenvolvia motivos figurativos. A partir das formas fundamentais citadas, o artista gerou diversos tipos de desenhos, principalmente figuras concretas e existentes na natureza, como aves, répteis e figuras humanos.

Já os árabes, principal referencial de Escher, eram mestres na arte de preencher superfícies, sem lacunas, sempre com a mesma figura. Eles decoravam paredes e pavimentos com peças ou módulos, coloridos e congruentes, ajustados uns aos outros, de forma contínua. No entanto, a religião islâmica proibia a representação de imagens, por isso seus mosaicos limitavam-se a figuras geométricas abstratas (ERNST, 1991).

Neste âmbito, a concepção do desenho é a maneira como os elementos visuais se arranjam sobre o fundo. Para tanto, o sistema de repetição é a lógica adotada para repetir o módulo em intervalos constantes (RÜTHSCHILLING, 2008). Os principais sistemas de repetição utilizados por Escher são: translação, reflexão e rotação. No sistema de translação o módulo mantém sua direção original e desloca-se sobre um eixo; na rotação o módulo faz o deslocamento radial ao redor de um ponto; e na reflexão o módulo faz o espelhamento em relação a um eixo (TJABBES, 2011).

A Figura 12 mostra estudos de Escher que apontam cinco exemplos de sistemas de repetição a partir da forma quadrada. No exemplo que segue a letra A, é utilizado o sistema de translação; na letra B, rotação; na letra C, translação e rotação; na letra D, translação e reflexão; por fim, na letra E, translação, rotação e reflexão.

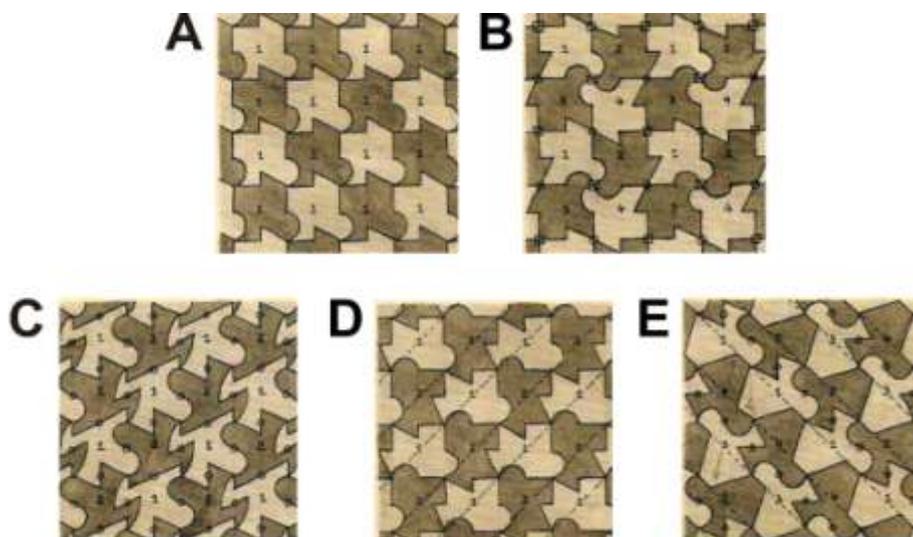


Figura 12: Cinco exemplos de sistemas baseados no quadrado (Fonte: modificado de Tjabbes, 2011).

Escher continuou a aperfeiçoar sua maestria sobre os ladrilhamentos, cujas possibilidades geométricas ele investigou com maior acuidade entre os anos de 1937 a 1945. Para o artista, a criação de um quebra-cabeça figurativo era inconsciente. Ao desenhar era como se as próprias linhas decidissem as formas animais em que iriam aparecer (TJABBES, 2011).

Na Figura 13, vê-se no extremo esquerdo do desenho peixes brancos e pretos, já no extremo direito vê-se pássaros brancos e pretos, e na parte central vêem-se peixes brancos e pássaros pretos alternadamente. Para tanto, no detalhe que segue a letra A, pode-se confirmar que a forma do módulo é exatamente a mesma, podendo virar um peixe (B) ou um pássaro (C), dependendo do ponto de vista.

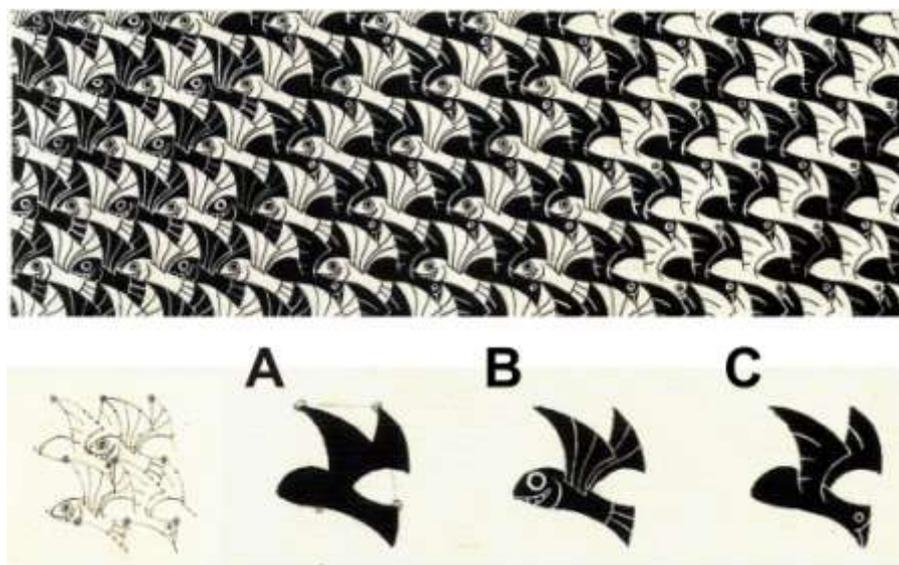


Figura 13: Ladrilhamento com pássaros e peixes em guache, tinta e aquarela de 1950.

(Fonte: modificado de Tjabbes, 2011)

Pode-se dizer que Escher fez duas contribuições específicas aos ladrilhamentos: primeiro ele substituiu as formas geométricas nuas por imagens realísticas, depois ele se mostrou capaz de transformar essas imagens, fazendo-as evoluir em vez de se repetirem num padrão estático (TJABBES, 2011).

Escher considerava a divisão das superfícies como um instrumento, como uma ferramenta. Em dois temas estreitamente relacionados, metamorfoses e ciclos, usou claramente a divisão regular das superfícies. Na metamorfose vemos formas concretas nitidamente limitadas transformarem-se em formas abstratas indeterminadas e, de novo, em formas concretas (ERNST, 1991). Um exemplo disto é a obra *Ciclos* (Figura 14), que mostra pequenos duendes que descem uma escada de pedras. Aos poucos eles confundem-se com os azulejos, e depois se transformam novamente em formas humanas, e assim sucessivamente, em um ciclo ininterrupto.

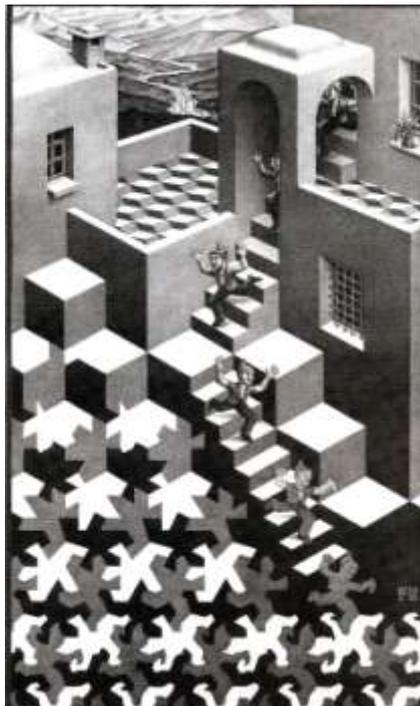


Figura 14: *Ciclo* em litografia de 1938 (Fonte: Ernst, 1991).

Também é o caso da obra *Metamorfose I*, que mostra a transformação gradual de uma pequena cidade, passando por cubos de diferentes tamanhos, até chegar a uma boneca chinesa, como mostra a Figura 15. Em 1939, Escher compõe a xilogravura intitulada *Metamorfose II*, com 20 cm de altura e 4 m de comprimento. Esta era a maior gravura que o artista já havia produzido em toda sua vida. Anos mais tarde, em 1967, a obra ganhou mais 3 m e passou a estampar o mural do Correio Central da cidade de Haia na Holanda.

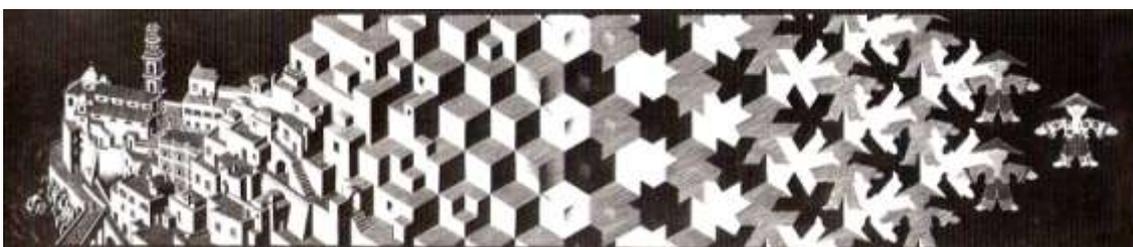


Figura 15: *Metamorfose I* em xilogravura de 1937 (Fonte: Tjabbes, 2011).

A maior parte das gravuras mostram não só a metamorfose, mas também os ciclos de transformação, como é o caso da obra intitulada *Dia e noite*, apresentada na Figura 16. Esta obra pode ser considerada uma das mais populares de Escher, pois entre os anos de 1938 a 1961 o artista vendeu 361 cópias.

A idéia de criar uma gravura sobre o tema *dia e noite* nasceu da possibilidade de associar o claro e o escuro. Campos retangulares, entre duas cidades holandesas, aos poucos se desdobram em direção ao alto, formando silhuetas de pássaros que voam em direções opostas. À esquerda, as silhuetas brancas juntam-se e formam um céu diurno, enquanto à direita, as silhuetas negras juntam-se e formam um céu noturno. As duas paisagens espelham-se e, pode-se ainda observar, a passagem de formas bidimensionais (campo lavrado) para tridimensionais (aves). Outra característica, sem dúvida, notável, é o fato de nossos olhos nunca verem um padrão contínuo, mas se fixarem nos pássaros escuros ou brancos. Os pássaros escuros e brancos nunca são vistos simultaneamente como objetos, eles alternam, servindo de fundo uns para os outros (TJABBES, 2011).

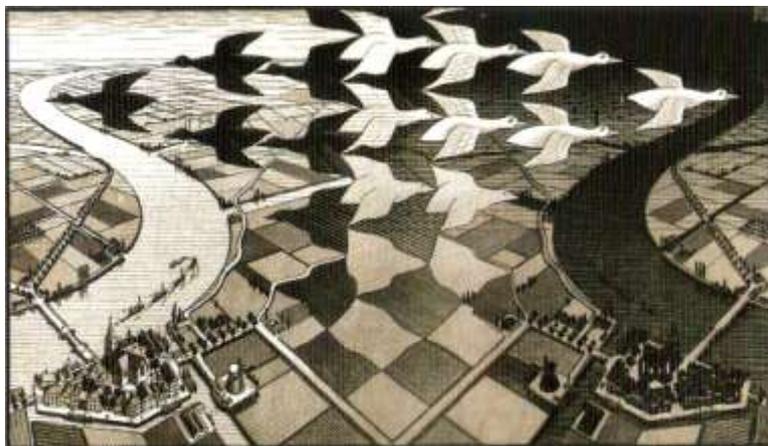


Figura 16: *Dia e noite* em xilogravura de 1939 (Fonte: Escher, 1994).

2.3.4 Período das gravuras subordinadas à perspectiva: 1945-1956

Entre o período das metamorfoses e ciclos e o período das gravuras subordinadas à perspectiva, Escher passou por um momento de transição, no qual dedicou-se basicamente a desenhos que primavam pela ilusão ótica. Para Escher, o desenho nada mais era do que uma ilusão. Pois ao olhar para determinadas gravuras estava certo de que percebia um mundo em três dimensões e, na verdade, o papel do desenho ainda era bidimensional. Estas questões provocaram no artista uma sensação de conflito, a qual tentou mostrar através de algumas obras (ERNST, 1991).

A gravura intitulada *Varanda* (letra C da Figura 17) é um exemplo de desenho criado a partir da sensação de ilusão ótica. Na imagem que segue a letra A da Figura 17, é possível perceber o círculo desenhado em cima do esboço, para marcar os limites da deformação a ser realizada.

Já na imagem que segue a letra B da mesma figura, as linhas verticais e horizontais em maior espessura foram empurradas para fora, contra o limite do círculo. E, por fim, a imagem que segue a letra C, mostra o resultado final. O centro da composição está quadruplicado em relação aos cantos, e o resultado é uma enorme protuberância. É como se as casas tivessem sido desenhadas sobre uma pele elástica e, em seguida, fosse soprada por trás (TJABBES, 2011).

Trata-se apenas de uma ficção, pois a folha de papel continua plana. A tentativa de romper a planicidade do papel através do desenho, no qual o artista finge empurrar a parte posterior, de nada adiantava, pois o papel continuava plano e tudo o que conseguia criar era apenas a ilusão de uma ilusão (ERNST, 1991).

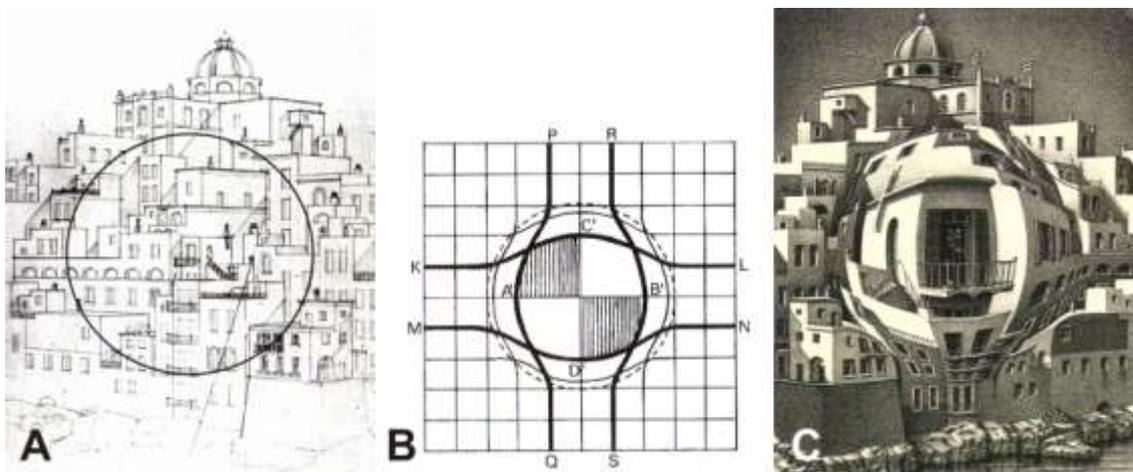


Figura 17: (A) Esboço antes da deformação central; (B) Sistema de rede para o abaulamento central; (C) Gravura final, *Varanda* em litografia de 1945 (Fonte: modificado de Ernst, 1991).

O interesse especial de Escher por pontos de vista inusitados era visível. O que lhe interessava nesta fase de sua carreira não era tanto a própria representação, mas a particularidade da ilusão e da perspectiva em si. Novamente fixado na Holanda, mais precisamente na cidade de Baarn, em 1946, após a fase dedicada à ilusão ótica, Escher dá início a uma grande pesquisa sobre regras tradicionais de perspectiva. Esta fase estende-se até 1955 (ERNST, 1991).

A perspectiva central é uma técnica que possibilita ao desenhista sugerir relações dentro de uma imagem. Um ponto imaginário no horizonte é a base para todas as medidas e proporções. Neste âmbito, os objetos que estão perto parecem ser maiores do que aqueles mais distantes (TJABBES, 2011). Esta relação entre perspectiva e profundidade pode ser vista na obra *Profundidade*, mostrada na letra B da Figura 18.

Este desenho foi particularmente difícil de ser elaborado pelo artista, porque os peixes voadores tiveram de ser desenhados cada vez menores, porém, sem perder a exatidão. Para reforçar a sugestão de profundidade, os peixes mais distantes tiveram de ser mostrados com menos contraste. Na técnica de litografia este desafio seria considerado fácil, no entanto, na gravura em madeira é especialmente difícil, pois cada partícula da imagem deve ser preta ou branca, e a diminuição de contraste não pode ser alcançada pelo uso dos tons de cinza (ERNST, 1991).

Com a utilização de lápis e papel, Escher conseguiu introduzir a chamada perspectiva aérea, aumentando a sugestão de espaço já alcançado pela perspectiva linear. A letra A da Figura 18 mostra como Escher desenvolve a perspectiva aérea de maneira exata, mostrando o campo à volta de cada círculo.

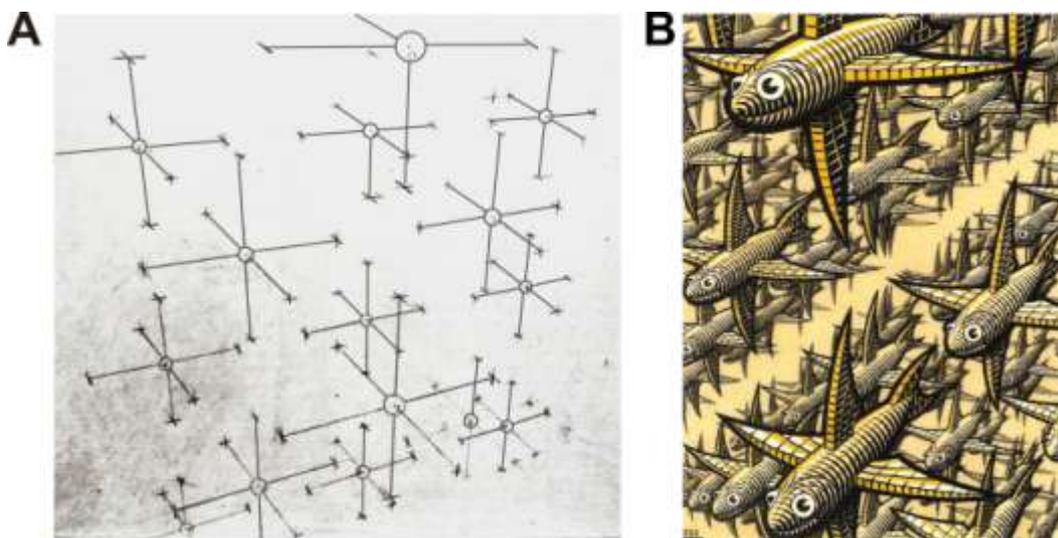


Figura 18: (A) Estudo para *Profundidade* em lápis (Fonte: modificado de Ernst, 1991);
(B) *Profundidade* em xilogravura de 1955 (Fonte: modificado de Escher, 1994).

2.3.5 Período da aproximação ao infinito: 1956-1970

“Não podemos imaginar que algures por detrás da estrela mais longínqua do céu noturno, o espaço possa ter um fim, um limite para além do qual nada mais existe” (ESCHER *apud* ERNST, 1991). A frase dita pelo artista marca uma nova fase em seu trabalho, onde ele tenta representar o ilimitado e o infinito em muitos de seus desenhos. Nas gravuras de limite quadrado e circular, o infinito é posto em evidência pelas séries de figuras que diminuem e aumentam continuamente. O artista tinha o desejo de penetrar nas profundezas do infinito através de imagens estáticas (ERNST, 1991).

Para desenvolver a técnica da divisão regular da superfície, método adotado para aproximar-se da noção do infinito, Escher dependia de quatro fatores: a qualidade da madeira utilizada na matriz, o gume bem amolado de sua ferramenta, a firmeza de sua mão e, especialmente, a acuidade de sua visão que, é claro, contava com o auxílio de uma lente com aumento de 12 vezes. Esta técnica já era utilizada por Escher desde o período dos ladrilhamentos e metamorfoses, porém, nesta época é que obteve seu auge.

Para Escher, a técnica da divisão regular da superfície não era suficiente para conseguir o infinito, mas sim, um fragmento dele. Um exemplo é a obra denominada *Evolução II* (letra A da Figura 19). Se a superfície que os répteis preenchem – unidos uns aos outros – fosse infinitamente grande, ali poderia ser representado um número infinito deles. As figuras submetem-se a uma constante redução radial das margens em direção ao centro, onde convergem num ponto, o qual seria o limite da redução infinita. O diagrama para limites quadrados (letra B da Figura 19) mostra o princípio da criação.

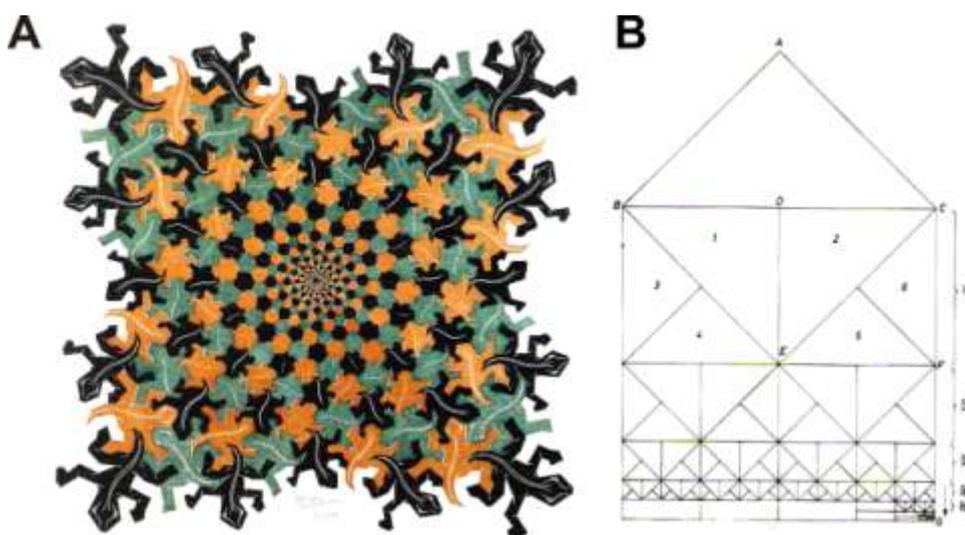


Figura 19: (A) Diagrama para limites quadrados (Fonte: modificado de Ernst, 1991);
(B) *Evolução II* em xilogravura de 1939 (Fonte: modificado de Tjabbes, 2011).

Na tentativa de eliminar o caráter fragmentário do infinito, Escher vai além. Faz exatamente o trabalho contrário, onde as formas maiores dos animais agora se encontram no centro, e o limite da redução infinita está na margem da forma circular. A letra A da Figura 20 mostra uma parte dos estudos de limites circulares, já a letra B da Figura 20 mostra a obra intitulada *Limite circular III*.

Na obra *Limite circular III*, observa-se fileiras em tráfego contínuo, sendo que os peixes pertencentes à mesma fileira possuem a mesma cor, e nadam uns atrás dos outros, - cabeça de um, na cauda do outro - ao longo de um trajeto circular, de margem a margem. Quanto mais se aproximam do centro, maiores se tornam, e quanto mais próximos da margem, menores se tornam (ERNST, 1991).

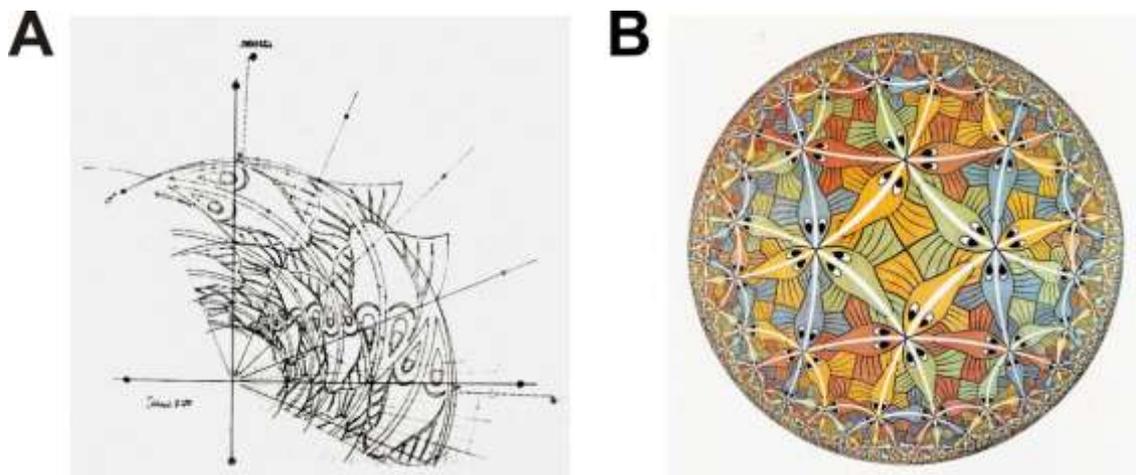


Figura 20: (A) Estudos de limites circulares em lápis; (B) Limite circular III em xilogravura de 1958.

(Fonte: modificado de Ernst, 1991)

Esta fase estende-se até 1970, quando o artista foi hospitalizado. No dia 27 de março de 1972, Escher faleceu no hospital Diakonessenhuis, em Hilversum. É possível dizer que em seu trabalho, Escher conseguiu aliar a arte às ciências exatas de forma inédita, influenciando muito o processo criativo da época, nos campos, inclusive, da computação gráfica e da publicidade (MENDONÇA, 2009).

A mais completa exposição dedicada ao artista no Brasil foi realizada durante o período desta pesquisa. Sob curadoria de Pieter Tjabbes, concepção de Art Unlimited e patrocínio do Banco do Brasil, a exposição intitulada *O mundo mágico de Escher*³ ocorreu em três cidades brasileiras: Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo. E foram vistas por mais de 1 milhão de pessoas.

As três cidades receberam obras nos respectivos períodos: de 12 de outubro a 26 de dezembro de 2010 em Brasília; de 17 de janeiro a 27 de março de 2011 no Rio de Janeiro e de 18 de abril a 17 de julho de 2011 em São Paulo.

³ Em maio de 2011 a autora visitou a exposição no Centro Cultural do Banco do Brasil na cidade de São Paulo, e teve contato com todas as obras aqui comentadas. Em março de 2011 o orientador visitou a mesma exposição na cidade do Rio de Janeiro.

Para as mostras foram reunidas 94 obras, entre gravuras originais, desenhos e fac-símiles, incluindo todos os trabalhos mais conhecidos do artista. As exposições mostraram de forma analítica o desenvolvimento das obras de Escher em uma carreira de mais de 50 anos. As obras expostas fazem parte do acervo pertencente à coleção do Haags Gemeentemuseum, que mantém o Museu Escher na cidade de Haia, na Holanda.

Além disso, a exposição evidenciou os efeitos de alguns fenômenos de espelhamento, perspectiva e matemática em diversas instalações interativas e lúdicas, além de dois filmes. O primeiro filme, em modalidade 3D, permitiu que o público fosse submetido a uma série de experiências que desvendaram os efeitos óticos que Escher utilizava em seus trabalhos. Já o segundo filme, abordou a trajetória pessoal e profissional do artista, passando pelas diferentes fases da vida até sua morte.

A Figura 21 mostra uma das instalações da exposição disponíveis para interação do público. Esta instalação trata-se de um espaço/ambiente onde o piso e o teto estão inclinados para o mesmo lado, ou seja, a altura do piso até o teto é maior no lado esquerdo e, conseqüentemente, a altura do piso até o teto é menor no lado direito.

Quando duas pessoas de alturas aproximadas são postas em cada um dos cantos, gera uma distorção de perspectiva. A pessoa que segue o número 1 na imagem de letra A parece ter menos altura que a pessoa que segue o número 2 na mesma imagem, a qual bate a cabeça no teto. Quando as posições são invertidas, a pessoa que segue o número 2 na imagem de letra B, agora do lado esquerdo, parece ter menos altura que a pessoa que segue o número 1 na mesma imagem, a qual agora também bate a cabeça no teto. A pessoa que segue o número 1 possui 1,84 m de altura, já a pessoa que segue o número 2 possui 1,74 m de altura, no entanto, as posições dentro do ambiente causam ilusão de ótica e perspectiva, proporcionando a sensação de grandes diferenças de altura, as quais na prática não existem.

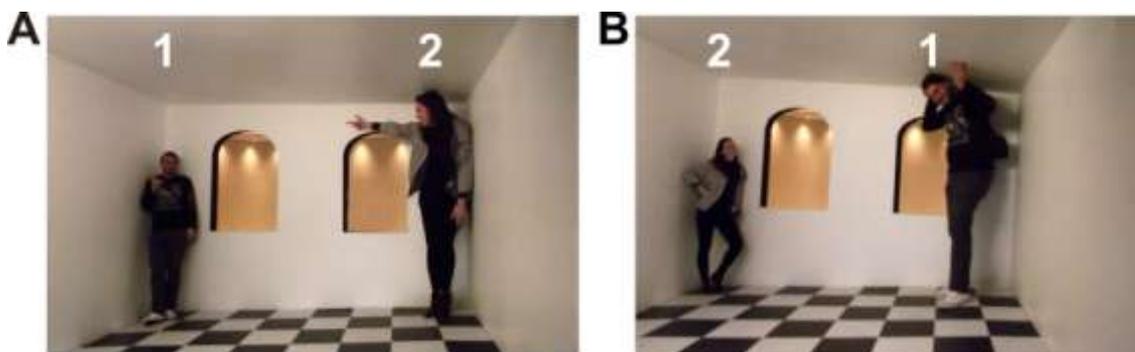


Figura 21: Instalação disponível na exposição para interação do público.

Esta pesquisa utiliza parte da obra artística de Escher, neste contexto é que serão mencionadas informações relativas aos direitos autorais do autor das obras. De acordo com a Constituição Federal - Lei de direitos autorais, nº 9.610/98, art. 1º - direito autoral é o conjunto de normas estabelecidas pela legislação que visa proteger o criador da obra para que este possa usufruir dos benefícios morais e intelectuais resultantes da exploração de sua criação. O direito autoral é regulamentado por normas jurídicas que visam proteger as relações entre o criador e a utilização de obras artísticas, literárias ou científicas, como textos, livros, pinturas, músicas, ilustrações, fotografias, etc.

De acordo com o art. 41 da mesma lei, quem passa a receber os direitos autorais da utilização das obras de artistas que já faleceram são seus herdeiros, até que a obra caia em domínio público. A obra cai em domínio público 70 anos após o falecimento do autor. No caso desta pesquisa, o autor das obras utilizadas completa 40 anos de falecimento no ano de 2012, ou seja, a lei assegura que a utilização das obras do autor com fins comerciais seja autorizada pelos herdeiros e revertida aos mesmos em forma de pagamento referente à sua utilização. No entanto, o art. 46 da mesma lei também aponta que não constitui ofensa aos direitos autorais do autor a reprodução de pequenos trechos, para uso privado do copista, desde que feita por este sem o intuito de lucro. Portanto, não foi levado em consideração o custo dos direitos autorais das obras uma vez que este trabalho não visa a comercialização dos desenhos de Escher. O trabalho visa a pesquisa científica e a definição de padrões para o desenvolvimento de painéis de revestimento a partir de desenhos de alta complexidade de encaixe.

2.4 ESTADO DA ARTE

Esta pesquisa envolve temáticas distintas, porém, complementares. Transita desde a investigação acerca dos materiais naturais, passando pelo reaproveitamento de rejeitos industriais até a aplicação de padrões modulares encaixáveis.

O tópico ‘estado da arte’ destina-se a dar exemplos de projetos atuais imersos neste campo de estudo, no intuito de observar características gerais de função, técnica, material, confecção, processo e custo de projeto.

Dentre os inúmeros profissionais e empresas atuantes no mercado, os estudos de caso abordados, de forma específica e particular, foram selecionados por apresentarem aspectos semelhantes aos aqui propostos. Para tanto, foram escolhidos projetos dos seguintes profissionais e empresas: Antônio Bernardo, Camila Tessmann, Cerâmica Atlas, Heloisa Crocco, Irmãos Campana e Maurício Azeredo.

Os projetos selecionados navegam basicamente por três grandes áreas do design: joalheria, revestimento e mobiliário. Sendo na área da joalheria os anéis de Antônio Bernardo e os camafeus de Camila Tessmann; na área de revestimento os carimbos e painéis de Heloísa Crocco e as pastilhas da Cerâmica Atlas; já na área do mobiliário, a cadeira dos Irmãos Campana e cadeira e mesa de Maurício Azeredo.

2.4.1 Antônio Bernardo - padrões modulares encaixáveis

Antonio Bernardo nasceu no Rio de Janeiro em 1947. Já na infância, entrou em contato com o universo da ourivesaria através da loja do pai, Rudolf Herrmann, onde eram comercializados artigos de joalheria e relojoaria. Em 1968 Antonio Bernardo foi para a Suíça, onde estagiou em empresas do ramo relojoeiro. Frente à força do impulso criativo, dedicou-se à pesquisa em ourivesaria e ao design autodidata de joias. Trabalhou por quase uma década em seu atelier residencial, um espaço equipado tanto com ferramentas tradicionais, herdadas do pai, quanto sofisticados equipamentos industriais. A abertura de sua primeira loja foi em 1981, no Rio de Janeiro.

De acordo com informações divulgadas no site oficial do artista (<http://www.antoniobernardo.com.br>), as criações de Antonio Bernardo transitam pelos domínios da inquietação artística e do design contemporâneo. Vanguarda e tradição interagem em sua atuação, que utiliza a excelência da joalheria artesanal e sofisticados processos industriais para conceber joias à semelhança de objetos esculturais.

O início das criações de Antônio Bernardo foram com a manipulação de modelos conceituais. Papel, metal, fios, chapas e toda a ordem de materiais maleáveis funcionam como instrumentos de experimentação e simulação das dobras, vincos, inflexões, movimentos e encaixes recorrentes em seu design. Após a experimentação, o artista aplica a forma escolhida no material definitivo. Os materiais utilizados pelo artista são: ouro, prata, diamante, gemas de cor e orgânicas.

Em especial, um dos trabalhos de Antonio Bernardo chama à atenção por apresentar um alto nível de complexidade de encaixe, o anel chamado Puzzle, o qual segue a letra A da Figura 22. A peça foi confeccionada, primeiramente, em ouro amarelo 18K, e funciona como um quebra-cabeça em três dimensões, compõe-se de partes assimétricas, duas a duas, que se encaixam. A última peça a ser colocada funciona como uma chave, atravessando a joia de ponta a ponta. Assim, quando usado, o anel permanece travado (RIGHETTO, 2007).

No ano de 2006 este anel recebeu um dos maiores prêmios internacionais do design, o *IF Design Award*, na Alemanha. No site de Antonio Bernardo o anel Puzzle em ouro amarelo 18K encontra-se à venda sob medida pelo valor de R\$15.980,00. Em prata 925 encontra-se à venda pelo valor R\$2.980,00.

Em 2011 o artista criou outra versão, o Puzzle Curvo (letra B da Figura 22), o qual foi confeccionado, primeiramente, em prata 925. Esta versão também passa pelo processo de montagem e desmontagem assim como a anterior. Este último recebeu o prêmio *Red Dot Design Award*, também na Alemanha. No site do artista o Puzzle Curvo em prata 925 encontra-se à venda pelo valor R\$2.980,00. Em ouro amarelo 18K, ouro branco 18K e ouro rosa 18K, encontra-se à venda pelo valor R\$18.750,00.



Figura 22: (A) Anel Puzzle em ouro amarelo 18K (Fonte: modificado de Magtaz, 2008);
(B) Anel Puzzle Curvo em prata 925 (Fonte: modificado de www.antoniobernardo.com.br).

2.4.2 Camila Tessmann - descartes de opala e ágata

Camila Tessmann é designer e, no ano de 2009, concluiu sua dissertação de mestrado na área de reaproveitamento de rejeitos minerais. A pesquisa teve como objetivo estabelecer um método de beneficiamento por usinagem CNC dos rejeitos de opala e ágata oriundos do Distrito de Salto do Jacuí/RS. O intuito era agregar valor pelo design e tecnologia nestes materiais não aproveitados (TESSMANN, 2009).

No Rio Grande do Sul, os garimpos de pedras preciosas estão distribuídos em duas regiões principais: Distrito de Ametista do Sul/RS (maior produtor de ametista) e Distrito de Salto do Jacuí/RS (maior produtor de ágata) (BRANCO & GIL, 2002).

Tanto em Ametista do Sul quanto em Salto do Jacuí são explorados geodos, parcial ou totalmente preenchidos por camadas de ágata, quartzo incolor, ametista, calcita e opala. O processo de extração desses geodos gera grande quantidade de rejeitos não aproveitados, como mostra a Figura 23. Estes rejeitos são compostos tanto pela rocha portadora do minério como por minério de baixa qualidade (TESSMANN, 2009).



Figura 23: Depósito de rejeito de opala branca (Fonte: Tessmann, 2009).

No município de Soledade concentram-se as principais empresas de beneficiamento e comércio dos materiais gemológicos explorados no Rio Grande do Sul. No entanto, a maior parte dos objetos produzidos se repete nas diversas indústrias beneficiadoras, sem diferencial no design das peças (TESSMANN *et al.*, 2009).

A introdução de novas tecnologias neste setor, como a usinagem CNC, por exemplo, pode auxiliar no reaproveitamento dos materiais descartados, incluindo métodos de beneficiamento que modificam sua aparência. Nesta perspectiva, considera-se que a fabricação por CNC, ao lado do desenvolvimento do design de produto, é um dos impulsionadores da evolução tecnológica (SILVA *et al.*, 2009).

Camila propõe-se a auxiliar no reaproveitamento destes materiais descartados ao modificá-los através da usinagem CNC e valorizá-los como objeto de adorno sob a forma de camafeu. Camafeu é um objeto constituído de um desenho em relevo, em materiais compostos por camadas em cores diferenciadas, ou seja, é uma gema entalhada ou esculpida (SCHUMANN, 2006).

Através do escaneamento tridimensional a laser, a imagem de uma face humana foi capturada (Figura 24) e aplicada em opala e ágata através da usinagem CNC.

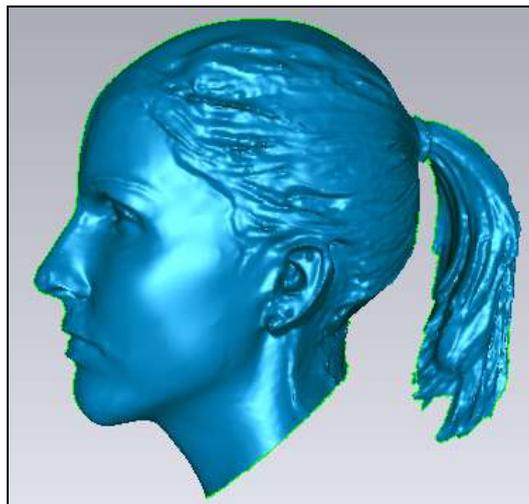


Figura 24: Face humana capturada por scanner 3D (Fonte: Tessmann, 2009).

Após a seleção do perfil, a imagem foi transferida para o *software* CAM a fim de definir o volume e os parâmetros de usinagem, para então ser usinada nas amostras escolhidas. O processo envolveu a utilização de quatro fresas diferentes e seis programas de usinagem para cada ferramenta. Algumas fresas foram utilizadas mais de uma vez durante o processo, a fim de aprimorar o acabamento. A simulação mostra o resultado pretendido para o produto final (letra A da Figura 25).

O objetivo foi utilizar um perfil humano captado com detalhamento preciso e utilizar a alta tecnologia disponível para criar produtos exclusivos e diferenciados, valorizando a matéria prima, neste caso, a opala branca e a ágata (TESSMANN, 2009).

A letra B da Figura 25 mostra o resultado final em dois tamanhos diferentes, no entanto, não são especificados valores de mercado caso os camafeus sejam produzidos industrialmente e comercializados.

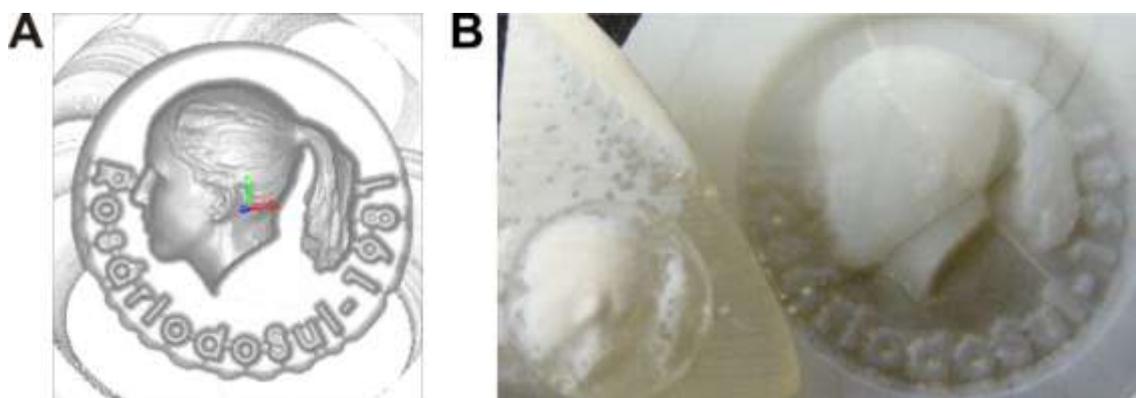


Figura 25: (A) Simulação 3D de camafeu; (B) Camafeus usinados em opala e ágata.

(Fonte: modificado de Tessmann, 2009)

2.4.3 Cerâmica Atlas - rejeitos industriais e padrões modulares

Há 40 anos a empresa Cerâmica Atlas, localizada na cidade de São Paulo, produz pastilhas de porcelana de pequenos formatos para ambientes internos e externos. Os produtos são divididos em coleções ou linhas, as quais oferecem cores, tamanhos, formatos e composições diversas de acordo com a necessidade de cada projeto.

A Linha Suprema REC-65 (Figura 26) possui um diferencial se comparada aos produtos existentes atualmente no mercado de revestimentos cerâmicos. Trata-se de um produto que segue exigências técnicas em defesa do meio ambiente, desenvolvido a partir do reaproveitamento de resíduos da própria produção (ESTRADA, 2011).

Projetos como este visam minimizar o desperdício de matéria prima e incentivar a produção mais limpa. Para tanto, a empresa custeou uma equipe de pesquisadores que, ao longo de dois anos, desenvolveram um composto de 65% de componentes oriundos dos descartes e resíduos da própria empresa. Dentre os descartes encontram-se sobras de revestimentos cerâmicos, pastilhas de porcelana e pedaços de bandejas refratárias.

De acordo com informações disponíveis no site oficial da empresa (<http://www.ceratlas.com.br>), as transformações físico-químicas atingidas permitem agrupar restos de produtos que, sob temperatura acima de 1.300°C, são transformados em uma nova pasta. O resultado é a formação de um novo corpo cerâmico apto a transformar-se novamente em pastilhas.



Figura 26: Linha Suprema REC 65 (Fonte: www.ceratlas.com.br).

As pastilhas não apresentam expansão por umidade, possuem alta resistência à abrasão e baixíssima absorção, podendo ser utilizadas em áreas externas como fachadas, por exemplo. A utilização de altas temperaturas para a confecção da nova pasta, em combinação com colorantes em ciclos de queima longos, oferece dezenove tons diferentes que variam entre branco, rosa, azul e marrom.

Atualmente a Linha Suprema está disponível no mercado em vários revendedores, dentre eles a empresa Ibiza Acabamentos, onde os módulos com dimensões de 2,5 x 2,5 cm (LxA) estão à venda pelo valor de R\$516,79 o m².

2.4.4 Heloisa Crocco - descartes de madeira e padrões modulares

Heloísa Crocco é artista plástica e formou-se pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Após uma viagem à Floresta Amazônica, mudou o rumo do próprio trabalho. Heloísa passou a dedicar-se aos temas inspirados na natureza. Através da madeira, e dos nós que ela apresenta, a artista desenvolve superfícies e texturas para aplicação em diferentes suportes (NEMER, 2010).

Pequenos pedaços de madeira são submetidos a jatos de areia. A parte macia se solta quando em contato com o jato, já a parte mais rígida, permanece no formato e posição originais. Este processo cria um efeito que salienta os desenhos dos veios, formando diferentes texturas, como mostra a letra A da Figura 27.

Posteriormente, estes pequenos pedaços de madeira são transformados em carimbos que, pelo sistema de carimbagem por repetição, criam padronagens para aplicação em diferentes superfícies.

Nesta perspectiva, entende-se repetição como todo o processo que de alguma forma repete o já existente no universo de formas e/ou o procedimento que estabelece uma sistemática absoluta, ou seja, o processo cumulativo, em que os elementos acrescentam-se uns aos outros (CATTANI, 2004). A letra B da Figura 27 mostra alguns exemplos de carimbos com diferentes tamanhos e desenhos.

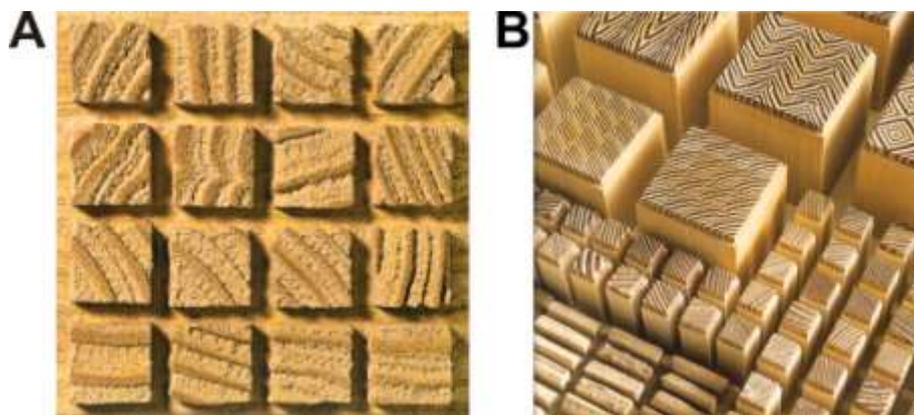


Figura 27: (A) Texturas dos veios; (B) Carimbos (Fonte: modificado de Nemer, 2010).

Topomorfose é o nome dado por Heloisa tanto para a pesquisa quanto para a linha de produtos. Com a linha Topomorfose Heloisa desenvolve inúmeros desenhos gerados a partir da variação e da justaposição dos carimbos, que formam matrizes. Como trata-se de montagem artesanal, as superfícies geradas são peças únicas.

Suas imagens funcionam como multimódulos, reproduzidas em estampas impressas. O efeito de propagação da textura sobre a superfície dá-se pela contigüidade, ritmo, cor e equilíbrio de pesos visuais das texturas (RÜTHSCHILLING, 2008). As letras A e B da Figura 28 mostram um exemplo em papelaria.

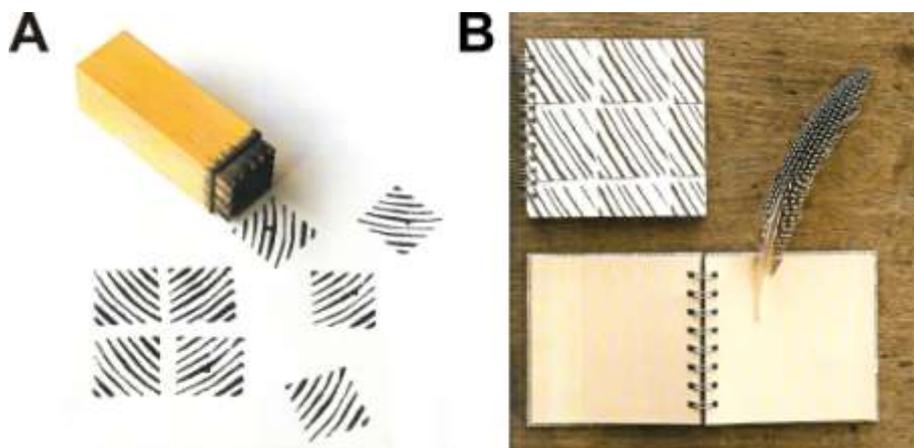


Figura 28: (A) Carimbo; (B) Aplicação do carimbo em papelaria (Fonte: modificado de Nemer, 2010).

No trabalho de Heloisa todas as sobras são reaproveitadas. As aparas de madeira são recortadas em triângulos de diferentes medidas que, quando postos lado a lado, criam uma superfície tridimensional. Primeiramente, Heloisa desenvolve esboços que nortearão a composição das superfícies. Em seguida, distribui os pequenos triângulos seguindo o esboço ou desenho escolhido. Desta forma, constrói painéis de madeira, como mostra a simulação tridimensional na letra A da Figura 29.

Atualmente, um painel de madeira como este, pertencente à série Textura, nas cores naturais da madeira, nas dimensões 71x71x5cm (LxAxP), pode ser adquirido no atelier de Heloisa Crocco – Crocco Studio Design – pelo valor de R\$2.078,00.

Além da madeira, Heloisa também trabalha com outros materiais. Por vezes, as madeiras são justapostas ao lado de pedaços triangulares de pedra-sabão, diversificando ainda mais as possibilidades cromáticas (letra B da Figura 29). Pedra sabão é o nome popular de uma rocha metamórfica chamada esteatito (QUINTAES, 2004).

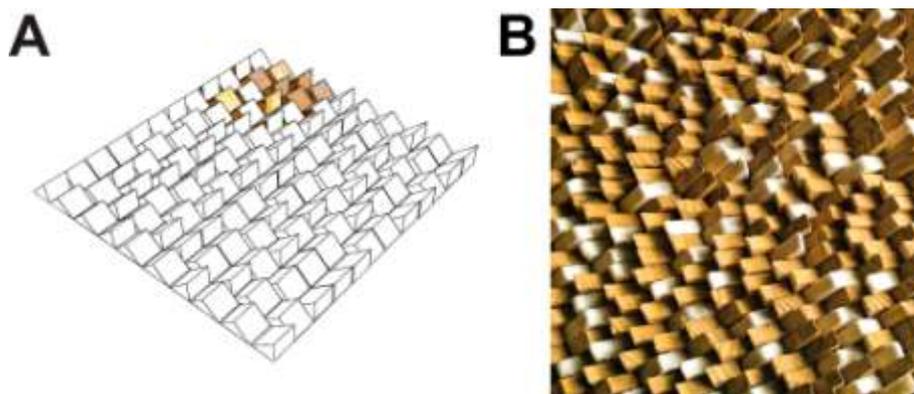


Figura 29: (A) Simulação 3D de painel de madeira; (B) Justaposição de madeiras e minerais.

(Fonte: modificado de Nemer, 2010)

Cabe destacar que o projeto Topomorfose recebeu o prêmio *Top XXI Design Brasil 2011*, em São Paulo, na categoria Conceito. Este prêmio tem como foco identificar o rumo e a abrangência do design no Brasil. Além disso, também tem como objetivo reconhecer e valorizar os profissionais e as empresas atuantes no mercado, fortalecendo o design nacional e ampliando a sua visibilidade.

Outra matéria prima também utilizada por Heloisa são as madeiras descartadas de antigos aramados. Os aramados, quando em utilização, servem para cercar e dividir terrenos. Por dentro de cada tronco de madeira passam fios de arame, os quais, ao longo do tempo, danificam de forma significativa a madeira. A artista tira proveito das imperfeições do tempo, compondo painéis que se transformam em quadros e divisórias.

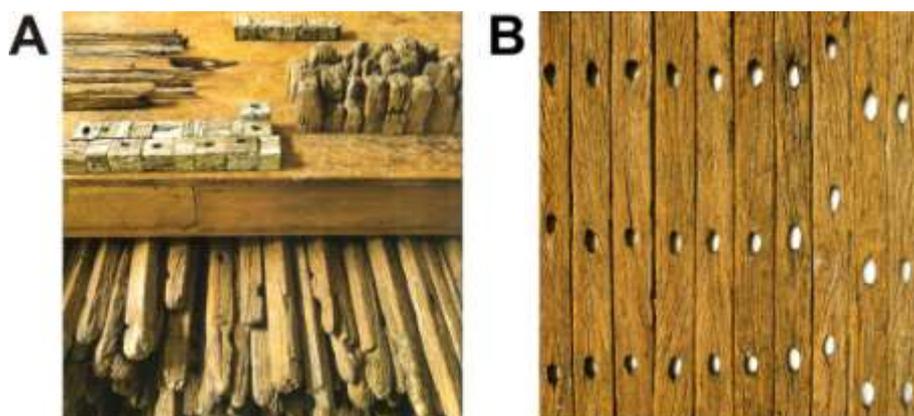


Figura 30: (A) Madeiras descartadas (Fonte: modificado de Nemer, 2010);

(B) Quadro feito a partir de rejeitos (Fonte: modificado de www.croccostudio.com).

2.4.5 Irmãos Campana - descartes de madeira e padrões modulares

Os irmãos Campana são profissionais brasileiros reconhecidos nacional e internacionalmente. São os únicos brasileiros com peças no acervo do *Museum of Modern Art* - MoMA-, em Nova Iorque. Também possuem peças no Museu de Artes Decorativas de Paris, ao lado dos maiores nomes do design do mundo. Os irmãos são conhecidos por mostrarem a relevância do trabalho manual, e dos materiais inusitados, principalmente aqueles considerados lixo (CAMPANA, H. & CAMPANA, F., 2009).

Sem dúvida, a essência brasileira faz parte do repertório geral de formas que servem de referência para as criações de Humberto e Fernando Campana. Os materiais não convencionais, as cores fortes e as formas inusitadas chamam a atenção (CHIARELLI, 2000), e conferem à dupla uma personalidade inconfundível.

A letra A da Figura 31 mostra a versão original da cadeira Favela que, como o próprio nome sugere, foi inspirada nas favelas brasileiras, com retalhos colados de forma assimétrica. Este primeiro exemplar foi confeccionado a partir de restos de madeira encontrados na rua, no intuito de mostrar que a reutilização de materiais tipicamente rejeitados pode adquirir nova forma e função. As dimensões desta peça são: 110x110x100 cm (LxPxA).

Atualmente este móvel é produzido pela fábrica italiana Edra. No entanto, foram realizadas algumas modificações estruturais para adaptação de produção e mercado. Hoje a cadeira é produzida com sarrafos de madeira com certificação ambiental, e as medidas foram adaptadas para 63 x 75 x 61 cm (LxAxP), como pode ser conferido na letra B da Figura 31. No Brasil a cadeira está à venda na Firma Casa por R\$6.900,00.



Figura 31: (A) Cadeira Favela original (Fonte: modificado de Chiarelli, 2000);
(B) Cadeira Favela fabricada pela Edra (Fonte: modificado de Bürdek, 2006).

2.4.6 Maurício Azeredo – descartes de madeira e padrões encaixáveis

Maurício nasceu em Macaé, litoral do Rio de Janeiro, em 1948. Em 1951, os pais abdicaram da vida interiorana em prol das oportunidades de estudo que a capital paulista traria para seus filhos. Ainda criança, Maurício se lembra de observar atentamente um sapateiro italiano na lida de cortar, enformar e costurar o couro, ou o trabalho em madeira de dois marceneiros espanhóis. Ali nascia uma paixão pelo construir, transformar e produzir com as próprias mãos.

Mais tarde, de 1969 a 1973, Maurício cursou arquitetura no Instituto Mackenzie, em São Paulo. Durante a faculdade trabalhou em diversos escritórios de arquitetura, colaborando principalmente em projetos de edifícios e em design de objetos. Em 1973 abriu seu primeiro escritório de arquitetura em parceria com o colega Adriano Di Mase. Em 1974, num escritório próprio, Maurício montou uma marcenaria. Além de madeiras virgens, como o pinho, Maurício reutilizava madeiras de demolição e de móveis antigos que tivessem alguma tonalidade diferente (BORGES, 1999).

De acordo com o artista, “a criação prova que não é preciso romper com o passado para ser atual”. Neste âmbito, Maurício estuda e recupera métodos antigos de marcenaria, combinando-os com o desenvolvimento de novas tecnologias no intuito de criar um diálogo entre ambos. Cultiva especialmente um respeito reverencial à madeira.

A letra A da Figura 32 mostra a cadeira Taboa, executada a partir de tiras de madeiras resultantes dos cortes em serra, em geral jogadas fora pelas marcenarias. Estas tiras são agregadas por colagem e prensagem. A individualização do desenho, a escolha das madeiras e das cores está enraizado no trabalho do artista (letra B da Figura 32).

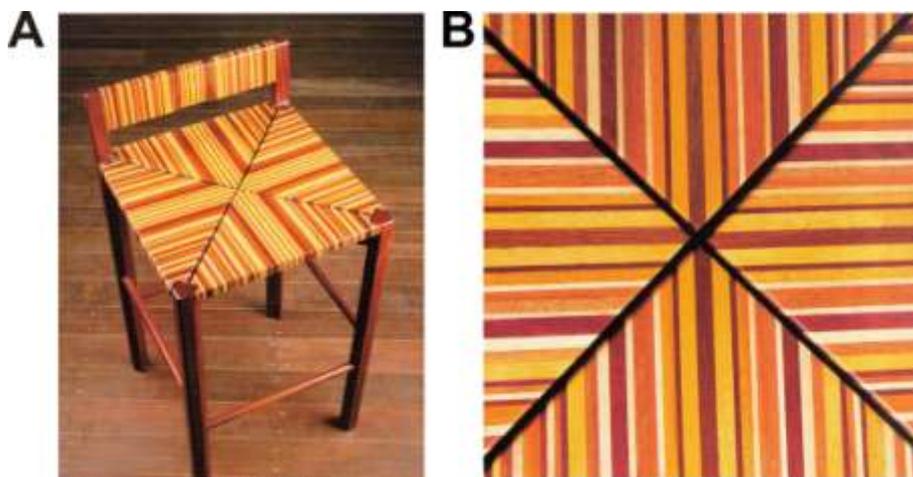


Figura 32: (A) Cadeira Taboa; (B) Detalhe cadeira Taboa (Fonte: modificado de Borges, 1999).

Em 1977 Maurício passou a dar aulas no curso de arquitetura da UnB. Passou a pesquisar as estruturas construtivas da arquitetura brasileira. Chegou às construções em madeira que são fundamentadas basicamente de encaixes. Isso o levou a pesquisar a carpintaria japonesa, também predominantemente formada de encaixes articulados.

Para fugir das limitações da academia, em 1983 instalou novamente seu ateliê e oficina em Pirenópolis, cidade próxima à Brasília. Ali desenvolveu, entre 1984 e 1985, um sistema construtivo que lhe valeu uma patente. O sistema é baseado em uma junta tridimensional engastada, de onde vem o nome com que o batizou: junta tridimensional (letra A da Figura 33). Tal processo permite a elaboração de móveis com partes encaixadas de forma rígida entre si, de tal forma que garanta a estabilidade. As peças de madeira que compõem o móvel são fixadas e travadas entre si por encaixes mútuos, dispensando o uso de fixadores convencionais, como pregos e parafusos. O engaste gera a estrutura, que é sempre deixada visível e participa plasticamente da peça (BORGES, 1999). A letra B da Figura 33 mostra um exemplo de mesa com a junta tridimensional.

Para tanto, de um lado há o anseio pelo domínio técnico e o cuidado com a precisão, por outro lado, há o suporte da estrutura e o produto industrial (BORGES, 1999). Seu mérito é ter sido o primeiro designer a explorar a diversidade de cores e texturas das madeiras brasileiras. Muitas vezes, agregou aos móveis o uso de rochas, como granito e arenito (CERELLO, 2004).

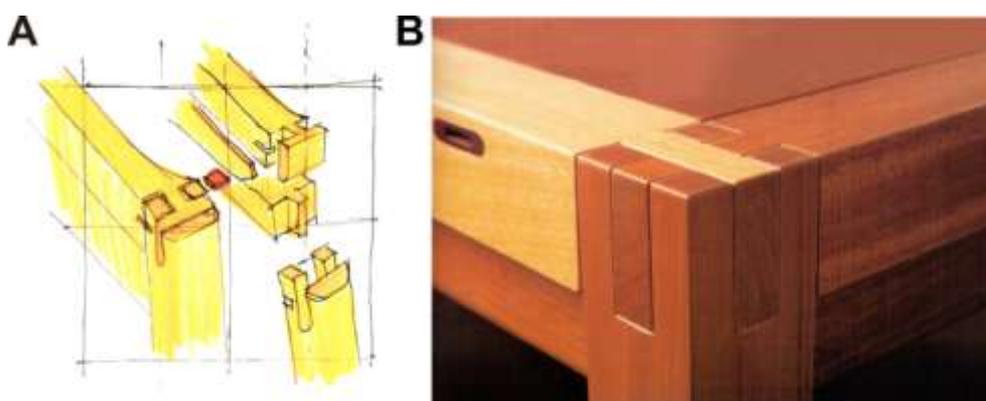


Figura 33: Junta tridimensional; (B) Mesa de centro com junta tridimensional.

(Fonte: modificado de Borges, 1999)

Atualmente, Maurício dedica-se à carreira docente, é professor da universidade PUC - Goiás, onde ministra aulas no curso de Design. O atelier de Maurício passa por uma fase transitória de transferência de Pirenópolis para Goiânia, atual sede. Por este motivo, não foi possível obter o orçamento das peças citadas anteriormente.

2.4.7 Análise dos estudos de caso

Os estudos de caso permitiram compreender a trajetória percorrida por estes profissionais e, principalmente, o modo como seus projetos foram conduzidos. As informações adquiridas puderam ser observadas de maneira pontual e objetiva, permitindo inclusive destacar pontos de maior relevância.

Com exceção de Antônio Bernardo, todos os profissionais citados utilizaram no desenvolvimento de seus projetos o reaproveitamento de materiais descartados. Os descartes variam entre rejeitos de origem industrial, como as pastilhas confeccionadas a partir das sobras cerâmicas da própria produção; e rejeitos de origem doméstica, como as madeiras de aramados de propriedades particulares que geram painéis. Independente da origem, o produto final pode ser inteiramente confeccionado a partir dos descartes, como o caso da cadeira Favela; ou estes descartes podem ser associados a materiais de outras origens, como o caso dos móveis de Maurício Azeredo, construídos a partir da combinação de madeiras virgens e ripas descartadas por marcenarias.

Dentre os rejeitos, notoriamente destaca-se a madeira, que pode ser considerada uma das matérias primas mais (re)utilizadas quando trata-se de projetos que visam prolongar a vida útil dos materiais. Além disso, a madeira é um material de fácil manuseio e pode ser aplicada em diversos tipos de produtos.

Dentro do âmbito desta pesquisa, localizou-se apenas um projeto que visa o reaproveitamento de rejeitos minerais, que é o caso dos camafeus produzidos a partir de descartes de ágata e opala. Também localizou-se apenas um projeto que visa associar rejeitos de madeiras a rejeitos minerais, que é o caso dos painéis de Crocco.

Sabe-se que um produto confeccionado a partir do “lixo” deve ter um rigor muito maior de acabamento se comparado a um produto confeccionado a partir da matéria prima virgem. Em geral, os materiais descartados requerem tratamentos especiais, além de ser um desafio para os projetistas, que se propõem a trabalhar com uma matéria prima irregular e inconstante. Ainda assim, há exceções, como o caso dos painéis de aramados, onde as marcas do tempo são, exatamente, o diferencial.

Com exceção de Camila Tessmann, todos os profissionais citados aplicaram no desenvolvimento de seus projetos, diferentes técnicas de encaixe e/ou padrões modulares. Os padrões modulares variam de formas simples que se repetem de maneira simétrica e regular; passando pelas formas tridimensionais que se repetem ordenadamente em posições diferentes; até as formas múltiplas que se repetem de maneira assimétrica e aleatória.

Já as técnicas de encaixe, são comumente encontradas no mercado em formas simples de união e, na maioria das vezes, bidimensionais. Nos estudos de caso selecionados - aneis Puzzle de Antônio Bernardo e Junta tridimensional de Maurício Azeredo -, ao contrário das técnicas normalmente encontradas no mercado, nota-se formas de união complexas e tridimensionais. Ambos os projetos se destacam de tal maneira que foram reconhecidos por seus diferenciais. A técnica desenvolvida para os aneis Puzzle rendeu duas premiações internacionais para Antônio Bernardo. Já a técnica desenvolvida para a Junta tridimensional, rendeu ao artista uma patente de criação.

Os estudos de caso permitiram não só observar as características gerais dos projetos citados, como também detectar pontos carentes de inovação que podem ser aperfeiçoados. Além disso, também pretende-se manter características já existentes no desenvolvimento de um conjunto de painéis de revestimentos.

Dentro do alcance desta pesquisa, notou-se que, raramente encontram-se produtos destinados à área de revestimentos que sejam oriundos do reaproveitamento de rejeitos industriais, com exceção dos casos da Cerâmica Atlas e Heloisa Crocco. No entanto, a Cerâmica Atlas propõe-se a realizar o reaproveitamento apenas de sobras cerâmicas. Já Heloisa Crocco, propõe-se, assim como o caso desta pesquisa, a realizar o reaproveitamento de rejeitos de madeiras e minerais. Especificamente, o mineral esteatito seria associado à madeira em um mesmo produto. Contudo, até o presente momento, não foram encontrados projetos destinados à área de revestimentos que visam reaproveitar rejeitos de ágata e cedro, criando painéis que são construídos de cada uma destas matérias primas separadamente. Encontrou-se aqui um nicho a ser explorado.

Percebe-se também que, os rejeitos podem ser associados a materiais de outras origens; que é possível obter um bom acabamento mesmo utilizando rejeitos; e que técnicas artesanais podem coexistir ao lado de técnicas industriais em prol do desenvolvimento de produtos em escala semi-industrial. Constatou-se também que, os projetos desenvolvidos a partir de técnicas de padrões modulares, têm um forte apelo de desenhos abstratos, porém, deixam a desejar no quesito desenhos figurativos.

Desta forma, constatou-se a oportunidade de desenvolvimento de um conjunto de painéis de revestimento em escala semi-industrial, feitos a partir de rejeitos de ágata e cedro, construídos a partir de padrões modulares encaixáveis que seguem desenhos figurativos. Todos estes aspectos colaboram para o desenvolvimento de uma nova linha de produtos com novos conceitos de materiais e formas, além do referencial estético-formal autêntico ligado às obras de Escher e da inserção de tecnologias inovadoras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados nesta dissertação. Nele estão inseridos os assuntos inerentes aos materiais naturais no RS e aos processos de fabricação inovadores. Dentro do tópico ‘materiais naturais no RS’ são abordadas as propriedades dos materiais selecionados e também a origem e o contexto dos resíduos industriais utilizados para esta pesquisa. Nesta etapa, o acrílico não foi mencionado, uma vez que é utilizado apenas com fins experimentais para obtenção dos módulos. No tópico ‘processos de fabricação inovadores’ são abordadas as características das três tecnologias escolhidas.

3.1 MATERIAIS NATURAIS NO RS

Esta etapa teve por objetivo o estudo dos materiais selecionados para a realização desta pesquisa. Conhecer as propriedades dos materiais tornou-se importante uma vez que as características estudadas auxiliaram a compreender o comportamento do material e o seu potencial. Reconhecer as particularidades de cada um significa poder direcioná-lo para o processamento adequado de acordo com o fim que se deseja obter.

Atualmente, o número de materiais disponíveis no mercado é extenso, quase incontável se levarmos em consideração que inúmeros gêneros são descobertos a cada dia. Considerando esta dimensão e complexidade, faz-se necessário classificar os diferentes tipos de materiais por grupos, tornando a seleção mais clara e objetiva no que tange ao caminho percorrido para tal escolha.

A Figura 34 mostra uma classificação que divide os materiais em cinco diferentes famílias: cerâmicos, metais, naturais, polímeros sintéticos e compósitos. Cada uma destas famílias possui suas respectivas subdivisões. No entanto, o interesse deste trabalho converge para as informações relativas aos materiais naturais. Dentro deste contexto, materiais naturais são aqueles extraídos da natureza pelo homem, seja esta extração planejada ou não, desde que a sua utilização não modifique a constituição básica do material (LIMA, 2006).

Dentro da classificação de materiais naturais, podemos subdividi-los em: fibras, madeiras, minerais e outros. Estes materiais podem ser considerados tradicionais e de comum utilização, como por exemplo, na indústria têxtil, civil e joalheira respectivamente. Existem outros tipos de materiais naturais, porém, menos tradicionais do que os citados anteriormente, que são: âmbar, chifre, coral, pérola, osso, semente, escama de peixe, etc.

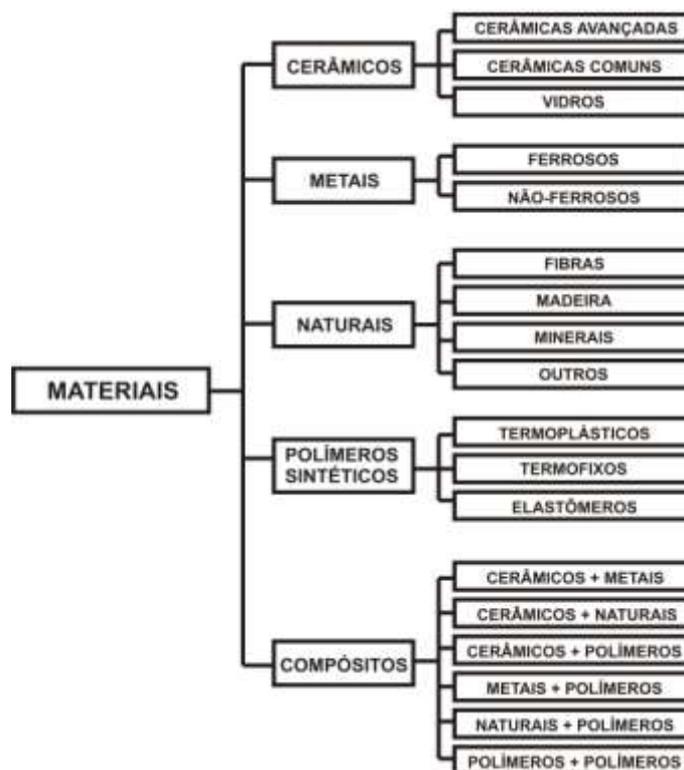


Figura 34: Classificação dos materiais (Fonte: Lima, 2006).

Os materiais naturais podem ser de origem orgânica ou inorgânica. Os materiais de origem orgânica provêm de animais e vegetais. Já os de origem inorgânica, provêm de minerais e rochas (IBGM, 2001).

Na classificação de materiais naturais, optou-se por trabalhar com minerais e madeiras. Para especificar ainda mais este estudo, no grupo dos minerais optou-se por trabalhar com a ágata, e no grupo das madeiras optou-se pelo cedro. Como visto anteriormente, pode-se concluir que a ágata, faz parte do grupo de materiais de origem inorgânica, pois é uma calcedônia (Classe: silicatos; Espécie: quartzo criptocristalino). Já o cedro, faz parte do grupo de materiais de origem orgânica, pois é uma árvore frondosa (Família: Meliaceae; Gênero: Cedrela; Espécie: *Cedrella fissilis*).

Dentro deste contexto, os materiais naturais são considerados os primeiros a serem modificados pelo homem, sendo utilizados até hoje. Contudo, desde o aparecimento dos primeiros materiais sintéticos, os materiais naturais, em muitos casos, estão sendo substituídos. Os motivos para tal substituição são diversos, desde diferentes propriedades até custos de produção, que estão ligados à trabalhabilidade e à empregabilidade dos diferentes materiais. Por outro lado, com o crescimento dos problemas ambientais, os materiais naturais vêm se destacando em virtude de alguns serem renováveis.

A renovação pode ser tanto natural, como a própria evolução da natureza e de suas reservas, quanto programada, como o reflorestamento de espécies vegetais. Além do que, alguns materiais naturais possuem excelente capacidade de serem reabsorvidos pela natureza quando descartados, como madeiras de rápida degradação (LIMA, 2006).

Nesta perspectiva, o Rio Grande do Sul é um estado gerador de grande variedade de recursos naturais, os quais possuem alto valor comercial. Faz-se necessário conhecer o potencial destas riquezas, com o objetivo de contribuir com o estado em termos econômicos e sociais, visando diferentes possibilidades de utilização destas matérias primas (MAINIERI & CHIMELO, 1989).

Neste sentido, vale reiterar que os gêneros escolhidos têm por característica a predominância de suas ocorrências no Rio Grande do Sul, como a ágata por exemplo. O estado é, também, grande cultivador de cedro, sendo mais comum a espécie *Cedrella fissilis*. Um dos principais objetivos da pesquisa é justamente este, a valorização de matérias primas que têm o maior número de ocorrências no Rio Grande do Sul. Finalizadas as informações gerais, parte-se para os dados específicos de cada material.

3.1.1 Ágata - propriedades e contexto no estado

Grande parte dos estados brasileiros produzem algum tipo de material gemológico. Estes materiais se destacam por uma série de motivos, principalmente pela qualidade, variedade, dimensões dos minerais e extensão territorial das áreas de ocorrência. É neste contexto que o Brasil é (re)conhecido como uma das maiores Províncias Gemológicas do planeta (SVISERO & FRANCO, 1991).

A Figura 35 mostra um mapa que destaca as principais áreas de produção de gemas no Brasil. Nota-se que as regiões nordeste, sudeste e sul possuem um maior número de ocorrências de gemas se comparadas às regiões norte e centro-oeste.

A região sul do Brasil é considerada um dos maiores polos de extração mineral do país. As ocorrências de ametista e ágata apontam em maior quantidade para o estado do Rio Grande do Sul se comparadas aos outros estados. A ametista e a ágata estão representadas na legenda pelo círculo preto e branco respectivamente.

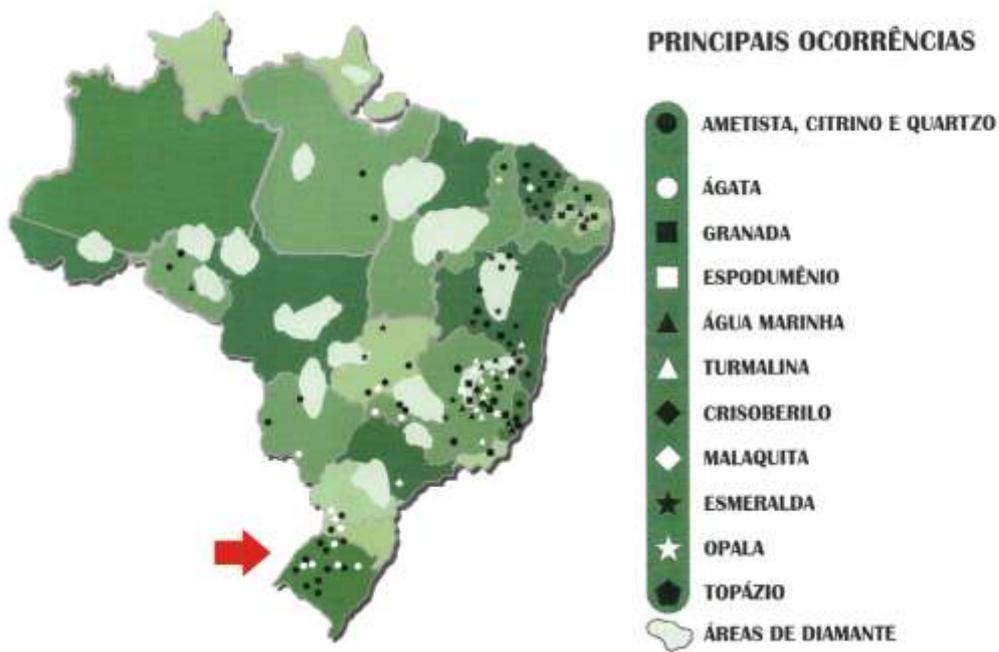


Figura 35: Mapa geológico brasileiro (Fonte: modificado de IBGM, 2001).

Outros minerais também são encontrados no RS, porém, em menor quantidade, dentre eles estão: quartzo rosa, opala, ônix e jaspe (JUCHEM *et al.*, 2004). A Figura 36 mostra de forma mais detalhada os minerais encontrados no estado, com destaque para as regiões nordeste, noroeste e sudoeste – zona de ocorrência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral – onde há o maior número de ocorrências e algumas jazidas. Destaca-se novamente a ametista e a ágata que, se comparadas aos outros minerais, ocorrem em maior quantidade no estado.

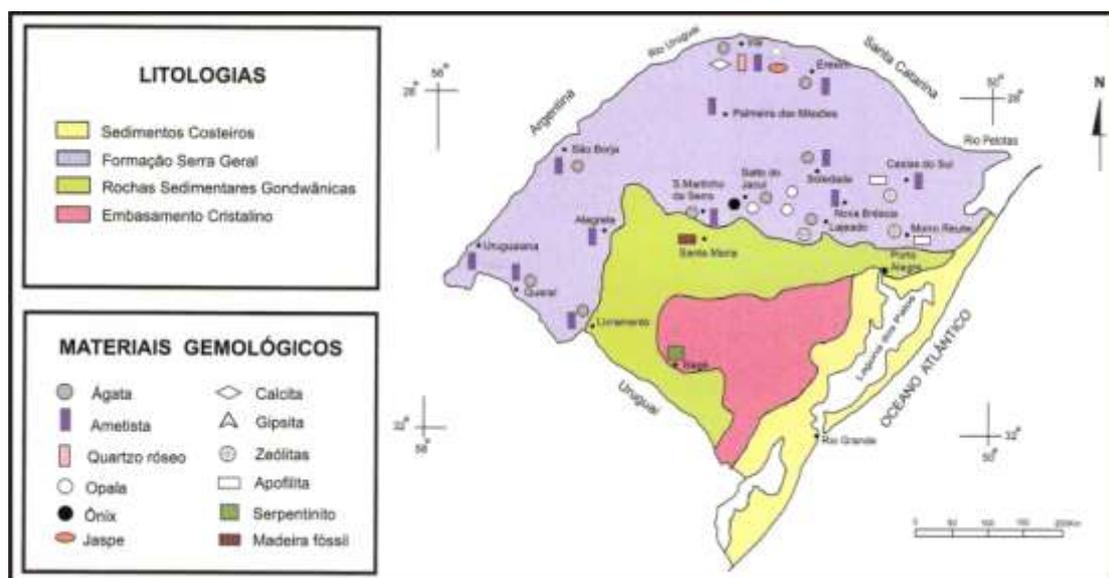


Figura 36: Materiais gemológicos no RS (Fonte: modificado de Juchem *et al.*, 2004).

Um dos principais depósitos de ágata que se tem conhecimento está localizado na região central do estado, em uma área denominada Distrito de Salto do Jacuí. No ano de 2007 os depósitos em Salto do Jacuí eram explorados através da atividade garimpeira em uma área de aproximadamente 100 km², onde existiam cerca de 150 frentes de lavras. Já no ano de 2010 restaram somente três garimpos em operação, no entanto, o volume e a quantidade de material produzido ainda fazem deste distrito um dos maiores fornecedores deste material gemológico para o mercado internacional, na maioria das vezes exportando a matéria prima ainda em estado bruto (JUCHEM *et al.*, 2007).

Segundo matéria publicada no Jornal Correio do Povo na data de 07 de dezembro de 2010, uma ação do IBAMA autuou e interditou temporariamente empresas mineradoras e pequenas empresas que atuam no beneficiamento de ágata no município de Salto do Jacuí. Esta operação ocorreu na mesma data da publicação desta matéria. De acordo com o engenheiro Tarso Isaia, chefe do Escritório Regional do IBAMA em Santa Maria, as principais irregularidades foram a falta de licenciamento ambiental e a não recuperação de danos provocados pela atividade de extração (BINDÉ, 2010).

No entanto, Ilton Larri Costa, atual prefeito do município, informou que o processo de licenciamento já foi encaminhado à FEPAM no mês de maio de 2010, no entanto, ainda sem retorno deste órgão. Costa complementa informando que a interdição deve afetar de 400 a 500 pessoas, uma vez que o garimpo e o beneficiamento têm representação expressiva na geração de emprego e de renda para as famílias da região.

A ágata é a segunda gema de maior ocorrência no estado, ficando atrás apenas da ametista. No entanto, os produtos desenvolvidos pelas empresas que trabalham com a ágata no estado, de forma geral, apresentam baixo grau de inovação e design (BARP, 2009). Estas informações foram de vital importância para a escolha da ágata como o material que será utilizado na parte prática deste estudo.

As tecnologias utilizadas e os objetos produzidos tornam-se obsoletos diante do potencial que este material possui. As pesquisas em design direcionadas ao beneficiamento da ágata são escassas, deixando em aberto inúmeros pontos a serem aprofundados (TESSMANN, 2009). Com base nesta afirmativa, no contexto geográfico, e na importância deste mineral em termos econômicos e regionais, optou-se então por trabalhar com o beneficiamento da ágata, especialmente os rejeitos descartados no formato de chapas, uma vez que este é o tipo de corte mais utilizado pelas fábricas.

Mineral é um constituinte natural, inorgânico e sólido. A maioria dos minerais tem composição química e estrutura cristalina definida. O quartzo é um mineral de composição química idêntica ou semelhante ao dióxido de silício (SiO_2). Ele pode ser dividido em duas subespécies: quartzo macrocristalino e quartzo microcristalino. A primeira subespécie caracteriza-se por possuir cristais visíveis a olho nu, já a segunda subespécie caracteriza-se por possuir cristais visíveis somente com o auxílio de microscópio. Este último também é conhecido como calcedônia (SCHUMANN, 2006).

Calcedônia é o nome dado a um grupo de variedades compactas da sílica, as quais são compostas por cristais de quartzo. A cor varia de acordo com as impurezas. No geral esses materiais podem ser divididos em calcedônia, na qual a cor é uniforme, e em ágata, na qual as cores são distribuídas de acordo com as diferentes bandas de crescimento (DEER *et al.*, 1966). A ágata é considerada uma das variedades mais importantes em termos comerciais dentro do grupo das gemas originadas a partir da calcedônia (IBGM, 2001).

Estrutura cristalina é a forma como estão espacialmente ordenados os átomos ou moléculas que constituem um sólido. A ágata possui sistema cristalino trigonal (Figura 37), ou seja, a seção transversal da base do prisma é formada a partir de três lados. As formas típicas do sistema trigonal são: prismas e pirâmides trigonais, romboedros e escalenoedros (SCHUMANN, 2006).

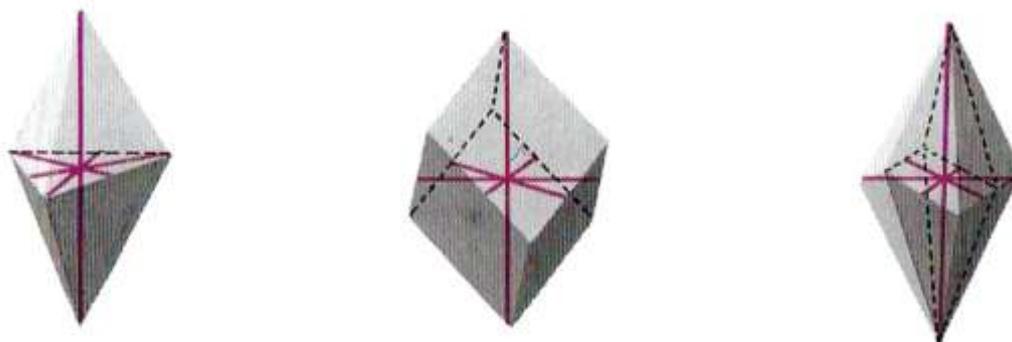


Figura 37: Formas do sistema cristalino trigonal (Fonte: Schumann, 2006).

A ágata possui dureza de 6,5 a 7 na escala Mohs, esta dureza é considerada de média a alta, uma vez que o maior valor da escala é 10. O topázio, o coríndon e o diamante possuem dureza 8, 9 e 10 respectivamente, ou seja, são minerais capazes de riscar a ágata uma vez que possuem maior dureza (IBGM, 2001).

Para a medição da densidade de um material usa-se uma escala de 1 a 8. Valores abaixo de 2 são considerados leves, valores entre 2 e 4 são considerados normais, e valores acima de 4 são considerados pesados. A ágata possui densidade relativa em torno de $2,6 \text{ g/cm}^3$ (SCHUMANN, 2006).

As cores naturais da ágata, nas diferentes bandas de crescimento, variam entre cinza, azul, castanho, vermelho, preto e branco, como mostra a letra A da Figura 38. A estrutura microcristalina da ágata é formada de microporos, os quais facilitam o processo de tingimento. O tingimento é muito comum no estado do Rio Grande do Sul, e pode ser feito através de tratamentos químicos ou térmicos, podendo acentuar ou alterar as cores naturais do mineral (SILVA, R. A., 2006). A letra B da Figura 38 mostra diferentes cores de ágata após o tingimento.

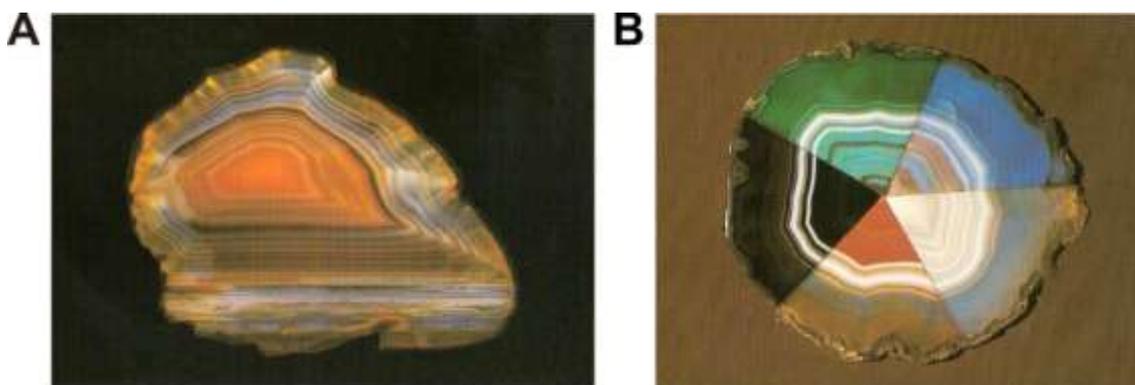


Figura 38: (A) Ágata natural; (B) Pedacos de ágata tingida (Fonte: modificado de Schumann, 2006).

Fratura é a forma que um mineral se fragmenta quando submetido a algum tipo de força, seja esta força de compressão, tração ou flexão. Os diferentes tipos de fratura são: concóide, irregular, estilhaçada, fibrosa, lisa ou granulosa (IBGM, 2001).

O tipo de fratura pode auxiliar na identificação de determinados minerais. No caso da ágata, o tipo de fratura é concoidal, também chamada de conchoidal, e algumas vezes granulada. Fratura concoidal é aquela superfície que após a fratura torna-se lisa e curva, semelhante à parte interna de uma concha; fratura granular é aquela superfície que após a fratura torna-se granulada, ou semelhante a grãos (SCHUMANN, 2006).

O brilho da ágata é considerado de gorduroso a vítreo, e a transparência varia de semitransparente a opaco. Brilho gorduroso ou graxo é o semelhante às substâncias gordurosas; brilho vítreo é o semelhante ao vidro (IBGM, 2001).

3.1.1.1 Lodi Pedras Preciosas Ltda.⁴

A empresa Lodi Pedras Preciosas (<http://www.lodipedras.com.br>) foi fundada em 1 de agosto de 1973 no município de Soledade - RS, atua no ramo de indústria e comércio de minerais. A partir de 1975, além do mercado nacional, a empresa passou a atuar também no mercado externo, aumentando o número de clientes e, conseqüentemente, expandindo suas instalações para acompanhar as novas demandas.

Com o passar dos anos, o número de exportações cresceu significativamente e a empresa voltou-se quase exclusivamente para o mercado externo. A evolução dos negócios implicou novamente na ampliação das instalações, culminando na construção de uma nova sede. No ano de 1983 a empresa inaugura as novas instalações, incluindo escritório, fábrica, loja e área para exposições, no endereço BR 386, km 244.

Os principais minerais trabalhados pela empresa são ágata, ametista e cristal de rocha. A ágata é extraída dos municípios de Soledade e Salto do Jacuí. A ametista é extraída do município de Ametista do Sul, onde a empresa possui uma filial que transfere toda a produção para a matriz em Soledade. Já os cristais de rocha, são extraídos no estado de Minas Gerais.

Os processos da empresa incluem a extração ou compra de matéria prima, o corte, a lapidação, a martelagem, o desenvolvimento de artesanato, artefatos de baixa complexidade e, por fim, a comercialização (COSTA, 2007).

O Quadro 1 mostra algumas etapas do processo de beneficiamento: após a extração ou compra da matéria prima, a primeira etapa do processo é a seleção dos geodos que serão beneficiados (A); primeiramente, os geodos são submetidos a uma lavagem no intuito de retirar impurezas depositadas em sua superfície (B); em seguida, os geodos são deslocados até o setor de corte, que utiliza serras diamantadas, as quais são lubrificadas com óleo diesel (C); primeiramente há o corte parcial dos geodos (D); posteriormente, os geodos são serrados em chapas de diversos tamanhos e espessuras (E); as chapas são lavadas novamente com o auxílio de detergente industrial para efetuar a remoção dos resíduos de óleo, sendo posteriormente lavadas com água corrente e expostas ao sol para secagem; por fim, a aplicação das chapas em produtos (F) (COSTENARO, 2005).

⁴ As informações contidas no subcapítulo *Lodi Pedras Preciosas* que não possuem fonte bibliográfica foram extraídas de material gráfico de divulgação fornecido pela empresa para a realização deste trabalho. Neste sentido, não há dados de referência mais específicos.

Quadro 1: Etapas do processo de beneficiamento da empresa Lodi Pedras Preciosas.

<p>A</p>  <p>Seleção dos geodos</p>	<p>B</p>  <p>Lavagem para retirada de impurezas</p>
<p>C</p>  <p>Corte com serra diamantada</p>	<p>D</p>  <p>Corte parcial dos geodos</p>
<p>E</p>  <p>Chapas de dimensões variadas</p>	<p>F</p>  <p>Chapas aplicadas em produtos</p>

O tratamento termo-químico, também conhecido como tingimento, é outra etapa do processo de beneficiamento, no entanto, nem todas as chapas são submetidas a este processo. Após a etapa de corte, as chapas são novamente classificadas de acordo com as características visuais e de preenchimento. Aquelas consideradas pouco atrativas visualmente são encaminhadas para o tingimento, o qual tem por objetivo ressaltar as características ópticas das gemas através da infiltração de produtos químicos na porosidade dos intergrãos, produzindo uma nova gama de cores (COSTENARO, 2005).

O maquinário utilizado pela empresa varia entre automáticas e semi-automáticas. O corte de chapas, por exemplo, é realizado em máquinas semi-automáticas, onde a medição é feita sem rigor de precisão. O corte sem precisão, a produção voltada somente para o desenvolvimento de artefatos de baixa complexidade entre outros aspectos, justificam o fato deste beneficiamento ser considerado primário.

A Agência de Educação Profissional - SENAI - localizada no município de Soledade, também realiza atividades voltadas ao desenvolvimento da cadeia produtiva na área de gemas. Nesta unidade existe um equipamento de corte mais avançado em termos de precisão. Trata-se de um protótipo semi-automático que efetua corte em chapas. O equipamento permite programar a espessura a ser cortada, obtendo sempre o mesmo resultado de corte independente do número de chapas, padronizando o processo.

Após os processos de seleção, lavagem, corte, secagem e tingimento, os materiais seguem para outras etapas como martelagem, lapidação e polimento. Inicia-se então a fase de desenvolvimento de objetos para comercialização. Entre os objetos produzidos estão: porta-copos (letra A da Figura 39), relógios, objetos decorativos (letra B da Figura 39), chaveiros, porta-talheres (letra C da Figura 39), entre outros. Esta é a etapa mais rudimentar de todo o processo, e necessita de maior nível de aprimoramento, devido à baixa produtividade e qualidade questionável (COSTENARO, 2005).

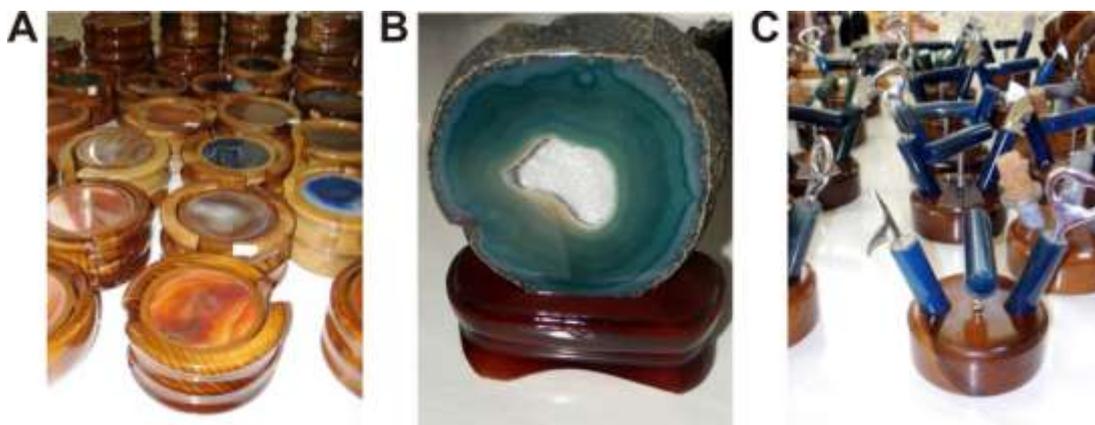


Figura 39: (A) Porta-copos; (B) Objeto decorativo; (C) Porta-talheres.

Os processos produtivos descritos anteriormente, desde a extração da matéria prima até o desenvolvimento do produto final, nas suas diferentes etapas, geram resíduos sólidos que podem se tornar um problema ambiental se a gestão não for adequada. A quantidade de resíduos produzidos em uma empresa já pode ser considerada um desafio, o que dirá se levarmos em consideração que atualmente o município conta com dezenas de empresas deste seguimento (THOMÉ *et al.*, 2010).

Os resíduos de ágata (letras A e B da Figura 40) utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram doados pela empresa no intuito de gerar novas alternativas para os descartes. Este tipo de rejeito é considerado de pré-consumo, uma vez que foi descartado ainda durante as etapas de produção, por motivos como falhas, trincas, rachaduras, etc.

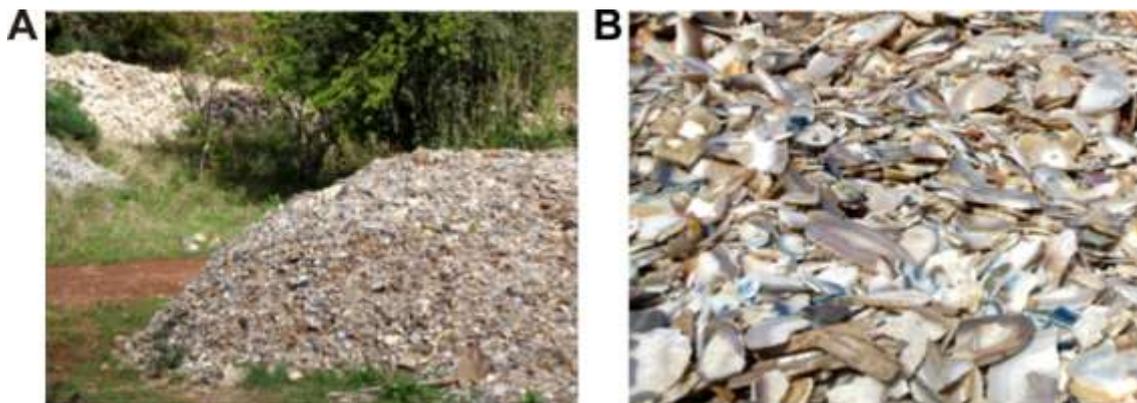


Figura 40: (A) Resíduos de ágata; (B) Chapas de ágata quebradas.

No ano de 2010 a empresa Lodi Pedras Preciosas passou por um processo de reestruturação, dividindo-se em duas empresas, que são respectivamente: HL Minerais e MV Lodi. A partir de então, os rejeitos passaram a ser doados pela empresa MV Lodi, ainda sob mesmo endereço e seguindo o mesmo ramo de indústria e comércio anterior.

Cabe evidenciar que Soledade também se destaca pela organização de uma das maiores feiras da América Latina, a qual faz parte do evento chamado Exposol (<http://www.exposol.com.br>). Esta feira comercializa diversos tipos de materiais e produtos, incluindo pedras em estado bruto, joias e artefatos.

A inovação, diferenciação, e inserção de novas tecnologias no desenvolvimento dos produtos devem ser amplamente discutidas, pois mesmo com a existência de diferentes empresas, a variedade de produtos é pequena e repetitiva. Além disso, faz com que a ágata, e outros minerais nobres, sejam subutilizados em artefatos comuns, de baixa complexidade, mal valorizados e com altos índices de desperdício.

O alto índice de desperdício de matéria prima, assim como na empresa em questão e também em outras dezenas de empresas do município, foi mensurado através de uma pesquisa realizada por professores e alunos do curso de pós-graduação em Engenharia e cursos de Engenharia Civil e Ambiental da UPF.

Esta pesquisa, que ocorreu no ano de 2007, é intitulada como *Diagnóstico dos resíduos gerados pelas empresas de pedras preciosas da região de Soledade - RS*. A trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar, quantificar e caracterizar os resíduos industriais da cadeia produtiva de pedras preciosas do município de Soledade. O trabalho foi realizado através da aplicação de um questionário em 82 empresas do setor, localizadas no município. As informações coletadas durante a pesquisa podem ser visualizadas através da Tabela 1.

Tabela 1: Questões relacionadas ao aspecto resíduos sólidos (Fonte: modificado de Thomé *et al.*, 2010).

	Sim	Não	NR	Respostas satisfatórias (%)
A empresa estoca seus resíduos no seu próprio espaço (fábrica ou terreno)	59	22	1	27
A empresa reconhece as etapas do processo produtivo que mais geram resíduos	55	27	0	67
A empresa faz algum reaproveitamento de resíduo no seu processo produtivo	32	48	2	40
A empresa utiliza os seus resíduos como fonte de renda (valorização residual)	20	60	2	25
A empresa tem conhecimento em que outros produtos seus resíduos são parte integrante	16	66	0	20
Os padrões legais referentes a resíduos sólidos são integralmente atendidos	33	48	1	41
Atendimento ao aspecto resíduos sólidos				37

A cor verde é utilizada quando a resposta for positiva para o meio ambiente; a cor vermelha é utilizada quando a resposta for negativa para o meio ambiente; e a cor amarela é utilizada quando a questão não foi respondida (NR) pela empresa em avaliação, no entanto, este número também é quantificado.

Verificou-se que, em relação ao aspecto resíduo sólido, das seis questões colocadas para as empresas, a relacionada ao conhecimento das etapas geradoras de resíduos foi satisfatória em 67% dos casos, ou seja, as empresas têm consciência em quais etapas do processo são geradas maiores quantidades de resíduos. Porém, observa-se que, em relação à necessidade de adequada destinação aos resíduos, reaproveitamento, utilização como fonte de renda e a participação em produtos, o percentual de respostas satisfatória foi inferior a 41%. Particularmente em relação à questão estocagem dos resíduos, o resultado satisfatório foi bastante baixo (27%), o que, se contrapõe ao resultado obtido na questão sobre o atendimento aos padrões legais referentes aos resíduos sólidos, que foi satisfatório em aproximadamente 41%.

Constatou-se também que o atendimento ao aspecto ambiental de resíduos é apenas 37% satisfatório. Dentre os resíduos sólidos gerados, o pó de minerais, o lodo e os retalhos de minerais são os que mais ocorrem. Além desses, embalagens de papel e metais são resíduos que ocorrem, porém em menor frequência.

Na maior parte das empresas, o lodo é acondicionado em tambores e posteriormente encaminhado para empresas terceirizadas para deposição final, ou coletado pela Prefeitura Municipal. Entretanto, entre as empresas pesquisadas, algumas admitiram dispor os resíduos sem maiores preocupações. Constatou-se também que os retalhos de minerais e o pó de minerais são reutilizados no final do processo. Os retalhos de minerais são, em geral, estocados e encaminhados para processamento e obtenção de pedra rolada. Neste processo, os retalhos são colocados em uma máquina que, pelo sistema de agitação, transforma as arestas pontiagudas em uma superfície lisa e arredondada. A pedra rolada também é conhecida como seixo rolado. Outro encaminhamento dado aos retalhos é a sua utilização em pavimentos, enquanto o pó de minerais pode ser reaproveitado para polimento.

Verificou-se uma grande dispersão na classificação pelo desempenho ambiental entre as empresas individualmente avaliadas. Quando avaliado o setor como um todo, pôde-se concluir que as empresas apresentaram desempenho ambiental classificado como baixo (THOMÉ *et al.*, 2010). Ainda, cabe destacar que, quando os rejeitos minerais são reutilizados, normalmente são destinados a reusos pouco nobres se comparados à qualidade do material utilizado. Esta pesquisa propõe-se a valorizar este material existente em abundância através do uso de tecnologias inovadoras para o desenvolvimento de superfícies tácteis.

3.1.2 Cedro - propriedades e contexto no estado

A madeira pode ser considerada uma das maiores riquezas naturais. No Brasil, por exemplo, florescem uma enorme variedade de espécies arbóreas decorrentes de características do clima e do solo (IBDF – Florestas Nativas, 1983).

Estima-se que a cobertura florestal do Brasil gira em torno de 40% da área total do país, isto equivale a 3,4 milhões de km², superior a toda a área florestal da Europa. Nos últimos 40 anos foram plantadas cerca de 60.000 km² de florestas no país com fins comerciais, isto equivale a 6 milhões de hectares. De acordo com a Associação Gaúcha de Empresas Florestais - AGEFLOR - o Brasil precisará aumentar ainda mais a sua área de florestas plantadas para poder suprir as necessidades futuras do mercado interno e externo, gerando em torno de 20 milhões de hectares a mais (STUMPP, 2007).

Destaca-se que a indústria de base florestal se encontra, atualmente, entre os setores mais importantes da economia nacional, com uma contribuição entre 3 a 4% do PIB e de 8% nas exportações nacionais (TOMASELLI, 2000).

As florestas brasileiras apresentam fisionomias regionais um tanto peculiares, cada espécie possui características inconfundíveis de acordo com a região de sua origem e reflete as diferentes influências ecológicas (IPT, 1983). Dentre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul merece especial destaque, pois as diversas espécies arbóreas são frutos da variada flora rio-grandense (PEDROSO & MATTOS, 1987).

Vale salientar que, mesmo a madeira sendo um recurso natural renovável, é de vital importância que a mesma seja utilizada de forma racional. Além disso, também é fundamental que toda espécie extraída da natureza seja passível de reflorestamento através de manejos adequados, pois estas atitudes fariam da madeira uma matéria prima praticamente inesgotável se explorada de forma consciente. Dentro desta perspectiva, sendo o Rio Grande do Sul um estado cujo clima é subtropical úmido, onde as chuvas distribuídas ao longo do ano evitam um déficit hídrico, faz deste território um local apto à implantação de reflorestamentos (REITZ *et al.*, 1992).

Além do Rio Grande do Sul possuir uma grande variedade de espécies e ter um clima favorável ao reflorestamento, ainda está inserido em um forte contexto industrial onde a atividade madeireira é um dos principais aliados da economia, principalmente por este ser um material que se presta às mais variadas aplicações, uma vez que é de fácil obtenção e de boa flexibilidade (IBDF - Reflorestamento, 1983).

A escolha da madeira como o segundo material natural utilizado na parte prática desta pesquisa justifica-se por algumas características deste material em relação às tecnologias de intervenção. E entre as cinco espécies de madeira testadas experimentalmente - grápia, cedro, pinus, pinho e eucalipto -, optou-se por trabalhar com o cedro, pois esta foi a espécie que teve um melhor desempenho quando em contato com as tecnologias propostas. O bom desempenho está relacionado à facilidade de corte e a ausência de resina acumulada na região em que o corte foi efetuado.

Cedrela fissilis é o nome científico da madeira cedro, e pertence à família das Meliáceas. Popularmente o cedro é conhecido como cedro-rosa, cedro-batata, cedro-da-várzea, entre outros nomes dependendo da região (PRIMO, 1968).

O cedro é encontrado em praticamente todas as matas nativas do Rio Grande do Sul, sendo mais abundante nas matas subtropicais do Alto Uruguai. Trata-se de uma espécie de dispersão ampla, não só no estado, mas no Brasil (REITZ *et al.*, 1988).

O mapa da Figura 41 mostra as áreas de ocorrência do cedro no estado. Através da legenda é possível reconhecer as regiões fitogeográficas, que nada mais é do que a distribuição geográfica dos vegetais conforme as zonas climáticas e os fatores que possibilitam sua adaptação. A letra P representa a área do planalto, e a letra J representa a área da Bacia do Rio Jacuí, onde estão as áreas de maior ocorrência de cedro.



Figura 41: Áreas de ocorrência do cedro no estado do RS (Fonte: modificado de Reitz *et al.*, 1988).

Devido à grande diversificação das aplicações desta madeira, o cedro tornou-se uma das mais importantes em termos comerciais e econômicos no Brasil. Neste sentido, vale salientar algumas características para o reconhecimento da espécie: madeira leve, cerne variando do castanho-claro-rosado até o castanho-avermelhado, textura grossa, grã ligeiramente ondulada, superfície lustrosa com reflexos dourados, cheiro característico e agradável, gosto ligeiramente amargo (MAINIERI, 1989). As características citadas são identificadas macroscopicamente, ou seja, vistas a olho nu.

Cabe aqui destacar a definição de algumas nomenclaturas, com fins de melhor compreender não só a localização de cada uma das partes do tronco da madeira, mas também as suas respectivas funções. Neste contexto, o cerne, que aparece na letra A da Figura 42, tem a função de sustentação estrutural da árvore. Nele são encontrados os anéis de crescimento do vegetal. Esta é a região mais apreciada em termos comerciais. Já a grã, que aparece na letra B da Figura 42, é a disposição das fibras ao longo do eixo do tronco e/ou plano radial. Existem três tipos de disposições de grã. O cedro caracteriza-se por possuir grã ondulada, reconhecida pela boa resistência mecânica e também pela grande variedade de desenhos (LIMA, 2006).

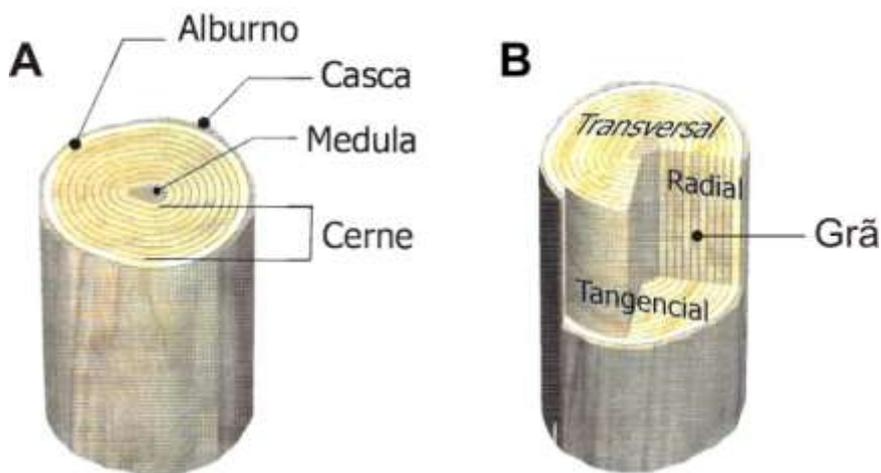


Figura 42: (A) Seção transversal; (B) Três planos (Fonte: modificado de Lima, 2006).

Todas as partes da madeira citadas anteriormente podem ser vistas a olho nu e, se necessário, também podem ser visualizadas através de análises microscópicas, ou seja, com o auxílio de equipamentos especializados, principalmente se o intuito for obter detalhes com maior precisão. No entanto, outras características, tais como lenho precoce, lenho tardio, raio do lenho, traqueíde e poro, somente podem ser percebidas através de análises microscópicas, ou seja, não são percebidas a olho nu.

A Figura 43 mostra duas representações gráficas que simulam a microscopia de um cubo de abeto vermelho (letra A), e também de um cubo de faia (letra B). As representações gráficas em questão identificam as diferentes partes de duas espécies de madeira, no entanto, estes mesmos elementos podem ser identificados, assim como no abeto e na faia, também em outras espécies. Cada uma possui características, variando a estrutura de acordo com o tempo de vida do vegetal, condições climáticas e outros fatores. Na etapa de estudos de aplicabilidade desta pesquisa, foram realizadas análises microscópicas na madeira cedro, com fins de identificar estas mesmas características.

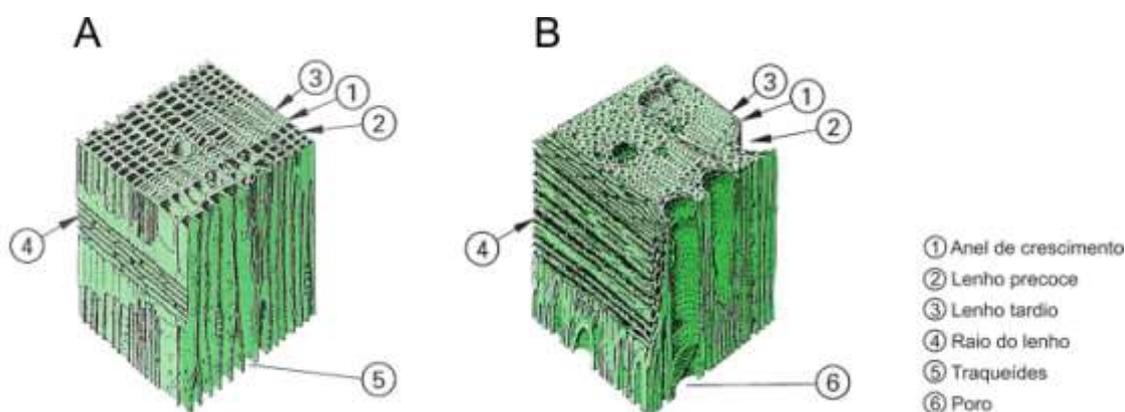


Figura 43: (A) Estrutura microscópica do abeto vermelho; (B) Estrutura microscópica da faia.

(Fonte: modificado de Nennewitz *et al.*, 2008)

Em decorrência das suas propriedades, o cedro é uma madeira utilizada nas mais diversas aplicações – construção civil, naval e aeronáutica –, principalmente por ser fácil de trabalhar e apresentar grande durabilidade mesmo quando exposta a intempéries, como o excesso de sol e chuva. Alguns exemplos são: móveis, esquadrias, instrumentos musicais, molduras, obras de entalhe, artigos de escritório, casco de embarcações, entre outros (REITZ *et al.*, 1988).

Algumas propriedades que fazem do cedro uma madeira tão utilizada é justamente o fato de apresentar retratibilidade linear e volumétrica baixas. A retratibilidade é o fenômeno relacionado à variação dimensional da madeira, em função da troca de umidade do material com o meio que o envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico. Por sua vez, a variação dimensional diz respeito às contrações e ao inchamento da madeira. Além disso, o cedro está classificado entre as madeiras leves que têm mais diversificação de utilização, sendo superada somente pelo pinho (MAINIERI, 1989).

3.1.2.1 Banco de Mobiliários⁵

A Fundação Gaúcha dos Bancos Sociais foi idealizada pelo Conselho de Cidadania e instituída pela Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul (FIERGS), com o objetivo de inserir o empresário gaúcho na área de responsabilidade social. Além disso, a Fundação também tem por objetivo oferecer orientações jurídicas e facilitar a operacionalização do Projeto dos Bancos Sociais, cujo lema é *Transformar o desperdício em benefício social*. Neste âmbito, os excedentes industriais dos mais diversos seguimentos são oferecidos à comunidades carentes bem como cursos de capacitação, treinamento e, principalmente, introdução de técnicas de gestão empresarial para o terceiro setor.

No ano de 1999, na sede da FIERGS, o Conselho de Cidadania e mais onze entidades convidadas identificaram a fome como sendo o maior flagelo do Estado do Rio Grande do Sul. No intuito de reverter esta situação foi fundado o primeiro Banco de Alimentos do país, seguindo o modelo dos já conhecidos *food banks* existentes no mundo. O Banco de Alimentos arrecada e distribui mais de 100 toneladas de alimentos a 255 instituições, ou o equivalente a 20 mil pessoas beneficiadas mensalmente.

Tendo em vista o sucesso do Banco de Alimentos, o conselho buscou desenvolver e implementar um sistema catalisador que identificasse os excedentes industriais do segmento empresarial de produtos, a fim de criar um Banco para cada um destes excedentes, para dar vazão a este material de forma adequada, evitando impactos ambientais e ajudando comunidades carentes da região.

A partir da necessidade de solucionar diversos tipos de problemas sociais, iniciou-se um processo de identificação de indústrias que geram excedentes, os quais poderiam suprir certas demandas sociais de comunidades carentes, como por exemplo: problema da fome e indústria da alimentação; problema de vestuário e indústria têxtil; problema de mobiliário e indústria moveleira; necessidade de materiais de obras e indústria da construção civil; problema de inclusão digital e indústria de computadores.

Atualmente, existem treze Bancos Sociais em funcionamento (Figura 44), e mais quatro sendo desenvolvidos: Banco de Livros, Banco da Cultura, Banco de Células Tronco e Banco da Saúde.

⁵ As informações contidas no subcapítulo *Banco de Mobiliários* foram extraídas de material gráfico de divulgação dos Bancos Sociais e do Sistema FIERGS, este material é intitulado *Cartilha dos Bancos Sociais*. Não há dados de referência mais específicos.

As doações são encaminhadas ao respectivo Banco adequado ou retiradas nas empresas, e submetidas ao processo de contagem, avaliação, separação e classificação, sendo em seguida catalogadas e armazenadas. Uma vez registradas no estoque através do Banco de Dados, é feito o cruzamento das disponibilidades com as solicitações das instituições cadastradas e em seguida, feito o devido encaminhamento.



Figura 44: Bancos Sociais (Fonte: vide nota de rodapé 5).

Os Bancos Sociais que necessitam de instalações físicas fazem parte de um complexo condominial composto por sete depósitos, e ocupam uma área de 5.600 m² de instalações, localizado na Avenida Francisco Silveira Bittencourt, nº 1928, no Bairro Porto Seco. Os demais Bancos estão localizados na sede da FIERGS.

Os resíduos de madeira utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram doados pelo Banco de Mobiliários. O Banco de Mobiliários foi criado com a missão de identificar e recolher excedentes de pré e pós-consumo como retalhos de madeiras descartados por fábricas e indústrias do ramo e também móveis em desuso. Ambos os tipos de excedentes são armazenados em um depósito, em seguida são classificados, reformados e transformados novamente em móveis, brinquedos e objetos utilitários. Por fim, são repassados a instituições assistenciais como escolas públicas, creches e centros comunitários previamente cadastrados. A letra A da Figura 45 mostra o armazenamento dos excedentes de pré-consumo, como retalhos vindos de fábricas e indústrias madeireiras. Já a letra B da Figura 45, mostra como são dispostos e armazenados os excedentes de pós-consumo, como móveis descartados.



Figura 45: (A) Excedentes de pré-consumo; (B) Excedentes de pós-consumo.

Para que estes materiais sejam reformados e transformados novamente em móveis, brinquedos e utilitários é preciso a utilização de equipamentos de marcenaria. Para isso, o Banco dispõe de maquinários que auxiliam no desenvolvimento e construção destes objetos. O Quadro 2 mostra os equipamentos disponíveis no Banco.

Quadro 2: Máquinas industriais e manuais disponíveis no Banco de Mobiliários.

Máquinas industriais	Máquinas manuais
Lixadeira de cinta	Furadeira manual
Serra de fita	Lixadeira orbital ou oscilante
Tupia industrial	Parafusadeira à bateria
Plaina desempenadeira	Serra circular manual
Serra destopadeira	Serra tico-tico de bancada
Furadeira vertical ou de coluna	Serra tico-tico manual
Furadeira horizontal	Furadeira martetele
Coladeira de borda	Desengrossadeira manual
Serra esquadrejadeira	Furadeira de impacto manual
Exaustor de pó ou coletor de pó industrial	Ferramentas manuais de marcenaria

Um dos objetos recebidos em grande quantidade pelo Banco de Mobiliários são caixas de madeira (letra A da Figura 46) que servem de embalagem/transporte para mercadorias e produtos de diversas origens. Após o transporte, estas caixas são descartadas pelas empresas e encaminhadas ao Banco. As madeiras utilizadas na construção das caixas são de baixa qualidade. Não há necessidade de utilização de madeiras nobres neste tipo de objeto, pois o objetivo principal é apenas embalar.

Neste sentido, os produtos desenvolvidos a partir destas madeiras devem ser objetos pouco solicitados em termos mecânicos. A alternativa encontrada foi desenvolver classes e cadeiras escolares infantis (letras B e C da Figura 46). Após a pintura e o acabamento, os novos móveis são doados pelo Banco de Mobiliários para creches e escolas públicas de comunidades carentes da região.

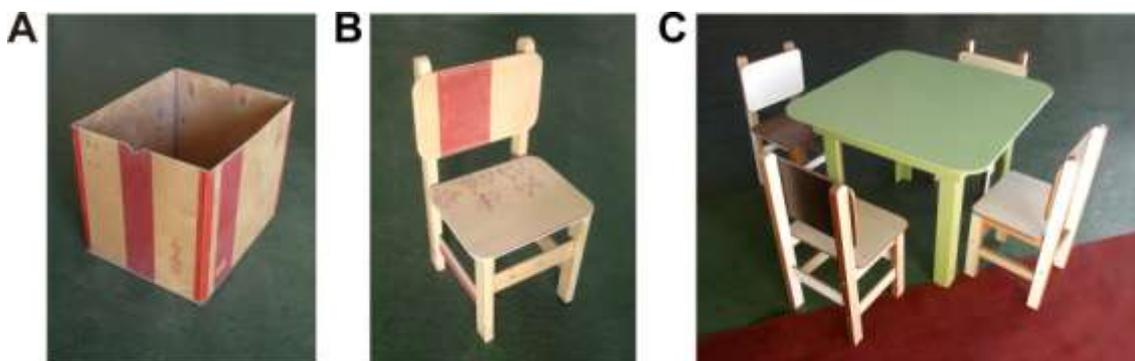


Figura 46: (A) Caixa; (B) Cadeira; (C) Conjunto escolar.

Outro material recebido com frequência pelo Banco são rolos de madeira (letra A da Figura 47) que servem para transportar cabos de rede elétrica. Estes rolos são restaurados, lixados, pintados e viram mesas de centro (letra B da Figura 47).

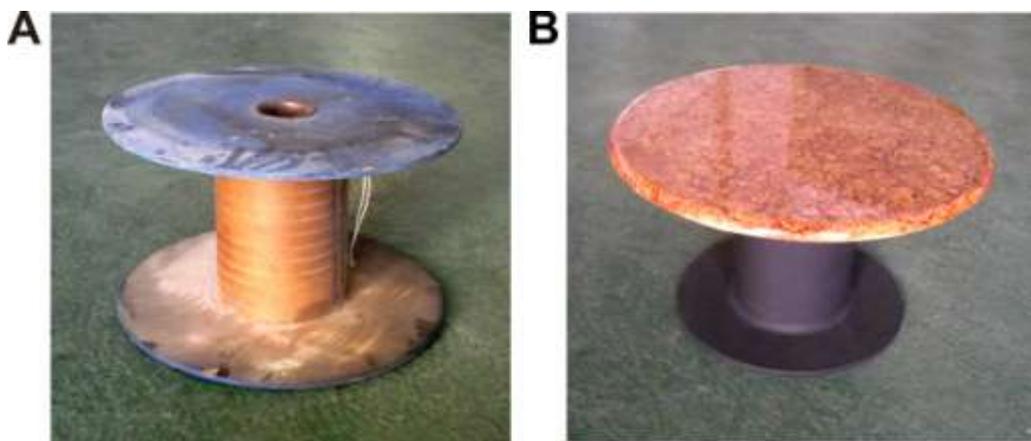


Figura 47: (A) Rolo; (B) Mesa de centro.

Um lote de máquinas caça-níqueis (letra A da Figura 48), apreendidas pela polícia civil e militar em Porto Alegre, também já foram encaminhadas aos Bancos Sociais na tentativa de reaproveitar os materiais e componentes ali presentes. Neste caso, a parte eletrônica foi encaminhada para o Banco de Computadores, onde as peças passam por testes e são reutilizadas em outras máquinas. Já as carcaças de madeira, foram encaminhadas para o Banco de Mobiliários, onde se transformaram em brinquedos como cavalinhos e caminhões (letra B da Figura 48). Assim como as classes e cadeiras, os brinquedos também são destinados a creches e escolas públicas.

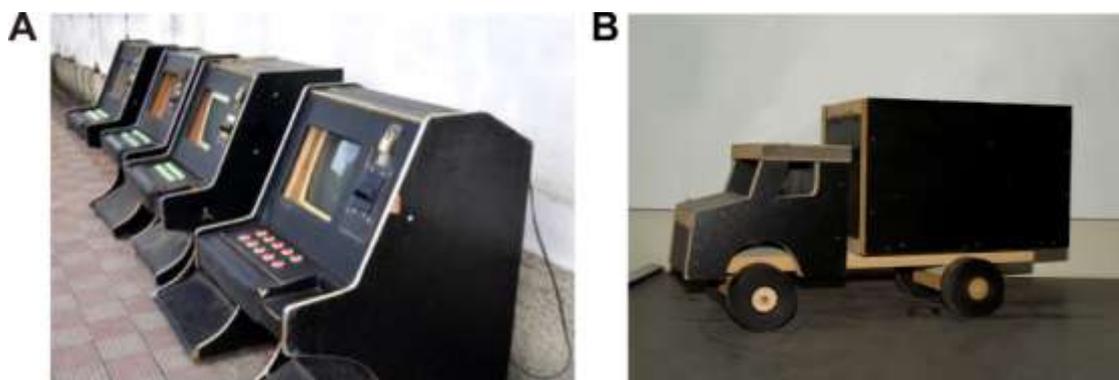


Figura 48: (A) Máquinas caça-níqueis; (B) Brinquedo feito da carcaça.

Dentre os produtos considerados utilitários, podem ser destacados objetos como casinhas porta-chaves (letra A da Figura 49), desenvolvidas a partir de técnicas de marchetaria que fazem a união de pequenos retalhos, e também caixas porta-treco (letra B da Figura 49), desenvolvidas a partir de técnicas de encaixe. Estas últimas podem servir como revisteiro, lixeira ou para guardar brinquedos e pequenos objetos.



Figura 49: (A) Casinha porta-chaves; (B) Porta-treco.

3.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO INOVADORES

Os recursos naturais assumem valor estratégico, nos planos nacionais e internacionais, não apenas devido à sua escassez, resultante de anos de exploração acelerada, mas também enquanto insumos em novas aplicações, como em materiais avançados. O Brasil encontra-se em situação privilegiada, pois dispõe de um variado patrimônio natural. O desafio para o país consiste em melhor conhecer esses recursos e saber administrá-los de maneira a otimizar o seu aproveitamento e maximizar o retorno, mantendo a sustentabilidade dessas fontes no longo prazo (CARVALHO, 2006).

No caso desta pesquisa, a tecnologia e os processos de fabricação inovadores primaram por um melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis - minerais e madeiras - e também buscaram proporcionar a otimização do seu aproveitamento.

O Brasil é produtor de bens minerais para os mercados nacionais e mundiais, e está recentemente ampliando os empreendimentos e diversificando o uso dos minerais que assumem papel de destaque. A característica não renovável dos bens minerais exige avaliação cuidadosa da viabilidade e do aproveitamento econômico do minério. Há que avaliar os prós e contras de cada empreendimento, os efeitos sobre o ambiente e os cuidados necessários, bem como as formas de contribuição para o desenvolvimento econômico e social. A competitividade e a expansão do setor mineral dependem também da existência de pessoal qualificado. A contínua evolução tecnológica e as carências existentes tornam imperativo ampliar a capacitação laboratorial em geociências e tecnologia mineral. Além disso, a mineração de bens destinados à indústria de construção civil e rochas ornamentais gera empregos e impactos socioeconômicos expressivos. Cabe ampliar o incentivo ao entrosamento entre o setor empresarial e os grupos acadêmicos (CARVALHO, 2006).

Com uma das tecnologias mais avançadas do mundo na produção florestal para celulose e papel, o país continua em estágio muito atrasado quanto ao tratamento da madeira destinada a outras estruturas (MEDEIROS & MOURA, 1992).

O Brasil detém uma grande reserva como a Floresta Amazônica e uma área reflorestada de quase 6 milhões de hectares, e mesmo assim ainda não despertou para sua real importância. São poucos os estudiosos da madeira como Severiano Mário Porto, que há 36 anos desenvolve seus projetos na região Amazônica. Severiano destaca que a madeira é utilizada exaustivamente no Brasil, principalmente em coberturas, esquadrias e pisos, no entanto, o arquiteto lamenta que, em pouco tempo, tudo se transforma em madeira de refugo.

Severiano acrescenta que, ao contrário do que ocorre no Brasil, o emprego da madeira nos países desenvolvidos é sempre feito com racionalidade, de forma a evitar qualquer desperdício. O arquiteto também lembra que os cedros e pinus dos países frios, são muito diferentes da madeira tropical, que é dura, escura e pesada, exigindo ferramentas e equipamentos especiais. Para Severiano, a vantagem do uso da madeira é a grande liberdade que ela proporciona aos projetistas, além, das cores e texturas.

Segundo Amantino Ramos de Freitas, diretor da Divisão de Madeiras do IPT, a falta de tecnologia incorporada à produção da madeira tem sido o grande entrave para a expansão do seu uso no país, e a falta de tecnologia apropriada tem induzido ao uso inadequado. Já o mestre em estruturas de madeira pela *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* da Suíça, Ricardo Caruana, afirma que na medida em que a madeira incorpora a alta tecnologia, seu uso passa a ser mais inovador.

Através deste estudo, pretende-se minimizar o impacto ambiental uma vez que se aproveita descartes de minerais e de madeiras, e assim gerar um melhor aproveitamento econômico dos materiais naturais. É importante a utilização de novas tecnologias, pois amplia a capacitação laboratorial, uma vez que permite a evolução de testes através do aperfeiçoamento tecnológico. Ao lado do uso racional dos materiais naturais, e da inserção de novas tecnologias em prol do seu beneficiamento, está também o design, o qual é considerado elemento estratégico de gestão industrial uma vez que reflete diretamente na aceitação ou não dos produtos no mercado. Neste sentido, faz-se necessário destacar alguns apontamentos que evidenciem a importância do design quando do desenvolvimento de projetos, principalmente quando direcionados para a indústria de revestimentos, como é o caso desta pesquisa.

Nesta perspectiva, atuando em cooperação com as equipes industriais de desenvolvimento de produto, os designers ao mesmo tempo impulsionam e refletem a importância do projeto no posicionamento estratégico das indústrias brasileiras de revestimento. O design é elemento consolidado na gestão empresarial do setor, pois sem ele, o fabricante pode criar um produto e não ter para quem vender, ou simplesmente não conseguir produzir. Quando se trata de produtos com alto valor agregado, em que diferenciação e inovação são conceitos decisivos, entra-se no território da dinâmica mundial (GRUNOW, 2008).

Atualmente existe a constatação unânime de que os revestimentos vivem um momento de diferenciação. O que vale agora é o que se chama neodesign ou tecnodesign, aponta Giorgio Boggia, italiano que presta consultoria para a empresa Portinari, referindo-se a uma nova tipologia que demanda textura e aparência independente para os revestimentos. Neste contexto, considera-se interessante a aplicação de desenhos com módulos diferenciados e de alta complexidade de encaixe, uma vez que exploram novos conceitos e aplicações, além da adaptação de tecnologias inovadoras em prol do desenvolvimento de uma coleção inovadora.

Segundo a publicação do portal DesignBrasil (<http://www.designbrasil.org.br>) na data de 04 de fevereiro de 2011, uma pesquisa divulgada pela Conferência Nacional da Indústria (CNI) mostra que o quadro de exportações do mercado brasileiro está perdendo espaço no cenário internacional para a China. Os números mostram que 67% das exportadoras brasileiras que concorrem com os produtos chineses estão perdendo clientes, e 4% já não exportam mais. Além disso, 45% das empresas nacionais que competem com a China perderam participação no mercado doméstico brasileiro. A pesquisa da CNI foi feita com 1.529 empresas do país em outubro de 2010, e este quadro retrata a realidade de quase 30% das empresas brasileiras e mais de 50% das exportadoras. Com base na atual situação, metade das empresas afirmou já ter definido estratégias para enfrentar a concorrência chinesa. Entre as medidas propostas, o investimento em qualidade e design dos produtos como fator agregador de valor foi assinalado por 48% das empresas (ROCHA, 2011).

Dentro desta perspectiva, a tecnologia e os processos de fabricação inovadores foram direcionados da seguinte maneira: o corte dos minerais foi feito a partir da tecnologia de usinagem por jato de água e o corte das madeiras foi feito a partir das tecnologias de usinagem CNC e laser. As três tecnologias juntas forneceram uma gama de possibilidades: otimizar o aproveitamento dos materiais através da utilização de ferramentas e equipamentos especiais; primar pela sustentabilidade uma vez que reaproveita materiais de refugo; incorporar a alta tecnologia a materiais tradicionais e viabilizar a capacitação de pessoal qualificado. Desta forma, a pesquisa fez o entrosamento entre setor empresarial e grupos acadêmicos e, por fim, estabeleceu uma relação diacrônica entre materiais naturais e processos de fabricação inovadores, pois apresenta tanto descrição das interferências tecnológicas, quanto mudanças que os materiais adquiriram ao longo da evolução dos testes.

3.2.1 Usinagem por jato de água

Todos os cortes em ágata desta pesquisa foram efetuados através da tecnologia de usinagem por jato de água. Grande parte dos minerais, em especial a ágata, são matérias primas de média a alta dureza e também frágeis ao corte, podendo ocasionar fraturas se trabalhados de forma inadequada. Estas características requerem ferramentas e condições especiais para o corte destes materiais.

Neste contexto, optou-se pela tecnologia por jato de água, uma vez que este tipo de maquinário não exige que ferramentas entrem em contato com o material. Além disto, a tecnologia é de alta precisão, o acabamento de corte é de boa qualidade e o material especificado não tem nenhum tipo de impedimento ao contato com a água.

O equipamento de usinagem por jato de água (Figura 50) de marca Jet Tek WaterJet[®], utilizado nesta pesquisa, encontra-se no Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul - CTPedras⁶, localizado no município de Soledade.



Figura 50: Equipamento de usinagem por jato de água, marca Jet Tek WaterJet[®].

No processo de corte por jato de água, a água deve encontrar-se misturada a um abrasivo, que pode ser areia ou granada, o qual também é utilizado como ferramenta de corte, sendo direcionado contra a superfície de trabalho. No caso deste equipamento, o abrasivo empregado é a granada, de granulometria 80 mesh, o qual é responsável por 90% do corte, restando apenas 10% para a água (GROOVER, 1996). O jato pode ser considerado fino, pois possui em torno de 0,8 mm de diâmetro. A pressão pode chegar a 400 MPa, onde a água é ejetada do bico a uma velocidade que chega a 900 m/s. A água é pressurizada por uma bomba hidráulica movida a pistão, com uma potência de 40 CV.

⁶ Protocolo de cooperação entre UFRGS, UPF, Soledade e Sindipedras assinado em Março de 2010.

Com o uso desta tecnologia, é possível efetuar qualquer tipo de corte bidimensional em uma grande variedade de materiais, incluindo metais, vidros, mármore, porcelanatos, etc. Esta tecnologia também permite a fabricação de formas vazadas e complexas, que não são possíveis de serem fabricadas manualmente e não são economicamente viáveis quando executadas por outros processos (SILVA *et al.*, 2010).

Tecnologias que utilizam o corte por jato de água enquadram-se no grupo dos processos que visam seccionar um material pela utilização de energia mecânica, em que a força de impacto exercida pelo fino jato de água de alta pressão na superfície de contato da peça supera a tensão de compressão entre as moléculas do material, seccionando o mesmo. Parâmetros importantes no processo de corte por jato de água incluem a distância entre a abertura do jato até a peça e o diâmetro de abertura do bocal.

É desejável que a distância entre a abertura do jato de água e a superfície de trabalho seja pequena, em torno de 3,2 mm, para minimizar a dispersão do fluxo de líquido antes de atingir a superfície. E para obter o fluxo fino de água, o diâmetro do bocal deve ter entre 0,1 e 0,4 mm. Outro parâmetro importante é a velocidade de avanço de corte, que geralmente oscila entre 5 mm/s e 500 mm/s (GROOVER, 1996).

A pesquisa realizada por Barp (2009), a qual teve por objetivo o desenvolvimento de produtos em formas complexas a partir de chapas de ágata, também aponta alguns resultados de parâmetros adequados para o corte em ágata. Os resultados atingidos mostraram que a espessura mínima de chapa de ágata considerada adequada para o corte por jato de água é de 3,5 mm, tanto para formas geométricas simples quanto para formas de maior complexidade. Com relação a desenhos minuciosos e com pequenos detalhes, verificou-se que a medida mínima de material adequada para o corte é de 2 mm para formas complexas. No entanto, em entrevista concedida à pesquisadora na data de 19 de novembro de 2011, o Eng. Juliano Tonezer afirma que o CTPedras - RS já conseguiu realizar cortes em chapas de ágata com até 1 mm de espessura.

A usinagem por jato de água utilizada para o corte de figuras em ágata pode ser considerada pouco comum, uma vez que há um número restrito de empresas que dispõem desta tecnologia. No âmbito desta pesquisa, além do CTPedras - RS, localizou-se apenas três locais que possuem este equipamento no estado, sendo eles: Possebon Joias[®] na cidade de Putinga/RS, Drusa Indústria e Comércio de Pedras Ltda[®] na cidade de Teutônia/RS e R. W. Importação e Exportação Ltda[®] na cidade de Gaurama/RS. Estas empresas possuem condições hábeis de fabricar o produto sugerido nesta pesquisa - placas de revestimento - com o maquinário disponível em suas instalações.

Pode-se afirmar que a tecnologia estudada é aplicável ao material ágata, ampliando as possibilidades de realizar cortes em formas complexas e viabilizando a produção de peças mais atrativas visualmente.

Vale destacar um exemplo de produto desenvolvido por uma fábrica de joias, no qual a usinagem por jato de água auxiliou na construção do pingente da peça. A Figura 51 mostra o produto final, composto de uma fita em tecido e um pingente em ágata. A peça foi criada pela empresa Dellany Joias®.

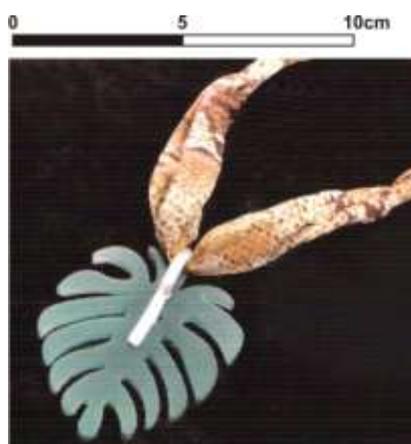


Figura 51: Colar em tecido e ágata (Fonte: Silva *et al.*, 2010).

O material gemológico ágata, extraído em grande quantidade no Rio Grande do Sul, apresenta potencial para beneficiamento no Brasil com tecnologias que agilizam e agregam maior eficiência, qualidade e precisão ao corte. O desenvolvimento e a fabricação de peças em formas complexas representam uma oportunidade de negócios a ser explorada, uma vez que esta tecnologia de processo permite a fabricação de peças que satisfaçam a demanda por produtos que apresentem diferenças e inovações em relação aos produtos oferecidos pelos concorrentes. Neste âmbito, novas possibilidades de desenvolvimento de produtos com precisão e agilidade serão disponibilizadas aos empresários, designers e projetistas (BARP *et al.*, 2010).

3.2.2 Usinagem CNC

O avanço da tecnologia é um fato presente no dia-a-dia do mundo moderno. Cada vez mais rapidamente novas tecnologias são desenvolvidas e inseridas no cotidiano das pessoas. Tarefas complexas são realizadas facilmente por equipamentos automatizados. As máquinas com tecnologia CNC são cada vez mais solicitadas nos parques fabris das empresas (RANK & BATTI, 2007).

Neste contexto, a justificativa da escolha das madeiras como o segundo material natural utilizado na parte prática desta pesquisa, ao lado dos minerais, se deu por conta de algumas características em relação às tecnologias de intervenção. O corte das madeiras foi feito primeiramente com a tecnologia CNC, pois é um material poroso que absorve umidade e impossibilita o corte através da tecnologia por jato de água. Este é o principal motivo que direcionou a escolha da usinagem CNC para o corte das madeiras, juntamente com o laser, que também é uma tecnologia seca.

O equipamento de usinagem CNC (Figura 52) de marca Tecnodrill[®], modelo Digimill 3D, utilizado nesta pesquisa, encontra-se no Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.



Figura 52: Equipamento de usinagem CNC, marca Tecnodrill[®], modelo Digimill 3D.

Este equipamento possui dois cabeçotes, um para usinagem e outro para digitalização, ou seja, trata-se de um equipamento híbrido. A digitalização é utilizada para captar imagens e permite a obtenção minuciosa de detalhes de superfícies, texturas e mesmo de objetos inteiros. Esta captação de imagens é obtida através de um cabeçote de digitalização, denominado conoscópico (SILVA, F. P., 2006).

Em seu funcionamento para digitalização, o scanner 3D movimenta-se sobre determinada peça no plano dos eixos X e Y, enquanto o cabeçote laser mede a altura do eixo Z. Como resultado da varredura são obtidos arquivos de texto com os pontos da superfície do objeto descritos em coordenadas (x, y, z).

O cabeçote laser adquire até 100 pontos por segundo, sendo a precisão de sua medida variável conforme a lente utilizada. O equipamento em questão possui três lentes: 25mm, 75mm e 100mm. Para a maioria das aplicações é utilizada a lente de 100mm, devendo-se isto a sua boa resolução e grande faixa de trabalho, proporcionando maior velocidade de digitalização (SILVA, F. P., 2006).

Os processos de usinagem abrangem processos mecânicos que visam conferir a uma peça a forma, a dimensão e o acabamento especificado, ou ainda uma combinação destas três características, através da remoção de material por meio de uma ferramenta apropriada (FERRARESI, 1973).

Para que haja a remoção do material, é necessário um movimento relativo entre a ferramenta e a peça. Nesta perspectiva, o que propulsiona a saída do cavaco, ou a remoção de material, é o movimento efetivo de corte, o qual, na maioria das vezes, é o resultado do movimento de corte simultâneo ao movimento de avanço.

Para tanto, faz-se necessário algumas definições. Movimento de corte é o movimento entre a peça e a ferramenta, o qual sem o movimento de avanço origina somente uma única remoção de cavaco, durante uma volta ou um curso. Já movimento de avanço, é o movimento entre a peça e a ferramenta que, juntamente com o movimento de corte, origina uma remoção repetida ou contínua de cavaco, durante várias revoluções ou cursos (FERRARESI, 1973). Neste sentido, a estratégia de usinagem deve ser preestabelecida para orientar os passos que o equipamento deve seguir ao longo do processo. Posteriormente, estas informações são salvas na linguagem do programa da fresadora e emitidas ao equipamento de usinagem.

O processo de usinagem CNC pode colaborar no beneficiamento de diversos materiais naturais, pois permite a reprodução de desenhos e formas, preestabelecidas em detalhes, com grande precisão dimensional sob a forma de relevos. Permite também, com uso da criatividade e conhecimento da técnica, a produção de objetos inovadores e autênticos, que podem ser reproduzidos em série (TESSMANN, 2009).

Aos poucos, as máquinas computadorizadas estão tomando o lugar das convencionais para trabalhar a madeira. Um dos fatores facilitadores deste processo é a variedade de equipamentos CNC disponíveis hoje no mercado. Para uma empresa que adota uma máquina CNC, muitas são as expectativas, como aumento de produtividade, melhoria de qualidade e diferenciação dos trabalhos (RANK & BATTI, 2007).

Dentre as três tecnologias utilizadas neste trabalho - jato de água, CNC e laser - pode-se dizer que a tecnologia por usinagem CNC é a mais comum, ou a mais conhecida atualmente pelas empresas. No Rio Grande do Sul, por exemplo, existem várias empresas que possuem este equipamento e, conseqüentemente, estão aptas a fabricar o produto sugerido neste presente trabalho.

Algumas das empresas que trabalham com este equipamento no Rio Grande do Sul podem ser destacadas: Jair Gribler[®] na cidade de Porto Alegre/RS; Joias Lengler[®] na cidade de Porto Alegre/RS; Artefatos de Metais Condor[®] na cidade de Guaporé/RS; Artefatos de Metais Sebben[®] na cidade de Guaporé; Ícaro Artefatos de Metais[®] na cidade de Guaporé/RS, entre outras.

Cabe destacar um exemplo de produto desenvolvido por uma fábrica de revestimentos, no qual a usinagem CNC auxiliou nas etapas iniciais de prototipia. A letra A da Figura 53 mostra o protótipo desenvolvido em MDF através da usinagem CNC, onde a madeira passou pelo processo de desbaste até chegar ao formato determinado pelos parâmetros de máquina. O protótipo serve para verificar medidas, encaixes e confeccionar o molde que dará origem aos revestimentos em seu material definitivo. A letra B da Figura 53 mostra o produto final.

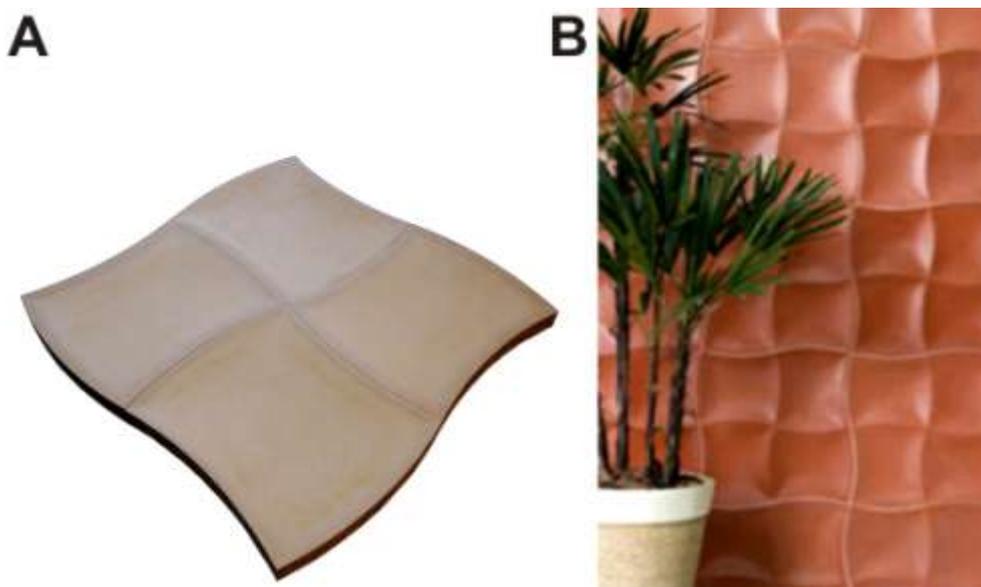


Figura 53: (A) Protótipo em MDF; (B) Aplicação do revestimento.

(Fonte: modificado de www.solariumrevestimentos.com.br)

3.2.3 Corte a laser

A tecnologia de corte e gravação a laser (*Light Amplified by Stimulated Emission Radiation*) é baseada na interação entre a radiação luminosa e a matéria. Esta tecnologia destaca-se pela diversidade de aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento técnico e científico (BAGNATO, 2008).

O laser é um instrumento simples que usa luz ao invés de energia mecânica. É uma ferramenta que permite o usuário controlar a forma e a quantidade de energia dirigida a um determinado lugar. Os principais tipos de laser são: gasoso, sólido e líquido (HECHT & TERESI, 1998). Um dos lasers gasosos mais importantes é o laser de dióxido de carbono, CO₂. Ele é constituído de uma ampola contendo uma mistura de dois gases: N₂ e CO₂. Atualmente, o laser CO₂ é um dos lasers de maior potência.

O equipamento de corte a laser, de marca Automatisa[®], modelo Mira, utilizado nesta pesquisa, encontra-se no LdSM - UFRGS, como pode ser visualizado na Figura 54. No caso deste equipamento, o laser utilizado é do tipo gasoso a base de CO₂, o qual grava e corta por meio de um mecanismo galvanométrico, onde o ponto do laser é fixo e a movimentação do feixe é realizada por espelhos. Além disso, o equipamento disponível funciona com potência máxima de 60W, podendo ser regulada dependendo do material. O mesmo acontece com a velocidade, que pode ser modificada entre 0,01 a 500m/s de acordo com o material que receberá a interferência.



Figura 54: Equipamento de corte a laser, marca Automatisa[®], modelo Mira.

De acordo com dados disponibilizados no site da empresa Automatisa[®] (<http://www.automatisa.com.br>), este tipo de laser corta e grava diversos materiais, preferencialmente de origem orgânica, como couro, madeira, papel, sementes, ossos, chifres e também polímeros. Com o auxílio de aditivos corantes também grava materiais metálicos e cerâmicos.

Na indústria, os aplicativos para o laser crescem vertiginosamente. Isto acontece devido às suas características de baixa divergência e muita energia concentrada, aliadas ao fato dos materiais absorverem relativamente bem esta energia. Além disso, o laser mostra-se como um excelente instrumento de corte, servindo para fazer peças de precisão ou mesmo como elemento de marcação através da gravação.

Na maioria das aplicações industriais é necessário que o sistema laser seja mantido com boa estabilidade mecânica, o que é condição básica para sua operação. Além disso, a falta de estabilidade pode remover do feixe uma de suas mais importantes propriedades: a precisão dimensional. Desta forma, os sistemas devem ser montados em dispositivos estáveis normalmente constituídos de mesas com sistemas de compensação de vibrações e mantidas em um local estável, seja casa ou prédio. Para as ações de corte, é necessário que o laser seja focalizado, para isto utiliza-se um conjunto de lentes. O tamanho do feixe no foco irá determinar quanto de intensidade de luz é depositada naquele ponto (BAGNATO, 2008).

Como instrumento de corte, a vantagem reside no fato de que ele vaporiza o material no local do corte. O material vaporizado tem tempo de escapar, não criando obstáculos para o próprio feixe, e remove o subproduto sem deixar vestígios. Isto faz com que o laser seja mais preciso que outros meios mecânicos. Um corte feito a laser normalmente apresenta uma borda muito mais precisa e limpa do que um corte feito por brocas convencionais, como a usinagem CNC, por exemplo.

Há empresas no Rio Grande do Sul que utilizam o corte e a gravação a laser para desenvolver os mais diferenciados tipos de produtos. Assim como as empresas que possuem a tecnologia de usinagem por jato de água e a tecnologia de usinagem CNC, podem fabricar os produtos aqui propostos. Algumas empresas são destacadas: Casquinha Enfeites para Calçados Ltda.[®] na cidade de Campo Bom/RS e Irmãos Pasquali Cia Ltda.[®] na cidade de Guaporé/RS.

Exemplos de produtos existentes no mercado, nos quais o corte a laser foi utilizado, são as peças de Renata Meirelles. A artista plástica alia técnicas artesanais a técnicas industriais em seus projetos e, sobretudo, além da utilização do laser, ela faz o reaproveitamento das sobras de tecido da sua própria produção. Este processo a artista chama de *retroalimentação* de materiais.

Os produtos são feitos com laminados recortados e soldados pelo calor, este processo chama-se termoadesivagem - técnica em que o tecido é laminado com um adesivo para poder ser adesivado em outra superfície de tecido. As sobras da produção são reaproveitadas para criar novas peças. O que é rejeitado em um processo pode ser reutilizado em outro. A retroalimentação, além de ser um método mais sustentável, se tornou parte da linha de produção de diversas peças da artista (MARQUES, 2011).

A letra A da Figura 55 mostra um painel pertencente à linha 4MC, confeccionado por Renata Meirelles a partir de negativos resultantes de outros processos. Já a letra B da Figura 55, mostra uma echarpe pertencente à linha Fitaflor, em tafetá, desenvolvida a partir de fitas de tecido. De acordo com Renata, as peças mostram novos padrões gráficos que só foram possibilitados através do recorte a laser. Algumas peças da artista, desenvolvidas a partir da tecnologia a laser, foram vencedoras do *Prêmio Top XXI Design Brasil 2011* na categoria Acessórios de Moda.

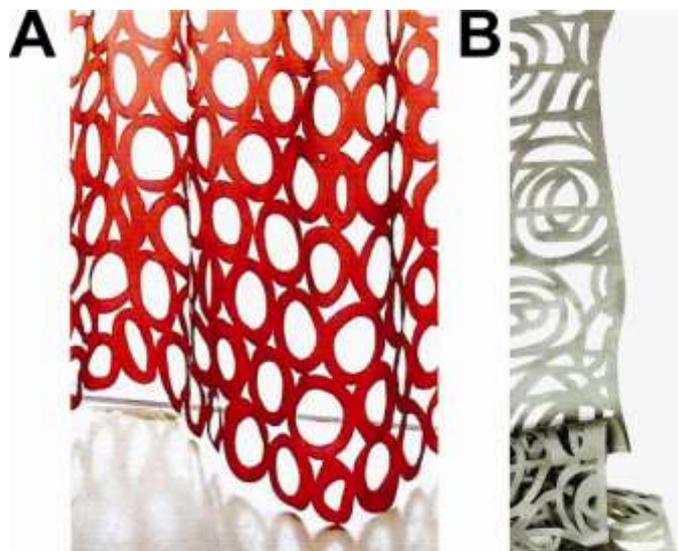


Figura 55: (A) Painel da linha 4MC; (B) Echarpe da linha Fitaflor (Fonte: modificado de Marques, 2011).

Após os estudos sobre materiais naturais no RS e processos de fabricação inovadores, parte-se para a etapa de interferência das tecnologias nos materiais escolhidos, a fim de verificar o poder de resposta dos mesmos frente a certos esforços.

4. APLICABILIDADE DOS MÉTODOS AOS MATERIAIS E PADRÕES

Este capítulo apresenta a aplicabilidade dos métodos aos materiais e padrões, nele estão inseridos os tópicos ‘acrílico: corte a laser’, ‘ágata: corte por jato de água’ e ‘madeiras: usinagem CNC e corte a laser’. O capítulo aborda o passo a passo adotado para os estudos de aplicabilidade; descreve os procedimentos utilizados no decorrer dos estudos e o modo como foram estruturados. Também aponta os resultados prévios.

Vale destacar que, muitos desenhos de Escher já foram utilizados para revestir superfícies de objetos e estampar produtos. Também há este objetivo no presente estudo. No âmbito desta pesquisa, localizaram-se dois exemplos específicos de aplicação de diferentes gravuras do artista em objetos do uso cotidiano. O primeiro exemplo (letra A da Figura 56), um icosaedro com desenhos de estrelas-do-mar e conchas de Escher, estampam uma caixa de bolachas de uma fábrica holandesa. Já o segundo exemplo (letra B da Figura 56), mais próximo do que se pretende neste trabalho, mostra um pilar da Escola Feminina de Haia, revestido com ladrilhos vidrados e estampados com desenhos de aves, também de Escher.



Figura 56: (A) Caixa de bolachas de fábrica holandesa; (B) Pilar de ladrilhos vidrados de 1959.

(Fonte: modificado de Ernst, 1991)

A obra *Intersecção de dois planos* (Figura 57) também mostra, em formato de desenho gráfico, aproximadamente o que se deseja realizar nesta pesquisa em formato físico. Esta obra é descrita da seguinte maneira: duas pranchas retangulares, finas, planas, intersectam-se uma à outra em ângulo agudo. Em cada prancha estão serrados buracos que, como as partes restantes, são em forma de peixes e aves. Os buracos de uma prancha podem ser preenchidos com as partes restantes da outra (ESCHER, 1994).



Figura 57: *Intersecção de dois planos* em xilografia de 1952 (Fonte: Escher, 1994).

Nesta perspectiva, para os estudos de aplicabilidade foram selecionados três desenhos de Escher, como mostra as Figuras 58. Optou-se por nomeá-los da seguinte maneira: o desenho que ilustra o cavalo alado (letra A) será chamado de modelo 1; o desenho que ilustra o cavalo marinho (letra B) será chamado de modelo 2; e o desenho que ilustra o lagarto (letra C) será chamado de modelo 3.

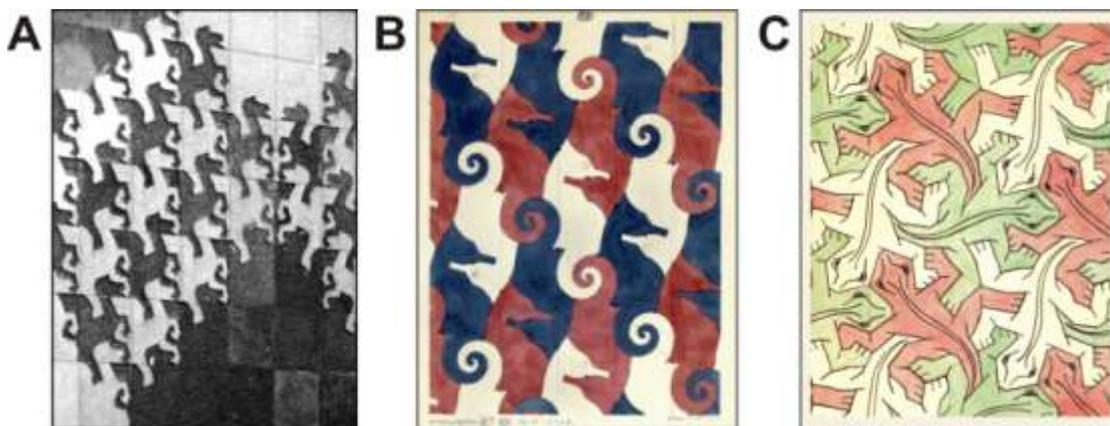


Figura 58: (A) Cavalo alado; (B) Cavalo marinho; (C) Lagarto (Fonte: modificado de Locher, 1988).

Os desenhos selecionados apresentam um alto nível de complexidade de encaixe uma vez que exploram diferentes ângulos, formas e estilos de repetição. Além disso, o projeto se torna ainda mais complexo quando o objetivo é a criação de superfícies a partir de módulos figurativos, ou seja, que representam um elemento já conhecido, como as figuras de animais, pois neste caso, apenas uma linha posta sem precisão, pode descaracterizar a forma e, conseqüentemente, a figura que se deseja transmitir.

Quando o objetivo é a criação de superfícies a partir de módulos abstratos a liberdade se torna muito maior, pois não se está preso a um elemento que já possui um formato determinado. Conclui-se que a criação de superfícies com desenhos modulares que representam formas figurativas é, sem dúvida, desafiadora.

4.1 ACRÍLICO: CORTE A LASER

As imagens selecionadas foram escaneadas e salvas na extensão JPEG.⁷, em seguida foram importadas para o programa CorelDRAW X3[®]. O CorelDRAW[®] é um *software* de desenho vetorial bidimensional direcionado para o design gráfico e pertencente à *Corel Corporation*. Através dos recursos disponíveis neste programa os desenhos foram vetorizados, e então foi possível obter os módulos criados por Escher.

Em seguida, os três módulos foram exportados na extensão PLT. em arquivos independentes, e abertos no *software* chamado Automatisa Laser Draw[®], o qual foi desenvolvido pela empresa Automatisa Sistemas[®]. Este programa gera os comandos necessários para executar o corte de determinado material através do laser.

O material selecionado para os primeiros testes foi o acrílico, também conhecido como polimetilmetacrilato (PMMA). Tomou-se esta rota tecnológica de escolha deste material, pois nesta fase o que se pretende é estudar as possibilidades de encaixe, portanto, o processo de produção dos módulos. Optou-se por trabalhar com três cores – azul, vermelho, transparente – pois a variação de tonalidade entre uma cor e outra auxilia na visualização dos encaixes através do contraste quando postas lado a lado.

A Figura 59 mostra os módulos gerados. Cada um apresenta dimensões específicas de largura, altura e profundidade: 37 x 38,4 x 2 mm para o primeiro modelo (A); 25,4 x 55 x 2 mm para o segundo (B); e 36,2 x 38 x 2 mm para o terceiro (C).

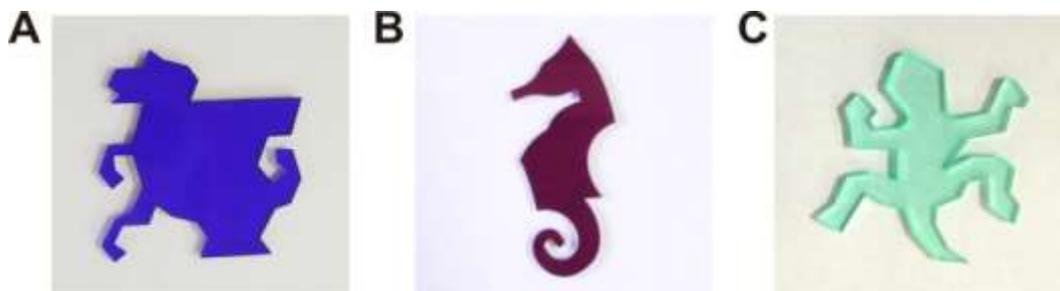


Figura 59: (A) Modelo 1 em acrílico; (B) Modelo 2 em acrílico; (C) Modelo 3 em acrílico.

⁷ As extensões de arquivos são sufixos que designam seu formato e, principalmente, a função que desempenham no computador. Tanto a extensão JPEG., quanto as outras extensões mencionadas neste trabalho, estão especificadas na Lista de Siglas e Abreviaturas com seus respectivos significados.

No momento do corte observou-se que cada cor de acrílico necessitava de um número diferente de aplicações⁸ até que o material fosse finalmente cortado pelo laser. Acredita-se que a reação do material em relação ao corte pode estar ligada aos diferentes pigmentos que os mesmos recebem quando do tingimento. Esta questão não foi aprofundada uma vez que, nesta etapa da pesquisa, o acrílico foi utilizado apenas com fins experimentais para obtenção dos módulos.

A Tabela 2 aponta os parâmetros utilizados para o corte a laser, com destaque para a quinta coluna, na qual notou-se as diferentes necessidades citadas.

Tabela 2: Parâmetros utilizados para o corte a laser em acrílico.

Material	Cor	Potência	Velocidade	Nº de aplicações
PMMA	Azul	60 W	6 m/min	4
PMMA	Vermelho	60W	6 m/min	6
PMMA	Transparente	60 W	6 m/min	7

Os trabalhos selecionados – cavalo alado, cavalo marinho e lagarto – também proporcionaram o entendimento da questão modular quanto às diferentes formas geométricas que podem lhes dar origem (Figura 60). Nesta perspectiva, vale salientar que o módulo é a unidade de padronagem, ou seja, é a menor área que apresenta todos os elementos visuais que compõem o desenho (RÜTHSCHILLING, 2008).

Além das formas geométricas em destaque, Escher fez uso de diversas outras quando da composição de seus desenhos, como retângulos e triângulos, por exemplo.

Neste caso, os estudos de aplicabilidade foram direcionados para a utilização do quadrado (letra A), do paralelogramo (letra B) e do hexágono (letra C) como sendo as formas geométricas que deram origem aos respectivos módulos.

⁸ Aplicações: termo utilizado para identificar o número de vezes que o laser percorre determinado caminho. Caminho pode ser entendido como o ponto inicial até o ponto final do desenho selecionado.

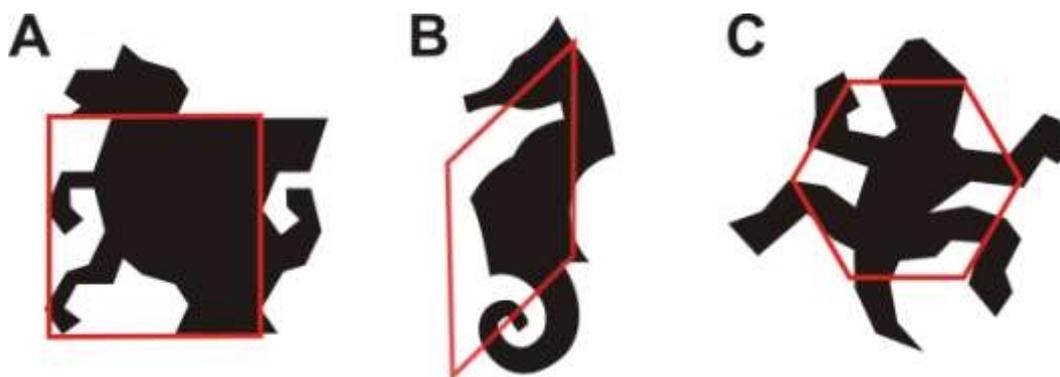


Figura 60: Formas geométricas (A) Quadrado; (B) Paralelogramo; (C) Hexágono.

Em seguida, após reconhecer as diferentes necessidades do material, cortou-se diversos módulos de cada modelo para que os mesmos pudessem ser encaixados uns aos outros, e enfim ser feita a avaliação de encaixe e continuidade. As Figuras 61, 62 e 63 mostram o resultado da replicação dos módulos e a superfície formada a partir da união dos mesmos, com destaque para o detalhe dos encaixes.

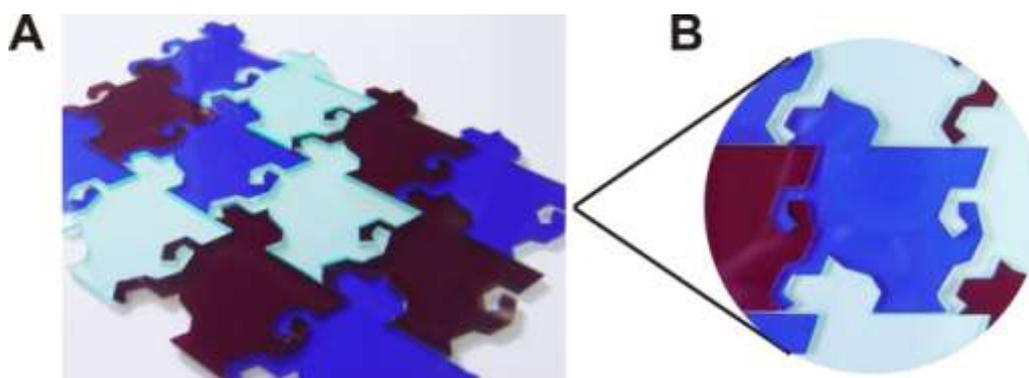


Figura 61: (A) Superfície obtida a partir do modelo 1 em acrílico; (B) Detalhe.

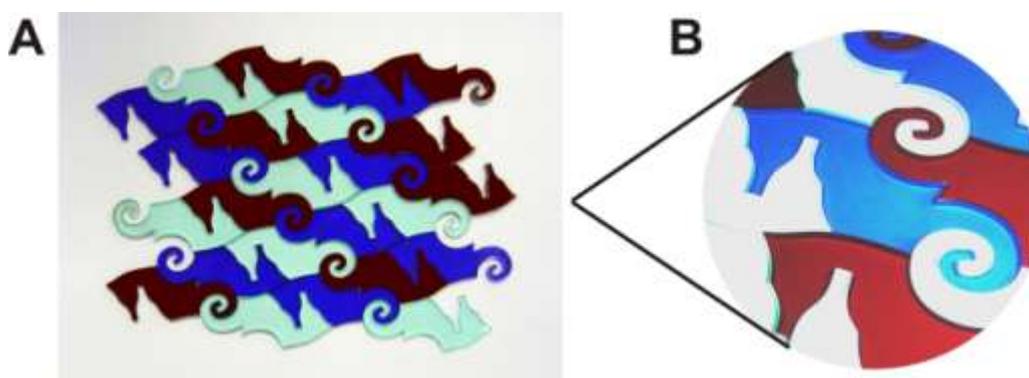


Figura 62: (A) Superfície obtida a partir do modelo 2 em acrílico; (B) Detalhe.

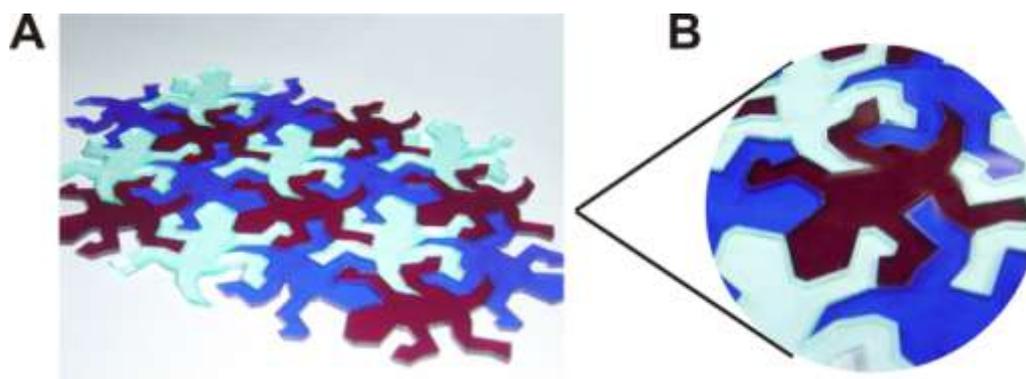


Figura 63: (A) Superfície obtida a partir do modelo 3 em acrílico; (B) Detalhe.

Nos ensaios apresentados foi possível verificar que o material-teste se comportou de forma satisfatória quando em contato com o laser. As peças não apresentaram nenhum tipo de reação adversa quando submetidas ao corte, o que seria esperado uma vez que o laser quando em contato com a superfície pode provocar o aumento da temperatura, e o calor tende a chamuscar o material exposto. Além disso, não foram detectadas falhas ou folgas nos encaixes, e a união dos módulos foi realizada com facilidade. As peças não necessitaram de acabamento.

Os testes de corte a laser viabilizaram o primeiro contato com o equipamento, e proporcionaram o reconhecimento das habilidades e competências desta tecnologia. É possível fazer uso desta mesma técnica para interferir em outros materiais. Deve-se levar em consideração a possibilidade de adaptação de diferentes velocidades e potências de corte de acordo com as propriedades e poder de resposta de cada material.

Neste contexto, as etapas seguintes deram continuidade aos estudos de aplicabilidade, contudo, após os ensaios em acrílico, fez-se o uso e as primeiras experiências com os materiais definitivos, com vistas à compreensão do poder de resposta destes materiais frente à exposição de determinados esforços.

4.2 ÁGATA: CORTE POR JATO DE ÁGUA

Os mesmos módulos obtidos pela vetorização das imagens através do programa CorelDRAW X3[®] foram utilizados para a etapa de corte por jato de água⁹, porém, para este processo os mesmos foram exportados em extensão DWG., a qual é compatível com o software BobCAD[®], programa desenvolvido para a indústria em geral, com foco nas atividades de mecânica fina e moldes.

⁹ O teste foi realizado no CTPedras RS, onde se encontra a máquina de corte por jato de água.

O BobCAD[®] é um *software* de desenho e geração de códigos de máquina direcionados para operações de fresagem, torneamento e corte, entre outras. Permite compatibilizar os comandos numéricos de diversas proveniências para a geração de superfícies em duas e três dimensões.

As intenções deste segundo ensaio calcaram-se nas questões experimentais desta nova tecnologia proposta, e também no reconhecimento dos diferentes parâmetros utilizados se comparados à tecnologia a laser. Este maquinário permitiu, por exemplo, utilizar diferentes velocidades ao longo do percurso em uma mesma ação, possibilitando aplicar o parâmetro adequado para cada tipo de linha.

Neste sentido, foram gerados os comandos necessários para executar o corte das peças, fazendo com que a ágata recebesse a interferência da tecnologia, transferindo para o material o desenho escolhido. A Tabela 3 aponta os parâmetros utilizados para o corte, com destaque para a terceira e quarta coluna, a qual aponta as diferentes velocidades programadas para curvas e retas, cada qual com suas diferentes necessidades. O primeiro teste em ágata foi executado a partir do modelo 2, com dimensões de: 21,6 x 47x 3 mm (LxAxP). Na seqüência, pode-se observar os resultados.

Tabela 3: Parâmetros utilizados para o corte por jato de água em ágata.

Mineral	Pressão nas retas	Pressão nas curvas	Velocidade nas retas	Velocidade nas curvas
Ágata	280 MPa	360 MPa	250 mm/min.	200 mm/min.

A letra A da Figura 64 mostra a chapa de ágata submetida ao corte, e os módulos que dela foram extraídos. Também é possível observar, através dos círculos vermelhos destacados, que a peça apresentou uma pequena saliência que não existia no desenho que gerou os comandos para o corte. Esta saliência se deu pelo seguinte motivo: de forma intencional foi feito com que o ponto de entrada e saída de corte não coincidisse um com o outro, de forma que, ao final do processo, a peça ainda continuasse presa ao restante do material. Caso estes dois pontos estivessem programados para coincidir, ao final do processo, caso a peça não estivesse bem presa, ela poderia se soltar e girar com a força do jato de água.

Neste sentido, julgou-se coerente não coincidir os pontos, preservando a segurança da peça. Além disso, a saliência pode ser facilmente corrigida se lixada adequadamente até que o módulo tome o formato pré-definido. Por fim, a letra B da Figura 64 simula a união dos módulos, e verificou-se que não foi possível realizar o encaixe. As peças apresentaram tamanhos diferentes e uma folga considerável que prejudica a união adequada dos módulos.

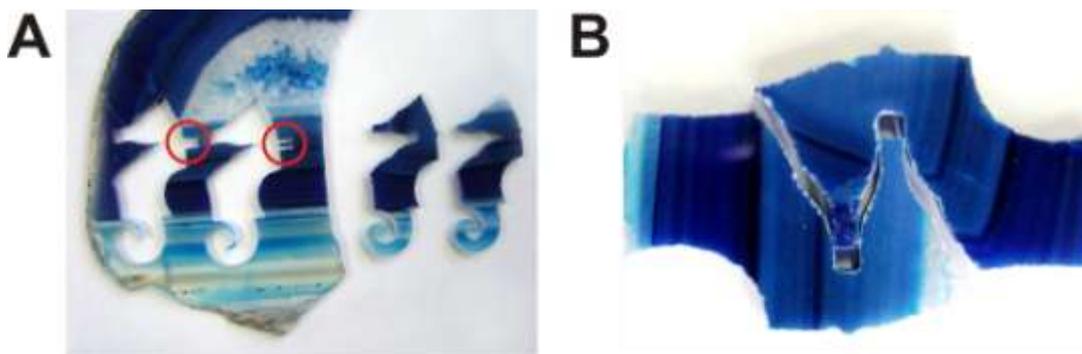


Figura 64: (A) Chapa de ágata e módulos recortados; (B) Tentativa de encaixe dos módulos.

Na seqüência de testes, o segundo ensaio foi executado a partir do modelo 3, com dimensões de: 37,2 x 38 x 4,7 mm (LxAxP). A letra A da Figura 65 mostra as três cores de ágata utilizadas, todas tingidas artificialmente. A saliência do ponto de entrada e saída foi menor que o modelo 2. Este último aspecto evoluiu consideravelmente, e a adaptação torna-se quase indispensável.

A letra B da Figura 65 simula a união dos módulos e, novamente, verificou-se que não foi possível efetuar o encaixe. Os motivos estão relacionados às diferentes dimensões resultantes dos módulos e, neste caso, à falta de uma folga que possibilite a união. Na mesma figura pode-se observar através das setas que o processo de encaixe inicia, mas não desliza até o final das peças. Os módulos ficam parcialmente suspensos.

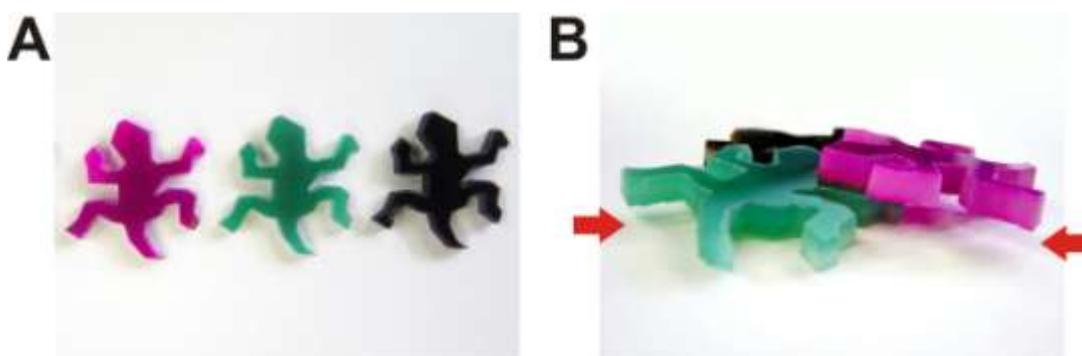


Figura 65: (A) Modelo 3 em três cores de ágata; (B) Tentativa de encaixe dos módulos.

Neste contexto, o teste seguinte foi direcionado para as questões de adaptação de projeto, seguindo algumas etapas: revisão das medidas do desenho original e comparação com as medidas das peças cortadas; digitalização da face superior de todas as peças cortadas e comparação com o desenho original; seleção de uma peça para a digitalização tridimensional completa, com revisão de detalhes e, por fim, avaliação dos níveis de alteração entre a digitalização tridimensional completa e o desenho original através de legenda de cores.

Nesta perspectiva, finalizando os testes em ágata, o terceiro ensaio foi executado a partir do modelo 1, com dimensões de: 48,4 x 50 x 6 mm (LxAxP). A Figura 66 mostra as peças após o corte e a superfície formada. Neste último ensaio, diferente dos anteriores em ágata, verificou-se que foi possível efetuar o encaixe dos módulos, no entanto, as peças ainda apresentaram uma pequena folga entre um e outro encaixe. Esta folga ocorre devido à perda de material quando do corte, ou seja, a peça final não é fidedigna ao desenho original uma vez que a perda de material diminui as medidas, e conseqüentemente, a proporção total da peça.

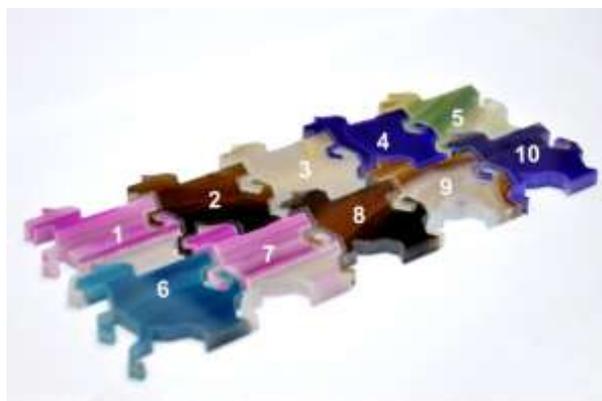


Figura 66: Encaixe dos módulos.

O primeiro passo adotado foi medir as peças cortadas para verificar se há ou não variação de tamanho entre elas e, em seguida, comparar ao desenho original. A seqüência adotada para a medição seguiu a numeração da Figura 66, e as medidas avaliadas foram largura e altura. Para esta análise, foi desconsiderada a profundidade ou a espessura das peças, uma vez que esta medida não se modifica em relação ao corte. O instrumento utilizado para a medição foi o paquímetro de precisão da marca Mitutoyo. A Tabela 4 mostra os respectivos resultados, com destaque para a última linha que aponta a média final.

Tabela 4: Avaliação da largura e altura das peças cortadas.

Peça	Largura	Altura
1	46,0 mm	47,9 mm
2	46,3 mm	48,0 mm
3	46,6 mm	48,1 mm
4	46,3 mm	47,9 mm
5	46,4 mm	47,9 mm
6	46,3 mm	47,8 mm
7	46,2 mm	47,8 mm
8	46,3 mm	47,7 mm
9	46,3 mm	48,0 mm
10	46,3 mm	47,9 mm
Média	46,3 mm	47,9 mm

Foi detectada uma pequena variação tanto de largura quanto de altura entre uma peça e outra, no entanto a média final aponta o resultado geral da medição. Tendo em vista que as medidas de largura e altura do desenho original são 48,4 x 50 mm, e que a média destas mesmas medidas das peças cortadas são 46,3 x 47,9 mm, concluiu-se que a perda de material foi em média de 2,1mm tanto na largura quanto na altura.

Para verificar se a perda de material ocorreu uniformemente em toda borda da peça, ou se houve menor ou maior perda dependendo da região do corte, a face superior de todas as peças foi digitalizada no scanner 3D Digimill[®] do fabricante Tecnodrill localizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais com o objetivo de compará-las ao arquivo original.

Após o processo de digitalização, as informações advindas do escaneamento, também chamadas de malha de pontos, foram visualizadas no *software* Geomagic Qualify[®] do fabricante Geomagic Labs[®]. Este é especializado na criação de modelos 3D a partir de dados digitalizados. No Geomagic Qualify[®] o arquivo passou por um processo de limpeza de pontos, que consiste na exclusão de pontos captados pelo laser desnecessários para o processo de avaliação, como impurezas próximas ao material.

Em seguida, o arquivo foi exportado em extensão IGES., a qual é compatível com o *software* Rhinoceros 3D[®] do fabricante Robert McNeel & Associates. O Rhino 3D[®] fornece ferramentas para modelar desenhos com precisão, preparando-os para renderização, análise, engenharia, fabricação ou construção. Neste *software* os dados foram projetados em um plano e o arquivo foi salvo em extensão DWG., a qual é compatível com o CorelDRAW X3[®], *software* utilizado na seqüência dos testes. A Figura 67 mostra, em formato vetor, a digitalização da face superior de todas as peças. Os caminhos em branco entre uma peça e outra são as folgas as quais não existiam no desenho original.



Figura 67: Digitalização da face superior de todas as peças em formato vetor.

A digitalização da face superior da peça 1 foi sobreposta ao desenho original (letra A da Figura 68). Em determinados segmentos na extensão da borda há maior perda de material, em contrapartida, em outros segmentos há menor perda, como mostra a sobreposição na letra B da Figura 68. Este aspecto foi revisto de forma mais precisa na seqüência de testes. O mesmo procedimento comparativo foi realizado com o restante das faces digitalizadas, as quais apresentaram o mesmo comportamento de variação.



Figura 68: (A) O desenho original encontra-se na cor vermelha e a digitalização da peça 1 encontra-se na cor preta; (B) Na sobreposição a borda em vermelho equivale à perda de material.

Em vista de todas as peças terem apresentado comportamento similar de variação, julgou-se necessário seleccionar apenas uma peça para passar pelo processo de digitalização completa, incluindo todas as faces, não somente a face superior. A digitalização completa permitiu calcular o volume de material perdido; avaliar detalhes com maior precisão; e detectar os segmentos de maior e menor perda de material.

Nesta perspectiva, a letra A da Figura 69 mostra a digitalização completa da peça 1 e, novamente, a sobreposição da mesma com o desenho original através do *software* Studio[®]. Através desta simulação verificou-se o volume tanto do desenho original quanto da peça cortada. O desenho original apresentou volume de 8.242 mm³, já a peça cortada - no caso deste exemplo a peça 1 - apresentou volume de 6.850 mm³. Conclui-se que ocorreu uma perda de 1.392 mm³, isto equivale a 16,89% do material. Além disso, através do detalhe destacado pelo círculo vermelho (letra B da Figura 69) notou-se que os cantos vivos, ou muito angulosos, têm a tendência a ser sutilmente arredondados durante o corte, o que, neste caso, não prejudica os encaixes.

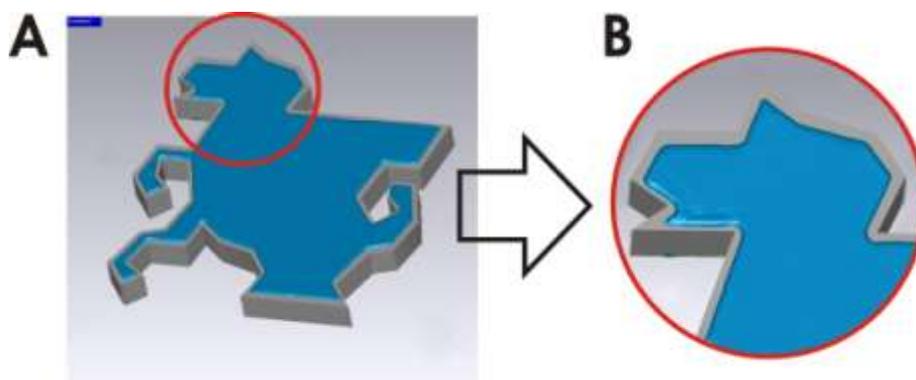


Figura 69: (A) O desenho original encontra-se na cor cinza e a digitalização da peça 1 encontra-se na cor azul; (B) Detalhe.

A letra A da Figura 70 mostra, através de uma legenda de cores, os níveis de alteração entre a peça cortada e o desenho original. O local preenchido pela cor verde mostra a área na qual a peça cortada coincidiu com a área do desenho original, ou seja, a maior parte da peça. As cores mostradas na legenda acima da cor verde, como o amarelo, o laranja e o vermelho, detectam no desenho tridimensional as áreas que a peça cortada ficou acima do desenho original. Neste caso apenas alguns pontos amarelos isolados, que não demonstram importância significativa. Já as cores mostradas na legenda abaixo da cor verde, que vai desde o azul claro até o azul escuro, detectam no desenho as áreas que a peça cortada ficou abaixo do desenho original, ou seja, onde ocorreu a perda de material. Estas são as áreas de maior interesse nesta avaliação.

Como já havia sido detectado anteriormente, toda a borda da peça apresentou perda de material, no entanto, através desta análise pode-se confirmar que a perda não é uniforme em toda lateral da peça.

Através do detalhe destacado pelo círculo vermelho (letra B da Figura 70) nota-se que o desgaste lateral, quando próximo à face superior da peça, detecta a cor azul escuro. Quanto mais próximo à face inferior da peça, o desgaste passa a detectar tons de azuis cada vez mais claros. Quando a cor azul escuro é detectada, significa que nesta área a perda de material foi de 1,05mm, como mostra a numeração ao lado da legenda. Quando a cor azul claro é detectada, significa que nesta área o desgaste foi de 0,14mm.

Se levarmos em consideração que o lado direito analisado desgastou 1,05mm próximo à face superior, e que o lado esquerdo da mesma maneira também desgastou 1,05mm próximo à face superior, conclui-se que o desgaste total na largura da peça próximo à face superior é de 2,1mm, exatamente como verificado anteriormente. Isto também vale para a medida da altura.

No entanto, o lado direito analisado desgastou 0,14mm próximo à face inferior, e o lado esquerdo da mesma maneira também desgastou 0,14mm próximo à face inferior, conclui-se que o desgaste total na largura da peça próximo à face inferior é de 0,28mm.

Através destes dados, conclui-se que o corte por jato de água tende a corroer mais o material quando do início do corte (2,1mm), ou seja, próximo à face superior e tende a corroer menos o material quando do fim do corte (0,28 mm), ou seja, próximo à face inferior. Estes resultados permitem que os arquivos gerados para o corte das peças direcionadas para o produto final sejam adaptados. Estas adaptações podem ser vistas no capítulo seguinte, onde foi efetuada a alteração das proporções do arquivo original prevendo a perda de material.

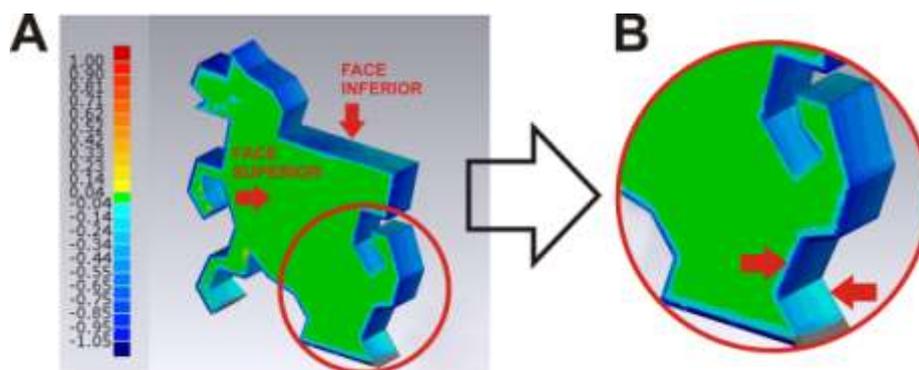


Figura 70: (A) Níveis de alteração entre a peça cortada e o desenho original através de legenda de cores; (B) Detalhe.

4.3 MADEIRAS: USINAGEM CNC E CORTE A LASER

Para a última etapa dos estudos de aplicabilidade foram testadas cinco espécies de madeira: grápia, cedro, pinus, pinho e eucalipto. A intenção deste ensaio é reconhecer os diferentes comportamentos de cada espécie, avaliar qual o número de aplicações necessárias para efetuar o corte em cada uma delas e, por fim, verificar qual espécie tem o melhor desempenho quando em contato com as tecnologias propostas.

Para dar seguimento às investigações e para padronizar a realização dos testes foi preciso transformar os retalhos provenientes dos excedentes industriais em corpos de prova com dimensões aproximadas de largura, altura e espessura. A usinagem CNC foi utilizada nesta etapa dos ensaios.

O primeiro passo foi criar um modelo virtual dos corpos de prova no programa ArtCAM Jewel Smith[®] do fabricante Delcan[®]. O ArtCAM[®] é um *software* especializado em usinagem CNC, e serve para transmitir ao equipamento de usinagem as informações necessárias para o mesmo realizar determinada tarefa.

As informações recebidas são decodificadas como caminhos os quais a ferramenta deve percorrer nos planos x, y e z para a criação do modelo. Estes caminhos servem de guia, direcionando as fresas quando da remoção do material.

Com o auxílio do programa ArtCAM[®] criou-se então um modelo virtual dos corpos de prova com as dimensões desejadas: 36 x 68 x 4 mm (LxAxP). Estes dados foram salvos em extensão TAP., e emitidos para o equipamento de usinagem CNC.

Os retalhos das cinco espécies de madeira foram posicionados no equipamento para o início da fresagem, e foram retirados na medida em que cada corpo de prova finalizava. Para cada espécie de madeira foram confeccionados dois corpos, totalizando dez peças, uma vez que se têm cinco diferentes espécies.

Observa-se na Tabela 5 os parâmetros utilizados para ferramenta, avanço lateral, avanço vertical, velocidades e tempo de fresagem para cada corpo. Na seqüência, a Figura 71 mostra a fresagem do material.

Tabela 5: Parâmetros utilizados na usinagem para a confecção dos corpos de prova.

Fresa topo reto	Avanço lateral	Velocidade avanço lateral	Avanço vertical	Velocidade avanço vertical	Tempo
10mm	3 mm	1500 mm/min.	2 mm	250 mm/min.	17 min.



Figura 71: Usinagem dos corpos de prova.

Após o término da confecção dos dez corpos de prova, partiu-se para a etapa de testes de corte a laser. Foram então criados no programa CorelDRAW X3[®] dois modelos de testes, como mostra a Figura 72, com a intenção de avaliar o poder de resposta de cada uma das espécies selecionadas diante da tentativa de corte.

Os modelos foram exportados em extensão PLT., em seguida foram abertos no programa Automatisa Laser Draw[®] para que o teste fosse realizado. O primeiro modelo de teste foi aplicado em todas as espécies de madeira com a mesma potência ($P=60W$) e velocidade ($V=5m/min.$). Para a primeira linha foi efetuada apenas uma aplicação do laser, para a segunda linha foi efetuada duas aplicações do laser, e assim por diante até se chegar a oito aplicações.

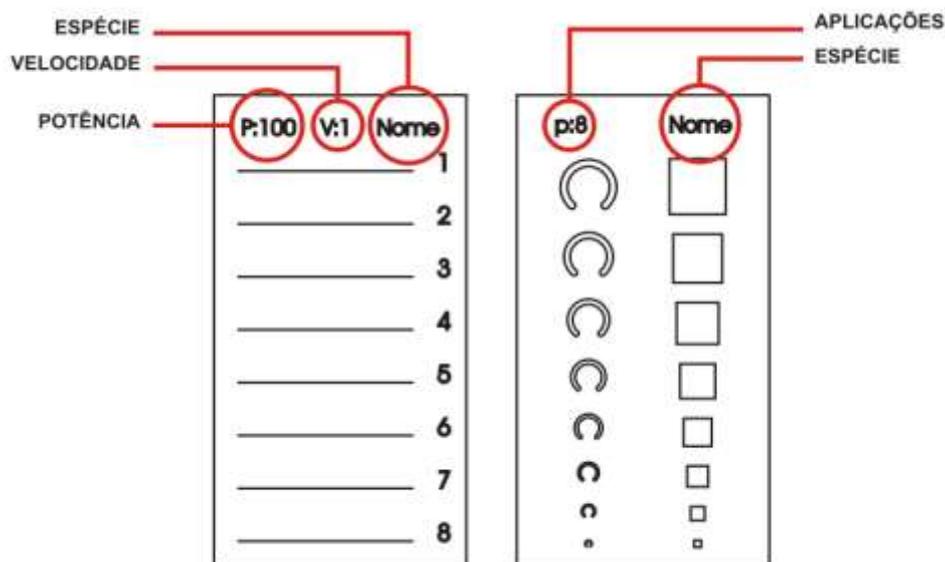


Figura 72: Modelos de teste criados no CorelDRAW X3.

Após reconhecer o número de aplicações adequado para cada espécie, partiu-se então para o segundo modelo de teste. Este foi realizado com o intuito de verificar a capacidade de detalhamento de formas orgânicas e geométricas, já utilizando o número de aplicações considerado adequado para cada madeira. Em seguida, partiu-se para os resultados de cada espécie de forma mais detalhada, salientando as peculiaridades que cada uma apresentou durante as intervenções. A Figura 73 mostra todos os testes.

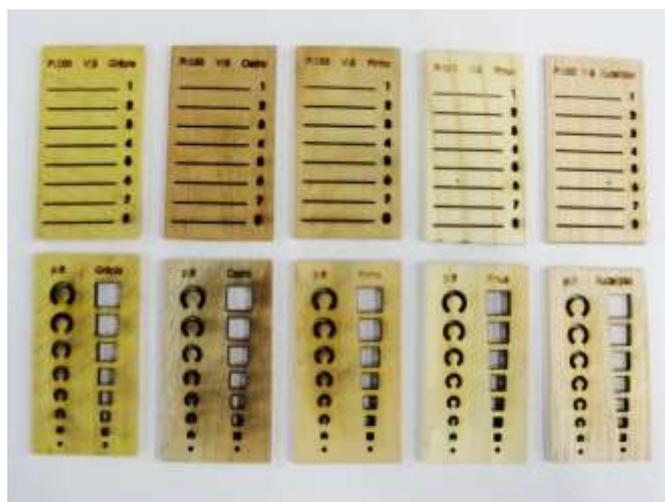


Figura 73: Corpos de prova em cinco espécies de madeira: grápia, cedro, pinho, pinus e eucalipto.

4.3.1 Grápia

No ensaio realizado na madeira grápia (letra A da Figura 74), o corpo de prova começou a ser cortado com cinco aplicações a laser. Contudo, oito aplicações foi o resultado mais eficaz. Após esta constatação, partiu-se para o teste de detalhamento. Nesta etapa foram utilizadas oito aplicações, e o resultado foi satisfatório, uma vez que todas as formas – orgânicas e geométricas – foram totalmente cortadas. Após o corte, verificou-se determinadas regiões escurecidas na superfície da peça, esta reação ocorreu em decorrência da chama formada quando o laser entrou em contato com o material.

Após verificar a potência, velocidade e número adequado de aplicações, partiu-se então para o recorte dos desenhos de Escher (letra B da Figura 74). Novamente o módulo escolhido para ser aplicado tanto na grápia quanto nas outras madeiras foi o modelo 3, que apresenta o desenho do lagarto. A peça foi recortada em tais dimensões: 33 x 35 x 4 mm (LxAxP).

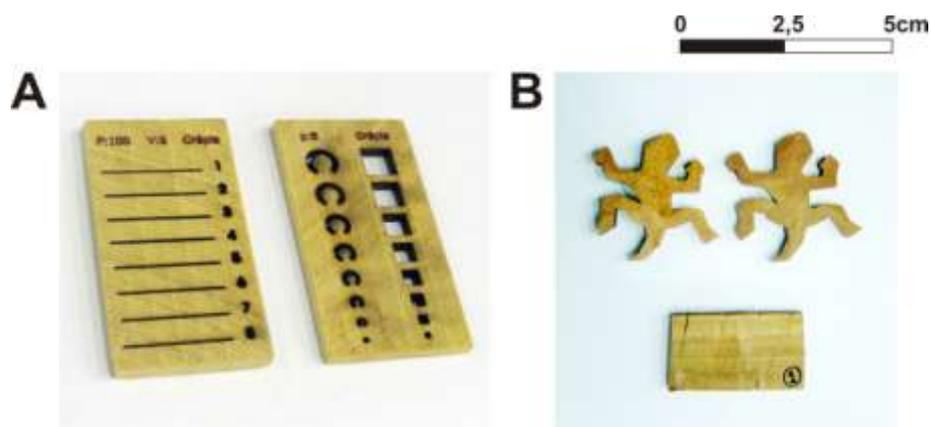


Figura 74: (A) Teste em madeira grápia; (B) Modelo 3 em madeira grápia.

4.3.2 Cedro

Na madeira cedro o corpo de prova (letra A da Figura 75) começou a ser cortado com quatro aplicações a laser. No entanto, seis aplicações foi o resultado mais eficaz, então utilizado na etapa de detalhamento, onde o resultado foi satisfatório. A peça também apresentou regiões escurecidas pela chama, assim como a grápia.

Para o cedro, e para as espécies seguintes, foi adotado as mesmas dimensões de módulo - 33 x 35 x 4 mm (LxAxP) - justamente para efetuar o encaixe de todas as peças ao final do processo. A letra B da Figura 75 mostra a marcação do laser no material a ser cortado. A marcação serve para posicionar o material conforme a necessidade de aproveitamento do mesmo.

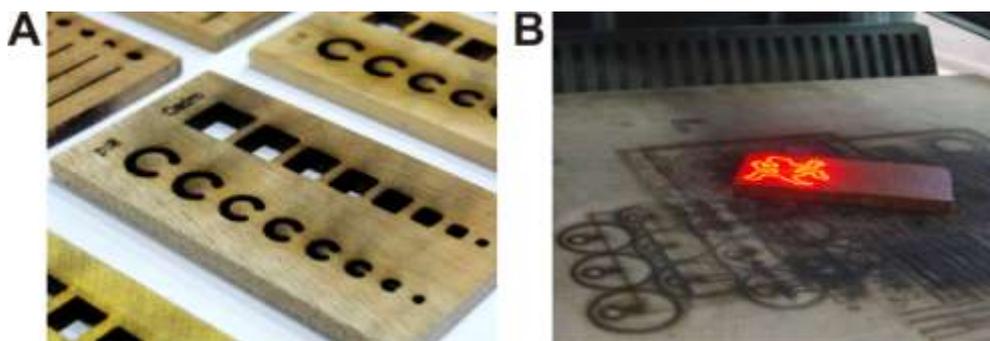


Figura 75: (A) Teste em madeira cedro; (B) Marcação do laser em cedro.

A Figura 76 mostra duas imagens microscópicas da madeira cedro, estas imagens foram capturadas através do microscópio estereoscópio, da marca Olympus® e do modelo SZX16, localizado no LdSM - UFRGS. A letra A mostra o corte transversal da madeira com ampliação de 11x, além disso, é possível localizar os anéis de crescimento, lenho precoce e tardio. Já a letra B, mostra o corte tangencial da madeira, com ampliação de 11x, sendo possível localizar as traqueídes.

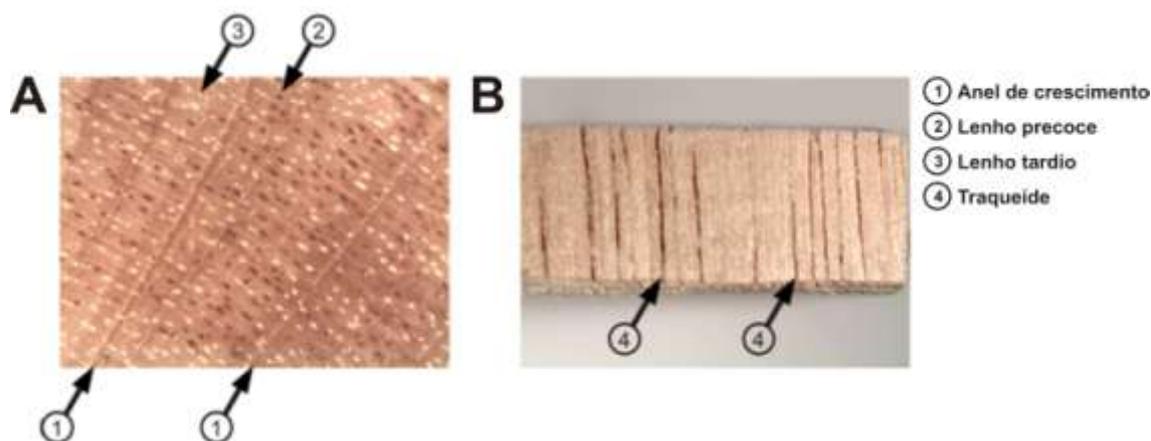


Figura 76: (A) Corte transversal com ampliação 11x; (B) Corte tangencial com ampliação de 11x.

4.3.3 Pinus

No terceiro ensaio o corpo de prova começou a ser cortado com duas aplicações a laser. Entretanto, o pinus apresentou certas peculiaridades que não foram detectadas nas outras espécies. Na letra A da Figura 77 é possível perceber as diferentes tonalidades das fibras da madeira, onde as partes mais escuras aparecem em destaque pelo círculo vermelho. Nestas regiões o laser teve maior dificuldade de corte, como mostra o detalhe da letra B da Figura 77, o qual foi capturado através do microscópio com ampliação de 11x.

Este fato ocorreu por conta de algumas especificidades: as camadas de crescimento da madeira - parte clara e parte escura - são a sucessão de anéis, vistas na secção transversal, correspondente ao lenho produzido durante cada período de crescimento. Um anel de crescimento corresponde a cada ano de vida da árvore, e a aparência dele é consequência das mudanças de estações, das diferentes temperaturas e disponibilidade de água. O lenho inicial é a parte menos densa, de coloração clara, de células largas, produzido na fase de crescimento intenso. Já o lenho tardio é a parte mais densa, de coloração escura, de células menos largas, produzido na fase de crescimento menos intenso (MAINIERI, 1983).

Nesta perspectiva, as fibras claras (lenho inicial) apresentam maior facilidade ao corte porque têm menor densidade, enquanto as fibras escuras (lenho tardio) apresentam menor facilidade ao corte porque têm maior densidade. Esta constatação justifica os diferentes comportamentos.

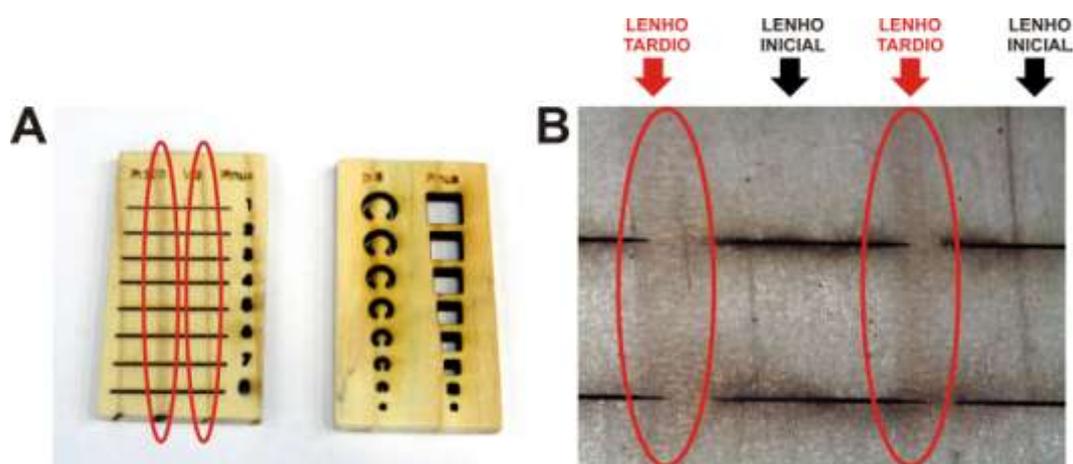


Figura 77: (A) Teste em madeira pinus; (B) Microscopia da madeira pinus.

Concluiu-se que, três aplicações é o suficiente para cortar o material desde que o laser não entre em contato com as fibras escuras. Para o corte total da madeira, independentemente da tonalidade das fibras, é necessário sete aplicações.

Partiu-se para a segunda etapa dos testes. Em virtude do corpo de prova apresentar variações de tonalidade das fibras, decidiu-se então adotar sete aplicações para garantir o corte nesta etapa de detalhamento. O resultado dos detalhes foi considerado suficiente, pois todas as formas foram cortadas. A peça não apresentou regiões escurecidas em sua superfície.

4.3.4 Pinho

Na madeira pinho o corpo de prova (letra A da Figura 78) iniciou o corte com cinco aplicações a laser. Todavia, oito aplicações foi o melhor resultado. Para a etapa de detalhamento foram então utilizadas oito aplicações para os recortes, e o resultado também foi satisfatório, uma vez que todas as formas foram cortadas desde a maior até a menor. A peça apresentou regiões escurecidas, assim como a grápia e o cedro.

A letra B da Figura 78 mostra com precisão o momento do contato do laser com o material, e a chama que se forma na superfície no ato do corte. Esta chama pode ser maior ou menor dependendo do material, provocando diferentes níveis de queimado.

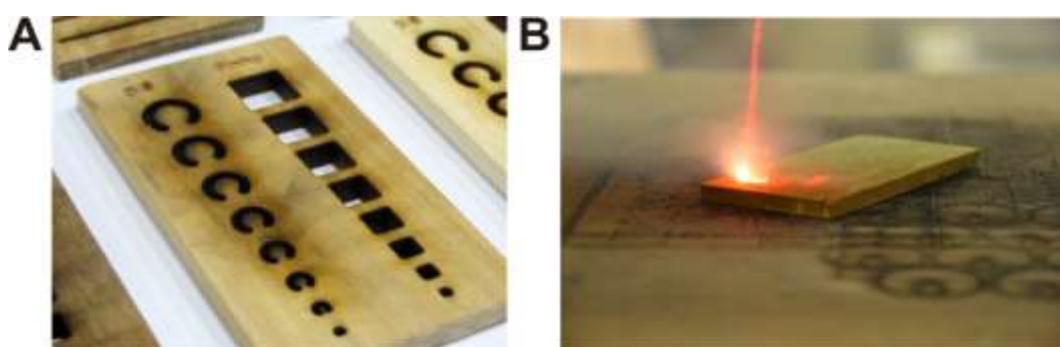


Figura 78: (A) Teste em madeira pinho; (B) Laser em contato com a superfície.

4.3.5 Eucalipto

No último ensaio, realizado no eucalipto, foi possível perceber que o corpo de prova começou a ser cortado com três aplicações a laser, porém, cinco aplicações foi o melhor resultado. Após obter estas informações partiu-se para o teste seguinte, onde o resultado foi o corte do material. Esta peça também apresentou regiões escurecidas.

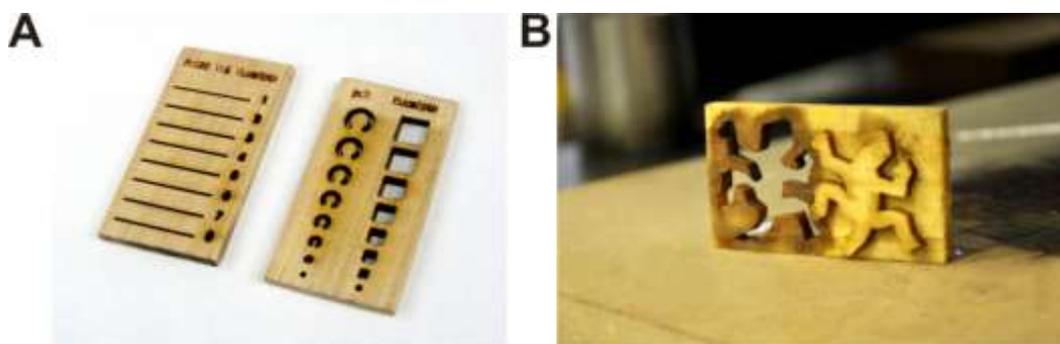


Figura 79: (A) Teste em madeira eucalipto; (B) Modelo 3 em eucalipto.

4.3.6 União dos módulos de madeira

Com o término dos ensaios foi possível criar uma tabela com as informações coletadas, e avaliar de forma mais precisa os resultados. Pode-se realizar a comparação entre uma e outra espécie, identificando as diferentes necessidades.

Tabela 6: Informações coletadas através dos testes em diferentes espécies de madeira.

Espécie	Início do corte	Corte total	Detalhamento	Superfície
Grápia	5 aplicações	8 aplicações	Satisfatório	Escurecida
Cedro	4 aplicações	6 aplicações	Satisfatório	Escurecida
Pinus	2 aplicações	7 aplicações	Satisfatório	Sem escurecimento
Pinho	5 aplicações	8 aplicações	Satisfatório	Escurecida
Eucalipto	3 aplicações	5 aplicações	Satisfatório	Escurecida

Depois de efetuados todos os recortes, fez-se a união dos módulos. A união foi realizada com facilidade, e os módulos encaixaram-se uns aos outros de forma correta. A madeira é um material que absorve umidade e pode empenar se manuseada de forma inadequada, neste sentido deve-se ter atenção redobrada quanto ao ambiente e temperatura de trabalho. Caso o material empenasse, isto provocaria uma dificuldade de encaixe dos módulos, ou até mesmo impossibilidade de fazê-lo. As letras A e B da Figura 80 mostram o resultado final, com destaque para o detalhe dos encaixes.

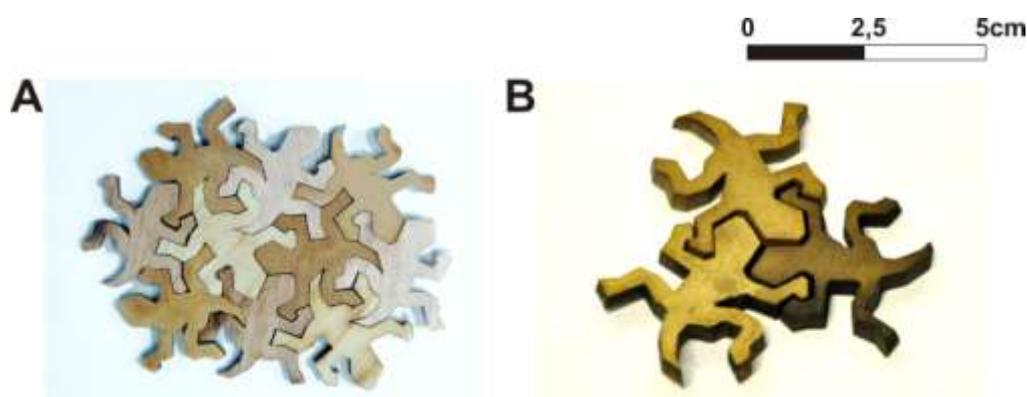


Figura 80: (A) Superfície a partir do modelo 3 a partir de 5 diferentes espécies; (B) Detalhe.

Após a finalização do processo de confecção e encaixe da superfície formada a partir do modelo 3, fez-se o mesmo processo para os modelos 1 e 2.

O modelo 1 apresenta o desenho do cavalo alado (letra A da Figura 81) e possui tais dimensões de módulo: 32,4 x 33,7 (LxA). Neste ensaio foram utilizadas madeiras de diferentes espessuras - 3mm e 6mm - formando uma superfície com diferentes níveis de relevo. Esta particularidade determina uma característica importante na construção desta superfície, a tridimensionalidade. Característica esta que justifica o emprego da expressão *táctil*. As peças direcionadas para o produto final também apresentam diferentes espessuras, caracterizando a produção das superfícies *tácteis* e atendendo a um dos objetivos desta pesquisa.

O modelo 2 apresenta o desenho do cavalo marinho (letra B da Figura 81) e possui tais dimensões de módulo: 20,5 x 48 x 6 mm (LxAxP). Assim como o modelo anterior, os módulos recortados a partir do modelo 2 encaixaram-se uns aos outros de forma correta.

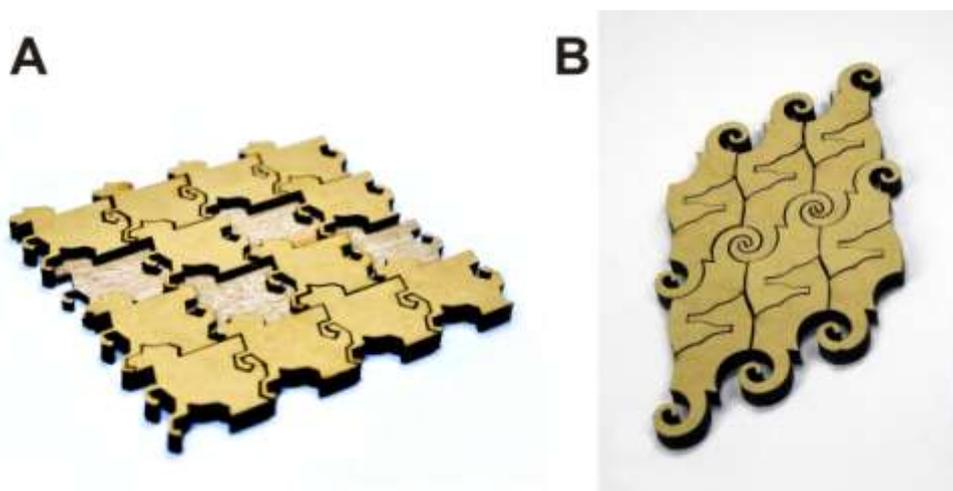


Figura 81: (A) Superfície formada a partir do modelo 1; (B) Superfície formada a partir do modelo 2.

A seguir, são apresentados os resultados gerais dos estudos de aplicabilidade. Esta etapa mostra de que forma as tecnologias utilizadas interferem na realização prática deste estudo. O objetivo é transformar a matéria prima em peças com condições hábeis de aplicação em projetos de painéis de revestimento.

4.4 RESULTADOS PRÉVIOS E DIRECIONAMENTOS

Os testes realizados em acrílico proporcionaram o primeiro contato com a tecnologia a laser e oportunizaram o reconhecimento dos diferentes parâmetros quando se deseja efetuar o corte em determinado material. Estes diferentes parâmetros estão relacionados às variações de potência, velocidade e número de aplicações, os quais podem ser adaptados conforme o reconhecimento das necessidades de cada material. O laser também se mostrou uma tecnologia rápida se comparada às tecnologias convencionais utilizadas atualmente pelas empresas, o que vem ao encontro de um dos objetivos deste trabalho, a produção de objetos de forma contínua e semi-industrial.

Os testes práticos efetuados em ágata possibilitaram a aproximação com a tecnologia por jato de água. Também se fez reconhecer os diferentes parâmetros adotados para o corte que, neste caso, estão relacionados às variações de pressão e velocidade nas curvas e retas. Além disso, a principal característica desta tecnologia quando em contato com a ágata, é a perda de material, a qual foi analisada de forma minuciosa durante os testes. Os resultados permitem que os arquivos gerados para o corte das peças direcionadas para o produto final sejam adaptados. É possível efetuar a alteração das proporções do arquivo original prevendo a perda de material; diminuir o risco de erro; e aperfeiçoar o encaixe das peças.

Por fim, os ensaios em diferentes espécies de madeira - grápia, cedro, pinus, pinho e eucalipto - viabilizaram o contato não só com a tecnologia a laser, mas também com a tecnologia de usinagem CNC. Esta última foi utilizada para usinar os corpos de prova até que os mesmos adquirissem dimensões aproximadas, padronizando as amostras e validando os resultados dos testes.

Todos os testes realizados em madeira apresentaram resultados satisfatórios quanto aos níveis de detalhamento, independente da espécie. No entanto, o número de aplicações a laser necessário para efetuar o corte variou de espécie para espécie.

Dentre as cinco espécies testadas, as que apresentaram uma maior facilidade ao corte foram o eucalipto e o cedro. O eucalipto iniciou o corte com três aplicações, porém, o corte só foi efetuado por completo com cinco aplicações. Já o cedro, iniciou o corte com quatro aplicações, no entanto, o corte só foi finalizado com seis aplicações. A necessidade de um menor número de aplicações a laser para efetuar o corte por completo está diretamente relacionada à economia de energia no processo de produção, fato que justifica a relevância da avaliação deste parâmetro.

Ainda, dentre os dois melhores resultados, o cedro é a espécie com melhor desempenho, pelo seguinte motivo: o eucalipto necessitou de um menor número de aplicações para efetuar o corte total da peça, no entanto esta espécie apresentou um acúmulo de resina na parte oposta ao corte, já o cedro não apresentou nenhum acúmulo de resina na região do corte. A característica do acúmulo de resina deve ser considerada uma vez que influi diretamente no acabamento final.

Por fim, a etapa de estudos de aplicabilidade aos materiais e padrões mostrou-se de grande valia, pois permitiu o contato com todas as tecnologias previstas para a realização deste trabalho, auxiliou na etapa de seleção de materiais e definiu parâmetros para interferência nos materiais selecionados. Estes resultados foram utilizados para o desenvolvimento do conjunto de painéis de revestimento.

5. DESENVOLVIMENTO DE CONJUNTO DE PAINÉIS DE REVESTIMENTO

Depois de compreendidos os diferenciais e as limitações de projeto, partiu-se para a etapa de definição dos desenhos, de disposição dos materiais e de determinação dos parâmetros adequados para o processo de produção. Dados estes direcionamentos, seguiu-se para a realização do projeto através da construção das superfícies tácteis e da aplicação das mesmas em um conjunto de painéis de revestimento.

O conjunto foi formado de três painéis: o primeiro foi elaborado a partir do modelo 1 - desenho que ilustra o cavalo alado - e foi construído com ágata através da usinagem por jato de água; o segundo foi elaborado a partir do modelo 3 - desenho que ilustra o lagarto - e foi construído com cedro através da usinagem CNC; o terceiro foi elaborado a partir do modelo 2 - desenho que ilustra o cavalo marinho - e foi construído com cedro através do corte a laser.

5.1 PAINEL 1: USINAGEM POR JATO DE ÁGUA

Aqui o objetivo foi construir quatro pequenas placas que, juntas, compõem o painel maior. Cabe destacar que estas placas também podem ser reproduzidas em larga escala. A primeira etapa consistiu na elaboração do desenho das placas (Figura 82). Nota-se que cada pequena placa foi composta de quinze peças (B), no entanto, existem apenas seis módulos que se repetem (A), por exemplo: o módulo que segue a letra B se repete na placa duas vezes, onde aparecem os números 2 e 3, já o módulo que segue a letra F se repete na placa três vezes, onde aparecem os números 13, 14 e 15.

Os módulos foram dispostos na placa de tal maneira que, quando da repetição das placas, haja sempre o encaixe. Os módulos de número 4, 8 e 12 encaixam-se nos módulos 1, 5 e 9 na placa posicionada ao lado. Assim como, os módulos 13, 14 e 15 encaixam-se nos módulos 1, 2 e 3, formando assim uma superfície contínua.

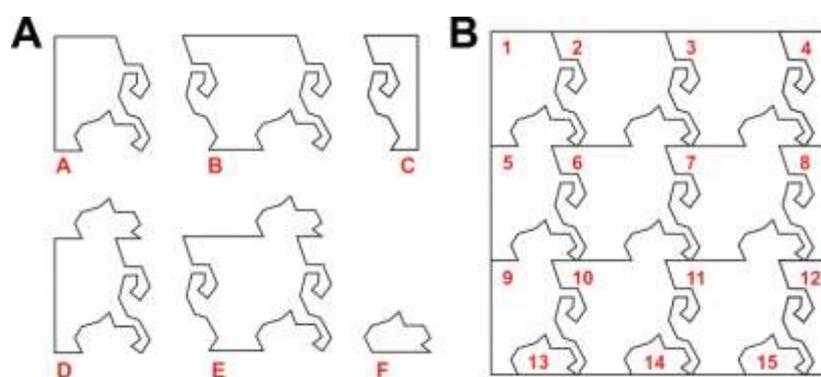


Figura 82: (A) Seis diferentes módulos; (B) Placa com 15 peças.

Cada pequena placa possui 11 x 11 cm (LxA). Esta, repetida quatro vezes, compõe o painel maior de 22 x 22 cm (LxA), como mostra a letra A da Figura 83. As medidas do painel 1, assim como as medidas dos painéis 2 e 3, foram definidas de acordo com as dimensões dos rejeitos direcionados para a confecção de cada painel. A definição das medidas visou sempre o melhor aproveitamento dos rejeitos.

Os desenhos foram aplicados em pedaços de ágata preta e rosa de maneira alternada, ambas tingidas artificialmente (letra B da Figura 83). As chapas de ágata preta variam de 4 a 5 mm de espessura, e as chapas de ágata rosa variam de 5 a 6 mm.

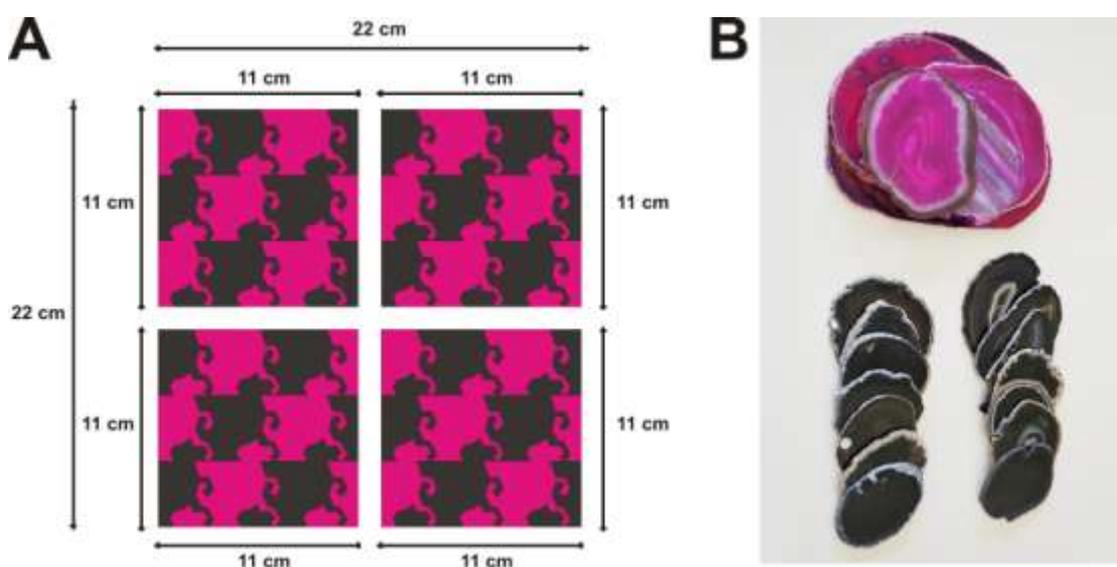


Figura 83: (A) Painel composto de quatro pequenas placas; (B) Chapas de ágata tingidas de preto e rosa.

As especificidades de espessura de chapa e largura de linha - 3,5 mm e 2 mm - definidas anteriormente por Barp *et al.* (2010) foram levadas em consideração. No caso desta pesquisa, seguiram-se estes padrões, uma vez que a espessura mínima de chapa utilizada foi 4 mm, e a largura mínima de linhas foi de 2 mm.

Além disso, os estudos de aplicabilidade realizados anteriormente também permitiram avaliar o comportamento da ágata quando em contato com a usinagem por jato de água e, principalmente, o comportamento do mineral relacionado à perda de material quando do corte. Estas características avaliadas de forma minuciosa permitiram modificar os arquivos gerados para a confecção do produto final, alterar as proporções do desenho original, prever a perda de material e aperfeiçoar o encaixe das peças.

Duas ferramentas de desenho foram utilizadas para auxiliar na geração dos arquivos de corte: *offset* e *fillet*. O *offset* permite alterar as dimensões do desenho de maneira proporcional, aumentando ou diminuindo de acordo com a necessidade. Neste caso, o *offset* foi utilizado para alterar a proporção do desenho deixando-o maior que o pretendido, pois se sabia que haveria o desgaste do material e que, ao final do corte, a peça ficaria então com o tamanho desejado. O *fillet* permite arredondar os ângulos retos ou muito angulosos, e é utilizado para facilitar o encaixe das peças uma vez que as arestas vivas dificultavam a união das mesmas.

Após a definição do desenho de cada placa, e da adaptação de proporção e arestas angulosas através das ferramentas *offset* e *fillet*, partiu-se para a definição dos parâmetros de máquina. Adotou-se diferentes parâmetros para as chapas pretas e rosas, uma vez que ambas possuem diferentes espessuras. Levando em consideração que quanto maior é a velocidade, menor é a pressão e vice-versa, optou-se por aplicar maior velocidade (menor pressão) nas chapas pretas, uma vez que estas eram mais finas e, conseqüentemente, mais propensas a fraturas. Para as chapas rosas, optou-se por aplicar menor velocidade (maior pressão), uma vez que estas chapas eram mais espessas e, conseqüentemente, menos propensas a fraturas. A Tabela 7 aponta os parâmetros de corte adotados nesta etapa do projeto.

Tabela 7: Parâmetros utilizados para o corte por jato de água em ágata.

Chapas	Espessura	Offset	Fillet	Velocidade
Pretas	4 a 5 mm	0,3 mm	1 mm	240 mm/min.
Rosas	5 a 6 mm	0,2 mm	1 mm	180 mm/min.

As chapas de ágata receberam as interferências da usinagem por jato de água (letra A da Figura 84) até adquirir o formato de módulo pré-definido. Em seguida, os módulos foram sendo encaixados uns aos outros (letra B da Figura 84). Durante este processo foi calculado o tempo de corte dos módulos. Cada um dos seis módulos teve diferentes marcações de tempo entre si, uma vez que existiam módulos de diferentes tamanhos. Os módulos retirados das chapas pretas foram cortados em menos tempo se comparados aos módulos retirados das chapas rosas, em função da maior velocidade.

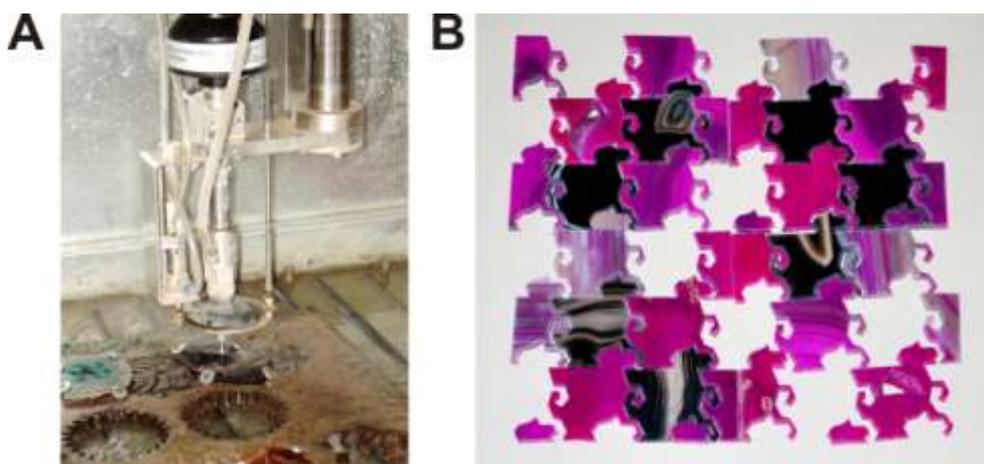


Figura 84: Etapa de montagem do Painel 1.

Nesta perspectiva, a Tabela 8 aponta o tempo de corte para cada um dos seis módulos cortados a partir das chapas pretas (A, B, C, D, E e F). Em seguida, multiplica o tempo de cada um dos módulos pelo número de vezes que ele se repetiu na composição do painel. A Tabela 9 aponta o mesmo procedimento para as chapas rosas.

Por fim, a Tabela 10 aponta o tempo total de corte somando todos os módulos retirados das chapas pretas, e o tempo total de corte somando todos os módulos retirados das chapas rosas e a somatória do tempo total de corte para todo o painel.

Tabela 8: Cálculo de tempo de corte para as chapas pretas.

Módulo	Tempo de corte chapas pretas	Quantidade de peças no painel	Tempo x número de peças
A	49 seg.	2	1:38 min.
B	1:01 min.	4	4:04 min.
C	41 seg.	6	4:06 min.
D	56 seg.	4	3:44 min.
E	1:09 min.	8	9:12 min.
F	25 seg.	6	2:30 min.

Tabela 9: Cálculo de tempo de corte para as chapas rosas.

Módulo	Tempo de corte chapas rosas	Quantidade de peças no painel	Tempo x número de peças
A	1:01 min.	2	2:02 min.
B	1:19 min.	4	5:16 min.
C	52 seg.	6	5:12 min.
D	1:11 min.	4	4:44 min.
E	1:28 min.	8	11:44 min.
F	30 seg.	6	3 min.

Tabela 10: Cálculo de tempo de corte para as chapas pretas e rosas.

Módulos	Tempo total chapas pretas	Tempo total chapas rosas	Tempo total todas chapas
A, B, C, D, E e F	25:14 min.	31:58 min.	57:12 min.

O tempo total de corte permitiu calcular o custo de utilização do maquinário. O custo hora/máquina da usinagem por jato de água localizada no CTPedras é de R\$100,00. Todas as peças necessárias para a montagem do painel foram cortadas em 57:12 min., conclui-se que o custo hora/máquina para produzir o painel foi de R\$95,00.

Se acrescentado 100% em cima do valor hora/máquina direcionado para o custo de projeto, cada painel custaria R\$190,00. Neste caso, não houve custo de matéria prima, uma vez que os materiais utilizados são provenientes de rejeitos, no entanto, este mesmo processo de produção também pode ser aplicado em matérias primas virgens.

No caso da produção a partir de matéria prima virgem, o custo de compra de material seria somado ao custo de hora/máquina e, em seguida, acrescentado 100% em cima deste valor para desenvolvimento de projeto.

Neta etapa, também foi realizado o cálculo do custo final a partir da matéria prima virgem, no intuito de comparar o custo de ambos e verificar se existe ou não vantagem na produção a partir dos descartes. O número de chapas virgens necessárias para produzir este painel custa R\$30,00. Se o painel fosse produzido a partir de matéria prima virgem, ele então custaria R\$250,00. A matéria prima virgem proporciona maior liberdade de escolha de cor, espessura e tamanho. O que não acontece com os rejeitos, que são encontrados em cores, espessuras e tamanhos limitados.

Cada painel possui 22 x 22 cm (LxA), isto equivale a 0,484 m². Se o valor do painel confeccionado a partir de rejeitos industriais foi R\$190,00, o valor do m² equivale a R\$392,56. Da mesma forma, se o valor do painel confeccionado a partir de matéria prima virgem foi R\$250,00, o valor do m² equivale a R\$516,52. Concluiu-se que o custo do m² de um painel confeccionado a partir de matéria prima virgem é 24% mais caro que o mesmo painel confeccionado a partir de rejeitos industriais. A Tabela 11 apresenta a comparação de valores entre a produção feita a partir de rejeitos industriais e a produção feita a partir de matéria prima virgem.

Tabela 11: Tabela de custo.

Matéria prima	Custo de matéria prima	Custo de máquina	Custo de desenvolvimento de projeto	Custo do painel	Custo do painel por m²
Rejeito	R\$0	R\$95,00	100% do custo de material + máquina	R\$190,00	R\$ 392,56
Virgem	R\$30,00	R\$95,00	100% do custo de material + máquina	R\$250,00	R\$516,52

A seguir, pode-se visualizar os resultados de composição do primeiro painel. A letra A da Figura 85 mostra uma das quatro placas de 11 x 11 cm. O projeto prevê a montagem das quatro placas formando um painel quadrado, no entanto, as mesmas placas podem ser montadas lado a lado, em formato retangular, como mostra a letra B da Figura 85. Este tipo de formato também pode ser chamado de listelo.

Tanto no formato quadrado quanto no formato retangular há o encaixe e a continuidades dos módulos, formando sempre a figura desejada. Por fim, a Figura 86 mostra o painel em formato tradicional quadrado, como prevê o projeto.

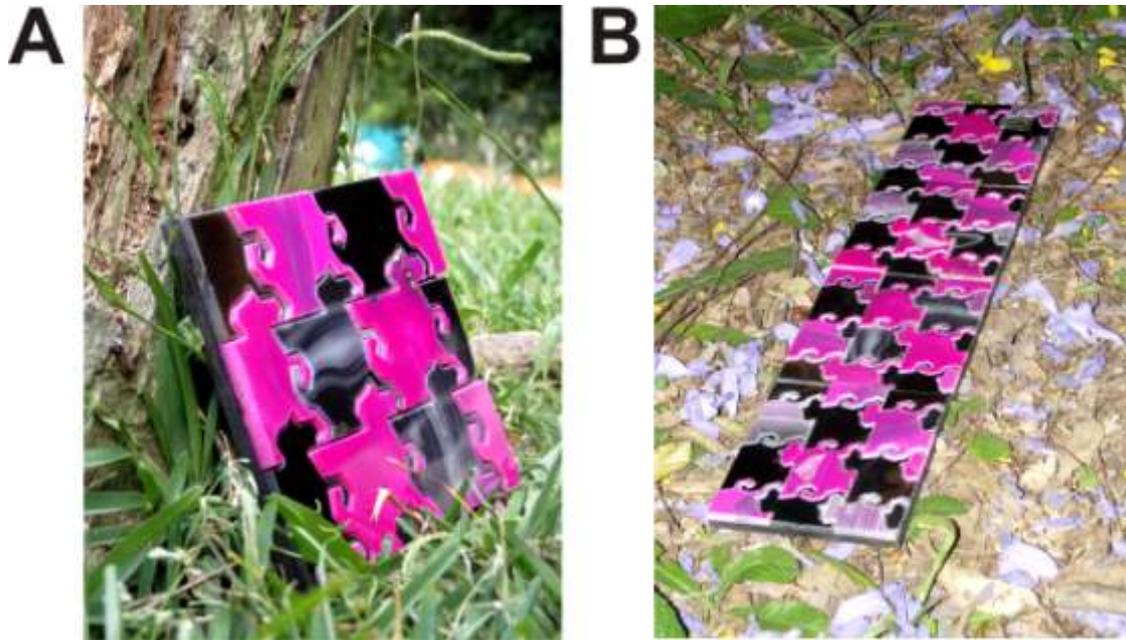


Figura 85: (A) Placa; (B) Painel em formato retangular ou listelo.



Figura 86: (C) Painel 1 em formato quadrado.

5.2 PAINEL 2: USINAGEM CNC

No segundo painel o objetivo foi construir dez pequenas placas que, juntas, compõem o painel maior (Figura 87). Assim como o trabalho anterior, estas placas também podem ser replicadas significativas vezes de acordo com a demanda. Novamente, a primeira etapa consistiu na elaboração do desenho das placas.

Como já mencionado, o painel foi composto de dez placas, no entanto, existem apenas três módulos que se repetem: o primeiro módulo se repete três vezes, onde seguem os números 1, 6 e 8. O segundo módulo se repete quatro vezes, nos números 2, 4, 7 e 9. O terceiro módulo se repete três vezes, nos números 3, 5 e 10. Os módulos foram dispostos de tal maneira que o desenho que ilustra o lagarto se forma conforme a repetição acontece, compondo assim uma superfície contínua. Cada módulo possui as dimensões de 6,9 x 7,9 (LxA), e o painel completo possui 27,7 x 19,9 (LxA).

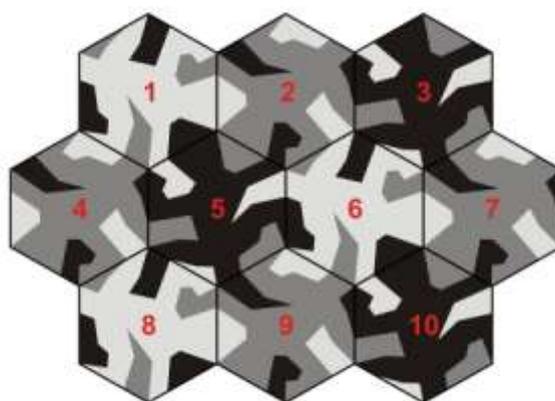


Figura 87: Painel composto de dez placas modulares.

A Figura 88 mostra que o desenho dos três módulos é exatamente igual, o que os difere entre si são as diferentes alturas. Nesta etapa utilizou-se tons de cinza apenas para diferenciar as alturas, pois no produto final os módulos apresentam a cor da madeira.

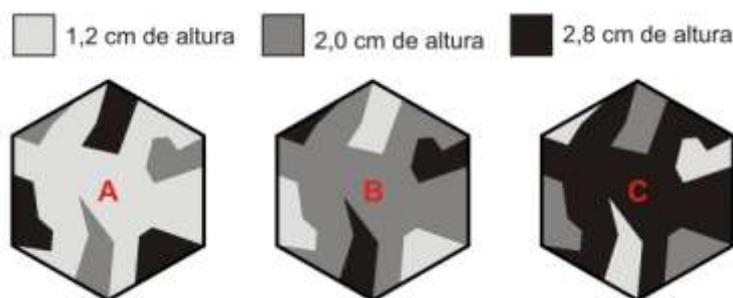


Figura 88: Três diferentes módulos.

Após definidos os desenhos e as diferentes alturas, partiu-se para a aplicação dos mesmos em retalhos de cedro (letra A da Figura 89) de medidas aproximadas 16x10x5 (LxAxP). A madeira foi então posicionada na máquina de usinagem CNC e iniciou-se o processo de remoção do material, como mostra a letra B da Figura 89. Aqui, o ideal seria que a fresa entrasse em contato com a madeira no sentido paralelo às fibras, uma vez que este é o sentido de maior resistência. No entanto, isto não foi possível, uma vez que tanto as madeiras virgens quanto os retalhos descartados são encontrados cortados no sentido da fibra, ou seja, a maior área a ser trabalhada foi justamente aquela em que a fresa entrou em contato com a madeira no sentido perpendicular às fibras, sentido de menor resistência. Apesar desta limitação, o resultado de usinagem foi satisfatório e a madeira não apresentou rachaduras. A Tabela 12 aponta os parâmetros de corte.

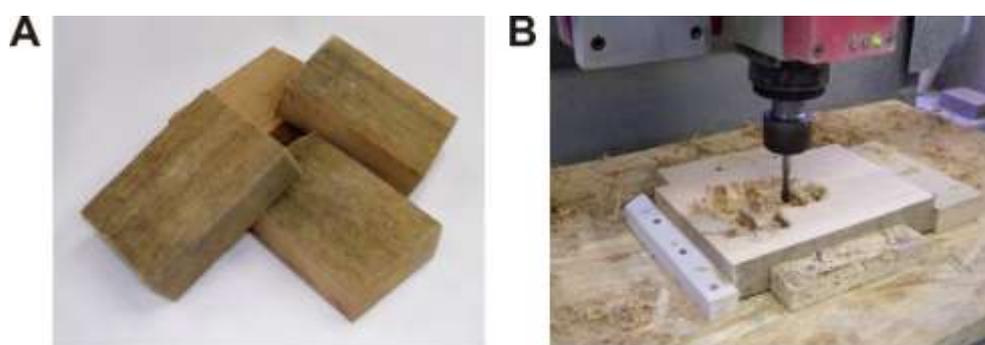


Figura 89: (A) Retalhos de cedro; (B) Processo de usinagem CNC.

Tabela 12: Parâmetros utilizados para a usinagem CNC em cedro.

Fresa topo reto	Avanço lateral	Velocidade avanço lateral	Avanço vertical	Velocidade avanço vertical
6 mm	1,5 mm	3.000 mm/min.	1 mm	1.000 mm/min.

Aqui, diferentemente da ágata, o cedro necessitou de acabamento após o término da usinagem. Pode-se observar através da letra A da Figura 90 que o retalho de madeira após receber o formato de módulo ainda reteve rebarbas e fibras que foram deslocadas durante o processo de usinagem. Neste sentido, os módulos foram cuidadosamente lixados para retirada do excesso de rebarbas (letra B da Figura 90). Primeiramente utilizou-se uma lixa de 120 grana, a qual tem maior capacidade de desbaste. Em seguida, utilizou-se uma lixa de 320 grana, para acabamento fino.

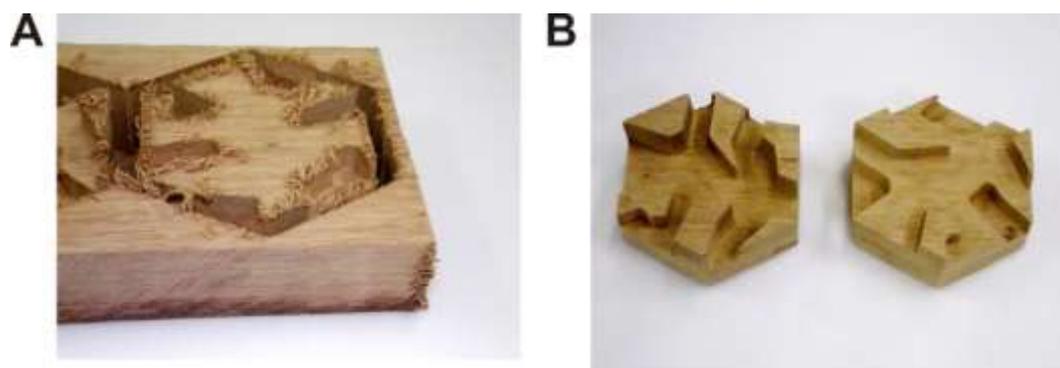


Figura 90: (A) Módulo após usinagem; (B) Módulos após lixamento.

Durante o processo de usinagem foi calculado o tempo de corte dos módulos. Aqui, os três módulos tiveram a mesma marcação de tempo, uma vez que o desenho foi igual para todos, diferenciando-se apenas nas alturas. A Tabela 13 aponta o tempo de usinagem dos módulos. Na seqüência, multiplica o tempo de cada um dos módulos pelo número de vezes que ele se repetiu na composição do painel. A Tabela 14 aponta o tempo total necessário para usinar todos os módulos que compõem o painel.

Tabela 13: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.

Módulo	Tempo de corte	Quantidade de módulos no painel	Tempo x número de peças
A	17:40 min.	3	53 min.
B	17:40 min.	4	1:11 h.
C	17:40 min.	3	53 min.

Tabela 14: Cálculo de tempo de corte para todos os módulos.

Módulo A	Módulo B	Módulo C	Tempo total
53 min.	1:11 h.	53 min.	2:57 h.

Admitindo-se o custo hora/máquina da usinagem CNC o mesmo da usinagem por jato de água, R\$100,00. Levando em consideração que todos os módulos necessários para a montagem do painel foram usinados em 2:57 h., infere-se que o custo hora/máquina para produzir o painel foi de R\$295,00.

Se acrescentado 100% em cima do valor hora/máquina direcionado para o custo de desenvolvimento de projeto, cada painel custaria R\$590,00. Neste caso, também não houve custo de materiais, uma vez que a matéria prima utilizada é proveniente de descartes, no entanto, este mesmo processo de produção também pode ser aplicado em matérias primas virgens. Neste caso, o custo de compra de material seria somado ao custo de hora/máquina e acrescentado 100% em cima deste valor para desenvolvimento de projeto. A quantidade de madeira necessária para produzir este painel custa R\$25,00. Se o painel fosse produzido a partir de matéria prima virgem, ele custaria R\$640,00.

Aqui, da mesma forma que para a ágata, a maior vantagem da utilização da matéria prima virgem é a possibilidade de produção de módulos maiores, uma vez que a madeira virgem pode ser comprada em maiores dimensões.

Cada painel possui 27,724 x 20 cm (LxA), isto equivale a 0,416 m². Se o valor do painel confeccionado a partir de rejeitos industriais foi R\$590,00, o valor do m² equivale a R\$1.418,27. Da mesma forma, se o valor do painel confeccionado a partir de matéria prima virgem foi R\$640,00, o valor do m² equivale a R\$1.538,46. Concluiu-se que o custo do m² de um painel confeccionado a partir de matéria prima virgem é 7,82% mais caro que o mesmo painel confeccionado a partir de rejeitos industriais.

Tabela 15: Tabela de custo.

Matéria prima	Custo de matéria prima	Custo de máquina	Custo de desenvolvimento de projeto	Custo total painel	Custo do painel por m²
Rejeito	R\$0	R\$295,00	100%	R\$590,00	R\$1.418,27
Virgem	R\$25,00	R\$295,00	100%	R\$640,00	R\$1.538,46

Na seqüência, pode-se observar os resultados de composição do segundo painel. A letra A da Figura 91 mostra os três diferentes módulos. A letra B da Figura 91 apresenta a união dos módulos de acordo com os níveis de altos e baixos relevos, dando início à composição do painel. Na seqüência, pode-se observar o resultado final da montagem dos dez módulos e os seus respectivos encaixes (Figura 92).



Figura 91: (A) Três módulos; (B) Encaixe dos módulos.



Figura 92: (C) Painel 2.

5.3 PAINEL 3: CORTE A LASER

Diferentemente dos anteriores, o terceiro painel foi formado de uma única peça de 20 x 20 cm (letra A da Figura 93), ou seja, não foi subdividido em pequenas placas. Aqui existe apenas um módulo (letra B da Figura 93) que se repete diversas vezes na extensão do painel. Nas laterais este módulo aparece cortado pelos limites do quadrado.

O desenho direcionado para a composição deste painel foi uma aplicação isolada, ou seja, se outro painel de mesma configuração fosse colocado ao lado, intencionalmente não haveria o encaixe. Este painel pode ser aplicado em um ambiente ao lado de outros painéis lisos, ou sem desenhos, alternando a composição.

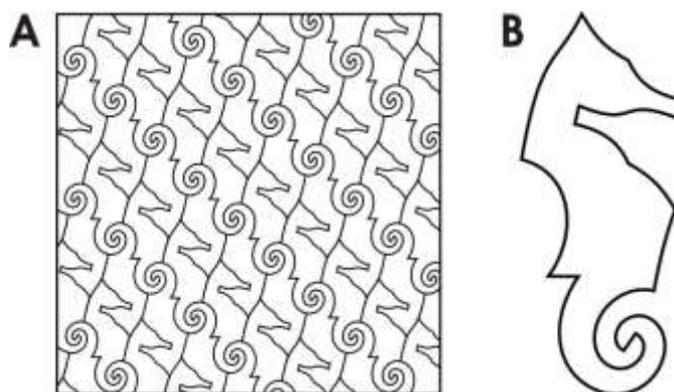


Figura 93: (A) Painel; (B) Módulo.

O módulo inteiro possui dimensões de 2,51 x 6 cm (LxA) e se repetiu 34 vezes na parte central do painel, como mostra a Figura 94 através do tom de cinza claro. O módulo parcial, ou cortado, se repetiu 44 vezes nas extremidades do painel, cada vez em um formato diferente, como mostra a Figura 94 através do tom de cinza escuro.

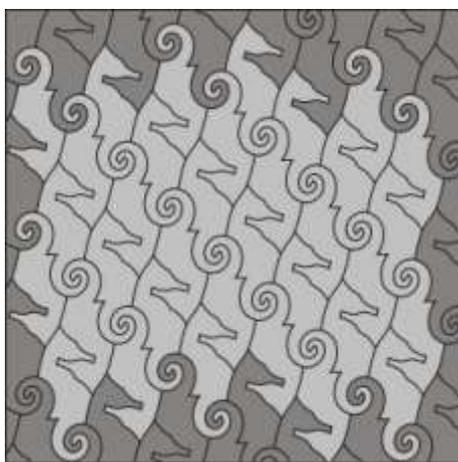


Figura 94: Módulos inteiros e parciais.

Os estudos de aplicabilidade realizados anteriormente em cedro permitiram definir os parâmetros adequados de corte. Aqui utilizou-se os mesmos parâmetros definidos nestes estudos, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16: Parâmetros utilizados para o corte a laser em cedro.

Potência	Velocidade	Nº de aplicações
60 W	5 m/min	6

Após definição de desenho e parâmetros, partiu-se para a aplicação dos mesmos nas ripas de cedro (letra A da Figura 95). As ripas variam de 2 a 4 mm de espessura, e possuem em torno de 30 x 8 cm (LxA). As dimensões não são exatas uma vez que provém de rejeitos industriais. Em seguida, iniciou-se o processo de corte a laser.

Neste caso, não houve necessidade de acabamento, pois as peças não apresentaram rebarbas após o corte. Conforme as ripas adquiriam o formato de módulo pré-definido, os mesmos foram sendo replicados e encaixados uns aos outros na montagem do terceiro painel (letra B da Figura 95).

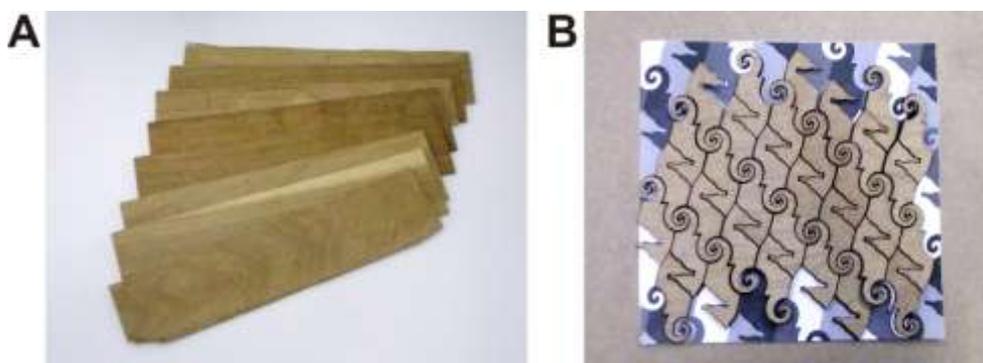


Figura 95: (A) Ripas de cedro; (B) Etapa de montagem do Painel 3.

Durante este processo foi calculado o tempo de corte dos módulos. Os 44 módulos parciais tiveram diferentes marcações de tempo entre si, uma vez que possuíam diferentes formatos. Por este motivo foram calculados um a um. A Tabela 17 aponta o tempo de corte individual dos módulos e em seguida multiplica pelo número de vezes que ele se repetiu no painel, chegando ao cálculo de tempo total necessário para a montagem completa do painel.

Tabela 17: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.

Módulo inteiro	Tempo de corte	Quantidade de módulos no painel	Tempo x número de peças
	29 seg.	34	16:26 min.
Módulos parciais	Tempo de corte	Quantidade de módulos no painel	Tempo x número de peças
	28 seg.	2	56 seg.
	28 seg.	2	56 seg.
	27 seg.	2	54 seg.
	27 seg.	1	27 seg.
	27 seg.	1	27 seg.

Tabela 17: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.

	25 seg.	1	25 seg.
	25 seg.	1	25 seg.
	24 seg.	1	24 seg.
	24 seg.	1	24 seg.
	23 seg.	2	46 seg.
	22 seg.	1	22 seg.
	21 seg.	1	21 seg.
	20 seg.	1	20 seg.
	20 seg.	1	20 seg.

Tabela 17: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.

	18 seg.	2	36 seg.
	18 seg.	1	18 seg.
	17 seg.	2	34 seg.
	16 seg.	1	16 seg.
	16 seg.	1	16 seg.
	16 seg.	1	16 seg.
	16 seg.	2	32 seg.
	15 seg.	1	15 seg.
	15 seg.	1	15 seg.
	15 seg.	2	30 seg.

Tabela 17: Cálculo de tempo de corte para cada módulo.

	14 seg.	1	14 seg.
	14 seg.	1	14 seg.
	14 seg.	3	42 seg.
	13 seg.	1	13 seg.
	12 seg.	1	12 seg.
	12 seg.	3	36 seg.
	10 seg.	1	10 seg.
	10 seg.	1	10 seg.

Tabela 18: Cálculo de tempo de corte para todos os módulos.

Módulo	Quantidade de módulos no painel	Tempo x número de peças
Inteiro	34	16:26 min.
Parciais	44	13:46 min.
Todos	78	30:12 min.

Admitindo-se o custo hora/máquina do corte a laser de R\$100,00. Levando em consideração que todas as peças necessárias para a montagem do painel foram cortadas em 30:12 min., concluiu-se que o custo hora/ máquina para produzir o painel foi de R\$50,33. Se acrescentado 100% em cima do valor hora/máquina direcionado para o custo de desenvolvimento de projeto, cada painel custaria R\$100,66. Não houve custo de materiais, uma vez que a matéria prima utilizada é proveniente de rejeitos industriais, no entanto, este mesmo processo pode ser aplicado em matérias primas virgens.

O número de ripas necessárias para produzir este painel custa R\$10,00, portanto, se o painel fosse produzido a partir de matéria prima virgem ele custaria R\$120,66.

Cada painel possui 20 x 20 cm (LxA), isto equivale a 0,400 m². Se o valor do painel confeccionado a partir de rejeitos industriais foi R\$100,66, o valor do m² equivale a R\$251,65. Da mesma forma, se o valor do painel confeccionado a partir de matéria prima virgem foi R\$120,66, o valor do m² equivale a R\$301,65. Concluiu-se que o custo do m² de um painel confeccionado a partir de matéria prima virgem é 16,6% mais caro que o mesmo painel confeccionado a partir de rejeitos industriais.

Tabela 19: Tabela de custo.

Matéria prima	Custo de matéria prima	Custo de máquina	Custo de desenvolvimento de projeto	Custo total painel	Custo do painel por m²
Rejeito	R\$0	R\$50,33	100%	R\$100,66	R\$ 251,65
Virgem	R\$10,00	R\$50,33	100%	R\$120,66	R\$301,65

Por fim, pode-se visualizar o resultado de composição do terceiro painel. A Figura 96 mostra a peça de 20 x 20 cm. Neste caso, diferentemente dos painéis anteriores, tem-se apenas uma única peça, sem subdivisões, que pode fazer composição ao lado de outros painéis de mesmo tamanho, preferencialmente, lisos. A Figura 97 mostra o detalhe do painel, com destaque para os encaixes e altos e baixos relevos formados na composição da superfície *táctil*.



Figura 96: Painel 3.



Figura 97: Detalhe do painel 3.

5.4. RESULTADOS

A Tabela 20 mostra o resultado geral em termos de viabilidade econômica produtiva, destacando o valor de cada painel e também o valor do seu respectivo m². Ambos os valores foram calculados com a produção a partir de rejeitos industriais e também a partir de matéria prima virgem, em termos comparativos.

O painel 3 apresentou menor custo de venda se comparado ao painel 1 e 2. Este resultado está diretamente ligado ao tempo de máquina necessário para a produção do painel. Relembrando que o painel 1 necessitou de 57:12 min.; o painel 2 necessitou de 2:57 h.; e o painel 3 necessitou de 30:12 min. para ser construído. Conclui-se que o painel que apresentou maior custo pode ser revisto e adaptado para ser produzido com menos tempo de máquina, o que, conseqüentemente, baratearia o custo final.

O painel 1 apresentou maior vantagem em ser produzido a partir de rejeitos se comparado ao painel 2 e 3. O valor do m² do painel 1 produzido a partir de matéria prima virgem é 24% mais caro do que o mesmo painel produzido a partir de materiais descartados. Já os painéis 2 e 3 apresentaram respectivamente 7,82% e 16,6% mais caro quando produzidos a partir de matéria prima virgem. Conclui-se que há vantagem em produzir os painéis a partir de materiais descartados, principalmente se levado em consideração a venda em larga escala.

Tabela 20: Tabela de custos.

Painel	Matéria prima	Custo do painel	Custo do painel por m²
Painel 1	Rejeito	R\$190,00	R\$ 392,56
	Virgem	R\$250,00	R\$516,52
Painel 2	Rejeito	R\$590,00	R\$1.418,27
	Virgem	R\$640,00	R\$1.538,46
Painel 3	Rejeito	R\$100,66	R\$ 251,65
	Virgem	R\$120,66	R\$301,65

Destaca-se que, determinou-se o valor de R\$0 quando a matéria prima utilizada era o rejeito industrial, uma vez que os rejeitos utilizados nesta pesquisa foram doados e eram em pequena quantidade. No entanto, salienta-se que em grande escala devem-se somar ao valor do produto final despesas como seleção dos resíduos, embalagem, transporte e limpeza. Alterando o valor do produto conforme cálculo de cada produção.

A Fundamentação teórica, mais precisamente o tópico Estado da arte, auxiliou na busca por produtos similares existentes no mercado. Dentre os produtos pesquisados destacaram-se a Linha Suprema REC-65 da Cerâmica Atlas (pág. 51) e os painéis de Heloisa Crocco (pág. 52).

A Linha Suprema REC-65 da Cerâmica Atlas possui o diferencial de ser produzida a partir do reaproveitamento dos resíduos da própria produção. Dentre os descartes encontram-se sobras de revestimentos cerâmicos, pastilhas de porcelana, entre outros. Atualmente, as pastilhas estão disponíveis no mercado em alguns revendedores, dentre eles a empresa Ibiza Acabamentos, e estão à venda pelo valor de R\$516,79 o m².

O trabalho de Heloisa Crocco também faz uso de sobras, neste caso, madeiras. As aparas são recortadas em triângulos de diferentes medidas que, quando postos lado a lado, criam uma superfície tridimensional. Os pequenos triângulos são distribuídos seguindo o desenho escolhido. Atualmente, um painel de madeira da artista pode ser adquirido no atelier Crocco Studio Design pelo valor de R\$4.123,00 o m².

Cabe aqui destacar que, apesar do trabalho da artista plástica Heloísa Crocco neste momento ter sido tomado como referência, visa-se neste mestrado uma produção seriada, ou seja, não há a intenção em comparar arte e design.

Levando em consideração o valor por m² dos produtos citados anteriormente e compará-los ao valor por m² dos painéis elaborados nesta pesquisa, conclui-se que os painéis aqui propostos são viáveis em termos de produção e comercialização, uma vez que se encontraram dentro da faixa de preço dos produtos já existentes no mercado.

Os painéis 1 e 3, sejam eles produzidos a partir de rejeitos ou de matérias primas virgens, possuem o valor por m² mais baixo que ambos os exemplos citados. O painel 3 produzido a partir de rejeitos chega a 51,7% mais barato que o m² das pastilhas Cerâmica Atlas e 93,9% mais barato que o m² dos painéis de Heloisa Crocco. Já o painel 2, que teve um maior custo de produção e, conseqüentemente, um maior custo de venda, possui o valor por m² mais caro que as pastilhas Cerâmica Atlas, no entanto, chega a 27,54% mais barato que o m² dos painéis de Heloisa Crocco.

Outro aspecto que também merece destaque são os desenhos selecionados para ilustrar os painéis. Este trabalho utilizou desenhos com alto nível de complexidade de encaixe, uma vez que exploram diferentes ângulos, formas e estilos de repetição.

Este fato torna o projeto ainda mais complexo quando o objetivo é a criação de superfícies a partir de módulos figurativos, ou seja, que representam um elemento já conhecido, como as figuras de animais. Neste caso, apenas uma linha posta sem precisão, poderia descaracterizar a forma e a figura que se desejou transmitir.

Quando o objetivo é a criação de superfícies a partir de módulos abstratos, como é o caso dos exemplos tomados aqui como referência - Linha Suprema REC 65 e painéis Heloísa Crocco - a liberdade se torna muito maior, pois não se está preso a um elemento que já possui um formato determinado. Neste sentido, considera-se relevante a aplicação de desenhos figurativos em painéis de revestimento, uma vez que este tipo de aplicação valoriza o produto final e agrega valor quando da venda.

6. CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho foi percebida a necessidade do andamento da *teoria* em paralelo à *prática*, de forma que as informações bibliográficas pudessem servir de guia para as experiências laboratoriais, e vice-versa. Também se fez o uso de dois tipos de discurso: o texto e as imagens. O argumento iconográfico deve ser entendido como igualmente significativo quanto o escrito, e não apenas ponto de apoio para o texto.

A pesquisa envolveu temáticas distintas, porém, complementares. Transitou desde a investigação acerca dos materiais naturais, passando pelo reaproveitamento de rejeitos industriais até a aplicação de padrões modulares encaixáveis. Foi através da revisão de cada uma destas temáticas que a proposição final direcionou-se.

O estudo dos materiais naturais permitiu verificar que o Rio Grande do Sul é um estado que possui certa variedade de recursos naturais. Fez-se necessário conhecer o potencial destas riquezas naturais, em especial a ágata e o cedro, variedade e espécie que têm por característica a predominância de suas ocorrências no estado do Rio Grande do Sul. O desafio foi justamente conhecer melhor estes recursos para, através do *design* e da *tecnologia*, saber utilizá-los de maneira a otimizar o seu aproveitamento através da reinserção dos seus resíduos no processo produtivo industrial, mantendo a sustentabilidade dessas fontes a longo prazo.

As tecnologias até então utilizadas para interferência nestes materiais, e os objetos produzidos a partir destas interferências, podem ser considerados de baixa complexidade diante do potencial que estas matérias primas possuem. Dentro desta perspectiva é que a tecnologia e os processos de fabricação inovadores primaram por um melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, e também proporcionaram a otimização do seu aproveitamento.

No intuito de minimizar o impacto ambiental, uma vez que a pesquisa aproveitou os descartes de minerais e madeiras, partiu-se para os estudos sobre ecodesign. Por intermédio destes estudos confirmou-se que o projeto considerou o ciclo de vida do produto, ou seja, melhorou sua eficiência global em termos de consumo de matéria, pois reutilizou materiais chamados pré-consumo e pós-consumo. Deu prioridade aos aspectos da durabilidade e da intensidade de uso, uma vez que desenvolveu produtos que prolongam a vida útil de materiais que seriam descartados, diminuindo assim o impacto ambiental no meio ambiente.

Além disso, a seleção dos materiais naturais em questão auxiliou no contato com as três tecnologias propostas, uma vez que cada painel recebeu a interferência de uma das três tecnologias. Acredita-se que estas interferências viabilizaram a geração de produtos com maior valor estético, social e econômico.

Ao lado do uso racional dos materiais naturais, e da inserção de novas tecnologias em prol do seu beneficiamento, também esteve o *design*, o qual é considerado elemento estratégico de gestão industrial uma vez que reflete diretamente na aceitação ou não dos produtos no mercado. Neste sentido, fez-se necessário destacar alguns apontamentos que evidenciam a importância do *design* quando do desenvolvimento de projetos, principalmente quando direcionados para a indústria de revestimentos, como é o caso desta pesquisa.

A aplicação do design de superfície direcionado para o desenvolvimento de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis manteve-se fiel. O estudo das diferentes técnicas, mais precisamente aquelas desenvolvidas pelo artista Maurits Cornelis Escher, auxiliou na elaboração das superfícies e norteou o desenvolvimento de produtos com aparência inovadora, uma vez que ilustram desenhos de alta complexidade e transformação. Os desenhos de alta complexidade podem ser considerados inovadores uma vez que foi possível constatar através do tópico ‘estado da arte’ que os revestimentos existentes hoje no mercado têm um forte apelo de desenhos abstratos, deixando a desejar no quesito desenhos figurativos. Considerou-se este fato de vital importância, principalmente se levado em consideração que os revestimentos vivem um momento de diferenciação, onde o mercado requer uma nova tipologia que demanda textura e aparência independentes para os revestimentos.

A etapa de estudos de aplicabilidade aos materiais e padrões mostrou-se de grande valia, pois permitiu o contato com as tecnologias previstas para a realização deste trabalho, auxiliou na seleção de materiais e definiu parâmetros para interferência nos materiais selecionados. Os resultados foram utilizados para o desenvolvimento do conjunto de painéis de revestimento e a proposta apresentou-se viável, pois atendeu a requisitos que reúnem estética, técnica e funcionalidade. O resultado foi um conjunto no qual permanece a criatividade do designer e, ao mesmo tempo, percebe-se a aplicação das tecnologias inovadoras.

É justamente a partir desta união entre *design & tecnologia* que se pode viabilizar projetos que priorizem o reaproveitamento de resíduos. Vale salientar que neste binômio o que deve ser priorizado é o acabamento final do produto para que os materiais oriundos do reaproveitamento assumam alto valor agregado e criem um diferencial competitivo.

Os parâmetros definidos para a usinagem por jato de água em ágata foram: velocidade de 240 mm/min., *offset* de 0,3 mm e *fillet* de 1 mm para as chapas de 3 a 4 mm de espessura; velocidade de 180 mm/min., *offset* de 0,2 mm e *fillet* de 1 mm para as chapas de 5 a 6 mm de espessura.

Os parâmetros definidos para a usinagem CNC em cedro foram: avanço lateral de 1,5 mm, velocidade de avanço lateral de 3.000 mm/min., avanço vertical de 1 mm e velocidade de avanço vertical de 1.000 mm/min. A fresa utilizada foi de topo reto.

Os parâmetros definidos para o corte a laser em cedro foram: potência de 60W, velocidade de 5 m/min. e 6 aplicações a laser para efetuar o corte por completo.

Por fim, a pesquisa além de estar inserida em uma estrutura de ensino predominantemente direcionada para o *design* e a *tecnologia*, o trabalho também lançou um olhar atento às investigações relacionadas à seleção de materiais, beneficiamento de materiais gemológicos, sustentabilidade, projeto de produto e engenharia de produção. A pesquisa também destacou a importância da interdisciplinaridade e do trabalho em equipe nos projetos de design.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade desta pesquisa, sugere-se o desenvolvimento de outros painéis a partir de desenhos modulares que partam das formas geométricas que aqui não foram trabalhadas, como por exemplo, retângulo, triângulo e losango. Pode-se também idealizar a criação de desenhos próprios, uma vez que o domínio da técnica foi superado. Além disto, os padrões modulares também podem ser direcionados para outros produtos, como jogos de quebra-cabeça infantis e adultos que partam, justamente, da união dos encaixes. Ainda na linha de produtos de entretenimento, os padrões poderiam ser aplicados em jogos de tabuleiro, diferenciando e inovando a questão formal dos mesmos ou aplicados em peças para joalheria.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Direitos Reprográficos (ABDR) - Constituição Federal. Disponível em: <http://abdr@abdr.org.br>. Acessado em: 21 de junho de 2011.

ANSCOMBE, Isabelle. *A woman's touch*. Nova York: Elisabeth Sifton Books, Penguin Books, 1985.

Antonio Bernardo. Disponível em: <http://www.antoniobernardo.com.br>. Acessado em: 01 de julho de 2011.

Atlas: a pastilha do Brasil. Disponível em: <http://www.ceratlas.com.br>. Acessado em: 07 de julho de 2011.

Automatiza: tecnologia em corte e gravação a laser. Disponível em: <http://www.automatiza.com.br>. Acessado em: 28 de setembro de 2011.

BAGNATO, V. S. *Laser e suas aplicações em ciência e tecnologia*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

BARBERO, S; COZZO, B. *Ecodesign*. Barcelona: H. F. Ullmann, 2009.

BARP, D. R. A. *Design e materiais: contribuição ao estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas*. 2009. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BARP, D. R. A; FERREIRA, N. F; NEIS, P. D. *Contribuição ao estudo do processo de corte de ágata por jato de água em formas complexas*. HARTMANN, L. A; SILVA, J. T. *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.

BINDÉ, C. *Ação do IBAMA interdita garimpos e beneficiadoras de ágata em Salto do Jacuí*. *Correio do Povo*, Porto Alegre, 07 de dezembro de 2010. Caderno Notícias.

BONFAND, A. A arte abstrata. São Paulo: Papirus, 1996.

BORGES, A. Maurício Azeredo: a construção da identidade brasileira no mobiliário. São Paulo: Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1999.

BRANCO, P. M.; GIL, C. A. A. Mapa geomológico do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2002.

BUARQUE, A. Minidicionário Aurélio. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1980.

BÜRDEK, B. E. História, teoria e prática do design de produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CAMPANA, H; CAMPANA, F. Irmãos Campana: cartas a um jovem designer. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

CARVALHO, C. A. A. 3º Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: síntese das conclusões e recomendações. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2006.

Catavento. Disponível em: <http://www.solariumrevestimentos.com.br>. Acessado em: 24 de setembro de 2011.

CATTANI, I. B. Série e repetição na arte moderna e contemporânea. Rio de Janeiro: Funarte, 2004.

CERELLO, A. 100 anos de mobiliário no Brasil. São Paulo: Multifformas, 2004.

CHIARELLI, T. Entre o design e a arte: Irmãos Campana. São Paulo: MAM, 2000.

COSTENARO, A. Indústrias de Pedras Preciosas: um estudo dos fatores competitivos em empresas de Soledade-RS. 2005. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Administração, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

COSTA, M. Beneficiamento de Pedras Preciosas no Vale do Taquari – Diagnóstico e Modelo para Análise e Redução de Perdas nos Processos Produtivos. 2007. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

DEER, W. A; HOWIE, R. A; ZUSSMAN, J. Minerais constituintes das rochas – uma introdução. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

ERNST, B. O espelho mágico de M. C. Escher. Berlin: Taschen, 1991.

ESCHER, M. C. Gravura e desenhos. Koln: Taschen, 1994.

ESTRADA, M. H. Sofisticação com descartes. Arc Design, São Paulo, nº 73, 2011.

FERRARESI, D. Curso de usinagem do cobre e suas ligas. São Paulo: Cebraco, 1973.

FERREIRA, A. B. H. Minidicionário Aurélio. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1987. Fundação Athos Bulcão. Disponível em: <http://www.fundathos.org.br>. Acessado em: 19 de junho de 2011.

FIELD, C. J; FIELD, P. M. Design do século XX. Köln: Taschen, 2001.

Francisco Brennand. Disponível em: <http://www.brennand.com.br>. Acessado em: 28 de junho de 2011.

GROOVER, M. P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1996.

GRUNOW, E. Desenho torna-se elemento estratégico de gestão industrial. Projeto Design, São Paulo, nº 339, 2008.

HECHT, J; TERESI, D. Laser light of a million uses. New York: Editora Dover, 1998.

Heloisa Crocco. Disponível em: <http://www.croccostudio.com>. Acessado em: 03 de julho de 2011.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Departamento de Economia Florestal (DEF). Inventário florestal nacional: florestas nativas Rio Grande do Sul. Brasília, 1983.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Departamento de Economia Florestal (DEF). Inventário florestal nacional: reflorestamento Rio Grande do Sul. Brasília, 1983.

Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Manual técnico de Gemas. Brasília, 2001.

JANSON, H. W. História geral da arte: o mundo antigo e a idade média. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

JUCHEM, P. L.; BRUM, T. M. M; FISCHER, A. C; CHODUR, N. L; LICCARDO, A.. Gem materials map of south Brazil region. In: Internacional Congress on Applied Mineralogy, 8., 2004, São Paulo. Anais. São Paulo: Internacional Council of Applied Mineralogy of Brazil, 2004.

JUCHEM, P. L; STRIEDER, A. J; HARTMANN, L. A; BRUM, T. M. M; PULZ, G. M; DUARTE, L. C. Geologia e mineralogia das gemas do Rio Grande do Sul. In: 50 anos de geologia. Porto Alegre, Comunicação e Identidade, 2007.

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

LOCHER, J. L. The world of M. C. Escher. Nova Iorque: Harry N. Abrams, 1988.

Lodi Pedras Preciosas. Disponível em: <http://www.lodipedras.com.br>. Acessado em: 05 de novembro de 2011.

MAGTAZ, M. Joalheria Brasileira: do descobrimento ao século xx. São Paulo, 2008.

MAINIERI, C. Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo (IPT), 1983.

MAINIERI, C; CHIMELO, P. C. Ficha de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas (IPT), 1989.

MANZINI, E. A matéria da invenção. Lisboa: Centro Português de Design, 1993.

MANZINI, E. Design, environment and social quality: from "existenzminimum" to "quality maximum". Design Issues, v. 10, n. 1. Spring, 1994.

MANZINI, E; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis. São Paulo: USP, 2005.

MARQUES, C. Arte no chão de fábrica. Arc Design, São Paulo, nº 73, 2011.

MEDEIROS, H; MOURA, E. Madeira: caráter experimental. Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, nº 41, 1992.

MENDONÇA, A. N. F. O espelho mágico de M. C. Escher, 2009. 23f. Notas de Aula. Impresso.

NEMER, J. A. Heloisa Crocco: topomorfose. Porto Alegre: Paiol/Leitura XXI, 2010.

NENNEWITZ, I; NUTSCH, W; PESCHEL, P; SEIFERT, G. Manual de tecnologia da madeira. São Paulo: Blucher, 2008.

PEDROSO, O; MATTOS, J. R. Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IPRNR, 1987.

PÊGO, K. A. C. Guia para inserção de parâmetros ambientais no design de móveis de madeira. Barbacena: UEMG, 2010.

POHLMANN, M; RASEIRA, C; DUARTE, L; KINDLEIN Jr., W. A técnica da gravação a laser aplicada na confecção de produtos para a promoção do Sítio Arqueológico da Pedra Grande. In: 5º Workshop de Design e Materiais – Seleção de Materiais e Processos de Fabricação. São Paulo: FATEA, 2010.

PRIMO, B. L. Madeiras comerciais brasileiras. São Paulo: IPT, 1968.

QUINTAES, K. D. A influência da composição do esteatito (pedra-sabão) na migração de minerais para alimentos - Minerais do esteatito. 2004. Tese de Doutorado - Universidade de Campinas, São Paulo.

RANK, A; BATTI, C. B. Usinagem de madeira em máquinas CNC. Porto Alegre: SEMAI - RS, 2007.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto: madeira do Rio Grande do Sul. Itajaí: HBR, 1988.

RIBEIRO, P. A. M. Os caçadores pampeanos e a arte rupestre. In: Arqueologia pré-histórica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1991.

RIGHETTO, F. Design brasileiro: uma mudança do olhar. São Paulo: FAAP, 2007.

ROCHA, C. H. A vez do design. Portal DesignBrasil. Caderno Notícias. Disponível em: <http://www.designbrasil.org.br/noticias>. Acessado em: 04 de fevereiro de 2011.

RUBIM, R. Desenhando a superfície. São Paulo: Rosari, 2004.

RÜTHSCHILLING, E. A. Design de superfície. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

SCHUMANN, A. F. Gemas do mundo. São Paulo: Disal, 2006.

SCHWARTZ, A. R. D; NEVES, A. F; RÜTHSCHILLING, E. A. Design de superfície: por uma abordagem projetual geométrica e tridimensional. In: Educação Gráfica – Edição Especial. São Paulo, 2008.

SILVA, F. P. O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, F. P; FALLER, R; KINDLEIN JR., W. A utilização da usinagem em altíssimas velocidades com quatro eixos no design de produto. In: VII P&D, Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.ndsm.ufrgs.br>. Acessado em maio de 2009.

SILVA, J. T; HARTMANN, L. A; HAUSCHILD, C. A. O centro tecnológico de pedras, gemas e jóias do Rio Grande do Sul no ambiente de um arranjo produtivo local. HARTMANN, L. A; SILVA, J. T. Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.

SILVA, R. A. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOLÍS, F. Museo Nacional de Antropología. México: Monclean, 1999.

STUMPP, E. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no Rio Grande do Sul para o controle do Cupim-de-madeira *Seca-cryptotermes brevis*. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SVISERO, D. P.; FRANCO, R. R. A província gemológica brasileira. In: Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM, 1991.

SZÜCS, C. A ; TEREZO, R. F; VALLE, A; MORAES, P. D. Estruturas da madeira. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 2006.

TESSMANN, C. S. Importância do binômio design e engenharia no beneficiamento de rejeitos minerais de opala e ágata na produção de camafeus por usinagem CNC. 2009. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TESSMANN, C. S; DUARTE, L. C; KINDLEIN Jr., W; GOMES, L. E. S. Beneficiamento de rejeito mineral de ágata e opala por usinagem CNC para reprodução de formas complexas. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, Bauru, 2009.

THOMÉ, A; ABREU, A. G; BRANDLI, L. L; FERNANDES, V. M. C; PRIETTO, P. D. M. Diagnóstico dos resíduos gerados pelo setor de pedras preciosas do município de Soledade/RS. HARTMANN, L. A; SILVA, J. T. Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.

TJABBES, P. O mundo mágico de Escher. São Paulo: Art Unlimited, 2011.

TOMASELLI, I. Tecnologia da madeira no Brasil – evolução e perspectiva. In: Revista ciência e ambiente. Santa Maria, UFSM, 2000.

Vans Shoes – Official Site. Disponível em: <http://shop.vans.com>. Acessado em: 19 de junho de 2011.

VIALLI, A. Upcycling - a nova fronteira da reciclagem. Jornal Estadão, São Paulo, 26 de abril de 2010. Caderno Ecotendências. Disponível em: <http://blogs.estadao.com.br/andrea-vialli/upcycling-a-nova-fronteira-da-reciclagem>. Acessado em: 07 de setembro de 2011.

WEISZFLOG, W. Michaelis: moderno dicionário da língua portuguesa. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 2001.

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES e do CNPq.