



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



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

Denise Rippel Araujo Barp

**PROCESSAMENTO DE CHAPAS DE MÁRMORE POR USINAGEM CNC PARA
PROJETOS DE RETROILUMINAÇÃO: ESTUDO DE CASO SERRA DO PARAISO**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2022

DENISE RIPPEL ARAUJO BARP

Processamento de chapas de mármore por usinagem CNC para projetos de retroiluminação: estudo de caso Serra do Paraiso

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Design.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Lauren da Cunha Duarte

Porto Alegre

2022

Denise Rippel Araujo Barp

**PROCESSAMENTO DE CHAPAS DE MÁRMORE POR USINAGEM CNC PARA
PROJETOS DE RETROILUMINAÇÃO: ESTUDO DE CASO SERRA DO PARAISO**

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

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2022.

Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientadora: **Prof.^a Dra. Lauren da Cunha Duarte**

Departamento de Geociências (GEO/UFRGS)

Prof.^a Dra. Mariana Kuhl Cidade

Departamento de Desenho Industrial (DI/UFSM) – Examinadora Externa

Prof.^a Dra. Carolina Bustos Raffainer

Departamento de Design (ESPM) – Examinadora Externa

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Departamento de Engenharia dos Materiais (DEMAT/UFRGS) – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese só foi possível graças à colaboração direta de muitos amigos. Manifesto minha gratidão a todos e em especial: à minha família, por todo amor, incentivo, e apoio nos momentos difíceis. À minha orientadora, Prof.^a Dra. Lauren da Cunha Duarte, pela orientação à minha pesquisa, por sua disposição, dedicação, paciência, empatia, conselhos e apoio em torno destes anos. Ao Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior, por todo apoio, inspiração, conselhos, por sua visão ampliada e pela oportunidade de fazer parte do LDSM.

Aos professores que me auxiliaram nesta trajetória, Prof. Fabio Pinto da Silva, Prof. Luiz Henrique Cândido, Prof.^a Liane Roldo e Prof. Everton Amaral, pelo incentivo, profissionalismo e oportunidade de pesquisa. Ao Prof. Pedro Luiz Juchem pela oportunidade de aprendizado e análises realizadas junto ao Laboratório de Gemologia e a Marcelo Barbalho Pereira pelos ensaios e análises realizados no Laboratório de Laser e Óptica. Ao Prof. Clóvis Gonzatti pelos ensinamentos sobre caracterização tecnológica em rochas ornamentais. A Millena Basílio e Leonardo Luiz Lyrio da Silveira pela colaboração nos ensaios e análises prestadas no CETEM.

Aos meus amigos incentivadores, Felipe Luis Palombini e Mariana Kuhl Cidade pelo estímulo, ombro amigo em todos os momentos e por acreditarem em minha capacidade.

Aos colegas de pós-graduação que trazem a força da coletividade unida na universidade por serem um grupo que compartilha os saberes, em especial a Gabriel Barbieri, João Rogério Pereira, Jaqueline Dilly, Silvie Jobim e Larissa Tononi.

Ao Programa de Pós-Graduação em Design desta Universidade, em especial ao corpo docente e aos funcionários da secretaria, em especial à Eloísa Almeida e a Laziê Laerte da Silva. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio e pela bolsa concedida, ao CETEM/MCTIC e as empresas, que auxiliaram nos ensaios e na aquisição das amostras, e a SEDETEC/UFRGS pelo apoio na realização e depósito de Registro de Desenho Industrial.

A todos os que, de alguma forma, colaboraram com esta tese, o meu muito obrigada!

CIP - Catalogação na Publicação

Barp, Denise Rippel Araujo
PROCESSAMENTO DE CHAPAS DE MARMORE POR USINAGEM CNC
PARA PROJETOS DE RETROILUMINAÇÃO: ESTUDO DE CASO SERRA
DO PARAÍSO / Denise Rippel Araujo Barp. -- 2022.
211 f.
Orientadora: Lauren da Cunha Duarte.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Rochas Ornamentais - Mármore. 2. Usinagem CNC.
3. Retroiluminação. 4. Design e Tecnologia. 5. Efeitos
Visuais. I. Duarte, Lauren da Cunha, orient. II.
Título.

RESUMO

BARP, D. R. A. **Processamento de chapas de mármore por usinagem CNC para projetos de retroiluminação: estudo de Caso Serra do Paraíso**. 2022. 211 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

Mármore são materiais rochosos bastante valorizados, geralmente utilizados nas áreas da construção civil, arquitetura, design e artes. No Brasil, são beneficiados, em seu maior volume, na forma de blocos, chapas e placas. Os mármore possuem características intrínsecas que podem ser evidenciadas por intervenções de processos de fabricação, como a translucidez, que pode ser proporcionada por meio de usinagem para que a luz possa se propagar e gerar efeitos visuais. Esta pesquisa tem por objetivo principal o processamento do mármore para projetos de retroiluminação a partir de placas usinadas por fresamento CNC. Para tal objetivo, a etapa inicial da pesquisa consistiu em selecionar mármore de diferentes colorações e verificar a capacidade de se obter efeitos visuais por retroiluminação, ao permitir interações luminosas como a transmitância e a difusão. Dentre estes, foi identificada esta capacidade em mármore de coloração branca. O mármore Serra do Paraíso, uma rocha de coloração clara, composta por áreas brancas e cinzas, e por vezes com partes beges, foi selecionado. A metodologia de caracterização consistiu em análises petrográficas, fluorescência por raios X para análise da composição, espectrofotometria para análise de colorimetria e reflexão e ensaio de dureza Knoop. Após a caracterização, o mármore foi processado por usinagem CNC em cinco programações: três foram realizadas para análise de retroiluminação e indicaram as espessuras mais adequadas para obter efeito visual quando retroiluminadas; as demais avaliaram a resistência das placas após o desbaste de cavidades por usinagem, em relação às suas espessuras e cavidades. As amostras medidas por retroiluminação foram analisadas de forma quantitativa com o uso de um aparato associado a um luxímetro, para a transmitância. As imagens das amostras retroiluminadas foram analisadas para quantificar o efeito visual gerado pelo brilho e tons de cinza, avaliando-se o efeito óptico no material através da luz difusa nas cavidades. O Mármore Serra do Paraíso apresentou efeitos visuais muito interessantes quando retroiluminado, sendo a espessura de 8mm a mais indicada. Tais efeitos visuais são influenciados pela espessura e pela composição dos minerais, constituindo uma rocha heterogênea em diferentes porções da placa usinada. Ocorre uma maior intensidade de retroiluminação e difusão da luz em áreas mais claras (brancas e beges). Enquanto que em veios e bandas de coloração cinza a cinza escuro, ocorrem áreas opacas e sombreados que revelam interessantes desenhos que contrastam com as áreas de maior intensidade.

Palavras-chave: Rochas ornamentais. Mármore. Usinagem CNC. Efeitos visuais. Retroiluminação. Design e Tecnologia. Seleção de Materiais.

ABSTRACT

BARP, D. R. A. **Processing of marble plates by CNC machining for backlighting design: a case study of Serra do Paraíso.** 2022. 211 p. Thesis (PhD in Design) – School of Engineering / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

Marbles are highly valued rocky materials, generally used in the areas of civil construction, architecture, design, and arts. In Brazil, they are processed, in their largest volume, in the form of blocks, slabs, and plates. Marbles have intrinsic characteristics that can be evidenced by interventions in their manufacturing processes, such as translucency, which can be provided by machining so that light can propagate and generate visual effects. The main objective of this research is the processing of marble for backlighting designs using CNC-milled slabs. To this end, the initial stage of the research consisted of selecting marbles of different colors and verifying the ability to obtain visual effects by backlighting, *i.e.* allowing light interactions such as transmittance and diffusion. Serra do Paraíso marble, a light-colored rock, composed of white and gray and beige areas, was selected. The characterization methodology consisted of petrographic analysis, X-ray fluorescence for composition analysis, spectrophotometry for colorimetry and reflection analyses, and the Knoop hardness test. After characterization, the marble was processed by CNC machining in five programs: three were performed for backlight analysis and indicated the most suitable thicknesses to obtain a visual effect when backlit; the others evaluated the strength of the slabs after machining the cavities concerning their thickness and cavities. The samples measured by backlighting were analyzed quantitatively using an apparatus associated with a light meter for transmittance. Images of the backlit samples were analyzed to quantify the visual effect generated by the brightness and shades of gray, evaluating the optical effect on the material through the diffused light in the cavities. The Serra do Paraíso Marble presented very interesting visual effects when backlit, with the 8 mm thickness being the most suitable. Such visual effects are influenced by the thickness and composition of the minerals, constituting a heterogeneous rock in different portions of the machined plate. There is a greater intensity of backlighting and diffusion of light in lighter areas (white and beige). While in veins and bands of gray to dark-gray colors there are opaque and shading areas that reveal interesting designs that contrast with the areas of greater intensity.

Keywords: Ornamental rocks. Marble. CNC machining. Visual effects. Backlight. Design and Technology. Material Selection.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medições de Frequência cumulativa do mármore Serra do Paraíso, apresenta valores de dureza Valores referentes aos 25% (HK ₂₅ ou quartil inferior), 50% (HK ₅₀ ou mediana) e 75% (HK ₇₅ ou quartil superior). A razão entre as frequências cumulativas 75% e 25% (HK ₇₅ / HK ₂₅) representa a uniformidade de dureza é o coeficiente de heterogeneidade.....	120
Tabela 2 – Medições das Frequências Cumulativas dos materiais do estudo. Valores referentes aos 25% (HK ₂₅ ou quartil inferior), 50% (HK ₅₀ ou mediana) e 75% (HK ₇₅ ou quartil superior). A razão entre as frequências cumulativas 75% e 25% (HK ₇₅ / HK ₂₅) representa a uniformidade de dureza.....	121
Tabela 3 – Parâmetros colorimétricos das amostras do Mármore Serra do Paraíso.	122
Tabela 4 – Valores de Reflectância Difusa (RD) para o comprimento de onda de 580 nm. ...	125
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão em função de sua espessura medida, para amostras com cavidades abertas e fechadas, agrupadas em grupos de aproximadamente 6, 8 e 10 mm.....	138

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo de normas que indicam resultados exigíveis de ensaios de análises de índices físicos para rochas ornamentais para revestimentos em aplicações diversas (internas e externas).	38
Quadro 2 – Resumo de parâmetros tecnológicos sugeridos para mármore utilizados como revestimentos verticais (paredes internas e fachadas).	39
Quadro 3 – Espessuras mínimas sugeridas para pisos de Granito, Mármore e Quartzito.	40
Quadro 4 – Escala de Mohs.	41
Quadro 5 – Ensaio de usinagem para retroiluminação.	89
Quadro 6 Composição química dos mármore, resultados quantitativos obtidos por fluorescência de raios-X.	90
Quadro 7 – Caracterização tecnológica do mármore Serra do Paraíso	103
Quadro 8 – Ensaio de usinagem do Mármore Serra do Paraíso, programações 2 e 3. Amostras para finalidade de análise de retroiluminação.	108
Quadro 9 – Programação 4 de usinagem no mármore Serra do Paraíso.	109
Quadro 10 – Ensaio de resistência no mármore Serra do Paraíso programações 5 e 6.	111
Quadro 11 – Composição química do mármore Serra do Paraíso, resultados quantitativos obtidos por fluorescência de raios X.....	118
Quadro 12 – Cores das amostras obtidas para o sistema de cor CIE L*a*b*. A numeração indica identifica cada amostra, e as colunas separam nas diferentes espessuras (a análise seja feita na superfície e a espessura não interfere neste resultado).	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de Etapas de Pesquisa.....	27
Figura 2 – A pirâmide da Seleção de Materiais.	30
Figura 3 – A Proposta de STEAM como uma prática guiada pelo design. STEAM: <i>Science, Technology, Engineering, Arts e Mathematics</i>	30
Figura 4 – Formas de comercialização de rochas ornamentais processadas, onde em (A) são placas polidas e dimensionadas; (B) escada e parede revestidas por rochas; (C) piso revestido; (D) ladrilhos e lajes e (E) amostras de rochas de colorações distintas.	34
Figura 5 – Ilustração da forma de impressão da ponteira utilizada para Ensaio de Dureza Knopp, onde em (F) é representado para a força e (D) a dimensão da impressão.	42
Figura 6 – Fluxograma esquemático do setor, com os principais produtos dos segmentos do ciclo de produção de rochas ornamentais e de revestimentos.	43
Figura 7 – Fluxograma de etapas da operação de lavra de mármore.....	44
Figura 8 – Pedreira de lavra de mármore: (A) Extração – Lavra a Céu aberto; (B) Frente de lavra mostrando o detalhe do corte por fio diamantado; (C) Blocos de Mármore da Serra do Paraíso cortados por fio diamantado e (D) Blocos de mármore estocados.	44
Figura 9 – Fluxograma do beneficiamento primário de mármore.....	45
Figura 10 – Preparação do bloco para o corte: (A) Processo de envelopamento do bloco de rocha e (B) Bloco envelopado e preparado para serragem.....	45
Figura 11 – Equipamentos de corte de blocos: (A) Bloco de mármore cortado em tear multilâminas; (B) Lâmina diamantada utilizada para cortar mármore. No detalhe, ampliação para local das pastilhas diamantadas; (C) Talha-blocos Monodisco; (D) Talha-blocos multidiscos diamantados, disco destacado pelo oval; (E) Tear multifios diamantados e (F) Fios diamantados cortando um bloco de granito em tear-multifios.	46
Figura 12 – Fluxograma de etapas de beneficiamento secundário para mármore.	47
Figura 13 – Procedimento de resinagem: (A) Detalhe do procedimento de resinagem de chapas de rochas ornamentais e (B) Detalhe do forno catalisador de cura.....	47
Figura 14 – Procedimento de telagem: (A) Aplicação de resina no processo de telagem e (B) Aplicação da tela na chapa.....	48

Figura 15 – Processo de polimento de chapas: (A) Modelo de politriz manual e (B) Exemplo de politriz semiautomática e dois cabeçotes.....	48
Figura 16 – Processos de acabamento superficial de rochas ornamentais: (A) Flameamento de uma chapa de granito e (B) Jateamento de uma chapa de rocha ornamental.	49
Figura 17 – Processos de acabamento superficial de rochas ornamentais: (A) Chapa de granito submetido ao processo de apicoamento; (B) Martelo pneumático utilizado no processo de apicoamento; (C) Processo de escovação de rochas ornamentais; e (D) Prato com escovas abrasivas utilizadas para escovação de rochas ornamentais.	50
Figura 18 – Chapas beneficiadas: (A) Pátio de estocagem de chapas com bordas irregulares, (B) Dimensionamento de chapas em cortadeira monodisco e (C) Placas dimensionadas em estoque.	51
Figura 19 – Aspecto típico de uma chapa bruta com a borda fraturada e a parte da chapa que será aproveitada como placa de mármore ou granito. Ilustra também a representação da parte de resíduo resultante do corte das bordas.	52
Figura 20 – Processo de corte de chapas em ladrilhos: (A) Chapa a ser subdividida em fitas em cortadeira multidisco e (B) Encabeçadeira automática monodisco.	52
Figura 21 – Processo de acondicionamento (A) Disposição em torres para o acondicionamento de ladrilhos e (B) Ladrilhos prontos para comercialização.	53
Figura 22 – Formas modulares de ladrilhos, disponíveis em um catálogo de marmoraria italiana.....	53
Figura 23 – Formas típicas de pias para cozinhas e banheiros e do rejeito (em cor cinza) derivado do processo de produção destes produtos.	54
Figura 24 - Produtos obtidos por processos de usinagem: (A) Escultura gerada por fresamento CNC e (B) Painel vazado obtido através de remoção por jato d`água.	55
Figura 25 – Painéis de Mosaicos para pisos. Composição com encaixes de formas cortadas a partir de diferentes materiais e cores. Em (A) placas para pisos; mosaico com formas à partir de círculos, (B) aplicação no ambiente decorado; (C) placas para pisos e paredes, formas retas e anguladas; (D) vista aproximada da composição aplicada em parede. .	55
Figura 26 – Tipos de fresamento frontal: (A) faceamento convencional; (B) faceamento parcial; (C) topo; (D) borda; (E) cavidades, também chamado de fresamento de mergulho ou de rampa e (F) de superfícies curvas.	58

Figura 27 – Parâmetros de usinagem: velocidade de rotação (n), velocidade de avanço (V_f), profundidade de corte (a_p) e penetração de trabalho (a_e).....	59
Figura 28 – Processo de fresagem CNC em mármore: (A) Desbaste e (B) Acabamento.	61
Figura 29 – Esquema de análise e otimização do processo de corte de rochas.	62
Figura 30 – Interação mecânica entre a ferramenta e a peça em corte de rocha.....	63
Figura 31 – Mecanismos de Desgaste por abrasão: (A) Corte; (B) Fratura; (C) Fadiga causada por repetidas fricções e (D) Arranque de grão.	64
Figura 32 – Imagens do Fresamento do mármore Carrara mostrando, nos detalhes, o arrancamento do cavaco em 0, 5 e 10 ms.	65
Figura 33 – Processo de usinagem CNC em arenito: (A) Modelo obtido por Digitalização e (B) Operação de fresamento do arenito.	66
Figura 34 – Faixas de comprimento de onda de luz visível e descrição de cor aproximada. Observação: as faixas de comprimento de onda aqui são aproximadas; pessoas diferentes descreverão cores de formas diferentes.....	67
Figura 35 – Comparativo da intensidade relativa de luz de diferentes tecnologias de lâmpadas, em comparação com a luz do Sol observada na superfície da Terra.	68
Figura 36– Imagem de uma escultura de um cavalo em material translúcido, alabastro, retroiluminado.	72
Figura 37 – Comportamento óptico em materiais reflexivos e translúcidos: (A) Reflexão da luz em uma superfície – reflectância e (B) Propagação da luz na subsuperfície - transmitância	73
Figura 38 – Equipamento convencional Goniômetro.	74
Figura 39 – Aparato para medição da leitura da transmissão da luz solar em amostra de mármore utilizando o equipamento luxímetro.	76
Figura 40 – Aparato para Medição da transmissão da luz emitida por lâmpada em amostra de mármore utilizando o equipamento luxímetro.	77
Figura 41 – Chapa de rocha retroiluminada da empresa Zucchi Luxuri Stones, com dimensões de 2 x 3 m e 20 mm de espessura.....	78
Figura 42 – Imagem da constituição do material Slimstone	79
Figura 43 – Projeto de banheira com placas retroiluminadas.	79

Figura 44 – Placas de rochas retroiluminadas da empresa Lithos Design: (A) Vista frontal painel de parede em mármore; (B) Vista em inclinação, painel de parede; (C) Vista frontal de painel de parede	80
Figura 45 – Aplicações de produtos de rochas retroiluminadas da empresa Lithos Design: (A) Stand em feira; (B) Luminárias de parede e Bancada; (C) Painel de Parede com placas; (D) Painel de Parede em bar; (E) Luminária de mesa;	80
Figura 46 – Aspectos envolvidos nesta pesquisa para o mármore.	81
Figura 47 – Etapas para verificação do efeito ótico: (A) placa de mármore dimensionada; (B) usinagem CNC para produzir as porções rebaixadas que permitirão o efeito óptico; (C) aplicação de iluminação e (D) identificação do efeito ótico quando iluminada.	81
Figura 48 – Fluxograma de Roteiro para escolha e seleção de rochas ornamentais e de revestimento.	82
Figura 49 – Imagens dos materiais selecionados: (A) Carrara; (B) Nero; (C) Verde; (D) Crema.	83
Figura 50 – Ensaio de microdureza: (A) Equipamento MICROMET 2001 (Buehler®); (B) Indentador com ponteira Knoop, destacada por círculo laranja; (C) Lente de 40x de magnificação, indicada por círculo; e (D) detalhe do rebaixo, circulada.....	86
Figura 51 – Fluxograma do Processo de programação para o corte por usinagem CNC.....	87
Figura 52 – Equipamento de usinagem CNC: (A) Fresadora CNC – Digimill 3D; (B) Fresa de topo com diâmetro de 6 mm, com espiral com duas arestas de corte.....	88
Figura 53 – Programação de usinagem 1: (A) Programação do volume 3D, (B) Vista lateral da programação, ilustrando as espessuras restantes nas cavidades, (C) Simulação do percurso usinagem em três etapas, uma por cavidade, em vista de topo e (D) Simulação percurso de usinagem em vista lateral.	88
Figura 54 – Petrografia: etapa de microscópica ótica das amostras em lâminas com espessura de 30µm: (A) Carrara; (B) Nero; (C) Verde e (D) Crema.....	91
Figura 55 – Amostras observadas por luz transmitida em espessura de 1 mm observadas à Lupa Estereoscópica: (A) Mármore de Carrara; (B) Mármore Nero; (D) Mármore Verde; e (D) Material Fabricado Crema.....	93
Figura 56 – Gráficos dos dados dos ensaios de dureza Knoop: (A) Carrara; (B) Nero; (C) Verde e (D) Crema. Dados em ordem crescente	94

Figura 57 – Usinagem da programação número 1: (A) Usinagem de mármore Carrara e (B) Corpos de provas com as cavidades produzidas por usinagem, onde em (B1) são indicadas as espessuras finais em ordem crescente (6, 9 e 12 milímetros).....	94
Figura 58 – Resultados dos ensaios de retroiluminação em mármore Carrara: (A) Cavidade iluminada com espessura restante de 12 mm; (B) Cavidade iluminada com espessura restante de 9 mm; (C) Cavidade iluminada com espessura restante de 6 mm. Dimensões 125 x 60 mm.....	95
Figura 59 – Resultados dos ensaios de retroiluminação nos mármore Nero e Verde: (A) Mármore Nero, amostra posicionada em perspectiva com a cavidade de espessura restante 6 mm, iluminada; (B) Mármore Nero amostra em vista frontal com iluminação posicionada na parte posterior. (C) Mármore Verde amostra posicionada em perspectiva com a cavidade de espessura restante 6 mm, iluminada; (D) mármore Verde em vista frontal com iluminação posicionada na parte posterior. Amostras de dimensões 110 x 40 mm (Nero) e 125 x 60 mm (Verde)	96
Figura 60 – Retroiluminação do Mármore Serra do Paraíso, realizado em lâmina de espessura de 1 mm, onde se observa a transmissão da luz.	97
Figura 61 – Mármore Serra do Paraíso.....	99
Figura 62 – Mapa Geológico da Bacia Metassedimentar do Rio Pardo onde está destacada a localização (seta) da pedreira do mármore Serra do Paraíso.....	100
Figura 63 – Petrografia: etapa de análise macroscópica do mármore Serra do Paraíso, onde em (A) Seção perpendicular ao bandamento dobrado/brechado e em (B) Porções Oxidadas associadas a filossilicatos.	101
Figura 64 – Petrografia: etapa de análise microscópica do mármore Serra do Paraíso. Fotomicrografias de lâmina delgada. Em (A) Polarizadores descruzados e em (B) cruzados, visualizada com objetiva 20x.	102
Figura 65 – Amostra de mármore Serra do Paraíso com partes brancas e cinzas. Dimensões 50 x 50mm.....	104
Figura 66 – Equipamento Microdurômetro FM-700 – Marca FUTURE TECH®	105
Figura 67 – Espectrofotômetro Carry® 5000 Vis-IR (Varian Inc, Palo Alto CA).	106
Figura 68 – Ferramenta diamantada de topo reto de diâmetro de 6 mm utilizada para usinagem das programações 2 e 3.....	108

Figura 69 – Usinagem do mármore Serra do Paraíso: (A) detalhe da usinagem utilizando o equipamento Ganger® CNC com refrigeração, (B) e (C) ferramenta diamantada de topo reto, de diâmetro de 20 mm e (D) Equipamento Ganger® CNC.....	110
Figura 70 – Ensaio de Resistência à Flexão: em (A) Equipamento de Ensaio de Compressão F-502F-CPILOT – Marca Forney® e (B) placas de Mármore serra do Paraíso, amostras usinadas segundo programação 5, de dimensões 400 x 100 x 30 mm. Segunda amostra rompida no ensaio de flexão, destacada no círculo vermelho.....	114
Figura 71 - Aparato confeccionado: Caixa aberta para a visualização das localizações da fonte de luz, do local de fixação da amostra, do tubo condutor e do local de inserção do luxímetro, com seus distanciamentos.	115
Figura 72 – Diagrama de medições de Microdureza Knoop (em MPa) para o Mármore Serra do Paraíso, apresentando a frequência cumulativa de medições e ressaltando as marcações de HK ₂₅ , HK ₅₀ e HK ₇₅	119
Figura 73 – Diagrama de medições de Microdureza Knoop (em MPa) para as diferentes amostras, apresentando a frequência cumulativa de medições e ressaltando as marcações de HK ₂₅ , HK ₅₀ e HK ₇₅	120
Figura 74 – Representação gráfica da variação da luminosidade (L*) do lote de amostras do Serra do Paraíso, em conjunto. Agrupadas nas medidas de espessura 6; 8 e 10mm ..	123
Figura 75 – Resultados dos ensaios de colorimetria de: (A) Luminosidade L*; (B) Cromaticidade A*; e (C) Cromaticidade B*, em amostras separadas por mesmo grupo de espessuras.	124
Figura 76 – Gráficos da reflectância difusa para o espectro eletromagnéticos da luz visível, para cada amostra do lote, dos grupos de (A) 6 mm; (B) 8 mm; e (C) 10 mm. A faixa cinza, no intervalo entre 560 e 590 nm é a faixa do amarelo, que é de interesse para este estudo. Cabe ressaltar que a espessura não influencia este dado, porém estão separadas em conjuntos para melhor visualizar os resultados.	126
Figura 77 – Relação linear entre valores de L* e RD para as amostras de todas as espessuras.	127
Figura 78 – Amostras usinadas do mármore Serra do Paraíso: (A) amostra usinada segundo programação 2, com trilhos de 6, 8 e 10 mm; (B) amostra usinada segundo programação 3, com cavidade de espessuras heterogêneas na parte interior e em (C) detalhe da face	

da fratura de parte da amostra da programação 2, quebrou no trilho de espessura de 6 mm.	128
Figura 79 – Amostras usinadas na programação 4, 18 unidades, divididas em três grupos segundo as espessuras: de 6 mm (numeradas 1.6; 2.6; 3.6; 4.6; 5.6 e 6.6); de 8 mm (numeradas 1.8; 2.8; 3.8; 4.8; 5.8 e 6.8); e de 10 mm (numeradas 1.10; 2.10; 3.10; 4.10; 5.10 e 6.10).....	129
Figura 80 – Amostras usinadas para ensaios de resistência: em (A) amostra de placa segundo programação 5; (B) grupo de amostras (sendo 6 amostras em cada espessura de cavidade 6, 8 e 10 mm); (C) Amostra de placa usinada segundo programação 6 e (D) conjunto de amostras (sendo 6 amostras em cada espessura de cavidade 6, 8 e 10 mm).	130
Figura 81 – Resultados dos ensaios de retroiluminação no mármore Serra do Paraíso: (A) Vista em perspectiva mostrando iluminação aplicada no trilho de espessura restante de 6 mm; (B) vista frontal com iluminação propagada 6 mm; (C) Vista em perspectiva mostrando iluminação aplicada no trilho de espessura restante de 8 mm; (D) Vista frontal com iluminação propagada em espessura de 8 mm; (E) Vista em perspectiva mostrando iluminação aplicada no trilho de espessura restante de 10 mm e (F) Vista frontal com iluminação propagada em espessura de 10 mm, apresenta luminosidade em menor intensidade que as espessuras anteriores.	132
Figura 82 – Resultados dos ensaios no mármore Serra do Paraíso: (A) vista perspectiva com luz aplicada na parte posterior com a cavidade vista da posição frontal, permite visualizar os relevos; (B) vista frontal com cavidade posicionada na porção frontal e a luz aplicada na porção posterior da placa; (C) e (D) vista em perspectiva com luz aplicada na parte posterior e a cavidade direcionada para a posição posterior da amostra, onde as partes lateral e superior da amostra também apresentam propagação da luz;	133
Figura 83 – Medidas da quantificação do luxímetro na retroiluminação, separados por amostras agrupadas entre as medidas de 6; 8; e 10 mm.	134
Figura 84 – Imagens representativas das amostras observadas pelo aparato desenvolvido, juntamente com os histogramas de quantificação de brilho.Ao lado dos histogramas estão as imagens das amostras sem retroiluminação.	136
Figura 85 – Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão para amostras com cavidades abertas em função de sua espessura medida, em que as amostras do grupo de 6, 8 e 10	

mm foram agrupadas em círculos vermelhos, triângulos verdes e quadrados azuis, respectivamente.139

Figura 86 – Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão para amostras com cavidades fechadas em função de sua espessura medida, em que as amostras do grupo de 6, 8 e 10 mm foram agrupadas em círculos vermelhos, triângulos verdes e quadrados azuis, respectivamente.139

Figura 87 – Composição com amostras de Mármore Serra do Paraíso usinadas segundo programação 4. Arranjo sugerido para visualização dos efeitos visuais por retroiluminação. A área desta composição possui dimensões de 260 x 260 mm.....146

Figura 88 – Projeto virtual decorativo: (A) rebaixas com suas respectivas espessuras e (B) esquema das regiões do mármore.146

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
\approx	Aproximadamente
μm	Micrometro
3D	Tridimensional (Três dimensões, x, y e z)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a_e	Penetração de trabalho
a_p	Profundidade de corte
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BRDF	<i>Reflectância Bidirecional</i>
BSSRDF	<i>Reflectância Bidirecional na Superfície</i>
CAD	Desenho assistido por computador (<i>Computer Aided Design</i>)
CAM	Fabricação assistida por computador (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Cd	Candela
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CNC	Comando Numérico Computadorizado
COVID-19	Corona Virus (<i>Corona Virus Disease</i>)
CPRM	Compania de Pesquisa de Recursos Minerais
EM Wave	Onda Eletromagnética (<i>Eletro Magnetic Wave</i>)
EM	Norma Européia
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FRX	Fluorescência por Raios X
Gf	Gramma-força
HK	Dureza Knopp (<i>Knoop Hardness</i>)
LACER	Laboratório de Materiais Cerâmicos – UFRGS
LDSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais – UFRGS
LED	Diodo Emissor de Luz (<i>Light Emitting Diode</i>)
Lm	Lumen
Ltda	Limitada
Lx	Lux

MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MIA	<i>Marble Institute of America</i>
MPa	Mega Pascal
Ms	Milesegundos
N	Velocidade de Rotação
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
nm	Nanômero
RD	Reflectância Difusa
RPM	Rotações por Minuto
SI	Sistema Internacional
SEDETEC	Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico da UFRGS
STEAM	<i>Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics</i>
STL	Estereolitografia (<i>Stereolithography</i> ou <i>Standart Triangle Language</i>)
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
V_c	Velocidade de Corte
V_f	Velocidade de avanço
W	Watt
λ	Lambda – para a Física corresponde ao comprimento de onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Formulação do Problema	26
1.2	Objetivos	26
1.2.1	Objetivo geral	26
1.2.2	Objetivos específicos.....	26
1.3	Procedimentos gerais da pesquisa	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1	Design e Seleção de Materiais	28
2.2	Rochas	31
2.3	Mármore	35
2.3.1	Caracterização de mármore	36
2.3.2	Dureza e microdureza	40
2.4	Processos de Produção Industrial do Mármore	42
2.5	Usinagem	56
2.5.1	Fresamento.....	57
2.5.2	Parâmetros de Usinagem por Fresamento	58
2.5.3	Fresamento de Rochas	61
2.6	Iluminação de Materiais Translúcidos	66
2.6.1	Quantificação da transmitância em mármore.....	75
2.6.2	A utilização de mármore em projetos associados à translucidez	78
3	SELEÇÃO DE MATERIAIS – ETAPA PRELIMINAR	81
3.1	Métodos da etapa de Seleção de Materiais	83
3.1.1	Análise de Fluorescência de raios X	84
3.1.2	Análises Petrográficas	84
3.1.2.1	<i>Análise macroscópica</i>	84
3.1.2.2	<i>Análise microscópica</i>	84
3.1.2.3	<i>Análise microscópica em amostras serradas</i>	85
3.1.3	Ensaio de Dureza Knoop	85
3.2	Métodos da etapa de processamento dos materiais	86
3.2.1	Usinagem CNC	87

3.2.2	Avaliação de Retroiluminação	89
3.3	Resultados da etapa de Seleção de Materiais	89
3.3.1	Fluorescência por raios X	90
3.3.2	Análises Petrográficas	91
3.3.3	Medições de Dureza Knoop	93
3.3.4	Usinagem CNC	94
3.3.5	Retroiluminação	95
3.4	Material selecionado	96
4	MÁRMORE SERRA DO PARAÍSO – ESTUDO DE CASO	98
4.1	Mármore Serra do Paraíso – Procedência e Descrição	98
4.1.1	Análise Macroscópica	100
4.1.2	Análise de Microscopia	101
4.2	Métodos de Caracterização (complementares)	103
4.2.1	Fluorescência de raios x	104
4.2.2	Dureza Knoop	105
4.2.3	Análises de Colorimetria	105
4.3	Usinagem CNC	107
4.4	Ensaio de Resistência Mecânica	113
4.5	Análise de Retroiluminação com luz direcionada	114
4.6	Análise de Retroiluminação por quantificação com luxímetro	114
4.7	Análise de efeito visual por Retroiluminação	116
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	117
5.1	Resultados de Caracterização do Mármore Serra do Paraíso	117
5.1.1	Fluorescência de raios X	117
5.1.2	Dureza Knoop	118
5.1.3	Colorimetria e Reflectância Difusa	122
5.1.3.1	<i>Resultados de Colorimetria</i>	<i>122</i>
5.1.3.2	<i>Análise da Reflectância Difusa</i>	<i>125</i>
5.2	Resultados do Mármore Serra do Paraíso Processado (com cavidades)	127
5.2.1	Usinagem	127
5.2.2	Resultados de amostras retroiluminadas	131
5.2.2.1	<i>Transmitância</i>	<i>133</i>

5.2.2.1	<i>Análise Visual de Brilho e Cor – Histogramas</i>	135
5.2.3	Ensaio de Resistência Mecânica nas amostras usinadas.....	137
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
6.1	Diretrizes para projetos decorativos com efeitos da retroiluminação	143
	REFERÊNCIAS	147
	APENDICE A – LAUDOS TÉCNICOS CETEM 2019	153
	ANEXO A – LAUDOS TÉCNICOS CETEM 2017	166
	ANEXO B – LAUDO GEOLÓGICO AMAGRAN	181
	ANEXO C – CERTIFICADOS DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL	194

1 INTRODUÇÃO

Os materiais rochosos são os mais antigos na utilização em construções desde a Idade da Pedra (Paleolítico e Neolítico), período que é considerado o marco inicial das atividades do homem. Inúmeras construções em pedra preservam-se desde a Antiguidade, apesar da ação do intemperismo, da destruição pelo próprio homem e das catástrofes naturais (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

A percepção sobre os materiais que nos circundam pode estar associada ao conhecimento histórico, artístico e científico. Ashby e Johnson (2011) indicam que os objetos carregam significados e simbologias das mais diversas culturas e, por outro lado, em alguns predomina apenas o propósito da funcionalidade. Visto essas características, um dos materiais que evidencia um propósito simbólico e decorativo ao longo do contexto histórico é o mármore, utilizado, por exemplo, em esculturas de Ática, na Grécia antiga.

As rochas vêm colaborando com a história humana por sua durabilidade e resistência, servindo como expressão arquitetônica, urbanística e artística dos povos e suas culturas. Segundo Vidal, Castro e Frascá (2013), esses materiais se mostram em formas diversas a fim de desempenhar funções protetivas, ornamentais e estruturais.

Em projetos de novos produtos, designers buscam soluções significativas para usuários, que promovam novas experiências, estas inovações podem estar aplicadas em materiais clássicos, naturais ou em novos materiais. No caso de materiais tão antigos e já utilizados há tantos séculos, como as rochas ornamentais, as inovações podem estar associadas à novas aplicações e processamentos que evidenciem suas propriedades. Alguns tipos de mármore, podem ser selecionados para aplicações em produtos ornamentais que busquem por propriedades para além da durabilidade e resistência, tais como as propriedades óticas associadas à translucidez e difusão da luz no material.

Este estudo visa estudar a utilização de mármore como matéria prima em beneficiamento secundário para aplicação no design de produtos. Processando o mármore por usinagem CNC, alterando a estrutura física da placa de forma a alterar sua propriedade ótica e proporcionar a sua interação com a luz visível em diferentes espessuras.

No território brasileiro, ocorreram múltiplos processos geológicos que deram

origem a uma grande variedade de rochas, cuja distribuição geográfica foi determinante na história da ocupação e desenvolvimento do País (OLIVEIRA; BRITO, 1998). O Brasil é um dos grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais, entre elas, granitos e mármore.

Nos últimos cinco anos (2017 - 2021), o País exportou aproximadamente 15,54 milhões de toneladas de rochas ornamentais, correspondendo a cerca de US\$ 5,43 bilhões, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018, 2019, 2020, 2021). A comercialização acontece, principalmente, em níveis primários de extração, como rochas brutas cortadas em blocos ou em processamento simples, em chapas beneficiadas não esquadrejadas, com bordas e dimensões irregulares, ou, ainda, em processamento secundário, em placas esquadrejadas e polidas.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais, as exportações brasileiras neste segmento, no período de janeiro a setembro de 2020, totalizaram US\$ 705,1 milhões e 1.622.078 toneladas em volume físico, com variação negativa de respectivamente 10,4% e 1,60% frente ao mesmo período de 2019 (ABIROCHAS, 2021). Mesmo com a variação negativa de 2020, condicionada pela pandemia de COVID-19, às exportações efetuadas, especificamente em agosto (US\$ 107 milhões) e setembro (US\$ 106 milhões), foram as maiores do ano em curso e superaram as dos mesmos meses dos últimos quatro anos. As exportações foram destinadas a 119 países no ano de 2019 (ABIROCHAS, 2020), com maior destaque para os EUA com 62% do total do faturamento, China (12,1%), Itália (6,3%), México (3%), Reino Unido (1,7%), Canadá (1,5%) e Espanha (1%). As principais exportações incluem chapas de granito, quartzito e mármore, blocos de granito e produtos de pedra-sabão, além de blocos de quartzito e produtos de ardósia (ABIROCHAS, 2020).

Analisando a receita gerada em valores e o volume físico de rochas ornamentais comercializadas em níveis de processamento diferentes, brutas ou processadas, é possível afirmar que as rochas processadas têm valores bem mais elevados do que a comercialização em estágios brutos.

A médio e longo prazos, acredita-se que a melhor postura do Brasil será garantir a exclusividade de suas ricas matérias-primas para fornecimento de produtos processados, acabados e semiacabados para o mercado internacional. Isto devido à excepcional geodiversidade, que de fato, continuará sendo a grande vantagem competitiva brasileira no setor de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2020). A comercialização de

um material rochoso em um estágio mais avançado de processamento pode representar uma oportunidade. Posto este cenário, estudos sobre tecnologias aplicadas ao processamento destas rochas são importantes e representam avanço positivo em processos e aplicações.

Esta pesquisa visa explorar a utilização de tecnologias de fabricação automatizada, utilizando a usinagem CNC em mármore para projetos de retroiluminação. O processo de usinagem CNC já é utilizado para corte de rochas de composições distintas, como mármore e granito. Este processo é aplicado principalmente para cortes dimensionais para obter relevos nas bordas das chapas e para relevos tridimensionais em mármore. Porém, este tipo de relevo para os mármore é pouco utilizado no mercado nacional e é, geralmente, feito na porção frontal da chapa com o intuito de ornamentação. O Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), juntamente com o Programa de Pós-Graduação em Design (UFRGS), tem se dedicado ao estudo de intervenções na superfície de rochas em pesquisas, como o estudo de técnicas e parâmetros técnicos para gravação a laser em arenito (BARBIAN, 2015); o estudo do processamento por fresamento CNC em altas velocidades aplicado no beneficiamento do riodacito (Basalto) (ETCHEPARE, 2014); o estudo do processamento de arenito por fresamento CNC, associado a tecnologias 3D (PEREIRA, 2019); estudo de usinagem de formas complexas em ágata (BARP, 2009) e o estudo de usinagem em opala (TESSMANN, 2009).

A pesquisa aqui apresentada propõe a retirada de material por usinagem CNC, mais especificamente por fresagem, nas placas de mármore, gerando espessuras que permitam a propagação de luz e efeitos visuais. O relevo será então feito na forma de rebaixo, visando uso decorativo em projetos de design aplicados a chapas de mármore. O processamento, por meio de usinagem CNC somado à aplicação de luz, busca explorar a translucidez e a difusão interna da luz nos desenhos rebaixados. A valorização da interação da luz e da translucidez do mármore poderá significar novas possibilidades de utilização como, por exemplo, seu uso em projetos ornamentais nas áreas de design e arquitetura em painéis retroiluminados.

Esta é uma pesquisa de caráter teórico-prático, onde as amostras dos mármore da seleção de materiais foram adquiridos no comércio local de rochas em Porto Alegre. E as amostras do mármore, denominado de Mármore Serra do Paraíso, foram adquiridas através de uma parceria com a empresa Amagran Importação e

Exportação Ltda[®], na ocasião de visita técnica à Feira de Rochas Ornamentais - Vitória Stone Fair, no ano de 2017. Também nesta visita, foi feito o contato com o Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – CETEM, que, através de seu diretor técnico, disponibilizou sua estrutura para ensaios de índices físicos que foram necessários nas etapas finais desta pesquisa. Nesta mesma oportunidade, foi realizada a visita na empresa beneficiadora Zucchi Luxuri Stones[®], onde foram presenciados todos os processos de beneficiamento de blocos para a transformação em chapas de mármore.

1.1 Formulação do Problema

Como produzir efeitos visuais por retro iluminação gerados por propagação da luz em placas de mármore?

1.2 Objetivos

Neste item são apresentados o objetivo geral e os específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Beneficiar mármore a partir de placas, por tecnologias de fresamento CNC, gerando o desenho de cavidades em espessuras que proporcionem efeitos visuais por retroiluminação, tendo como estudo de caso o mármore Serra do Paraíso.

1.2.2 Objetivos específicos

- Selecionar materiais do tipo “rocha ornamental mármore” quanto à capacidade de retroiluminação;
- Analisar o mármore Serra do Paraíso quanto à capacidade de retroiluminação;
- Utilizar o processo de fresamento CNC para mármore Serra do Paraíso para fins de geração de efeitos visuais por retroiluminação;
- Identificar as espessuras que permitem, após o fresamento, a interação da luz na rocha e geração dos efeitos visuais;

- Identificar os efeitos visuais gerados por retro iluminação, do ponto de vista de entender a interação entre a luz e o material.

1.3 Procedimentos gerais da pesquisa

Os procedimentos gerais desta tese são apresentados na forma de um fluxograma de etapas e são detalhados na Figura 1. O fluxograma apresenta todas as etapas, no qual inicia pela elaboração do referencial teórico, segue com as etapas de seleção de materiais e processos, caracterização de materiais, ensaios de usinagem, análise das interações da luz nas cavidades e validação das espessuras para retro iluminação.

Figura 1 – Fluxograma de Etapas de Pesquisa



Fonte: Autora (2022).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo trata dos tópicos relacionados com: materiais e design, seleção de materiais, o mármore, a tecnologia de usinagem CNC e a iluminação de materiais translúcidos. No tópico “Minerais e rochas” são estudadas variedades de rochas, rochas ornamentais, abordando a denominação e classificação do material segundo sua função. No tópico “Mármore” são apresentadas as suas principais características, as técnicas de caracterização mineralógica e tecnológica e as normas para utilização do material como revestimento ornamental, bem como as etapas envolvidas no seu beneficiamento. O tópico “Usinagem CNC” aborda a tecnologia de beneficiamento utilizada nesta pesquisa e o estado da arte desta técnica associada a rochas. No tópico “Iluminação de materiais translúcidos” são abordados conceitos sobre a interação com a luz visível e as formas de quantificação da iluminação e retroiluminação do mármore.

2.1 Design e Seleção de Materiais

O desenvolvimento da humanidade e o crescimento das primeiras civilizações ressaltam a influência que os materiais exerceram (e exercem) em todas as áreas do conhecimento. Ashby (2012) afirma que o expressivo aumento no número de materiais conhecidos e utilizados desde a antiguidade é comparável com as oportunidades para inovação que oferecem atualmente. Entretanto, muito além de conhecer propriedades e características dos materiais e processos, estabelecer procedimentos para selecioná-los de maneira sistemática bem como “identificar como conformá-los, uni-los e acabá-los” (ASHBY, 2012, p. 6) torna-se essencial.

O processo de determinação de características, propriedades e aplicações de materiais e processos remontam suas raízes em livros de Engenharia e Projeto. Cidade, Perini e Palombini (2022) destacam os trabalhos pioneiros de William John Patton (em 1968, no livro “*Materials in Industry*”), de David Rayner Hunkin Jones (em 1980, no livro “*Engineering Materials*”) e de Michael Farries Ashby (em 1992, no livro “*Materials Selection in Mechanical Design*”), em que os materiais passaram a ser

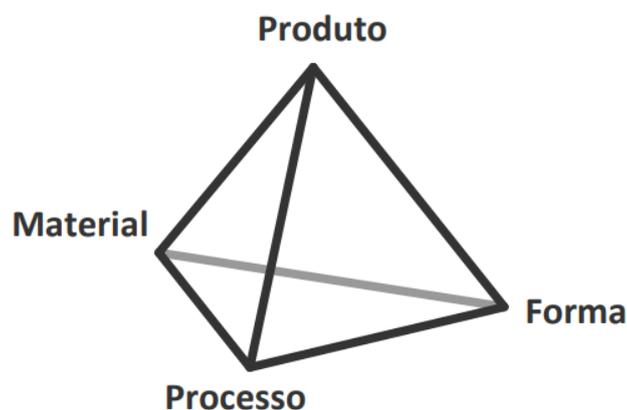
classificados com base em suas “características estruturais em comum [...] que determinam seus pontos fortes e fracos de cada um no contexto de engenharia” (CIDADE; PERINI; PALOMBINI, 2022, p. 196).

Segundo Ashby (2012), os materiais são agrupados em classes tradicionais de engenharia como “metais”, “cerâmicos”, “polímeros” e “compósitos”, outros podem estar classificados em subdivisões específicas, como rochas ornamentais, metais nobres, elastômeros, vidros e híbridos (CIDADE; PERINI; PALOMBINI, 2022). Também podem a ser classificados de outras formas, como por exemplo de acordo com sua fonte de obtenção: baseados em petróleo (petroquímicos), cultivados (plantas ou animais) ou minerados (LEFTERI, 2017).

O conhecimento aprofundado sobre materiais e processos representa um ponto de partida para projetos de design. A habilidade de obter e utilizar os materiais depende do conhecimento que se tem a respeito das propriedades destes. Segundo Ashby e Johnson (2011), a espécie humana se diferencia das outras por meio de habilidades projetuais utilizadas a fim de produzir objetos a partir dos materiais. Os autores apontam, ainda, que o design deve combinar elementos da ciência e da arte de modo que o trabalho aconteça e funcione, ou seja, para que tenha significado (ASHBY; JOHNSON, 2011). Assim, o estudo dos materiais e processos representa um meio de transformá-los em artefatos que contribuam para o usuário, por meio de suas principais características de interesse.

Conhecer os atributos físicos, mecânicos, térmicos, elétricos, óticos, acústicos, ecológicos, táteis, assim como atributos relacionados com a percepção estética e emocional, influenciam na escolha de um material e nas possibilidades de uso (ASHBY; JOHNSON, 2011). Nesse sentido, a Seleção de Materiais é a área responsável por unir as características intrínsecas dos materiais e dos processos de fabricação com o modo com que o usuário irá percebê-las ao serem aplicadas. A pirâmide da seleção de materiais (Figura 2) ilustra a relação entre material, processo, forma e produto. Segundo Walter (2006) são aspectos interligados para a produção de um bem material. Desse modo, os pontos da pirâmide de Material, Processo, Forma e Produto não podem vistos isoladamente apenas, de maneira que, para fazerem sentido do ponto de vista prático, precisam estar interligados e suas relações precisam ser ponderadas.

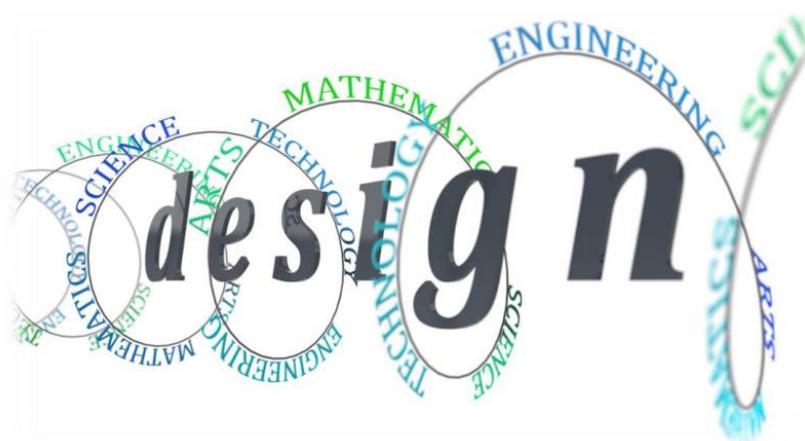
Figura 2 – A pirâmide da Seleção de Materiais.



FONTE: Walter (2006).

Recentemente diferentes áreas tem sido trabalhadas de maneira unida para avaliar os atributos diversos vistos nos vértices da Pirâmide de Seleção de Materiais. Com uma maior complexidade de projetos, torna-se comum ao Design trabalhar com áreas especializadas. Segundo Kindlein, Bressan e Palombini (2021), a integração entre áreas distintas, realizando uma integração de conhecimentos, tem um papel fundamental no desenvolvimento de pesquisas inovadoras na área do design. A imagem abaixo (Figura 3) ilustra esta multidisciplinaridade de conhecimentos que envolvem o design: ciência, tecnologia, engenharia, artes e matemática (STEAM).

Figura 3 – A Proposta de STEAM como uma prática guiada pelo design. STEAM: *Science, Technology, Engineering, Arts e Mathematics*.



FONTE: Kindlein, Bressan e Palombini (2021).

O STEAM é uma nova proposta de atuação conjunta de campos de conhecimento distintos para que possam ser trabalhados em conjunto (KINDLEIN JUNIOR; BRESSAN; PALOMBINI, 2021). A prática da transdisciplinaridade permite que novos

aspectos sejam visualizados, o que contribui, inclusive, para que o processo de Design possa ser seguido de uma maneira ainda mais holística. Sob o ponto de vista de criações e da busca por soluções de projeto, quanto mais diversificada for a equipe, maior são as possibilidades de se encontrar alternativas inovadoras. Como exemplo, pode-se destacar a área de Biônica, em que profissionais da área de Ciências Biológicas se unem a Projetistas para desenvolver soluções baseadas na natureza ou, ainda, novas aplicações de características naturais (KINDLEIN JÚNIOR; GUANABARA, 2005; PALOMBINI *et al.*, 2021).

No que tange os aspectos de caracterização de materiais, vinculado à Seleção de Materiais e à Transdisciplinaridade, esta pesquisa pretende entender, processar, intervir e analisar **mármore**, material foco da tese, de modo que sua investigação e aplicação esteja associada tanto à ciência e tecnologia e quanto à arte. Assim, procedimentos experimentais de diferentes áreas anexas ao Design (como Geologia, Física e Engenharia), serão conduzidos para se determinar atributos técnicos principais que possam balizar melhores escolhas de materiais e de suas aplicações. Nesse modo, com relação às características distintas de classificação e análise de materiais, pretende-se que placas de mármore sejam processadas de forma que atendam às funções gerais de durabilidade, resistência mecânica, propriedades ópticas, além da beleza e estética.

2.2 Rochas

Os minerais se formam por cristalização a partir de líquidos magmáticos ou soluções termais, pela recristalização em estado sólido ou, ainda, como produto de reações químicas entre sólidos e líquidos (FRASCÁ; SARTORI, 1998). A denominação rocha consiste em um agregado sólido de minerais que ocorre naturalmente (PRESS *et al.*, 2006). A rocha é uma substância sólida natural, inorgânica e homogênea que possui composição química definida (FRASCÁ; SARTORI, 1998). A classificação de rochas segue um agrupamento segundo suas características e similaridades, sendo a genética a principal. Desta forma, as rochas subdividem-se em três grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas (MIA, 2016; TEIXEIRA *et al.*, 2003).

As rochas ígneas são formadas por solidificação de material em fusão proveniente do manto ou da crosta terrestre, em rochas cristalinas compostas por silicatos e

outros minerais acessórios (MIA, 2016). Podem ser classificadas como intrusivas ou extrusivas: as extrusivas formam-se pelo rápido resfriamento do magma que chega à superfície por meio de erupções vulcânicas e as intrusivas cristalizam-se quando o magma intrude em uma massa de rochas sobrejacentes em profundidade na crosta terrestre (PRESS *et al.*, 2006).

As rochas sedimentares são formadas como produtos do soterramento de camadas de sedimentos (tais como: areia, lama e conchas de carbonato de cálcio), sejam elas depositadas em terra ou meio aquoso (PRESS *et al.*, 2006). Formam-se na superfície terrestre à medida que as rochas vão sendo alteradas, erodidas e transportadas, gerando dois tipos de sedimentos, os clásticos e os químicos. Os minerais mais abundantes dentre os sedimentos precipitados química ou bioquimicamente são os carbonatos, como a calcita, o principal constituinte do calcário, e também a dolomita, que é um carbonato de magnésio e cálcio formado por precipitação (PRESS *et al.*, 2006).

As rochas metamórficas têm seu nome derivado das palavras gregas que significam “mudança” (*meta*) e “forma” (*morphe*) (PRESS *et al.*, 2006). Essas rochas são produzidas em condições variáveis de temperaturas e pressões que atuam em qualquer tipo de rocha ígnea, sedimentar ou outra rocha metamórfica – para modificar sua mineralogia, textura ou composição química. As temperaturas de metamorfismo (PRESS *et al.*, 2006), são altas o suficiente para que causem a modificação das rochas por recristalização ou por reações químicas (acima de 250 °C), mas não o bastante para que atinjam o ponto de fusão (aproximadamente 700 °C).

As rochas ornamentais são materiais rochosos extraídos da natureza em forma de blocos e posteriormente cortados em chapas brutas, chapas processadas ou volumes específicos. São beneficiados em maior ou menor grau para utilização em revestimento, decoração ou estruturais (VIDAL; CASTRO; FRASCÁ, 2013). De acordo com sua composição e origem, as rochas ornamentais são subdivididas em dois grupos: as rochas silicáticas, que abrangem os granitos, sienitos, arenitos, dioritos, quartzitos, entre outros; e as rochas carbonáticas, que abrangem os mármore, dolomitos, calcários, entre outros (SOSSAI, 2006). Para Frascá (2013), granitos englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas e/ou vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos) e o “mármore”, entendido como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar como metamórfica, passível de polimento.

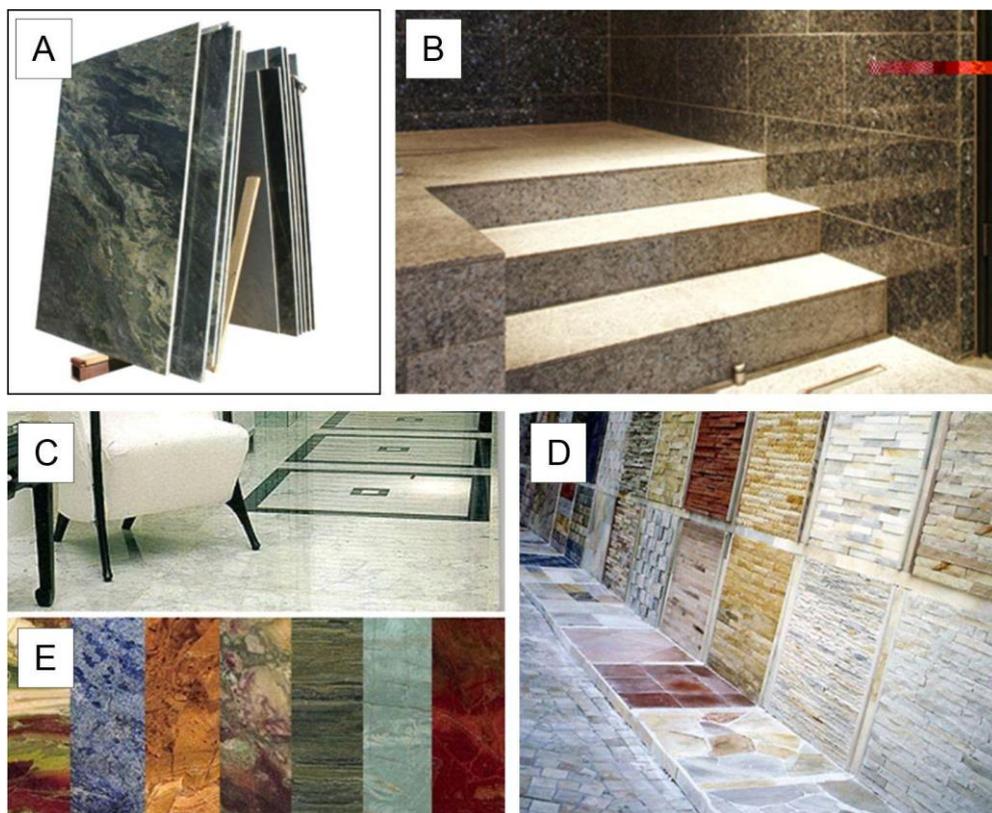
Os termos relacionados a rochas ornamentais podem ser diferenciados de

acordo com o tipo de aplicação. Na norma NBR15012/13, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como rocha ornamental “um material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária”. Também define o termo rocha para revestimento como “rocha ornamental submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento e utilizada no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas”. Segundo Frascá (2002), as rochas para revestimento são consideradas produtos do desmonte de materiais rochosos em blocos e de seu subsequente desdobramento em chapas, posteriormente polidas, ou não, e cortadas em placas. Para a *American Society for Testing and Materials* (ASTM C503), o termo *Dimension Stone* é utilizado para rochas ornamentais, consiste em qualquer material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico, excluindo produtos acabados, enquanto o termo *Monumental Stone* corresponde à rocha de qualidade adequada para ser lavrada e cortada como rocha dimensionada, tal qual exista na natureza, a ser utilizada para monumentos e memoriais.

As rochas de revestimento são utilizadas em diversos produtos de uso interno e externo, por exemplo, em tampos de bancadas, mesas, painéis em paredes internas e em fachadas e pisos de edificações. Geralmente em formas geométricas e regulares e exercem as funções de proteção, aderência, isolamento e estética desses ambientes (OLIVEIRA; BRITO, 1998). De acordo com Oliveira e Brito (1998), são comercializadas em diversas formas (Figura 4) como, por exemplo, chapa, placa, laje e ladrilho, definidas abaixo:

- **Chapa:** laminado com espessura menor que 40 mm, de contorno não necessariamente regular;
- **Placa:** geometria e dimensões padronizadas obtidas a partir de uma chapa. São comercializadas geralmente em espessura de aproximadamente 20 mm e podem apresentar a superfície polida;
- **Laje:** formato de geometria planar a qual não passou por processo de beneficiamento mecanizado;
- **Ladrilho:** componente com geometria e dimensões padronizadas obtidas de uma chapa.

Figura 4 – Formas de comercialização de rochas ornamentais processadas, onde em (A) são placas polidas e dimensionadas; (B) escada e parede revestidas por rochas; (C) piso revestido; (D) ladrilhos e lajes e (E) amostras de rochas de colorações distintas.



FONTE: (A) Fiec (2022), (B) Expo Revestir (2022); (C) e (E) Reformolar (2022); (D) Santos (2010).

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de rochas ornamentais segundo relatório da ABIROCHAS (2018). De acordo com Vidal, Castro e Frascá (2013), a geologia do território brasileiro apresenta condições bastante propícias à existência de jazimentos de rochas ornamentais - segundo sua litoestrutura, está dividida em oito Províncias Geológicas. A Província Mantiqueira (que compreende, em parte, os estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) é a de maior destaque. Esta província de jazimentos significativos é responsável por 60% da produção nacional. A província do São Francisco, considerada a segunda em importância por sua produção, que corresponde a 30% do total, compreende parte dos estados da Bahia e Minas Gerais. As demais províncias, que juntas respondem por 10% da produção, são Borborema (composta por Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e pequena porção norte da Bahia), Tocantins (Goiás e Mato Grosso do Sul), Amazonas Norte e Amazonas Sul, Paraná e Paraíba.

2.3 Mármore

O mármore é classificado como um material metamórfico muito empregado em construções e é, dentre as rochas ornamentais, uma das mais utilizadas (KARACA; HACIMUSTAFAOĞLU; GÖKÇE, 2015). Geologicamente definido com uma rocha metamórfica constituída de calcita (CaCO_3) e/ou dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (BATES; JACKSON, 1980; MIA, 2016), sua textura é relativamente uniforme, equidimensional, podendo ser composta por somente grãos finos ($\leq 0,3$ mm) ou até grãos grossos ($> 2,5$ mm) (MONTEIRO *et al.*, 2001). Segundo Karaca, Hasimustafaoglu e Gokçe (2015), o mármore é composto por cristais de calcita, podendo conter também dolomita, sendo que quando em concentração de 4 até 10% de Mg são considerados mármore dolomíticos, acima deste percentual o material rochoso é considerado dolomita. Na escala Mohs, a dureza do mineral calcita corresponde a 3 enquanto a dolomita corresponde a 4. O mármore pode ter sua dureza alterada pela composição dos minerais acessórios e impurezas que podem ocorrer na rocha (KARACA; HACIMUSTAFAOĞLU; GÖKÇE, 2015).

O mármore é um produto da natureza e ocorre em centenas de variedades que possuem características distintas (MIA, 2016). As propriedades físicas estão associadas às seguintes características: cor, clivagem, cristais, composição, textura e propriedades mecânicas como força, resistência ao fogo, resistência à abrasão, expansão térmica e translucência (MIA, 2016). A translucência do mármore é um dos atributos mais intrigantes, isso devido à qualidade de alguns mármore nos quais a luz pode se propagar, o que propicia sua passagem para espessuras específicas. Segundo Mia (2016), a translucência, portanto, depende em maior ou menor extensão, de fatores como a estrutura cristalina, a cor (geralmente os mais claros, possibilitam maior passagem de luz), a espessura (a propagação de luz diminui com o aumento da espessura) e o acabamento da superfície (a translucência pode ser influenciada pelo polimento).

O mármore foi selecionado para a aplicação neste estudo devido a sua dureza, por volta de 3 na escala Mohs, levando a uma maior facilidade de usinagem, e também pela sua translucência, dada a possibilidade deste material de propagar a luz quando em cores e espessuras adequadas.

2.3.1 Caracterização de mármore

Estudos de caracterização do mármore podem ter enfoque de análise nas características mineralógicas, na composição e estrutura, nas características físicas associadas ao comportamento ótico ou, ainda, em índices físicos e mecânicos associados ao seu uso. Segundo Gonzatti e Philipp (2009), os estudos para a caracterização tecnológica de rochas ornamentais devem levar em consideração os diferentes aspectos que envolvem o seu aproveitamento, sendo diferentes quando aplicados na construção civil, na indústria em geral ou como objetos de arte.

Os procedimentos de ensaios procuram simular as solicitações e esforços que são impostos à rocha durante a extração na mina, o beneficiamento nos teares, o processo de polimento e o manuseio nas marmorarias e também na sua aplicação final, os quais dependem das funções que a mesma irá desempenhar durante a sua vida útil (FRASCÁ, 2013; GONZATTI; PHILIPP, 2009).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, normatiza a caracterização indicada para o uso como revestimento. A norma ABNT NBR 15845, sob o título geral *Rochas para revestimento*, contém oito partes e indica os seguintes ensaios:

- **Parte 1: Análise petrográfica.** Método de investigação laboratorial que possibilita a visualização detalhada dos constituintes da rocha. Inclui fotomicrografia de seção delgada, classificação, composição e feições estruturais (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).
- **Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água.** Estes ensaios mostram relação direta com a resistência físico-mecânica da rocha, quanto maior a porosidade aparente, maior será o volume de espaços vazios e, possivelmente, a porosidade efetiva, o que tende a tornar o material menos resistente (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).
- **Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear.** A dilatação causada pela condição térmica em revestimentos sujeitos à insolação deve ser considerada visando definir o espaçamento mínimo entre as chapas de revestimento, de forma a evitar seu contato, compressão lateral e imbricamento (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

- **Parte 4: Determinação da resistência ao congelamento e degelo.** Visa determinar a resistência do material ao efeito do congelamento e degelo por meio da avaliação da variação da resistência mecânica do material quando avaliado em condições de temperatura ambiente em ensaios conforme normas 1845-5, 1845-6 ou 1845-7 (ABNT NBR 15845-4).
- **Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial.** A tensão de ruptura por compressão uniaxial é indicativa da resistência da rocha ao cisalhamento. É exigível para todos os empregos (superfícies verticais, pisos, degraus e tampos). Está associada à sanidade e robustez da rocha (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).
- **Parte 6: Determinação do módulo de ruptura à flexão por carregamento em três pontos.** Avalia a resistência do esforço de carga perpendicular à maior superfície da placa é fundamental para a qualificação das rochas. É imprescindível para pisos elevados e fachadas aeradas, também em bancadas. Assim como a compressão uniaxial, a flexão é indicativa da sanidade e robustez da rocha (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).
- **Parte 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos.** Consiste na aplicação de esforços flexores simulando o efeito do vento em placas de rochas fixadas em fachadas com ancoragens metálicas (FRASCÁ, 2013).
- **Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro.** Este ensaio determina a energia de impacto que o material pode resistir até que ocorram fissuras e ruptura em placas ensaiadas em espessura e acabamentos de uso (corpo de prova de dimensões 20 x 20 cm) (ABNT NBR 15845-8).

A norma ABNT NBR 12042, indicada para revestimentos utilizados em pisos, refere-se ao ensaio denominado Desgaste Amsler, que simula o desgaste por tráfego (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009). Consiste na medição da redução da espessura (mm) após percurso abrasivo de 1.000 m. É determinado por meio do tribômetro Amsler. Prevendo as solicitações para rochas ornamentais, normas recomendam

resultados exigíveis, dependendo do material e da aplicação. Um resumo destas normas e dos resultados exigíveis está no Quadro 1, abaixo:

Quadro 1 – Resumo de normas que indicam resultados exigíveis de ensaios de análises de índices físicos para rochas ornamentais para revestimentos em aplicações diversas (internas e externas).

Ensaio	Norma	Resultado Exigível
Massa específica aparente seca (g/cm³)	ASTM C97	>2.595 (mármore calcítico) >2.800 (mármore dolomítico)
Densidade aparente seca (kg/m³)	ASTM C97	≥2.600 Mármore
Porosidade aparente (%)	ASTM 15844	1% (granito)
Absorção de água (%)	ASTM 97 ASTM C 503	≤ 0,10 (mármore - uso interno) ≤ 0,20 (mármore - int. e ext.) ≤ 0,20 (mármore - uso exterior)
Coefficiente de dilatação térmica linear [10⁻³ mm/(m°C)]	ASTM 15844	< 8,0 (granito)
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	ASTM C170 ASTM C 503	≥131 MPa (granito) ≥ 52 MPa (mármore)
Módulo de ruptura à flexão por carregamento em três pontos (MPa)	ASTM C 615 ASTM C 503	≥10,34 (granito) ≥ 7 (mármore)
Resistência à flexão por carregamento em quatro pontos (MPa)	ASTM C 503 ASTM 15844	≥ 7 (mármore) >8,0 (granito)
Resistência ao impacto de corpo duro (m)	ASTM 15844	>0,3 (granito)
Desgaste Amsler (mm/1000m)	ASTM 15844	< 1,0 (granito)

FONTE: Adaptado de Frascá (2013) e Chiodi Filho e Rodrigues (2009).

No contexto desta pesquisa, os índices de interesse serão para aplicação interna, vertical (paredes), em painéis decorativos com mármore retro iluminado. Estes painéis poderão ser aplicados em ambientes secos. Recomendações a respeito de

aplicações para revestimentos verticais específicos para mármore podem ser visualizadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo de parâmetros tecnológicos sugeridos para mármore utilizados como revestimentos verticais (paredes internas e fachadas).

MÁRMORES EM REVESTIMENTOS VERTICAIS: PARÂMETROS TECNOLÓGICOS PARA ESPECIFICAÇÃO			
LOCAIS DE APLICAÇÃO			
PAREDES INTERNAS (1) Molhagem Eventual Molhagem Frequente		FACHADAS CONVENCIONAIS (1)	FACHADAS VENTILADAS (2)
ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA (%) – Normas ABNT-NBR 12766 e ASTM C97			
≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2
DENSIDADE APARENTE SECA (kg/m³) – Normas ABNT-NBR 12766 e ASTM C97			
≥2600	≥2600	≥2600	≥2600
COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR (mm/m°C) – Normas ABNT-NBR 12766 e ASTM- E228			
≤12,0 x 10 ⁻³	≤12,0 x 10 ⁻³	≤ 9,0 x 10 ⁻³	≤9,0 x 10 ⁻³
RESISTÊNCIA À FLEXÃO Á 3 PONTOS (MPa)			
≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 7,5
RESISTÊNCIA À FLEXÃO Á 4 PONTOS (MPa)			
≥ 5,8	≥ 5,8	≥ 5,8	≥ 5,8
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (MPa)			
≥ 60,0	≥ 60,0	≥ 60,0	≥ 60,0
<p>(1) Em paredes e fachadas sujeitas à umidade ascendente, recomenda-se impermeabilização do tardo (verso) das placas e do emboço.</p> <p>(2) As características tecnológicas exigidas para mármore em fachadas ventiladas são definidas pelo projeto de revestimento das edificações, tendo-se como variáveis a resistência à flexão, a resistência das ancoragens e a dimensão individual das placas (comprimento, largura e espessura) e o número de inserts de ancoragem. Pelos padrões europeus e norte-americanos, não devem ter espessura inferior a 3,0 cm, admitindo-se 2,5 cm para rochas muito compactas.</p>			

FONTE: Adaptado de Chiodi Filho e Rodrigues (2009).

De acordo com os índices como, por exemplo, o de resistência à flexão, dimensões de placas podem ser estimadas sugerindo uma espessura mínima relacionada à aplicação e tipo de tráfego. Este pode ser analisada como referência, porém não é específica para a aplicação sugerida para este estudo, que é a aplicação em painéis verticais. As dimensões de espessuras mínimas sugeridas no Quadro 3, são estimadas para pisos de Granito, Mármore e Quartzito.

Quadro 3 – Espessuras mínimas sugeridas para pisos de Granito, Mármore e Quartzito.

DIMENSÃO DAS PLACAS (1)			
COMPRIMENTO / LARGURA		ESPESSURAS	
		PISOS CONVENCIONAIS (2)	PISOS ELEVADOS
Tráfego de Pedestres e Bicicletas (3)			
Até 50 cm		1,0 cm	3,0 cm
Entre 50-100 cm		2,0 cm	4,0 cm
Entre 100-150 cm		3,0 cm	-
Tráfego Misto (4) Pedestres até Veículos Leves (6)			
Até 50 cm		2,0 cm	4,0 cm
Entre 50-100 cm		3,0 cm	5,0 cm
Entre 100-150 cm		4,0 cm	-
Tráfego Misto (5) Pedestres até Veículos de Passeio (7)			
Até 50 cm		3,0 cm	5,0 cm
Entre 50-100 cm		4,0 cm	6,0 cm
Entre 100-150 cm		5,0 cm	-
<p>(1) Para placas rochosas sem esforço estrutural</p> <p>(2) Para pisos assentados ou apoiados sobre base rígida (concreto)</p> <p>(3) Rochas com resistência à flexão* $\geq 70\text{kgf} / \text{cm}^2$ ou 7,0 MPa.</p> <p>(4) Rochas com resistência à flexão* $\geq 100\text{kgf} / \text{cm}^2$ ou 10,0 MPa.</p> <p>(5) Rochas com resistência à flexão* $\geq 120\text{kgf} / \text{cm}^2$ ou 12,0 MPa.</p> <p>(6) Até 600kg / eixo, à velocidade reduzida.</p> <p>(7) Até 900kg / eixo, à velocidade reduzida.</p> <p>*Valores relativos ao método 3 pontos (ABNT NBR 12.763).</p> <p>Nota: Degraus devem ter espessura mínima de 2cm, assentados sobre base rígida (concreto), e de 4cm quando flutuantes (vão livre entre apoios não superior a 50 cm, com profundidade não inferior a 20cm. Para ardósias, as variedades tipo "matacão" são recomendadas espessuras $\geq 3,0$ cm.</p>			

FONTE: Adaptado de Chiodi Filho e Rodrigues (2009) e Henriques e Tello (2006).

2.3.2 Dureza e microdureza

A dureza é uma propriedade mecânica que quantifica a resistência de um material à deformação plástica na superfície de um material devido a uma pequena impressão ou a um risco (CALLISTER, 2006; GROOVER, 2014; SHAW, 2005). Os primeiros ensaios foram realizados entre minerais naturais, constituindo uma escala que relaciona a possibilidade de um material riscar outro mais macio. Este sistema ficou conhecido por escala de Mohs (CALLISTER, 2006; OLIVEIRA; BRITO, 1998), elaborada por Friedrich Mohs em 1822 (PRESS *et al.*, 2006; SHAW, 2005). A escala de Mohs

(Quadro 4) indica a dureza 1 para o talco na extremidade macia da escala e 10 para o diamante, na outra extremidade da escala.

Quadro 4 – Escala de Mohs.

Escala de dureza	Minerais Padrão	Composição química	Referências relativas	Tipos de minerais
1	Talco	$Mg_3SiO_4(OH)_2$	Riscam-se com a unha	Moles
2	Gipso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Riscam-se com a unha	
3	Calcita	$CaCO_3$	Risca-se com objeto de cobre	
4	Fluorita	CaF_2	Riscam-se com o canivete ou com canto de vidro	
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$	Riscam-se com o canivete ou com canto de vidro	Semiduros
6	Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	Risca o vidro com dificuldade	
7	Quartzo	SiO_2	Riscam o vidro	
8	Topázio	$Al_2SiO_4(OH)_2$	Riscam o vidro	
9	Corindon	Al_2O_3	Riscam o vidro com facilidade	Duros
10	Diamante	C		

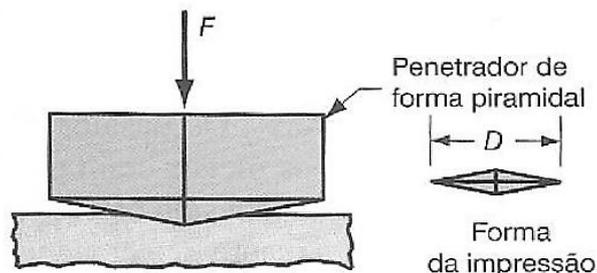
FONTE: Adaptado de Oliveira e Brito (1998).

Ensaio e técnicas quantitativas para a determinação da dureza foram desenvolvidos ao longo dos anos, visando avaliar as propriedades de materiais. Os ensaios mais conhecidos são Brinell, Rockwell, Knoop e Vickers (GROOVER, 2014). Segundo Groover (2014), a técnica de medição Knoop é um ensaio de microdureza adequado para materiais que possam fraturar se forem aplicadas cargas elevadas. Shaw (2005) relata que ensaios de dureza Brinell, em materiais friáveis como o mármore, provocariam a fratura do material em muitas partes; em 1954 realizou o experimento com cargas bastante inferiores aquelas utilizadas para metais visando avaliar o comportamento do material. Utilizando cargas de 15, 10 e 5 gramas, as endentações de 10 e 15 g causaram fraturas no mármore, em 5 g observou-se uma não propagação de trincas, sendo considerada a menor carga, adequada para medição, contudo, o autor indicou o ensaio Knoop para quantificar a dureza desta classe de materiais.

O ensaio Knoop, desenvolvido em 1939, utiliza um indentador em forma piramidal (Figura 5), a pirâmide apresenta uma razão comprimento-largura de

aproximadamente 7:1 (GROOVER, 2014).

Figura 5 – Ilustração da forma de impressão da ponteira utilizada para Ensaio de Dureza Knoop, onde em (F) é representado para a força e (D) a dimensão da impressão.



FONTE: Adaptado de Groover (2014)

Segundo Callister (2006), no ensaio Knoop o penetrador é forçado contra a superfície de um material a ser testado com condições controladas de carga e taxa de aplicação. A profundidade ou o tamanho da impressão resultante é medida e relacionada a um número de índice de dureza. Quanto mais mole for o material, maior e mais profunda será a impressão e menor será o número índice de dureza. Quitete e Kahn (2022) citam que a dureza Knoop de um material pode ser expressa como a média de 40 medições.

A técnica de medição de dureza Knoop é uma técnica disponível atualmente para inferir a dureza das rochas, onde é pouco utilizada devido às diferenças existentes tanto nas proporções, quanto na dureza dos minerais formadores o que interfere nos resultados. É frequente se considerar a dureza dos diferentes minerais formadores e o seu estado de coesão e alteração para a determinação da dureza (FRASCÁ, 2013). Sob esta ótica, a dureza do mármore está associada à dureza da calcita (3 na escala Mohs) e o granito está associado à dureza do quartzo (7 na escala Mohs).

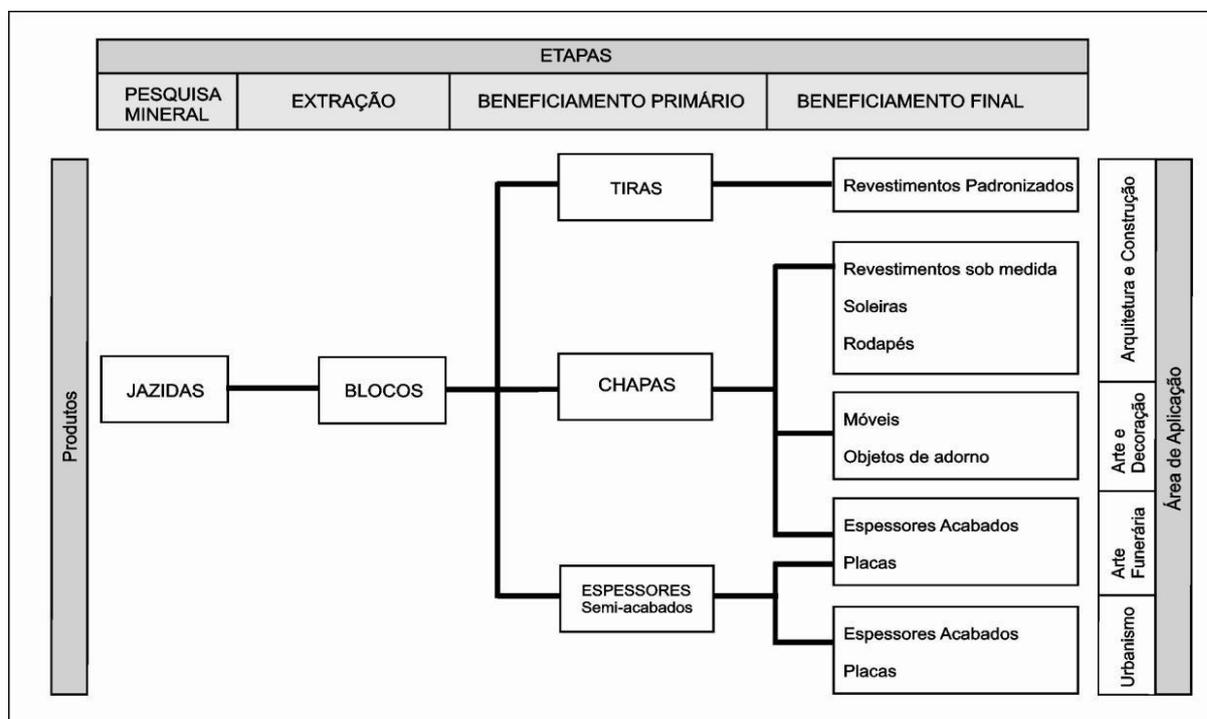
2.4 Processos de Produção Industrial do Mármore

A produção do mármore, bem como da maioria das rochas ornamentais, é constituída pela etapa de extração ou lavra, seguida da etapa de beneficiamento, dividido em primário e secundário ou final.

Segundo Vidal, Castro e Frascá (2013), as etapas são descritas como: lavra, que envolve a extração, beneficiamento primário, onde ocorre a serragem, e beneficiamento final, composto por resinagem, polimento e corte. O fluxograma, apresentado

na Figura 6, elaborado por Peiter e Chiodi Filho (2001), ilustra a relação entre as etapas de produção, os produtos obtidos e as áreas de aplicação dos produtos.

Figura 6 – Fluxograma esquemático do setor, com os principais produtos dos segmentos do ciclo de produção de rochas ornamentais e de revestimentos.



FONTE: Adaptado de Peiter e Chiodi Filho (2001).

Existem vários métodos de lavra de rochas, com aplicação de tecnologias distintas, que podem ser utilizadas para desmonte de rochas ornamentais (VIDAL; CASTRO; FRASCÁ, 2013). A escolha do método de extração está atrelada às condições geológicas e estruturais, os custos operacionais, a disponibilidade de tecnologia e de mão de obra (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

Os mármore e granitos são normalmente explorados em lavras a céu aberto. Os tipos de lavras mais utilizadas são em bancadas, por desabamento ou matacões¹ (ABIROCHAS, 2018). Segundo Vidal, Castro e Frascá (2013), o método de lavra de mármore mais utilizado no Brasil é o de lavra de maciço em bancadas altas, o corte de extração é, preferencialmente, feito por fio diamantado. São diversas as técnicas para desmonte de rochas, estas podem ser divididas pela forma de corte, em corte cíclico ou contínuo. Para corte cíclico, podem ser utilizados a perfuração e explosivo, perfuração contínuo, divisão mecânica por cunhas e divisão por agentes expansivos;

¹ Fragmento de rocha maior do que bloco e que na escala de Whentworth, de uso principal em sedimentologia, tem diâmetro maior que 25 cm apresentando, muitas vezes, formas esferoides (CPRM).

para corte contínuo, fio helicoidal e diamantado, chama térmica por maçarico ou jato d'água (FEAM, 2015). As etapas de extração consistem em decapamento, desmonte e tombamento do bloco, apresentado no fluxograma da Figura 7 abaixo.

Figura 7 – Fluxograma de etapas da operação de lavra de mármore.



FONTE: Adaptado de FEAM (2015).

No decapamento, retira-se a camada superficial do solo e a rocha alterada até que se atinja o material a ser lavrado (FEAM, 2015). O desmonte consiste no deslocamento dos blocos maciços rochosos por meio de cortes. A etapa seguinte é o desmembramento e o esquadrejamento do bloco, que visa retirar as irregularidades em suas laterais. As etapas finais são o transporte e o armazenamento dos blocos. Na Figura 8 são apresentadas imagens da pedreira de extração de blocos de mármore Serra do Paraíso (Figura 8 A e B), blocos na pedreira (Figura 8 C) e estocados (Figura 8 D).

Figura 8 – Pedreira de lavra de mármore: (A) Extração – Lavra a Céu aberto; (B) Frente de lavra mostrando o detalhe do corte por fio diamantado; (C) Blocos de Mármore da Serra do Paraíso cortados por fio diamantado e (D) Blocos de mármore estocados.



FONTE: (A), (B) e (C) Amagran (2014) e (D) Autora (2022).

O beneficiamento de rochas ornamentais visa, basicamente, à transformação dos blocos, extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013). As fases de beneficiamento podem ser separadas em beneficiamento primário ou desdobramento e secundário ou final. No fluxograma da Figura 9 estão dispostas as etapas do beneficiamento primário.

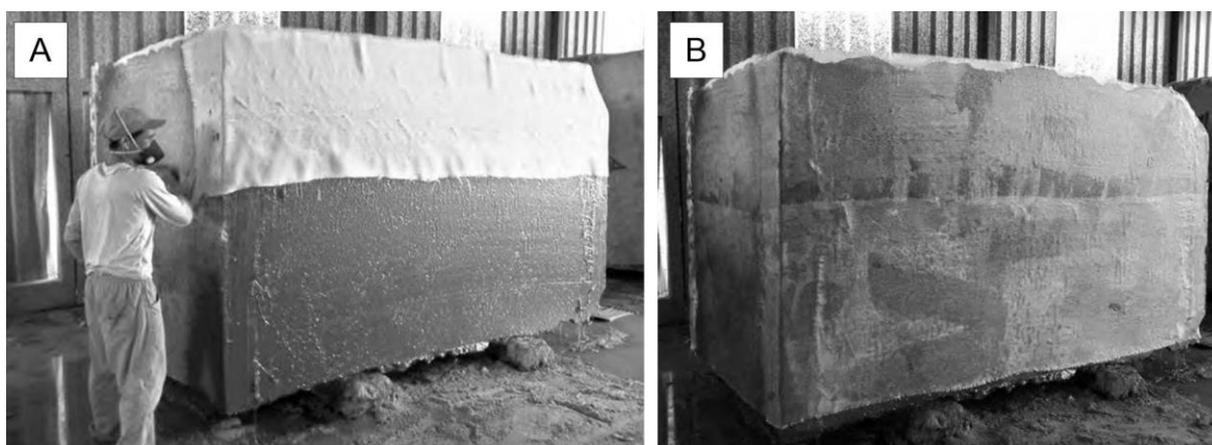
Figura 9 – Fluxograma do beneficiamento primário de mármore.



FONTE: Autora (2022).

O beneficiamento primário também é conhecido como serragem ou desdobramento e consiste no corte dos blocos em chapas com espessuras bastante próximas do produto acabado de 1 a 3 cm (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013). Antes do processo de corte, ocorre o envelopamento de blocos (Figura 10) que consiste na etapa de preparação do bloco para a etapa de serragem, independente da tecnologia de corte que será utilizada (Figura 10 A). O envelopamento (Figura 10 B) é realizado com uso de resinas especiais que são utilizadas por se tratar de materiais que podem apresentar trincas (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

Figura 10 – Preparação do bloco para o corte: (A) Processo de envelopamento do bloco de rocha e (B) Bloco envelopado e preparado para serragem.

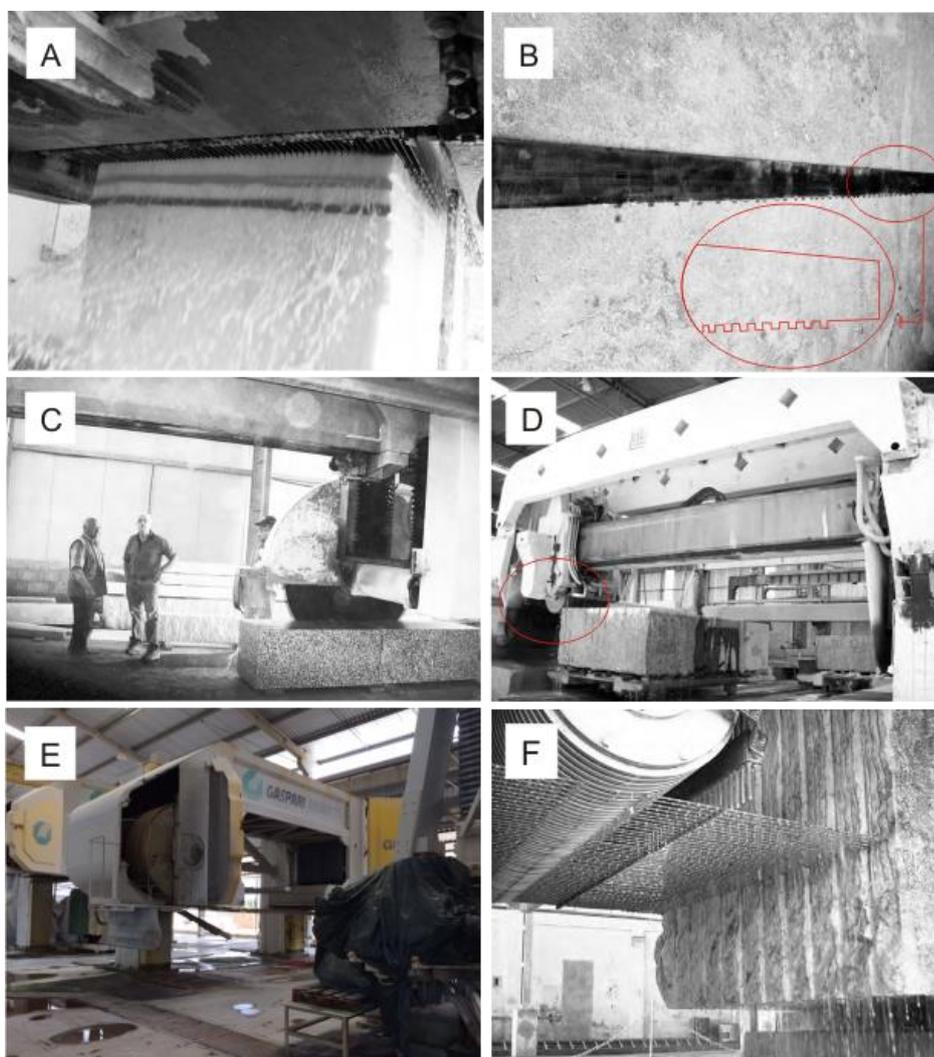


FONTE: Silveira, Vidal e Souza (2013).

Em geral, a serragem ou o desdobramento de blocos de mármore e rochas afins é processado com o uso de teares multilâminas, teares monolâmina, por talha blocos de disco diamantado, teares multifios diamantados ou monofio diamantado

(SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013) (Figura 11). A respeito dos teares multifios, os autores Vidal, Castro e Frascá (2013), afirmam que o uso da tecnologia com fio diamantado deverá substituir as outras tecnologias por sua produtividade seis vezes maior. Nos últimos anos, tem havido um crescimento acentuado no parque tecnológico brasileiro para os teares multifio, dentre os benefícios, o fato de que neste equipamento os blocos são serrados em chapas, com espessuras bastante próximas daquelas que terão os produtos finais (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

Figura 11 – Equipamentos de corte de blocos: (A) Bloco de mármore cortado em tear multilâminas; (B) Lâmina diamantada utilizada para cortar mármore. No detalhe, ampliação para local das pastilhas diamantadas; (C) Talha-blocos Monodisco; (D) Talha-blocos multidiscos diamantados, disco destacado pelo oval; (E) Tear multifios diamantados e (F) Fios diamantados cortando um bloco de granito em tear-multifios.



FONTE: (A), (B), (C), (D) e (F): Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013); (E) Autora (2022).

As chapas brutas obtidas no beneficiamento primário são processadas em etapas visualizadas no fluxograma do beneficiamento secundário (Figura 12).

Figura 12 – Fluxograma de etapas de beneficiamento secundário para mármore.



FONTE: Adaptado de FEAM (2015).

O beneficiamento secundário pode ser entendido como todas as tecnologias aplicadas nos processos que conferem as características dimensionais, de conformação e especificação ao produto final. Assim, estão reunidos neste estágio os processos de acabamento superficial ou polimento que ressaltam a coloração, a textura e a aparência do material, o corte que lhes confere as dimensões, formas e desenhos e os acabamentos de bordas (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013). A resinagem é um procedimento que visa aumentar a resistência da rocha a agressões causadas por intempéries e melhorar o aspecto visual. É aplicada na parte frontal da chapa, conforme pode ser visualizado na Figura 13 A e B.

Figura 13 – Procedimento de resinagem: (A) Detalhe do procedimento de resinagem de chapas de rochas ornamentais e (B) Detalhe do forno catalisador de cura.



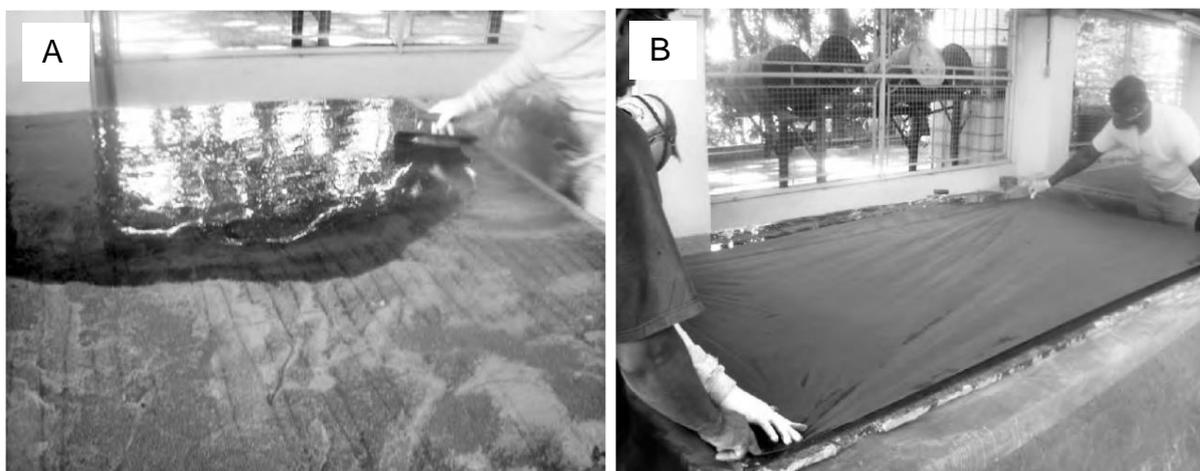
FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

O processo de telagem (Figura 14) visa aumentar a resistência à flexão de forma a evitar quebras ou trincas durante os processos subsequentes, de levigamento e polimento, e durante o transporte. A tela é aplicada (Figura 14 A e B) na parte posterior da maioria das chapas de rochas ornamentais serradas (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

O primeiro acabamento superficial destinado às chapas é o levigamento, processo realizado com o objetivo de eliminar irregularidades e rugosidades da etapa de corte, resultando em uma superfície plana de espessura regular (VIDAL; CASTRO;

FRASCÁ, 2013). Consiste no uso de elementos abrasivos de grãos grossos, de dureza maior que a rocha e de grande poder de desbaste.

Figura 14 – Procedimento de telagem: (A) Aplicação de resina no processo de telagem e (B) Aplicação da tela na chapa.



FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

O polimento (Figura 15), etapa seguinte ao levigamento, confere brilho à superfície da rocha (VIDAL; CASTRO; FRASCÁ, 2013). O processo de polimento é a etapa mais importante do beneficiamento secundário, por meio das interações entre rebolo abrasivo e máquinas de polir que imprimem à rocha suas propriedades de brilho (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

Figura 15 – Processo de polimento de chapas: (A) Modelo de politriz manual e (B) Exemplo de politriz semiautomática e dois cabeçotes.



FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

No processo de polimento e lustro, são realizadas operações que reduzem a rugosidade da superfície visando dar brilho à placa, de modo que o desgaste ocorre

através do uso de abrasivos com granulometria decrescente (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013). Os tipos de politrizes são politriz manual (Figura 15 A), politrizes com bancada fixa, conhecidas como politrizes semiautomáticas (Figura 15 B), politrizes multicabeças automáticas, um equipamento composto por um chassi de ferro fundido ou aço que assenta uma bancada ou mesa perfeitamente plana sobre a qual corre uma esteira de borracha que transporta as chapas a serem polidas. O equipamento enceratriz, utilizado na etapa final do polimento, aplica, ainda, um intensificador de cor que objetiva ressaltar as feições da rocha. A enceratriz geralmente é acoplada no final da linha de polimento após esta fase. A chapa então está pronta para ser comercializada.

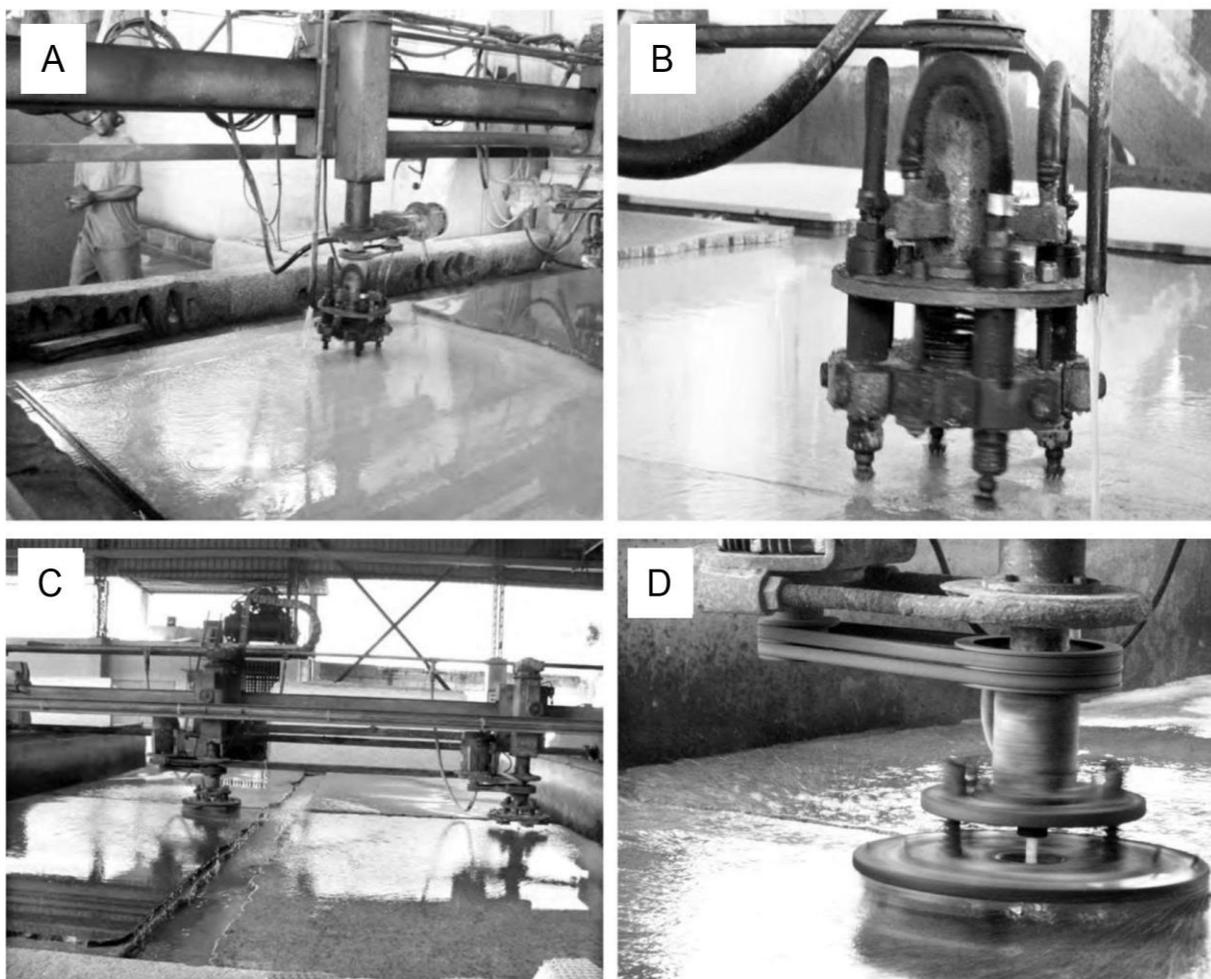
Além do polimento, outras formas de acabamento podem ser realizadas (Figuras 16 e 17). A técnica de flamagem ou flamejamento (Figura 16 A) consiste no resultado do processo de acabamento da superfície da chapa bruta, utilizando-se maçarico de chama com alta pressão; e a técnica de jateamento (Figura 16 B) a qual utiliza água com alta pressão. Ambas as técnicas são muito utilizadas para granitos (VIDAL; CASTRO; FRASCÁ, 2013). O apicotamento (Figura 17 A) consiste em criar uma superfície com aparência encrespada por meio de operação básica de martelamento regular (Figura 17 B), repetido sobre a superfície da chapa, e resultando em uma superfície áspera. Já a escovação e o jateamento (Figura 17 C e D e 17 B) são processos que conferem um acabamento fosco à superfície da chapa (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

Figura 16 – Processos de acabamento superficial de rochas ornamentais: (A) Flamejamento de uma chapa de granito e (B) Jateamento de uma chapa de rocha ornamental.



FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

Figura 17 – Processos de acabamento superficial de rochas ornamentais: (A) Chapa de granito submetido ao processo de apicoamento; (B) Martelo pneumático utilizado no processo de apicoamento; (C) Processo de escovação de rochas ornamentais; e (D) Prato com escovas abrasivas utilizadas para escovação de rochas ornamentais.



FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

As chapas beneficiadas são comercializadas em uma escala industrial (Figura 18), na forma de chapas com superfícies que já receberam algum tipo de acabamento superficial, de comprimento e largura brutos, porém sem acabamento nas bordas (Figura 18 A) ou cortada em dimensões definidas, como placas e ladrilhos. O corte das bordas das chapas é realizado pelo equipamento denominado cortadeira monodisco (Figura 18 B). Quanto à espessura das chapas, esta dimensão pode variar, embora a mais comum utilizada no mercado seja de 2 cm. Segundo a ABIROCHAS (2020), em um relatório elaborado pelo geólogo Cid Chiodi Filho, no ano de 2019, o total das exportações brasileiras de chapas foram estimadas em US\$ 970/t nesta espessura (Figura 18 C).

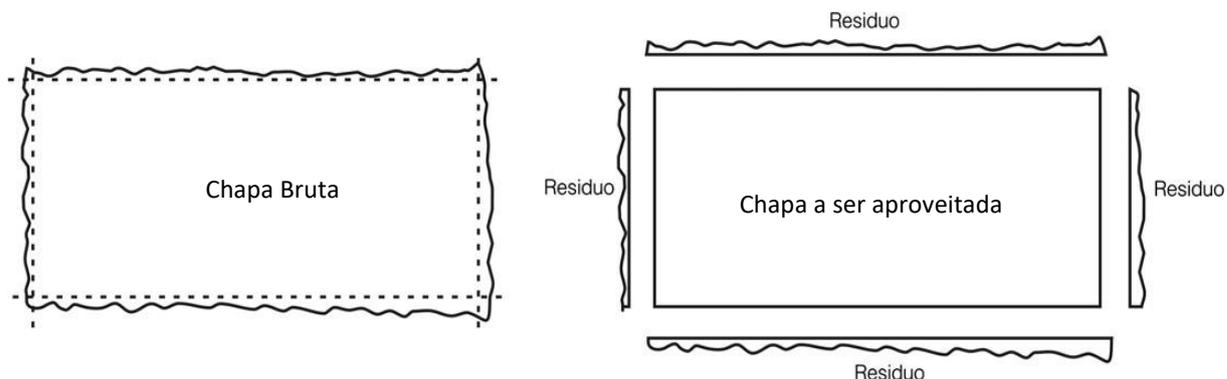
Figura 18 – Chapas beneficiadas: (A) Pátio de estocagem de chapas com bordas irregulares, (B) Dimensionamento de chapas em cortadeira monodisco e (C) Placas dimensionadas em estoque.



FONTE: (A) Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013); (B) e (C) Autora (2022).

Geralmente, uma placa de mármore ou granito apresenta uma forma retangular (Figura 19), de dimensões de 200 cm de altura por 400 cm de largura (SANTOS; SAMPAIO; VEZZOLI, 2009). Entretanto, as medidas podem variar de acordo com o tamanho inicial do bloco ou, ainda, com base nas por especificação dos catálogos das empresas.

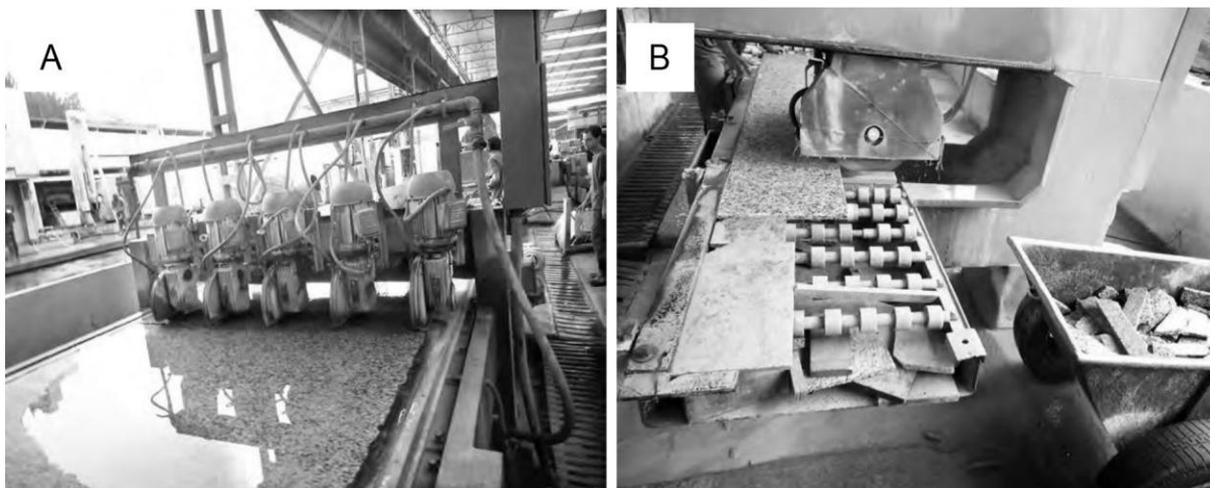
Figura 19 – Aspecto típico de uma chapa bruta com a borda fraturada e a parte da chapa que será aproveitada como placa de mármore ou granito. Ilustra também a representação da parte de resíduo resultante do corte das bordas.



FONTE: Santos; Sampaio; Vezzoli (2009).

O processo de dimensionamento de produtos finais, como ladrilhos (Figura 20), é realizado a partir de chapas de superfície acabada e bordas brutas. É constituído de máquinas cortadeiras multidiscos (Figura 20 A), nas quais o sentido de corte é feito inicialmente em forma de tiras longitudinais e, em seguida transversalmente (Figura 20 B), dando assim origem ao produto acabado, o ladrilho (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013).

Figura 20 – Processo de corte de chapas em ladrilhos: (A) Chapa a ser subdividida em fitas em cortadeira multidisco e (B) Encabeçadeira automática monodisco.



FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

Após o corte, os ladrilhos passam por um processo motorizado de retificação e chanframento de bordas. Posteriormente, são acondicionados (Figura 21 A), empilhados em torres e lacrados para transporte para os pontos de comercialização (Figura 21 B).

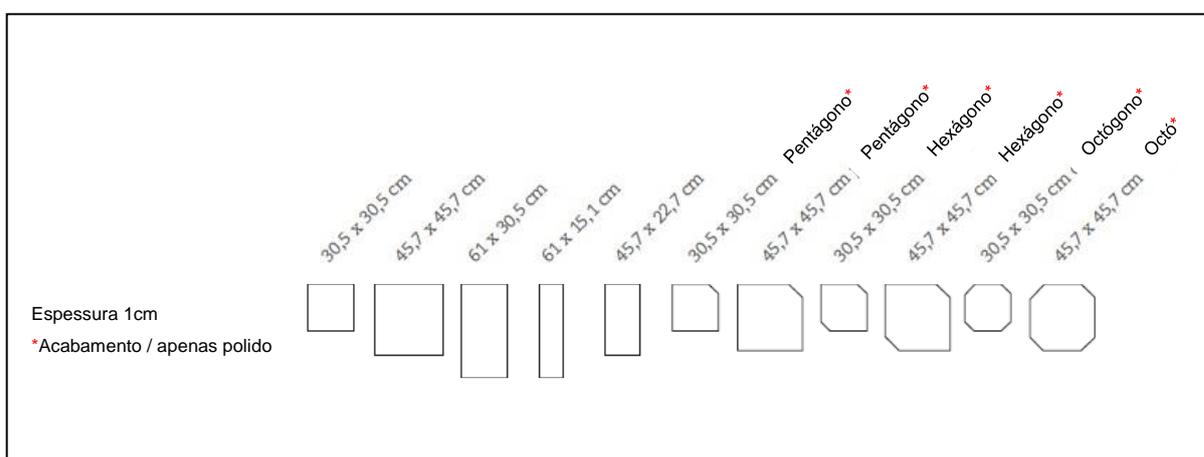
Figura 21 – Processo de acondicionamento (A) Disposição em torres para o acondicionamento de ladrilhos e (B) Ladrilhos prontos para comercialização.



FONTE: Adaptado de: Silveira, Vidal e Souza (2013).

Os ladrilhos podem ser cortados em módulos gerando diferentes composições que podem ser obtidas alternando formas, materiais e cores. As formas obtidas variam entre quadrados, retângulos, hexágonos, octógonos e outros. Na Figura 22 estão ilustradas as formas disponíveis em um catálogo de uma marmoraria italiana.

Figura 22 – Formas modulares de ladrilhos, disponíveis em um catálogo de marmoraria italiana.

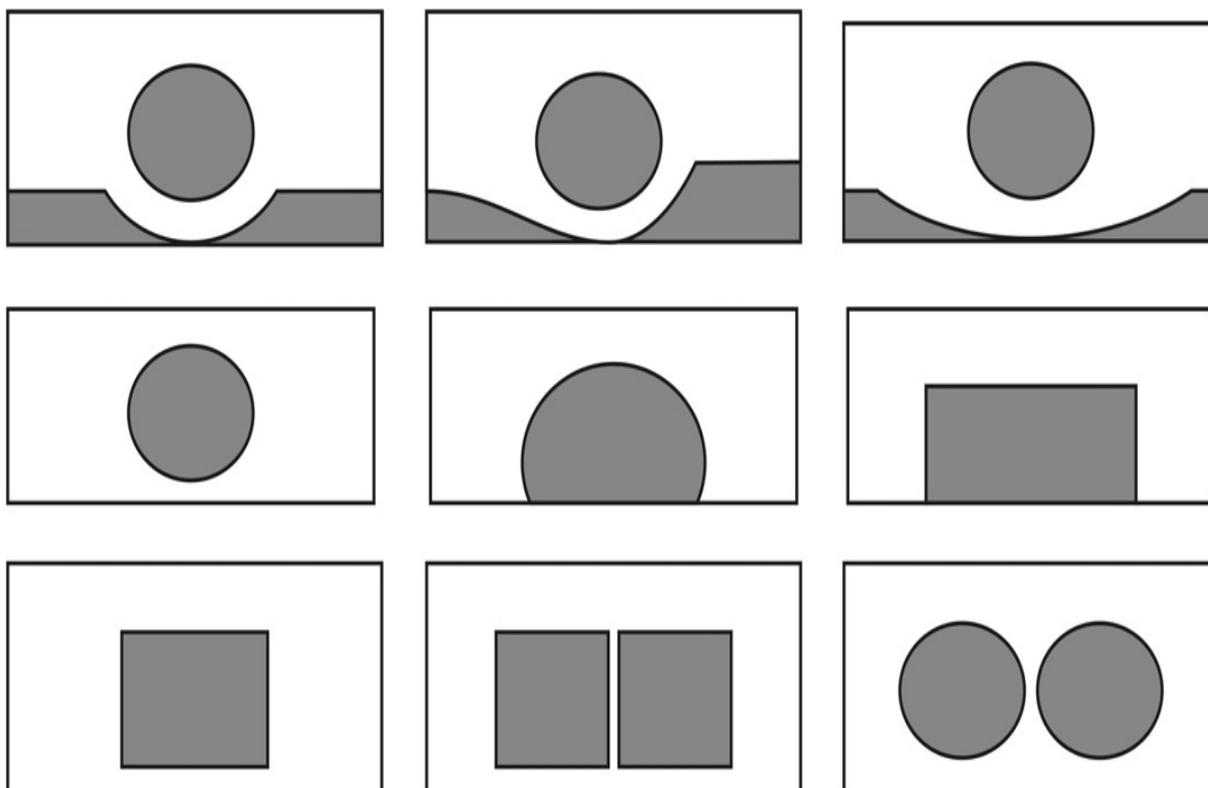


FONTE: Adaptado de MARGRAF (2022).

A marmoraria é um segmento do setor principalmente voltado para o mercado interno, com produtos diversificados e específicos para unidades residenciais individuais, edifícios e condomínios. A produção é voltada para peças sob medida e produtos como, por exemplo: ladrilhos para revestimento, pavimentação, escadas, tiras (peitoril, soleiras, rodapés, filetes), bancadas (tampos de pias, mesas, balcões), revestimentos para paredes, painéis, lápides, divisórias, lápides e outros (VIDAL; CASTRO;

FRASCÁ, 2013). A Figura 23 ilustra as formas típicas de pias para cozinhas e banheiros. Os cortes para colocação de cubas podem ser realizados com o uso de brocas diamantadas, brocas tipo serra copo e discos diamantados curvos.

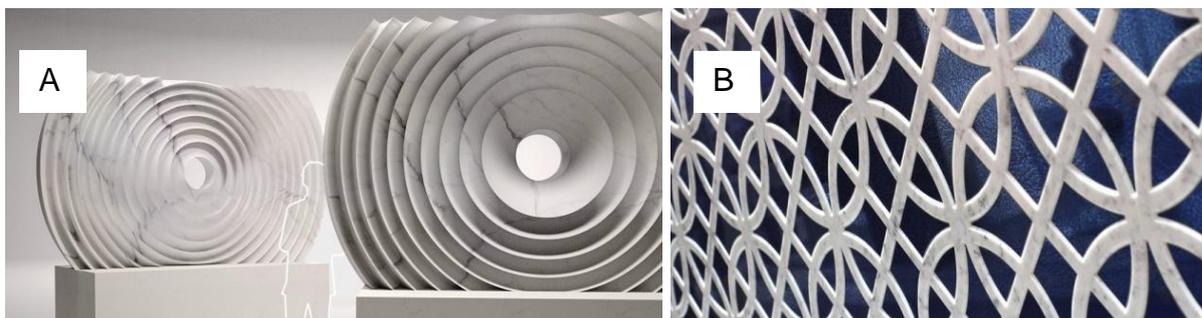
Figura 23 – Formas típicas de pias para cozinhas e banheiros e do rejeito (em cor cinza) derivado do processo de produção destes produtos.



FONTE: Santos; Sampaio, Vezzoli (2009).

Além dos processos já citados para corte nas marmorarias, existem outros maquinários que trabalham a superfície das rochas de distintas maneiras. Tais equipamentos utilizam tecnologias distantes do uso cotidiano, entre eles podem ser citados equipamentos para corte de chapas em curvas (*shine*), equipamento de corte de chapas com sistema *CAD/CAM* por fresamento e por jato d'água (SILVEIRA; VIDAL; SOUZA, 2013). Equipamentos tais como centros de usinagem de até 5 eixos (Figura 24), podem ser utilizados para produção de colunas, fontes, pias, banheiras e esculturas (Figura 24 A) fresadas com alto grau de automação, porém são mais comumente empregados em empresas do ramo de marmorarias em países como Estados Unidos e Itália. Outro equipamento que emprega tecnologia de ponta é o de usinagem CNC por jato d'água com abrasivos, processo empregado para produção de painéis vazados com cortes em formas complexas (Figura 24 B).

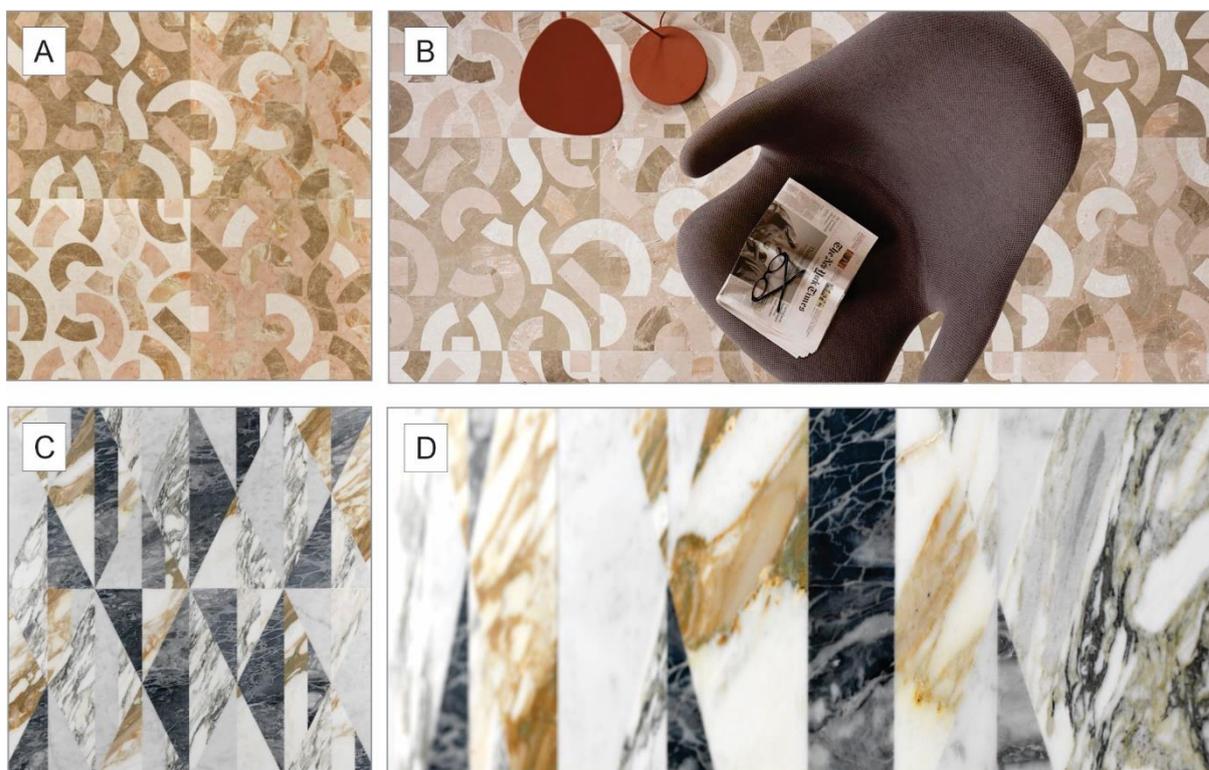
Figura 24 - Produtos obtidos por processos de usinagem: (A) Escultura gerada por fresamento CNC e (B) Painel vazado obtido através de remoção por jato d' água.



FONTE: Marmomac (2022).

A utilização de tecnologias CNC permite maior precisão e redução do tempo de execução quando em comparação com processos artesanais na obtenção de produtos como, por exemplo, partes de mosaicos utilizados em pisos (Figura 25). Mais comumente comercializados para revestimentos visando a decoração pisos em ambientes como: recepções de hotéis, restaurantes, centros comerciais e residências de alto luxo.

Figura 25 – Painéis de Mosaicos para pisos. Composição com encaixes de formas cortadas a partir de diferentes materiais e cores. Em (A) placas para pisos; mosaico com formas à partir de círculos, (B) aplicação no ambiente decorado; (C) placas para pisos e paredes, formas retas e anguladas; (D) vista aproximada da composição aplicada em parede.



FONTE: Lithos Design (2022).

2.5 Usinagem

Os processos de usinagem realizam mudanças de forma em que a geometria final é obtida pela remoção do excesso de material de uma peça inicial em estado sólido (FERRARESI, 1970; GROOVER, 2014). A usinagem abrange um conjunto de processos de fabricação utilizados para dar forma a um componente através da remoção de material, este sendo denominado cavaco (FERRARESI, 1970; FITZPATRICK, 2013; GROOVER, 2014; LESKO, 2004). Segundo Groover (2014), a importância comercial e tecnológica da usinagem está associada a razões como a variedade de materiais processados, de formas e características geométricas de peças além de precisão dimensional e bom acabamento superficial.

Segundo Ferraresi (1970) e Groover (2014), as operações de usinagem são aquelas que produzem cavaco ao conferir à peça sua forma ou suas dimensões ou seu acabamento, ou, ainda, uma combinação qualquer destes três itens. Neste processo, a forma de remover o material é realizada com o uso de uma ferramenta de corte (LESKO, 2004; GROOVER, 2014). A ação predominante de corte na usinagem envolve a deformação do material por cisalhamento produzindo cavaco, que é removido, gerando uma nova forma (GROOVER, 2014).

Os processos de usinagem são classificados em três categorias, duas pelo tipo de ferramenta de corte, denominadas como de geometria definida e de geometria não definida, e a terceira categoria por processos de corte não convencionais (FERRARESI, 1970; MACHADO *et al.*, 2011). Dentre os processos de usinagem com ferramenta de geometria definida estão: o torneamento, o fresamento, a furação, o brochamento, o rosqueamento, o alargamento, o aplainamento, o mandrilamento, entre outros. Os processos de usinagem com ferramenta de geometria não definida, caracterizados por operações realizadas por abrasão, são: retificação, brunimento, polimento, jateamento, lapidação, lixamento, entre outros. Os processos de usinagem não convencionais são a remoção térmica (por feixe de laser ou elétrons), química (corrosão por ácidos), eletroquímica (eletricidade e ácidos), por jato d'água, por jatos abrasivos, por ultrassom, entre outros (FERRARESI, 1970; MACHADO *et al.*, 2011; GROOVER, 2014).

Um dos processos de usinagem que pode ser utilizado para rochas ornamentais é a usinagem por jato d'água com abrasivos, empregada para cortes passantes na produção de mosaicos, painéis vazados e cortes para cubas. Esta operação visa

cortar o material por meio do uso de energia mecânica, onde a força de impacto exercida por um fino jato d'água de alta pressão, adicionado de abrasivos, na superfície de contato do material supera a tensão de compressão entre as moléculas do material, seccionando o mesmo (GROOVER, 2014). A usinagem por jato d'água de alta pressão com partículas abrasivas também é utilizada para o corte passante em materiais gemológicos como, por exemplo, a ágata (BARP, 2009).

O tipo de usinagem adequado para o estudo da propagação de luz no mármore é aquele que propicia a remoção do material na forma de um desbaste não passante, em espessuras heterogêneas em 3D. Para esta aplicação, o processo mais utilizado é o fresamento, portanto, esse será aprofundado (os demais processos de usinagem supracitados não serão apresentados).

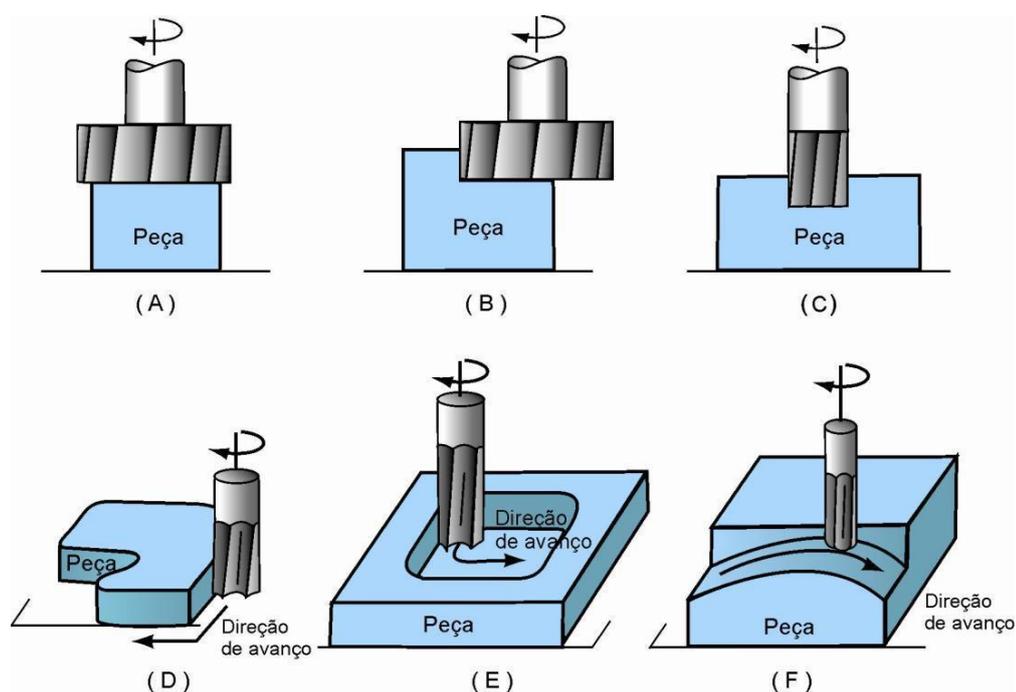
2.5.1 Fresamento

O fresamento é definido como um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de diferentes superfícies com o auxílio de ferramentas geralmente multicorantes denominadas fresas (FERRARESI, 1970; MACHADO *et al.*, 2011). De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2013), as fresas podem ser constituídas por diversos materiais que possuam bom desempenho quanto à tenacidade e a dureza à quente, além de resistência ao desgaste. Trata-se de uma operação em que a peça que será usinada se desloca em direção a uma ferramenta rotativa cilíndrica com várias arestas de corte (GROOVER, 2014). Entretanto, em alguns centros de usinagens a mesa é estática e os movimentos são realizados por eixos. Desta forma, a operação de fresamento “consiste em uma ferramenta cortante que faz um movimento de rotação e movimentos de translação sobre a peça (ou a mesa translada)” (SILVA, 2011, p. 60).

Os tipos de fresamento (Figura 26) são o periférico ou cilíndrico tangencial, no qual o eixo da ferramenta é paralelo à superfície que será usinada; e fresamento frontal (Figura 26 A, B, C, D e F), no qual a direção de avanço da peça é perpendicular ao eixo da ferramenta (GROOVER, 2014). Dentre os tipos de fresamento frontal estão: fresamento de faceamento convencional e parcial, onde na primeira operação a fresa é consideravelmente maior que a largura da peça e na segunda, a fresa cobre apenas um dos lados da superfície; fresamento de topo, no qual o diâmetro da fresa é menor que a largura da peça e a operação realiza um rebaixo na peça; fresamento de borda, operação em que a periferia da peça é usinada com as arestas principais da fresa;

fresamento de cavidade, que é um tipo de fresamento de topo, usado para fresamento de superfícies planas; e fresamento de superfícies curvas, no qual uma fresa de ponta esférica avança ao longo de uma trajetória curvilínea cobrindo toda a peça (com idas e vindas) para criar forma tridimensional, côncava ou convexa na superfície da peça (GROOVER, 2014).

Figura 26 – Tipos de fresamento frontal: (A) faceamento convencional; (B) faceamento parcial; (C) topo; (D) borda; (E) cavidades, também chamado de fresamento de mergulho ou de rampa e (F) de superfícies curvas.



FONTE: Adaptado de Groover (2014).

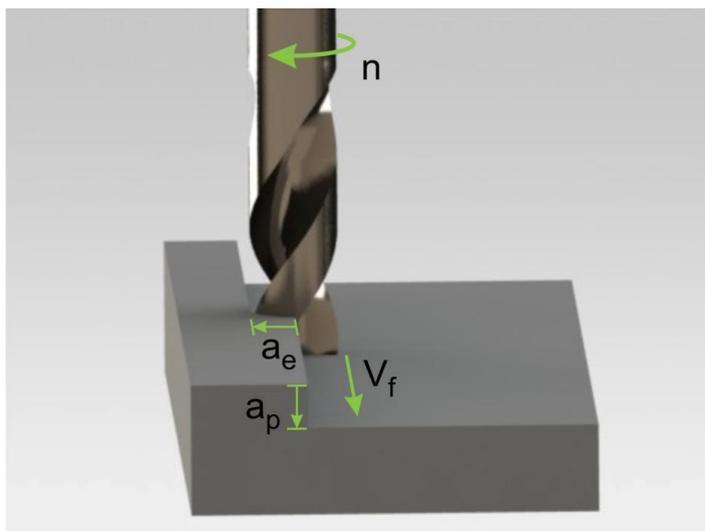
Dentre os tipos de fresamento ilustrados acima, o que melhor se aplica para esta pesquisa é o fresamento de topo, que será utilizado em operações para obtenção de cavidades (que podem ser planas ou não) e de superfícies curvas.

2.5.2 Parâmetros de Usinagem por Fresamento

A operação de fresamento exige um movimento relativo entre a ferramenta e a peça, neste processo ocorre o processo de corte que é proporcionado pela rotação e deslocamento da ferramenta sobre a peça. “Parâmetros de corte são grandezas numéricas que representam valores de deslocamento da ferramenta ou da peça, adequados ao tipo de trabalho a ser executado, ao material a ser usinado e ao material da ferramenta” (SILVA, 2011, p. 61). Dentre as condições de corte estão fatores como

a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte (GROOVER, 2014). Os parâmetros de corte, também chamados de parâmetros de usinagem, são utilizados para programar os comandos para as fresadoras, são eles: velocidade de rotação, velocidade de avanço, profundidade de corte e penetração de trabalho, ilustrados na imagem da Figura 27.

Figura 27 – Parâmetros de usinagem: velocidade de rotação (n), velocidade de avanço (V_f), profundidade de corte (a_p) e penetração de trabalho (a_e).



FONTE: Silva (2011).

O movimento de corte é o movimento entre a peça e a ferramenta, o qual, na ausência do movimento de avanço, origina somente uma única remoção de cavaco durante uma volta ou um curso (FERRARESI, 1970; MACHADO *et al.*, 2011). O movimento de avanço é o movimento entre a peça e a ferramenta, que juntamente com o movimento de corte, origina um levantamento repetido ou contínuo de remoção de cavaco, durante várias revoluções ou cursos (FERRARESI, 1970, MACHADO *et al.*, 2011). De acordo com Ferraresi (1970), o movimento efetivo de corte é o resultante dos dois movimentos realizados ao mesmo tempo, o de corte e o de avanço. A direção dos movimentos influencia nos resultados finais, assim como as velocidades envolvidas. Ferraresi (1970) afirma que a velocidade de corte é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante, segundo a direção de corte. A velocidade de corte é calculada em função do diâmetro externo da fresa.

O percurso da ferramenta, movimentando de um lado ao outro da peça, é realizado em uma velocidade mais lenta que a velocidade de corte e é chamado de velocidade de avanço. A profundidade de corte é uma dimensão de corte relacionada com a penetração da ferramenta abaixo da superfície original da peça (GROOVER, 2014).

Segundo sua direção, o movimento de ação da fresa em relação à peça pode ser definido como concordante e discordante. No movimento concordante, a direção de passagem da aresta cortante pela peça é a mesma da direção de avanço - o fresamento ocorre, portanto, “a favor do avanço”. No movimento discordante, a direção de movimento dos dentes da fresa está em oposição à direção de avanço da peça em relação à ferramenta, ocorre “contra o avanço” (GROOVER, 2014). No fresamento discordante, o cavaco formado por cada dente de corte começa muito fino e sua espessura aumenta à medida que a fresa gira, no fresamento concordante acontece o oposto, o cavaco inicia com a máxima espessura de partículas de cavaco e diminui ao longo da passagem do dente (GROOVER, 2014).

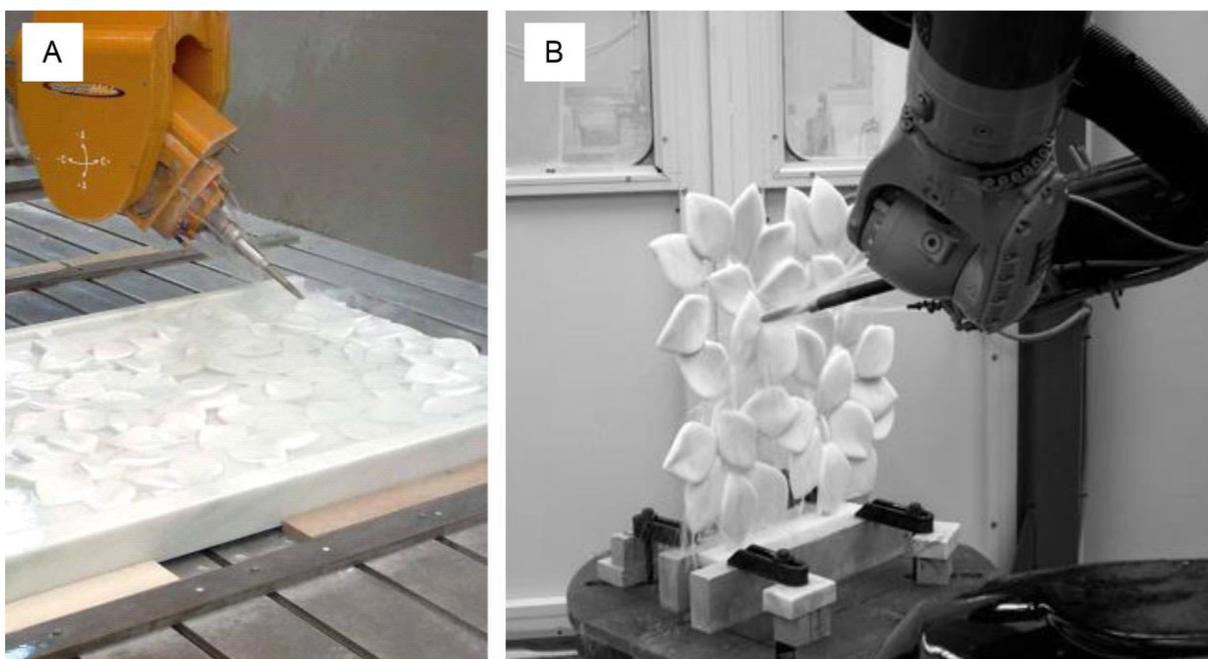
Os movimentos e velocidades envolvidos nas operações de fresamento são realizados pelos comandos de equipamentos denominados máquinas ferramenta (FERRARESI, 1970; LESKO, 2004; GROOVER, 2014). O sistema consiste em fixar o material da peça a ser fresada, posicionar a fresa em relação à peça e fornecer potência ao processo de usinagem na velocidade, avanço e profundidade que foram ajustadas (GROOVER, 2014). Por meio dos ajustes, do controle da ferramenta, do material de trabalho e das condições de corte, este tipo de sistema permite que os produtos sejam usinados conferindo grande precisão e repetibilidade à peça com tolerâncias de até 0,025 mm ou menores (GROOVER, 2014). Nestas operações os comandos podem ser realizados por um operador humano ou de forma automatizada via equipamento integrado com computador por meio de comando numérico computadorizado (CNC).

A programação de usinagem CNC é realizada em computador com *softwares* tipo CAM (*Computer Aided Manufacturing*). O *software* gera os comandos que serão realizados pelo equipamento de usinagem CNC. O centro de usinagem CNC, modelo Digimill 3D da marca Tecnodrill® é um exemplo de equipamento em que o operador humano posiciona a peça na mesa de suporte estática, instala e posiciona a ferramenta no ponto de início do trabalho, manualmente, para posteriormente carregar os comandos numéricos gerados pelo software e dar início ao fresamento, momento a partir do qual as operações passam a ser realizadas automaticamente por comando CNC. Os centros de usinagem podem ter 2, 3 ou mais eixos. Segundo Faller *et al.*, (2006) existem outros eixos além dos eixos lineares primários X, Y, Z. Estes eixos complementares se movimentam de maneira rotativa ou angular em torno de um dos três eixos primários. Se o movimento ocorrer em relação a X receberá o nome de eixo A, a Y se chamará B e em torno de Z será denominada C.

2.5.3 Fresamento de Rochas

Estudos de usinagem aplicada às rochas por operações de fresamento não são abundantes na literatura, comparando com estudos do processo aplicado aos metais, por exemplo. Contudo, catálogos de empresas fabricantes de equipamentos de usinagem por fresamento apresentam imagens do processo. O catálogo da empresa italiana MARGRAF (2022), apresenta a imagem de equipamento realizando o desbaste e o acabamento (Figura 28), no processamento de mármore em relevos tridimensionais (Figura 28 A e B).

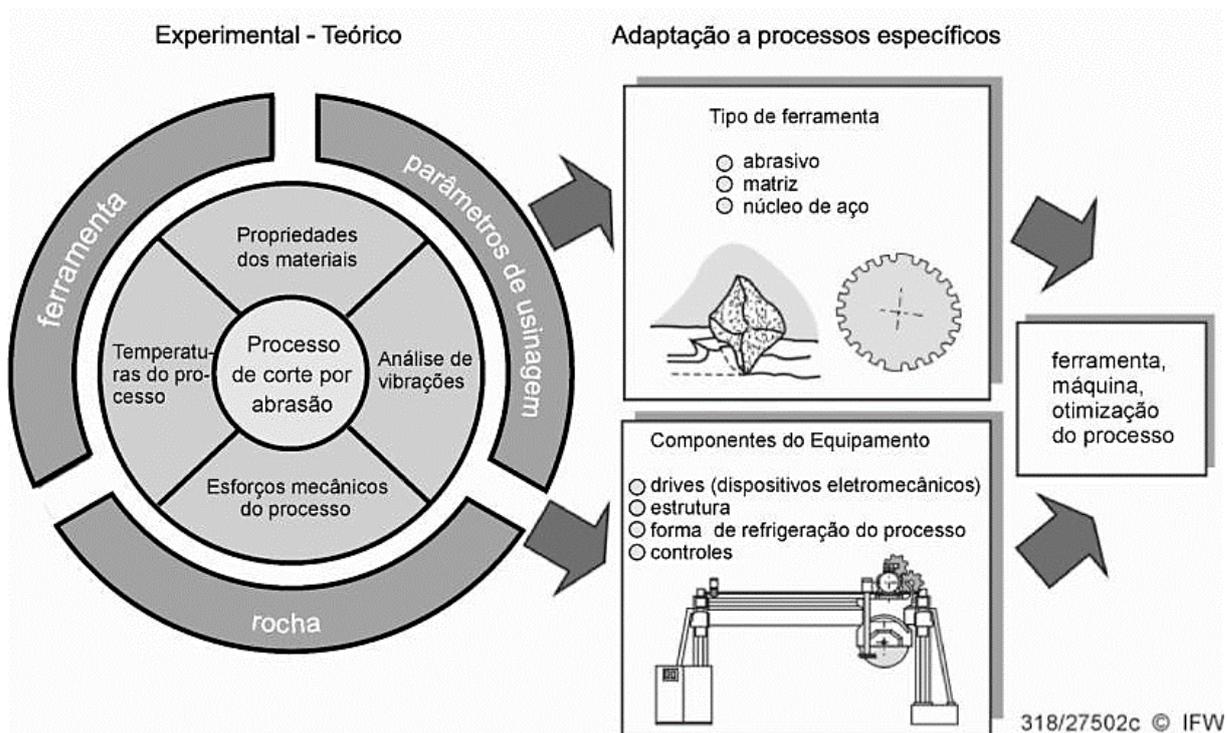
Figura 28 – Processo de fresagem CNC em mármore: (A) Desbaste e (B) Acabamento (desbaste fino).



FONTE: MARGRAF (2022).

Em operações de corte de rochas a seleção da ferramenta de corte considera os seguintes aspectos: o material e suas propriedades como a dureza e a resistência à abrasão e conseqüentemente ao corte; a ferramenta de corte, sua forma (disco de corte, fio diamantado ou fresa) e os materiais de sua composição, aspectos que envolvem a matriz da ferramenta (metálica) e o abrasivo destinado ao corte (diamante, por exemplo); os equipamentos disponíveis; os parâmetros de usinagem e o produto a ser obtido (TÖNSHOFF; HILLMANN-APMANN; ASCHE, 2002). Tönshoff, Hillmann-Apmann e Asche (2002), estudaram o corte de rochas por ferramentas diamantadas e propuseram um esquema de análise e otimização do processo (Figura 29).

Figura 29 – Esquema de análise e otimização do processo de corte de rochas.

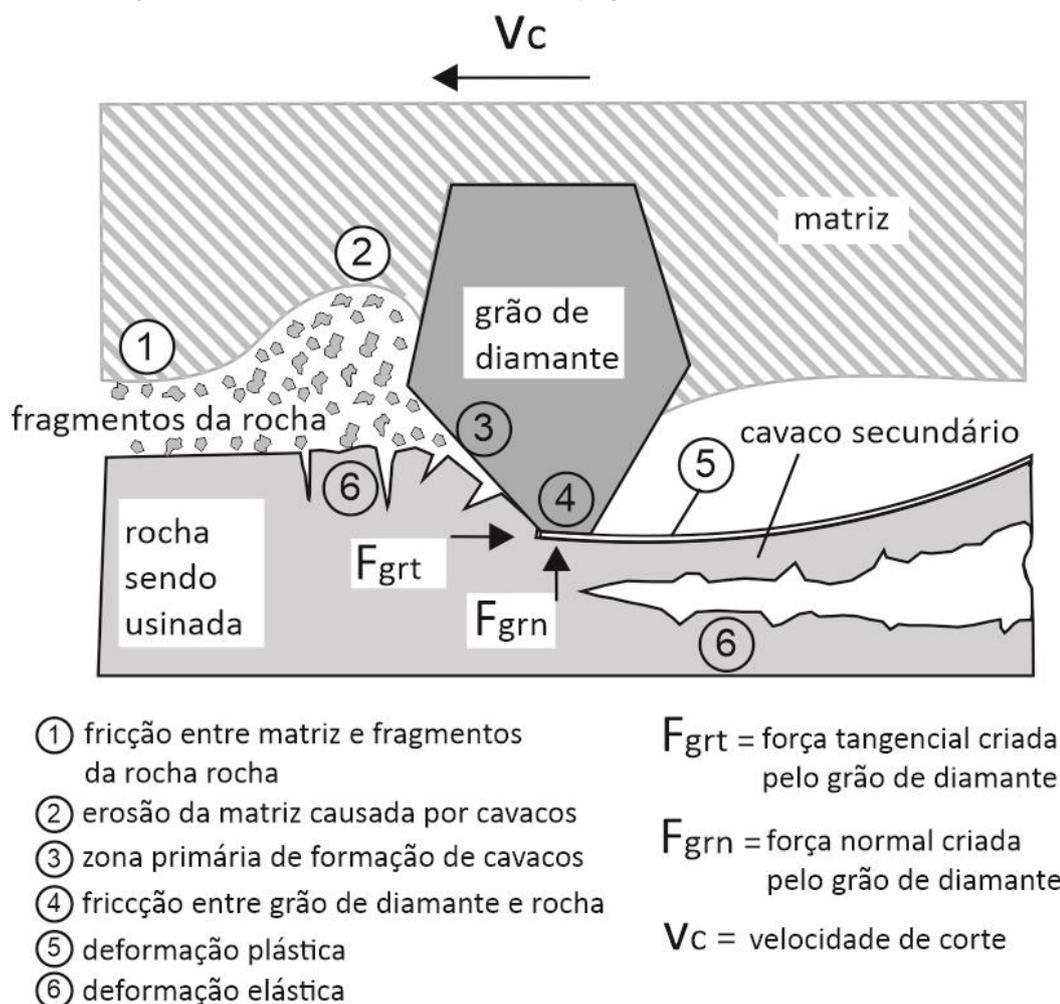


FONTE: Adaptado de Tönshoff; Hilmann-Apmann; Asche (2002).

A formação de cavaco se dá, de uma forma geral, por destruição da consistência de um material pela utilização de uma ferramenta. Especificamente, tratando de rochas, o cavaco é formado por um processo de esmerilhamento ou corte por abrasão (TÖNSHOFF; HILMANN-APMANN; ASCHE, 2002). Na Figura 30, visualizada em seguida, pode ser observada a interação mecânica entre a ferramenta diamantada e a peça ao usinar uma rocha.

Normalmente as ferramentas com insertos de diamantes utilizadas na usinagem por fresamento, são compostas por um corpo ligante onde o diamante ou o abrasivo é soldado, eletrodepositado, aparafusado ou colado por meio de procedimentos específicos. O diamante, natural ou sintético, é considerado o componente mais importante da fresa por sua capacidade de corte. Segundo manual da empresa Breton (2015), fabricante de centros de usinagem para mármore e granitos, a dimensão do grão de diamante que faz parte da composição da parte cortante da fresa determina se a ferramenta será utilizada para alta retirada ou se será uma ferramenta polidora, a granulometria varia de acordo com cada fabricante, portanto, a referência a algumas classes de granulometria somente pode ser indicativa. Os grãos são mediamente subdivididos na seguinte sequência: 100/120; 200/400; 600/800; 800/1.000; 1.200/1.500; 2.500/3.500 e 12.000 μm (BRETON, 2015)

Figura 30 – Interação mecânica entre a ferramenta e a peça em corte de rocha.

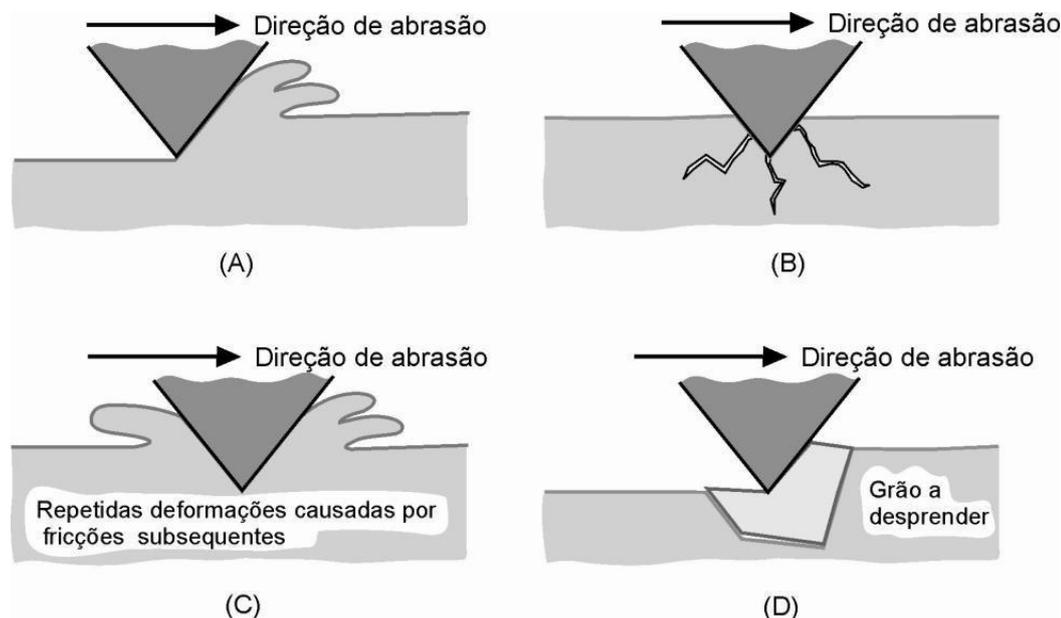


FONTE: Adaptado de Tönshoff; Hilmann-Apmann; Asche (2002).

Segundo Stachowiak e Batchelor (2001) o processo de corte realizado por ferramentas que realizam abrasão, quando analisados em escala microscópica, revelam que as partículas abrasivas ou grãos podem remover materiais por meio de micro-corte, microfatura, arranque de grãos individuais ou por fadiga causada por repetidas deformações. Na Figura 31 podem ser observados os mecanismos de desgaste por abrasão.

O corte é influenciado pelas características físico mecânicas da rocha, pelo tamanho do grão e pela força de ligação entre eles (POLINI; TURCHETTA, 2004). A composição dos minerais principais e acessórios pode ter diferentes efeitos na usinagem. Desta forma, também a porosidade influencia no acabamento da superfície dos mármores após operações de corte (MIRANDA; QUINTINO, 2005).

Figura 31 – Mecanismos de Desgaste por abrasão: (A) Corte; (B) Fratura; (C) Fadiga causada por repetidas fricções e (D) Arranque de grão.



FONTE: Adaptado de Stachowiak e Batchelor (2001).

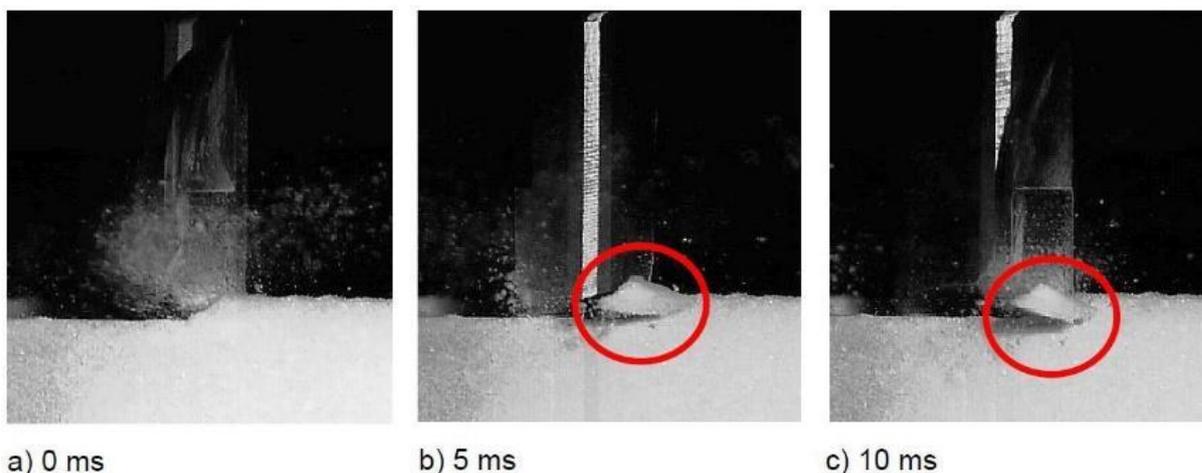
Polini e Turchetta (2004) realizaram estudo envolvendo o fresamento de dois mármores, Carrara e Coreano Perlato Royá, com uso de ferramentas diamantadas. Investigaram a relação entre a força de corte, a energia de corte e parâmetros como profundidade de corte e velocidade de avanço. Os ensaios, realizados por fresadora CNC, ocorreram em velocidades de avanço de 200, 400 e 600 mm/min em 14 profundidades de corte entre 0,001 e 0,09 mm por passe e velocidade corte de 3000 RPM, em 126 operações com ferramentas de 20 e 37,5 mm de diâmetro.

O fresamento de rochas também é objeto de estudo dos pesquisadores Uhlmann e Manthei (2015), que realizaram o corte em arenito e mármore utilizando uma fresa de topo, de 16 mm de diâmetro e uma aresta de corte. Os parâmetros foram: velocidade de rotação entre 1.070 e 2.678 RPM; velocidade de avanço entre 139 e 857 mm/min, profundidade de corte entre 0,86 e 2,14 mm. Os autores analisaram a formação de cavaco nos dois materiais e afirmaram que em ambos ocorre o corte dos grãos da superfície dos materiais e no arenito ocorrem também áreas de arrancamento de grãos. No mármore, em geral, é formado cavaco pequeno em forma de partículas tipo pó, porém, há também formação de alguns cavacos maiores.

O cavaco não ocorre diretamente na aresta de corte, mas na maioria dos casos ligeiramente à frente da ferramenta, devido às forças de compressão. Para obter uma menor rugosidade superficial, os autores recomendam baixas velocidades e profundidade de corte combinadas com alto avanço. Na Figura 32 pode ser observada a

operação sendo realizada no mármore, as imagens foram obtidas em 0, 5 e 10 ms do início das operações de corte.

Figura 32 – Imagens do Fresamento do mármore Carrara mostrando, nos detalhes, o arrancamento do cavaco em 0, 5 e 10 ms.



FONTE: Uhlmann e Manthei (2015).

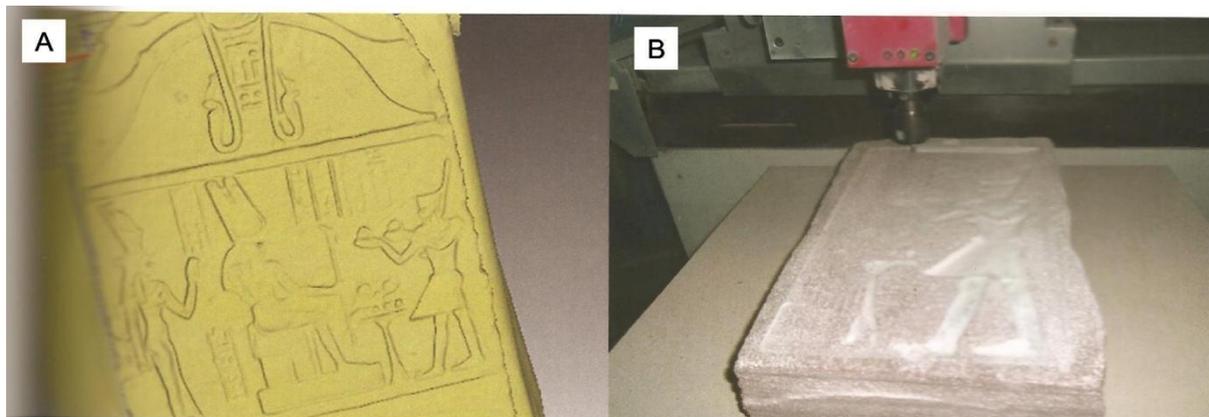
Estudos de fresamento realizados em outras rochas também podem contribuir para o entendimento do processo (Figura 33). Etchepare (2011) realizou estudo de fresamento em riodacito (basalto carijó) com o uso de ferramentas diamantadas policristalinas de baixo custo (para uso dentário). Devido à grande variação de composição e dureza da matéria-prima natural, bem como das ferramentas de baixo custo, o autor não determinou limites precisos de parâmetros de fresamento que garantissem o sucesso da operação. Neste sentido, propõe um mapa de tomada de decisão para ajustes da velocidade de avanço e profundidade de corte e, ainda, recomenda a utilização de ferramentas industriais de alto desempenho. Brancaglion Junior *et al.* (2013) realizaram o estudo sobre a digitalização tridimensional de uma epigrafia egípcia a qual foi reproduzida em arenito, em um centro de usinagem CNC (Figura 33 A e B).

Pereira, Kindlein Jr. e Silva (2015), realizaram o estudo do processamento do arenito por fresamento CNC. O estudo indica a possibilidade de reproduzir peças de valor histórico a partir de um arquivo digital da peça original obtida por digitalização 3D e descreve os parâmetros utilizados no processo de usinagem.

A estratégia utilizada para usinagem incluiu três etapas distintas. Uma operação de faceamento e uma operação de desbaste utilizando uma broca diamantada comercial para granito e mármore de 10 mm de diâmetro. Posteriormente, o acabamento realizado em duas operações, a primeira com uma broca diamantada comercial de 4

mm de diâmetro; e uma operação final de acabamento, utilizando-se uma ferramenta diamantada da marca Master Diamond de ponta esférica de 2 mm de diâmetro (PEREIRA; SILVA; KINDLEIN JÚNIOR, 2015).

Figura 33 – Processo de usinagem CNC em arenito: (A) Modelo virtual obtido por Digitalização e (B) Operação de fresamento do arenito.



FONTE: Brancaglioni Junior, A *et. al.* (2013).

Para a operação de faceamento e a de desbaste, os parâmetros foram: 10.000 RPM de rotação, 200 mm/min de velocidade de avanço lateral, 50 mm/min de velocidade de avanço vertical, penetração de trabalho de 50% e profundidade de corte de 0,2 mm. Para as operações de acabamento foram mantidos os parâmetros de velocidades de avanço lateral e vertical, sendo que na primeira operação de acabamento a velocidade de rotação da ferramenta foi de 18.000 RPM, a penetração de trabalho de 10% e a profundidade de corte de 0,1 mm, enquanto na operação final de acabamento, a velocidade de rotação foi de 24.000 RPM, a penetração de trabalho foi de 10% e a profundidade de corte de 0,04 mm (PEREIRA; SILVA; KINDLEIN JÚNIOR, 2015). Os parâmetros de corte utilizados em ensaios realizados pelos autores citados acima serão considerados para definição dos parâmetros para esta pesquisa.

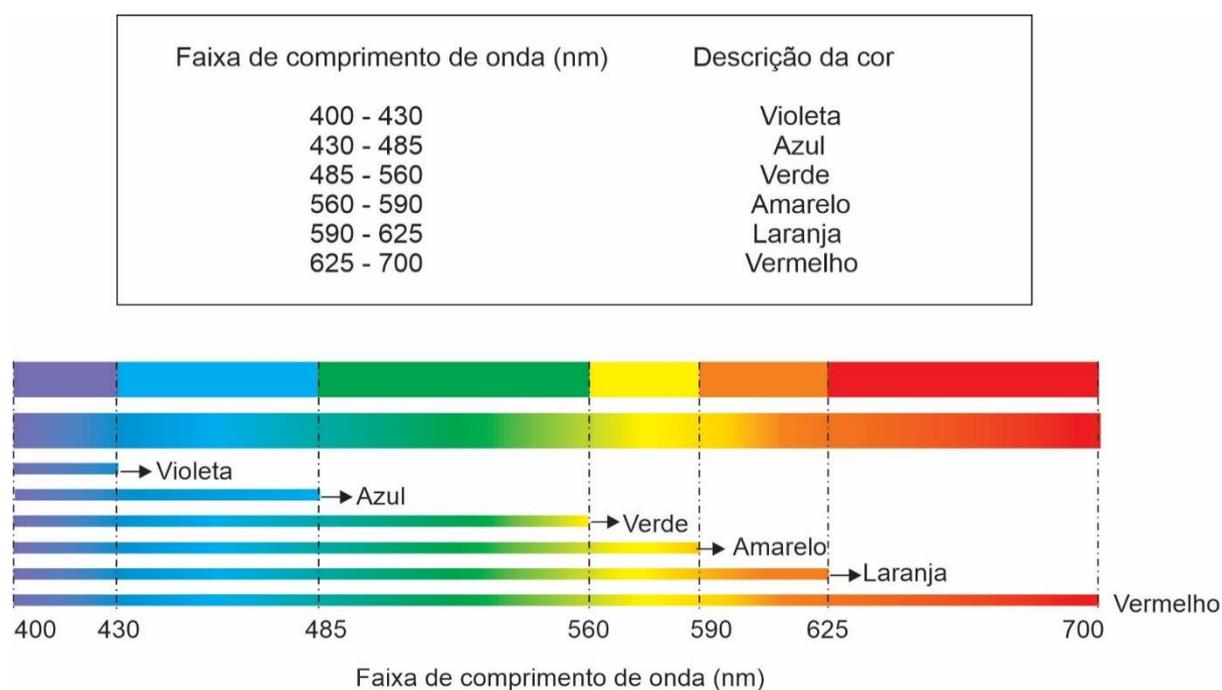
2.6 Iluminação de Materiais Translúcidos

Materiais e formas são percebidos pelo olhar humano que codifica a imagem visualizada através da luz incidente, da cor e da sombra que dá a noção de volume em objetos. Apesar da facilidade subjetiva da percepção visual do ser humano, a percepção de um material impõe ao sistema visual alguns desafios únicos e significativos, porque um dado material pode assumir muitas aparências diferentes, dependendo da

iluminação, do ponto de vista e da sua forma (FLEMING, 2014).

A luz é considerada um fluxo de energia, sendo parte do espectro de ondas eletromagnéticas. A luz visível é correspondente ao espectro que o olho humano consegue detectar (CALLISTER, 2006; SERWAY; JWEWTT, 2014; VAN VLACK, 1984). Segundo a norma ABNT 5461, a luz é um “termo normalmente empregado em substituição ao termo radiação visível, que compreende a radiação óptica capaz de produzir diretamente uma sensação visual” (ABNT NBR 5461). Os comprimentos de onda da luz visível estendem-se entre 400 e 700nm e correspondem a variação de cores de violeta ($\lambda \approx 4 \times 10^{-7} \text{ m}$) à vermelho ($\lambda \approx 7 \times 10^{-7} \text{ m}$). A Figura 34 fornece os valores e a cor correspondente.

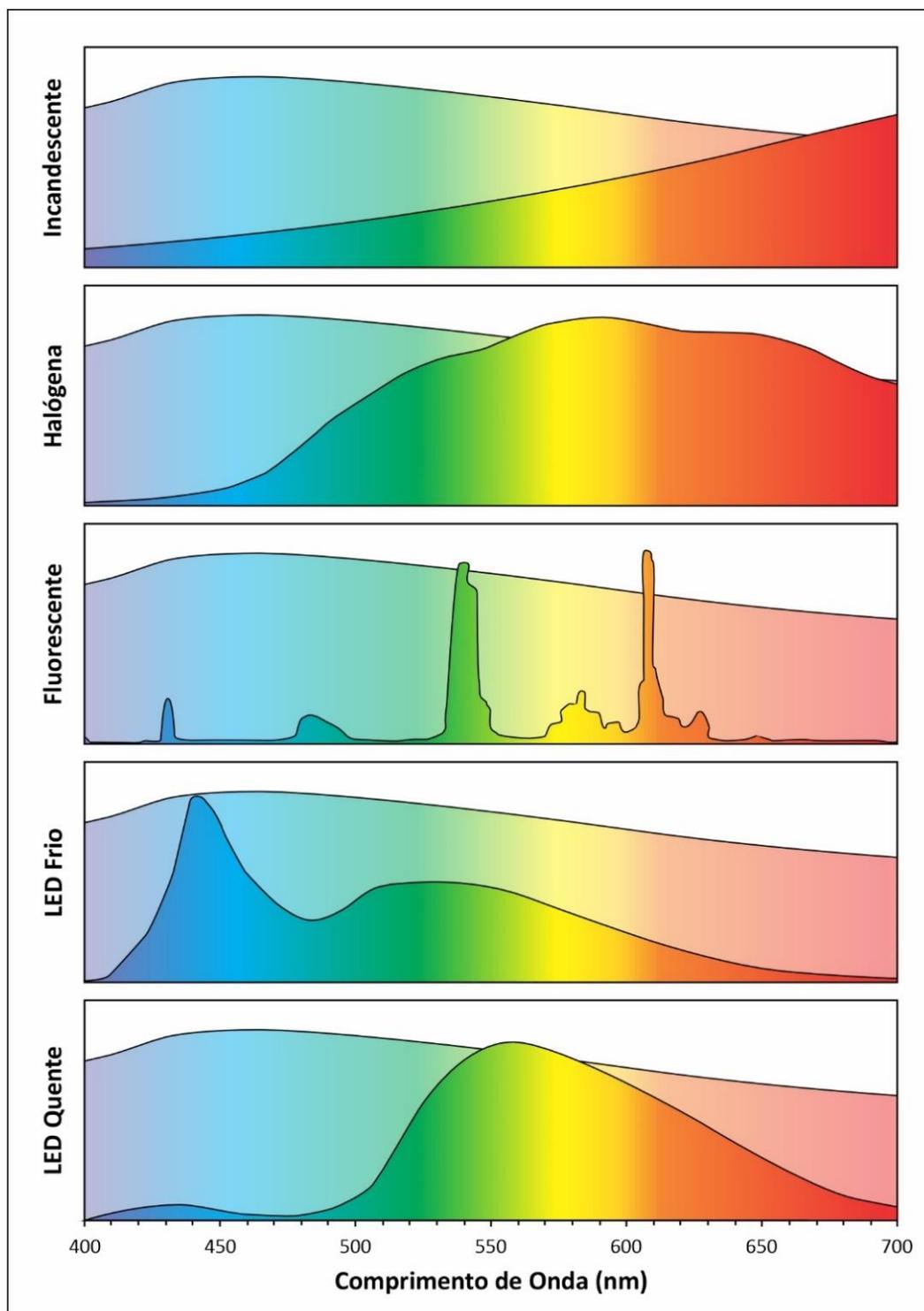
Figura 34 – Faixas de comprimento de onda de luz visível e descrição de cor aproximada. Observação: as faixas de comprimento de onda aqui são aproximadas; pessoas diferentes descreverão cores de formas diferentes.



FONTE: Adaptado de Serway (2014).

A luz produzida pela corrente elétrica pode ser emitida por lâmpadas que utilizam diferentes tecnologias de iluminação, incluindo os modelos mais comuns como incandescentes, halógenas, fluorescentes e por LED, sendo que cada uma possui diferentes tipos e níveis de iluminação com base no espectro de luz visível. A Figura 35 apresenta um esquema comparativo de intensidade relativa de luz (dentro do espectro de luz visível) emitida por diferentes tipos de lâmpadas, em comparação com a luz do Sol observada na superfície da Terra.

Figura 35 – Comparativo da intensidade relativa de luz de diferentes tecnologias de lâmpadas, em comparação com a luz do Sol observada na superfície da Terra.



Fonte: Adaptado de Smith (2016) e Peres (2016).

Com a utilização de materiais específicos, como finas bobinas de filamento de tungstênio (material utilizado atualmente) dentro de um bulbo de vidro à vácuo ou com um gás inerte (como argônio), as lâmpadas incandescentes emitem luz por meio de seu aquecimento, ao apresentar uma alta resistividade, ou resistência à transmissão

da eletricidade (MILLS, 2018). Assim, o material aquece a altas temperaturas e produz luz em um espectro de luz contínuo. Entretanto, devido à sua baixa eficiência energética, a maior parte de sua radiação é emitida no comprimento de onda infravermelho, o que não é visível à olho nu, sendo percebido como calor (HELD, 2016). Consequentemente o seu espectro de luz aparente tende a ser muito mais quente, com pouca intensidade em baixos comprimentos de onda.

Segundo Mills (2018), as lâmpadas halógenas consistem em uma variação das incandescentes, de modo que também emitem luz por meio do aquecimento de um filamento de tungstênio através da eletricidade, contudo o gás utilizado é composto por um halógeno (série de elementos químicos), geralmente iodo. Diferentemente das lâmpadas incandescentes comuns, com a utilização de um gás halógeno ocorre um ciclo de evaporação e deposição do filamento de tungstênio; isso faz com que a lâmpada tenha uma vida útil maior e seja possível aquecê-la a temperaturas mais altas (MILLS, 2018). Desse modo, a lâmpada tende a ser mais eficiente em termos de gasto energético com relação à luz visível emitida (HELD, 2009). Por consequência, seu espectro, apesar de similar ao incandescente, possui emissões maiores em comprimentos de onda mais baixos.

A luz emitida por lâmpadas fluorescentes é gerada através do processo de descarga de gás dentro de um tubo de vidro, recoberto internamente por fósforo, que o deixa com coloração branca. Segundo Mills (2018), o tubo é geralmente preenchido por gás argônio e vapor de mercúrio e selado em baixa pressão. Em cada extremidade existe um eletrodo de modo que quando a corrente elétrica flui entre eles os elétrons se movem através do gás, o que excita os átomos de mercúrio e faz com que eles emitam radiação (MILLS, 2018). Segundo o autor, a maior parte da radiação emitida é no comprimento de onda ultravioleta, entretanto a cobertura de fósforo no interior do tubo transforma essa radiação em luz visível. Diferentemente da iluminação incandescente, o fluxo de luz não é contínuo (bandas estreitas na Figura 35), ainda que sendo percebido por uma coloração branca pelo somatório do espectro visível e sendo bem mais eficiente em termos de energia (HELD, 2009).

As lâmpadas com tecnologias mais recentes e eficientes (HELD, 2009) emitem luz por meio de um diodo emissor de luz (*Light-Emitting Diode*, ou LED). O processo é chamado de eletroluminescência e consiste em um material semicondutor que emite luz quando uma corrente elétrica é passada por ele (MILLS, 2018), sendo o inverso do efeito fotoelétrico. Segundo Mills (2018), um diodo consiste em dois materiais

diferentes unidos, sendo que um tipo especial, um diodo semiconductor, conduz eletricidade em apenas uma direção, excitando elétrons e liberando fótons. Por causa de seu meio de funcionamento, emitindo luz em comprimentos de onda quase que inteiramente na luz visível, as lâmpadas de LED produzem pouco calor (infravermelho) e são, portanto, as mais eficientes (HELD, 2009). Em termos de espectro de cores, dependendo da composição química dos diodos é possível obter-se intensidades percebidas como mais frias ou quentes (Figura 35).

A coloração das cores é um importante fator para utilização no design por uma série de fatores, desde aspectos sensoriais até biológicos (FARINA; PEREZ; BASTOS, 2006). De modo geral, uma graduação de temperatura de cor, em Kelvin, é utilizada com base nos comprimentos onda emitidos por um corpo negro (corpo hipotético que absorve toda a luz, mas é capaz de emitir radiação com diferentes temperaturas), segundo Peres (2016). Essa referência de cor significa que um corpo negro irá emitir cores diferentes, variando de mais quentes (ou vermelhas) ou frias (branca e azul), com base em suas temperaturas. Segundo Peres (2016) e Held (2016), lâmpadas incandescentes emitem luz com temperaturas de cor de cerca de 2800 K, as halógenas por volta de 3000 K, as fluorescentes em 4000 K, e as de LED podem variar de 3000 K (LED quentes) até 8000 K (LED frias), ainda que cores superiores a 5000 K tendem a ser percebidas mais como uma luz “azul” ao invés de um “branco frio”. Essas temperaturas de cor estão diretamente relacionadas com a combinação dos espectros de cor vistos nas Figura 35.

Em termos de percepção das cores, a utilização de cores mais quentes ou frias está diretamente ligada à sensação de conforto. Mills (2018) afirma que luzes mais quentes tendem a ser mais bem aceitas em níveis de intensidade menores (iluminação interior), já luzes mais frias tendem a ser aceitas em intensidade maior (iluminação externa ou luz do dia), ainda que o autor comente que níveis extremos de luz quente ou fria causam desconforto em qualquer intensidade. Peres (2016) destaca também as diferentes percepções de cores mais quentes ou frias de acordo com a hora do dia (do amanhecer ao meio-dia e ao anoitecer), e como elas impactam em diferentes sensações. Além disso, as cores vermelho, verde e azul tendem a ser muito mais atrativas, independentemente de seu brilho, em comparação com luz branca ou amarela, indicando sinais de maior atenção ou alerta (MILLS, 2018).

A cor percebida de um objeto é afetada por três fatores: a composição química e física do objeto, a composição espectral da fonte de luz que ilumina o objeto e a

sensibilidade dos olhos do observador (LAWLESS; HEYMANN, 2010). Os termos relacionados à iluminação podem ser diferenciados segundo a norma ABNT NBR 5461; a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define que a aparência como a “manifestação da natureza de um objeto ou material a partir de atributos visuais, tais como o tamanho, a forma, a cor, a textura, o brilho, a transparência, a opacidade etc.” Neste contexto, a transparência e a opacidade são atributos relacionados com as propriedades ópticas, ou seja, ao comportamento de um material quando exposto às radiações eletromagnéticas.

Segundo Callister (2006), o comportamento óptico de um material sólido está associado as suas interações com a radiação eletromagnética; os possíveis fenômenos interativos incluem a refração, a reflexão, a absorção e a transmissão de luz incidente. De acordo com o comportamento dos materiais perante uma fonte de luz, estes podem ser classificados como: opacos, transparentes ou translúcidos (GOESELE *et al.*, 2004). Por definição, a opacidade é a propriedade de um material evitar a transmissão de luz (ABNT NBR 5461; CALLISTER, 2006).

A luz interage com objetos opacos apenas no local que incide, é dispersa no ponto de incidência. Em contraste, a luz passa diretamente através de objetos transparentes, como o vidro, e é apenas refletida ou refratada nas bordas do material (GOESELE *et al.*, 2004).

Ainda que a luz transmitida através de materiais transparentes possa apresentar perdas decorrentes da reflexão na superfície onde incide, da refração da velocidade da luz no meio e da absorção (CALLISTER, 2006) ou seja, uma parte do feixe luminoso será dispersada mesmo em materiais transparentes.

Os materiais translúcidos são caracterizados pelo espalhamento ou difusão da luz dentro do objeto (GOESELE *et al.*, 2004). Segundo Donner e Jensen (2005), materiais translúcidos são comuns na natureza e ocorrem em muitas formas, alguns são homogêneos, como neve ou cera de vela, ou podem ter propriedades internas complexas, como mármore e uvas, enquanto outros são compostos de múltiplas camadas, tais como pele e folhas de plantas. Goesle *et al.* (2004) estudaram sobre a iluminação do material translúcido, alabastro², e observaram a aparência da luz difusa dentro do material (Figura 36).

² Mineral sulfato de cálcio hidratado: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Variedade da Gipsita. Alabastro: maciço e transparente, de granulação fina, importante como material de esculturas. (CPRM)

Figura 36– Imagem de uma escultura de um cavalo em material translúcido, alabastro, retroiluminado.



FONTE: Goesle *et al.* (2004).

A definição de um meio translúcido, de acordo com a norma ABNT NBR 5461 é: um meio que “transmite a radiação visível quase predominantemente por transmissão difusa, de modo que os objetos não podem ser vistos distintamente através desse meio”. Para Callister, (2006, pg. 577) “os materiais translúcidos são aqueles através dos quais a luz é transmitida de uma maneira difusa, ou seja, onde a luz é dispersa no interior do material em um grau em que os objetos não são claramente distinguíveis quando observados através de uma amostra desse material”. O comportamento de difusão subterrânea da luz leva a uma aparência muito distinta: luz brilha através dos objetos iluminando as porções menos espessas e, oculta detalhes da superfície em porções mais espessas (GOESELE *et al.*, 2004).

A difusão é definida como “um fenômeno no qual a distribuição espacial de um feixe de radiação é modificada quando este é desviado em muitas direções por uma superfície ou por um meio, sem modificar a frequência dos seus componentes monocromáticos” (ABNT NBR 5461). Uma radiação pode ser refletida em uma superfície de forma especular, em raios paralelos, e pode ocorrer uma reflexão difusa, onde os raios deslocam-se em direções dispersas (SERWAY, 2014). No caso de o desvio ocorrer internamente no meio este pode ocorrer no contorno entre grãos. O fenômeno é explicado segundo a lei de Snell para refração, onde uma onda incidente transmitida através de um meio, quando atravessa uma descontinuidade, sofre uma mudança de direção, é refratado (VAN VLACK 1984, SERWAY 2014). Isso conduz a um percentual de dispersão e a um comportamento translúcido. A condutividade tanto elétrica quanto térmica é afetada pela geometria microestrutural e por impurezas e não homogeneidades (VAN VLACK, 1984). Em caso de estruturas não homogêneas podem ainda apresentar diferentes índices de refração em sua microestrutura (VAN VLACK, 1984).

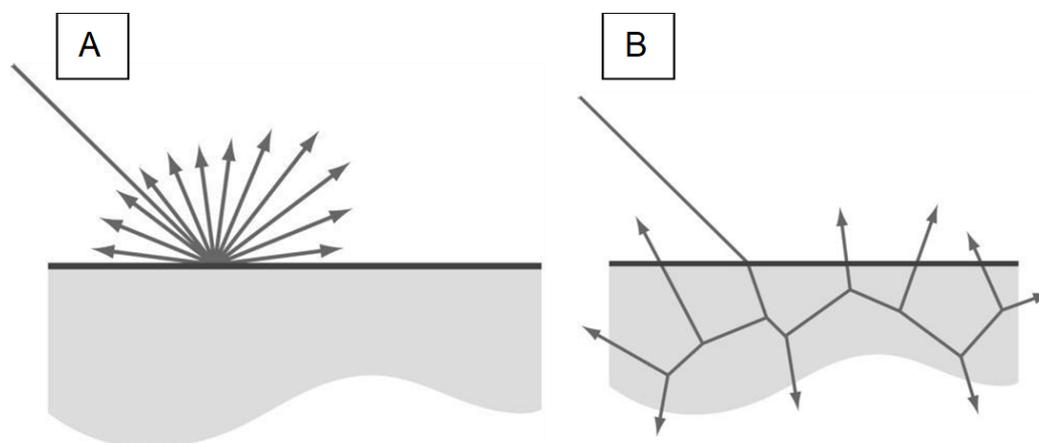
A forma como a luz se propaga em uma superfície é descrita utilizando a função da reflectância bidirecional (BRDF), que mede a proporção de luz refletida em cada direção em função da quantidade de luz que chega de cada direção no hemisfério acima do plano tangente à superfície local (NICODEMUS *et al.*, 1977). A reflectância é a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente (NICODEMUS *et al.*, 1977).

A propriedade associada à difusão da luz em materiais translúcidos é descrita pela função do espalhamento da reflectância bidirecional (BSSRDF) na superfície (NICODEMUS *et al.*, 1977). O espalhamento, segundo a norma ABNT NBR 5461, é definido como “difusão da energia radiante ao atingir partículas de diferentes índices de refração”. O espalhamento ou dispersão da luz pode ser entendida como um “redirecionamento da luz” que ocorre quando uma onda eletromagnética (EM), ou seja, um raio de luz incidente, encontra um obstáculo ou uma região não-homogênea, considerada uma partícula de dispersão. Ocorre uma interação complexa entre a onda EM incidente e a estrutura molecular do material (HAHN, 2009).

A norma ABNT NBR 5461 define a refração como “fenômeno pelo qual a direção de propagação de uma radiação é mudada como resultado de variações de sua velocidade de propagação, ao passar através de um meio não homogêneo ou ao atravessar uma superfície de separação de dois meios diferentes”.

O espalhamento da reflectância pode ser considerado uma característica antagônica à característica da reflexão. O reflexo é produzido pela luz refletida. As diferenças do comportamento óptico de materiais reflexivos e translúcidos foram estudadas por Fleming, Jensen e Bülthoff (2004) e são indicadas na Figura 37.

Figura 37 – Comportamento óptico em materiais reflexivos e translúcidos: (A) Reflexão da luz em uma superfície – reflectância e (B) Propagação da luz na subsuperfície - transmitância

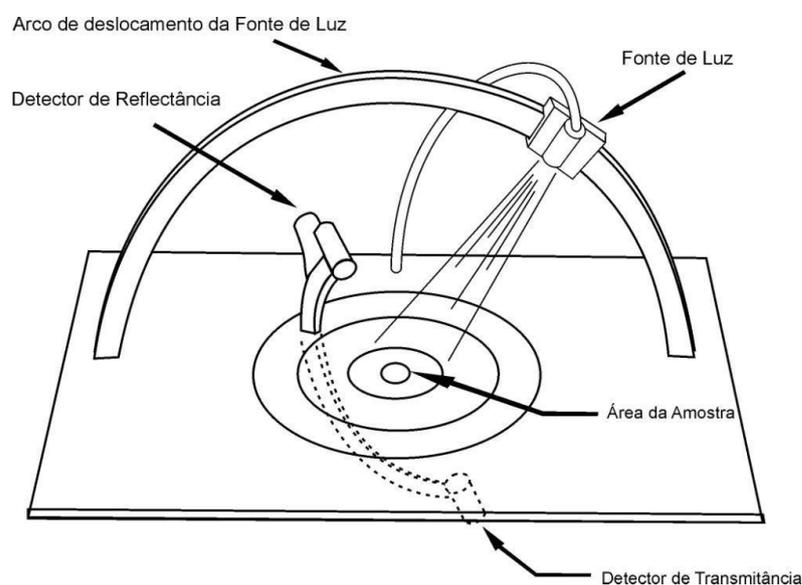


FONTE: Adaptado de Fleming, Jensen, Bülthoff, (2004).

Entende-se que o fluxo luminoso que não foi refletido e que não foi absorvido ou disperso é transmitido através do material. A transmitância, segundo a norma ABNT NBR 5461, é definida como “razão do fluxo radiante ou luminoso transmitido pelo fluxo incidente em dadas condições”. Trata-se da luz transmitida através do material, descontando a luz refletida pelo material e a luz absorvida na superfície do mesmo.

Ward (1992), estudou a medição da reflexão com o equipamento goniômetro, que é utilizado para medição da reflectância e pode detectar também a transmitância da luz em um material (Figura 38).

Figura 38 – Equipamento convencional Goniômetro.



FONTE: Adaptado de Ward (1992).

A reflexão também pode ser medida através da espectrofotometria, técnica que estuda a análise quantitativa das radiações eletromagnéticas com relação à sua composição espectral (espectro visível, ultravioleta, infravermelho e outros) e a curva de valores resultantes da luz refletida. Segundo Leão (2005), a espectrofotometria baseia-se na relação entre a intensidade de luz sobre uma superfície e sobre a curva espectral resultante da mesma luz refletida de volta ao detector do aparelho de medição utilizado.

Sobre a quantificação da luz enquanto fluxo luminoso, e sobre a quantificação da transmitância e da iluminação de uma superfície, existem termos e unidades de medições distintas. A Luz não pode ser definida diretamente com base em sua origem apenas, sendo necessário considerar a interpretação do olho humano sobre ela,

possuindo assim uma variedade de unidades para caracterizá-la (TREGENZA; LOE, 1998).

Segundo Ashby (2016), a unidade do Sistema Internacional (SI) para intensidade luminosa é candela, de símbolo cd, sendo uma medida da luz como uma fonte, mas não representando sua potência em uma superfície ou sob uma determinada distância. Assim a unidade do SI para fluxo luminoso é o lúmen, de símbolo lm, sendo a quantidade de luz emitida em um segundo em uma determinada angulação cônica por uma fonte de um candela (ASHBY, 2016). Já a iluminância é medida em lux, de símbolo lx, sendo a densidade do fluxo luminoso em uma superfície, ou seja, definida como um lúmen sobre um metro quadrado, de modo que $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$ (TREGENZA; LOE, 1998). Portanto, a diferença entre lúmen e lux é que o lux leva em consideração a área sob a qual o fluxo luminoso é espalhado (ASHBY, 2016). Como exemplo, um fluxo de 1.000 lm concentrado em uma área de 1 m² ilumina essa região com uma intensidade de 1.000 lx, já os mesmos 1.000 lm espalhados em uma área de 10 m² produzem uma iluminância menor, de apenas 100 lx. Para efeitos de comparação no ambiente, a iluminância do sol no verão pode chegar a 130.000 lx, e do luar é menor que 1 lx, já uma sala de estar típica tem uma iluminância ambiente de cerca de 50 lx (ASHBY, 2016).

2.6.1 Quantificação da transmitância em mármore

Um dos objetos de interesse desta pesquisa de doutorado é a propagação da luz no mármore. A propagação de ondas em uma rocha é influenciada pela composição mineralógica, granulação, textura, espessura, porosidade, anisotropia e temperatura ambiente (FRASCÁ, 2013).

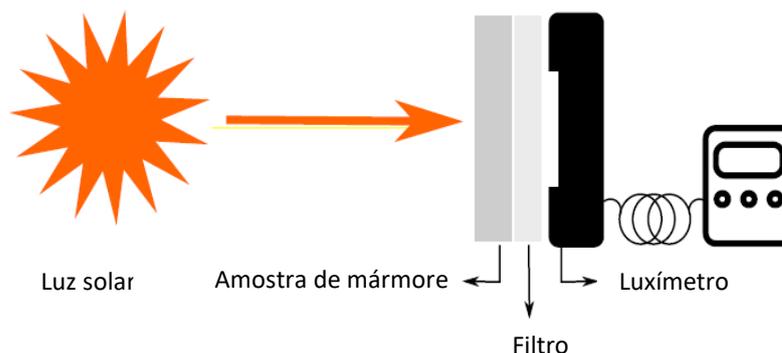
Jensen *et al.*, (2001) mediram o espalhamento da luz em materiais comuns como mármore, pele e frutas. O estudo consistiu na emissão de um feixe de laser em um ponto da superfície do material, a captura da imagem da radiação refletida por meio do uso de uma câmera fotográfica digital e então, por meio de software, a realização do cálculo da absorção ocorrida. Os resultados do estudo permitem a modelagem e renderização em computador de objetos nos materiais estudados.

Rosso *et al.* (2016) realizaram estudo de alteração de luminosidade em dois tipos de mármore o Carrara e o Statuário. O estudo utilizou o microscópio ótico de alta resolução modelo Nikon Epiphot 20, a quantificação da iluminação foi feita pelo

software do microscópio, NIS Element D 3.0. Foram obtidas imagens para a análise da cor da superfície em função de escala de cinzas, cujos valores variam entre 00 e 255 unidades de cor, onde 00 corresponde ao preto e 255 corresponde ao branco.

Quando a análise pretendida é realizada com o uso de luxímetro a quantificação se dá pelo sensor do equipamento e quanto às fontes de iluminação podem ser naturais, como a radiação solar, ou fontes artificiais como lâmpadas. A medição da transmissão da luz solar foi realizada em estudo de Weigand *et al.* (2015), que compararam a transmitância em dois tipos de mármore, Paros e Pentelic. As dimensões das amostras utilizadas na medição variaram em espessuras de 01; 1,5; 02; 2,8 e 03 cm e a quantificação foi realizada pelo equipamento luxímetro modelo Iso-tech ILM 350. Na Figura 39 está ilustrado o esquema do aparato de medição.

Figura 39 – Aparato para medição da leitura da transmissão da luz solar em amostra de mármore utilizando o equipamento luxímetro.



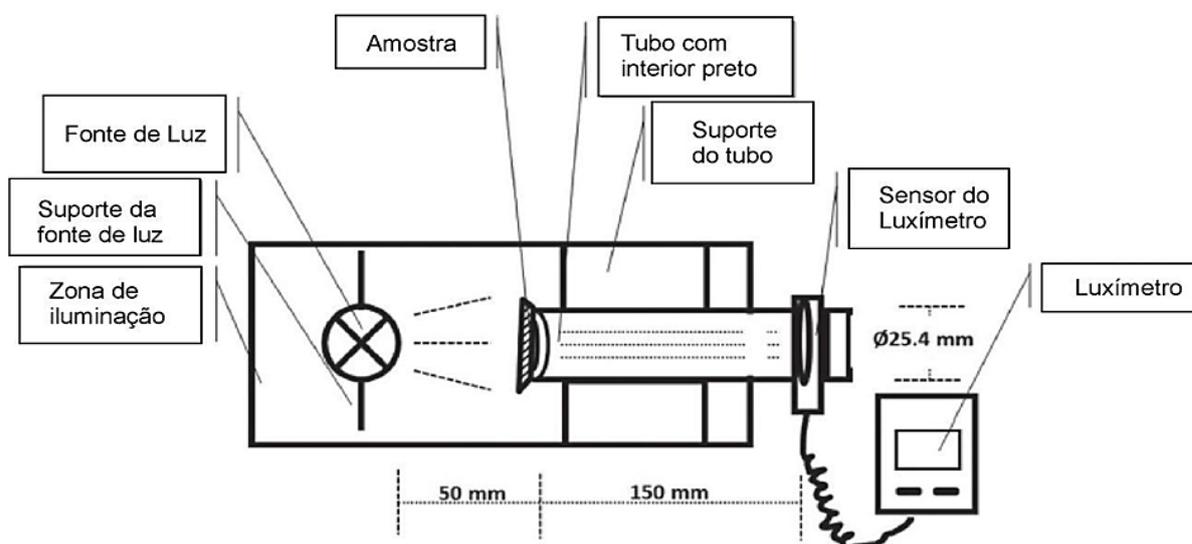
FONTE: Adaptado de Weigand *et al.* (2015).

Entre as conclusões obtidas por Weigand *et al.* (2015), a medição da transmissão comprovou um dado já esperado, quanto maior a espessura, menor a transmitância. Sobre leitura de medição nos mármore, a amostra do mármore Paros de 1 cm, apresentou um percentual de 2,6% de iluminância transmitida, a amostra de 2 cm, 1,6%, e a de espessura de 2,8 cm, um percentual de 0,42%. Nas amostras de mármore Peletic a amostra de espessura 1 cm, apresentou transmitância de 1,41%, já a amostra de espessura de 2 cm, um percentual de 0,67% e a de 3 cm com 0,4%. Na análise de comparação, o mármore Paros transmite mais a luz solar que o mármore Pentelic (WEIGAND *et al.*, 2015).

Ersoy, Yildiz e Turgut (2016) realizaram um estudo sobre a transmitância da luz em 12 tipos de rochas carbonáticas, dentre elas 06 tipos de mármore, 4 tipos de calcários (limestones) e 2 de ônix (marble-ônix). As amostras foram examinadas

segundo características mineralógicas, petrográficas e ópticas. Classificadas segundo características como tamanho e formatos de grãos, cor, composição, dureza, porosidade e etc; e no que diz respeito à passagem de luz, sendo a quantificação da transmitância, o objetivo principal. Para esta técnica de análise foi desenvolvido um aparato de medição (Figura 40) que consiste em uma fonte de luz (15 W), um tubo condutor e um luxímetro (Lutron-Brand LX-101). Os ensaios para medição no referido estudo foram realizados em amostras de dimensões de 50 x 50 mm, em 5 espessuras distintas: 2, 3, 5, 7 e 9 mm.

Figura 40 – Aparato para Medição da transmissão da luz emitida por lâmpada em amostra de mármore utilizando o equipamento luxímetro.



FONTE: Adaptado de Ersoy, Yildiz E Turgut (2016).

Entre os resultados obtidos no estudo, dentre as amostras analisadas, o mármore e o ônix apresentam uma maior transmitância, em comparação com os calcários (limestones). Foi possível concluir que os fatores de maior eficiência da transmitância nas referidas amostras foram a cor, o tipo de cristal, o tamanho e formato do grão. Em conclusão, o estudo de Ersoy, Yildiz e Turgut (2016) indica que a espessura e a transparência são inversamente proporcionais, portanto, a transmitância é maior em menores espessuras. As amostras que apresentaram maior transmitância luminosa foram: os mármore Usak White (10,34 % na espessura 2,19 mm) e Afyon White (7,22 % na espessura 2,34 mm) e o Ônix tipo Dark Ônix (9,89 % na espessura 2,24 mm) e o tipo Light Ônix (8,72 % na espessura 2,37 mm). De modo geral, os mármore e o ônix apresentaram percentuais de transmitância maiores do que os calcários (limestones), também ensaiados no estudo, dentre os quais o que mais transmitiu foi o tipo

Sogut Bege, 1,85 % na espessura de 2,22 mm.

2.6.2 A utilização de mármore em projetos associados à translucidez

A utilização de mármore em projetos que associam seu uso a sua característica de translucidez, a difusão da luz em sua superfície, datam da antiguidade em edificações gregas e romanas (ROSSO *et al.*, 2016; WEIGAND *et al.*, 2015). Em periódico recente, Rosso *et al.* (2016) relatam que o uso do mármore branco, em aplicações para o envelopamento de edificações é bastante comum devido ao resultado estético. O objetivo principal do estudo foi de analisar os efeitos da chuva ácida que pode incidir sobre o material, comparando dois mármore brancos, o Carrara e o Statuário, mediante resultados de alteração de propriedades associadas à iluminação e brilho. O efeito da translucidez apresenta também benefícios relacionados à transmitância da iluminação natural como fator de economia de utilização de energia elétrica. (ROSSO *et al.*, 2016).

Atualmente, o uso da retroiluminação de rochas ornamentais translúcidas em espessuras homogêneas utilizadas para revestimentos internos em recepções de hotéis, empresas e em residências não são incomuns na Europa e Estados Unidos. No Brasil algumas empresas já comercializam chapas para revestimento, em espessura homogênea, para uso em retroiluminação (Figura 41).

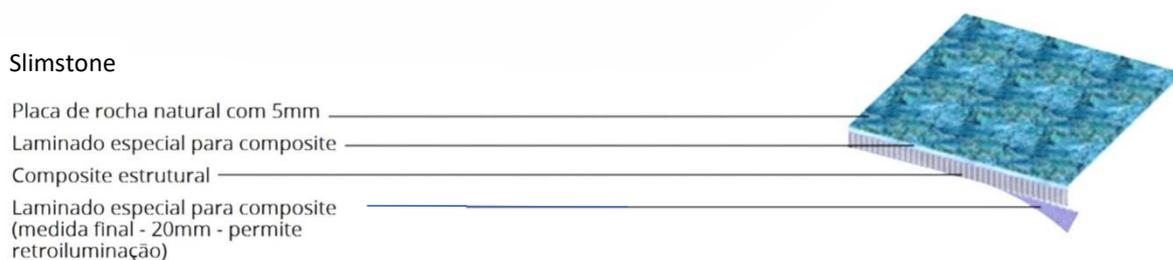
Figura 41 – Chapa de rocha retroiluminada da empresa Zucchi Luxuri Stones, com dimensões de 2 x 3 m e 20 mm de espessura.



FONTE: Autora (2022).

No mercado brasileiro, são encontradas ainda, chapas para retroiluminação em um material composto por rochas naturais com um compósito polimérico para suporte, de nome comercial Slimstone. Consiste em uma placa de rocha natural, de espessura de 5 mm, unida ao compósito estrutural, de 15 mm, sendo a espessura final da chapa de 20 mm (Figura 42).

Figura 42 – Imagem da constituição do material Slimstone



FONTE: Slimstone (2022).

O uso de placas de espessura homogênea pode ser aplicado a projetos diversos como bancadas, painéis de parede, banheiras (Figura 43) e outros.

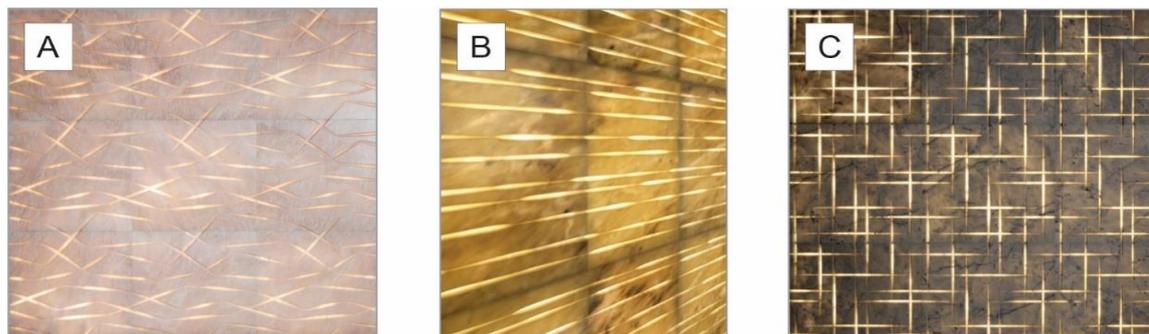
Figura 43 – Projeto de banheira com placas retroiluminadas.



FONTE: Crystalline Stone (2022).

Na Itália, empresas trabalham com aplicação da retroiluminação de rochas em placas com cavidades, como as apresentadas pela Lithos Design (Figura 44).

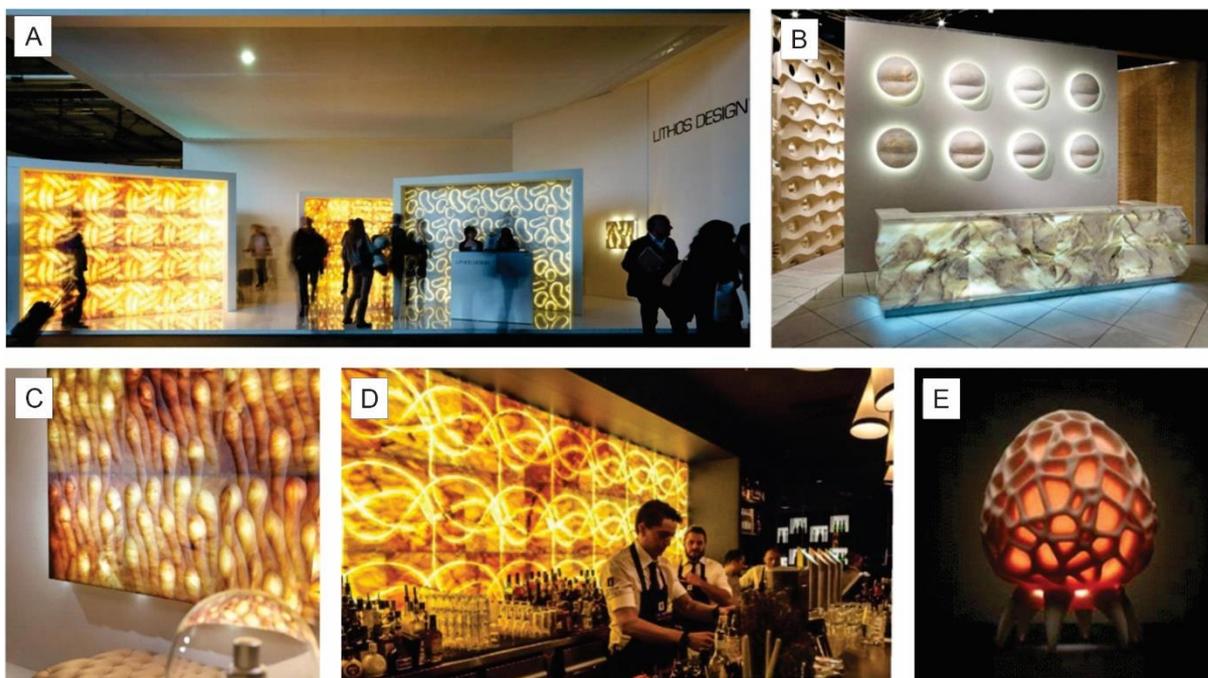
Figura 44 – Placas de rochas retroiluminadas da empresa Lithos Design: (A) Vista frontal painel de parede em mármore; (B) Vista em inclinação, painel de parede; (C) Vista frontal de painel de parede



FONTE: Lithos Design (2022).

As placas apresentadas pela empresa Lithos Design (Figura 45) são padronizadas em dimensões de 60 x 60 x 2 cm, aproximadamente.

Figura 45 – Aplicações de produtos de rochas retroiluminadas da empresa Lithos Design: (A) Stand em feira; (B) Luminárias de parede e Bancada; (C) Painel de Parede com placas; (D) Painel de Parede em bar; (E) Luminária de mesa;



FONTE: Lithos Design (2022).

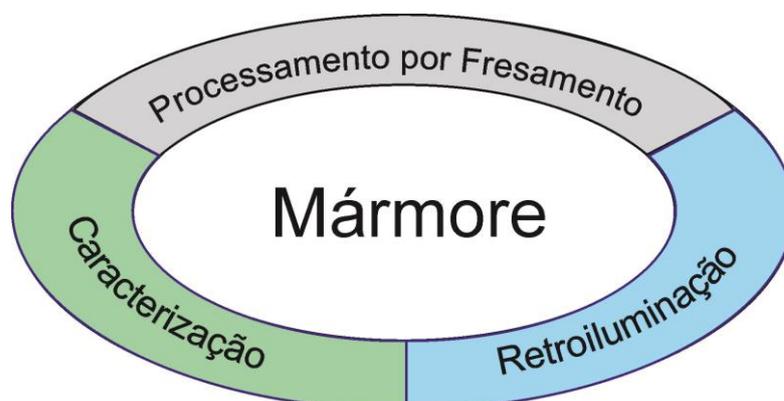
A geometria das formas indica que podem ter sido fabricadas pelo processo de usinagem. Na Figura 45 A, é exemplificado uma apresentação dos produtos em uma feira. Já na Figura 45 B e C, são apresentadas as placas na parede e bancada, e na Figura 45 D é evidenciado um bar com a aplicação e na Figura 45 E, uma luminária usinada. Na Figura 45 F e G, temos exemplos de projetos da empresa com este material e tecnologia aplicadas.

3 SELEÇÃO DE MATERIAIS – ETAPA PRELIMINAR

A Seleção de Materiais é uma das etapas mais importantes nesta pesquisa, pois foi fundamental para o entendimento dos materiais e das diferenças entre os tipos distintos de mármore. Também, esta etapa, possibilitou entender as características intrínsecas e as adquiridas por processos de fabricação.

A pesquisa aplicada neste capítulo consiste na seleção de mármore, na caracterização das amostras e no seu processamento por usinagem CNC (fresamento), seguido da análise e da validação das placas usinadas através da retroiluminação das amostras (Figura 46).

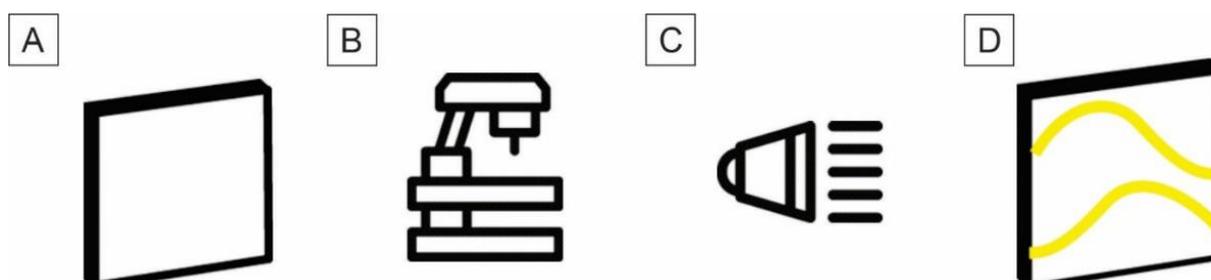
Figura 46 – Aspectos envolvidos nesta pesquisa para o mármore.



FONTE: Autora (2022).

Na etapa inicial foi realizado um estudo preliminar para verificar a possibilidade de usinar e retroiluminar mármore comerciais de diferentes colorações. O mármore selecionado deverá atender ao requisito de gerar um efeito ótico por interação com a luz, conforme mostra o esquema da Figura 47.

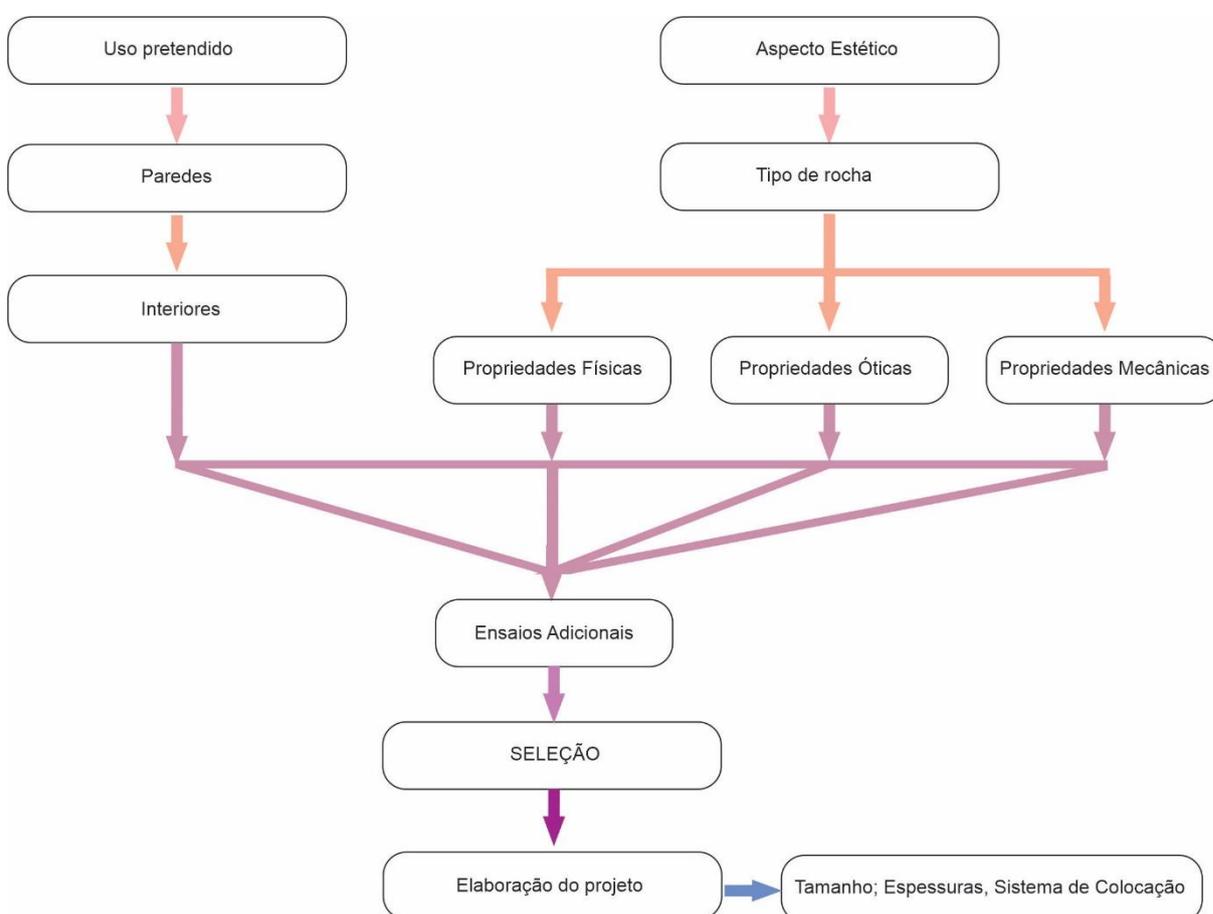
Figura 47 – Etapas para verificação do efeito ótico: (A) placa de mármore dimensionada; (B) usinagem CNC para produzir as porções rebaixadas que permitirão o efeito ótico; (C) aplicação de iluminação e (D) identificação do efeito ótico quando iluminada.



FONTE: Autora (2022).

Os mármore apresentam diferentes composições químicas e texturais, que visualmente lhes conferem diferentes cores e propriedades. Algumas propriedades de interesse desta pesquisa somente serão geradas após a etapa de processamento, qual seja, a capacidade do material de transmitir a luz para o observador, por retroiluminação. Para a seleção de rochas, Vidal, Castro e Frascá (2013) propõem um fluxograma de roteiro (Figura 48). Este roteiro proposto inicia pelo uso pretendido e aspectos estéticos, como o tipo de rocha, propriedades do material entre outras etapas, como especificações de dimensões, espessuras etc.

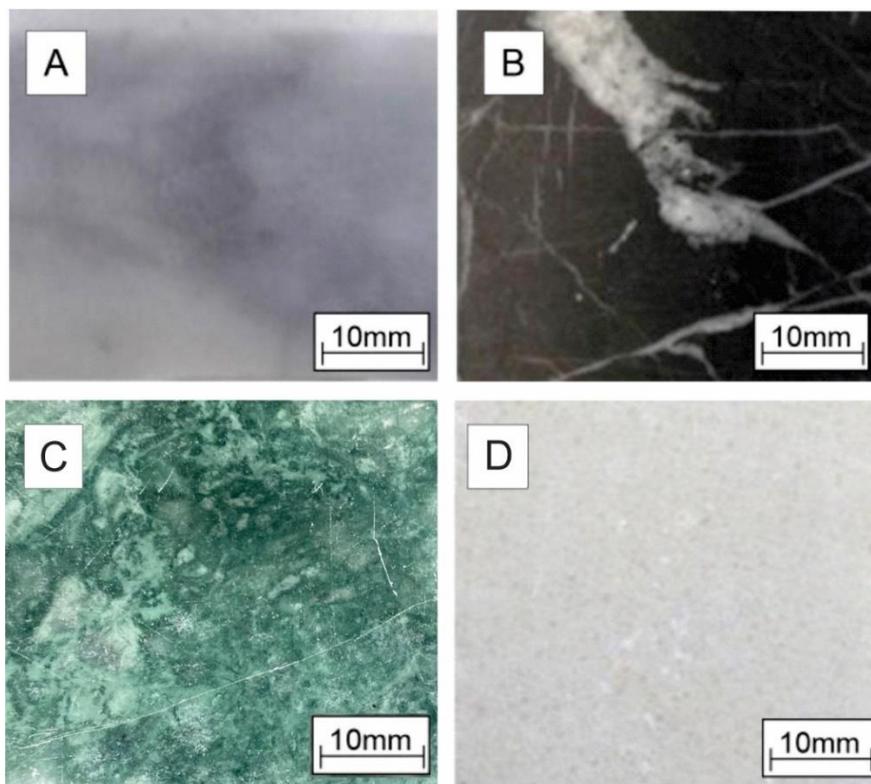
Figura 48 – Fluxograma de Roteiro para escolha e seleção de rochas ornamentais e de revestimento.



FONTE: Modificado de Vidal *et al.* (2013).

Desta forma, foram selecionados quatro materiais de diferentes cores (Figura 49), comercializados como mármore, de nomes comerciais: **Carrara**, de cor branca com alguns veios de coloração cinza (Figura 49 A); **Nero**, de cor preta com veios de coloração branca (Figura 48 B); **Verde**, de diferentes intensidades e veios claros (Figura 49 C); e **Crema**, de cor creme, aspecto homogêneo (Figura 49 D).

Figura 49 – Imagens dos materiais selecionados: (A) Carrara; (B) Nero; (C) Verde; (D) Crema.



FONTE: Autora (2022).

3.1 Métodos da etapa de Seleção de Materiais

A fim de contemplar os objetivos específicos, as amostras foram investigadas e caracterizadas por fluorescência de raios X, análises petrográficas e ensaios de dureza, para identificar a composição e algumas propriedades físicas de interesse para a seleção. Informações como dureza dos materiais, por exemplo, podem auxiliar na determinação dos parâmetros para operações de usinagem. A composição química, a constituição mineralógica e a textura das amostras influenciarão na retroiluminação que será realizada nas etapas seguintes da pesquisa dos materiais.

Posteriormente à caracterização dos materiais, as amostras foram usinadas por fresagem CNC, etapa onde são geradas as cavidades nas amostras. E, então, as amostras foram submetidas à retroiluminação, a qual consiste na etapa de análise da interação com a luz, verificando a translucidez dos materiais.

As etapas seguintes correspondem à descrição dos métodos utilizados para caracterizar as amostras de materiais pré-selecionados (Figura 49). Os materiais foram descritos quanto sua composição química, mineralógica, textural e dureza.

3.1.1 Análise de Fluorescência de raios X

A fluorescência de raios X é uma técnica utilizada para a identificação e determinação das concentrações dos óxidos presentes nos sólidos. Para a realização desta análise, as amostras foram moídas, pulverizadas em granulometria 0,045 mm (passante na peneira #325), na quantidade de 4g. Utilizou-se o Espectrômetro Sequencial de Fluorescência por raios X por comprimento de onda, da marca Shimadzu®, modelo LabCenter XRF 1800, com tubo de raio X de 4kW, ensaios de 20 graus por minuto. As análises foram realizadas no Laboratório de Materiais Cerâmicos LACER/UFRGS, utilizando o *software* específico do equipamento, *Qualitative-quantitative analysis using Higher-order X-rays*.

3.1.2 Análises Petrográficas

Detalhadamente, a petrografia é responsável pela identificação das características da rocha em aspectos com cor, minerais e proporções presentes, grau de alteração, forma e tamanho dos grãos e sua estrutura (GONZATTI; PHILIPP, 2009).

A análise petrográfica segundo a norma NBR-15845, é indicada para o levantamento das propriedades intrínsecas de rochas, a qual separa as análises em macroscópica e microscópica seguida da classificação da rocha.

3.1.2.1 Análise macroscópica

Visa identificar o arranjo dos minerais em escala macroscópica, como por exemplo, a coloração, estrutura, textura e estado microfissural.

3.1.2.2 Análise microscópica

Visando identificar a mineralogia e a textura das amostras utilizou-se o microscópio petrográfico. Para realizar a análise, foram confeccionadas lâminas delgadas das amostras com espessura de 30 μ m, a luz transmitida e polarizada.

As análises petrográficas foram feitas com auxílio de microscópio Zeiss® Axio Imager, do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da UFRGS, e as imagens foram obtidas com uma câmera modelo AxioCam MR® da marca Zeiss® acoplada ao microscópio, e o *software* Snap 2550 Zen Lite 2012, para

gerenciar a obtenção e a qualidade das imagens.

3.1.2.3 Análise microscópica em amostras serradas

Foi desenvolvido um ensaio preliminar de transmissão da luz nas amostras selecionadas pelo critério de cor. Foram selecionadas amostras dos mármore Carrara (predominantemente branco com partes cinza claro), Nero (predominantemente preto), Verde (predominantemente verde) e Crema (de cor creme homogênea).

Com o objetivo de verificar a transmitância da iluminação através dos materiais, foi realizada a aplicação de feixe de luz em amostras dos materiais. As amostras foram preparadas por corte em serra de disco circular diamantado, cortadas em espessura de 1 mm. Tal ensaio visa à caracterização do material do ponto de vista da geração de efeito visual pela retroiluminação.

Cabe salientar que a aplicação do mármore nessa espessura não é recomendada para uso em placas ornamentais devido à sua fragilidade, ainda assim pode fornecer indicativos para a etapa de seleção de materiais no que tange o quesito sobre efeitos visuais da iluminação do material em porções de 1 mm.

Inicialmente foram realizados ensaios utilizando a retro iluminação em lâminas de 1 mm de espessura nos seguintes mármore Carrara, Nero e Verde, e no material fabricado Crema. As amostras foram analisadas em lupa estereoscópica, modelo SZX16, da marca Olympus®, pertencente ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM/UFRGS). As imagens foram obtidas com uso de *software AnalySIS Starter*, acoplado ao equipamento.

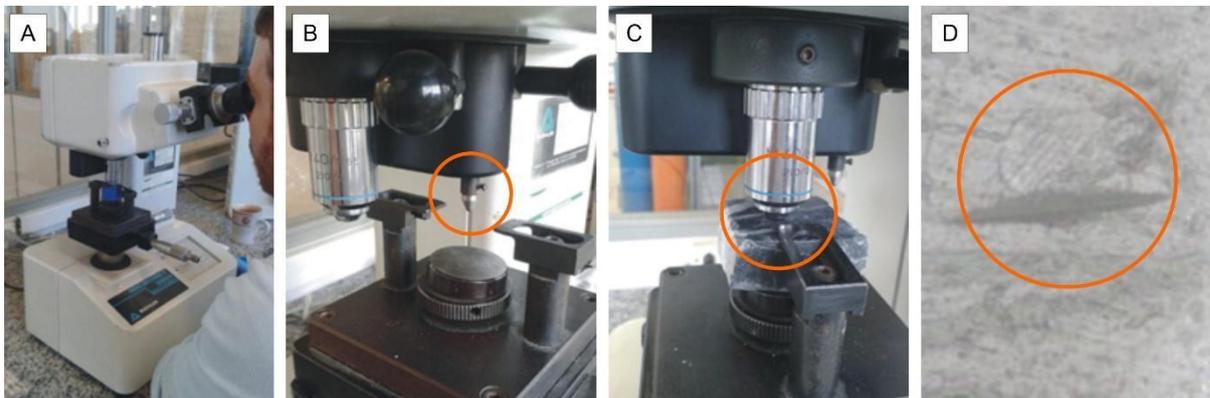
3.1.3 Ensaios de Dureza Knoop

Com o objetivo de analisar a dureza das amostras, foram realizados ensaios de dureza, uma vez que o material selecionado será submetido ao processo de usinagem CNC para geração das cavidades onde ocorrerão os desenhos iluminados.

A realização de ensaios de dureza é determinada pela Norma Europeia EN 14205:2003 (*Natural stone test methods - Determination of Knoop hardness* ou Métodos de teste de rochas naturais – Determinação de dureza Knoop) a qual foi baseada no trabalho de Mancini e Frisa (1082). A metodologia consiste na elaboração de medições sequenciais com um indentador Knoop, visualizado na Figura 50. O

equipamento utilizado para este ensaio foi o MICROMET 2001 da Marca Buehler® (Figura 50 A, B, C), do Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER/UFRGS).

Figura 50 – Ensaio de microdureza: (A) Equipamento MICROMET 2001 (Buehler®); (B) Indentador com ponteira Knoop, destacada por círculo laranja; (C) Lente de 40x de magnificação, indicada por círculo; e (D) detalhe do rebaixo, circulado.



FONTE: Autora (2022).

Primeiramente, realizaram-se os ensaios nas amostras dos mármore Carrara, Nero, Verde e Crema, em dimensões de 30 x 30 x 20 mm, por meio da ação de um indentador com ponteira de diamante na forma de losango alongado (ponteira Knoop), em plano perpendicular. As amostras foram submetidas a uma carga de 50 gf (gramas-força), por um tempo de 8 s. O rebaixo causado pela aplicação da carga (Figura 50 D) foi visualizado em lente de 40X, para cada amostra foram tomadas 35 medições.

3.2 Métodos da etapa de processamento dos materiais

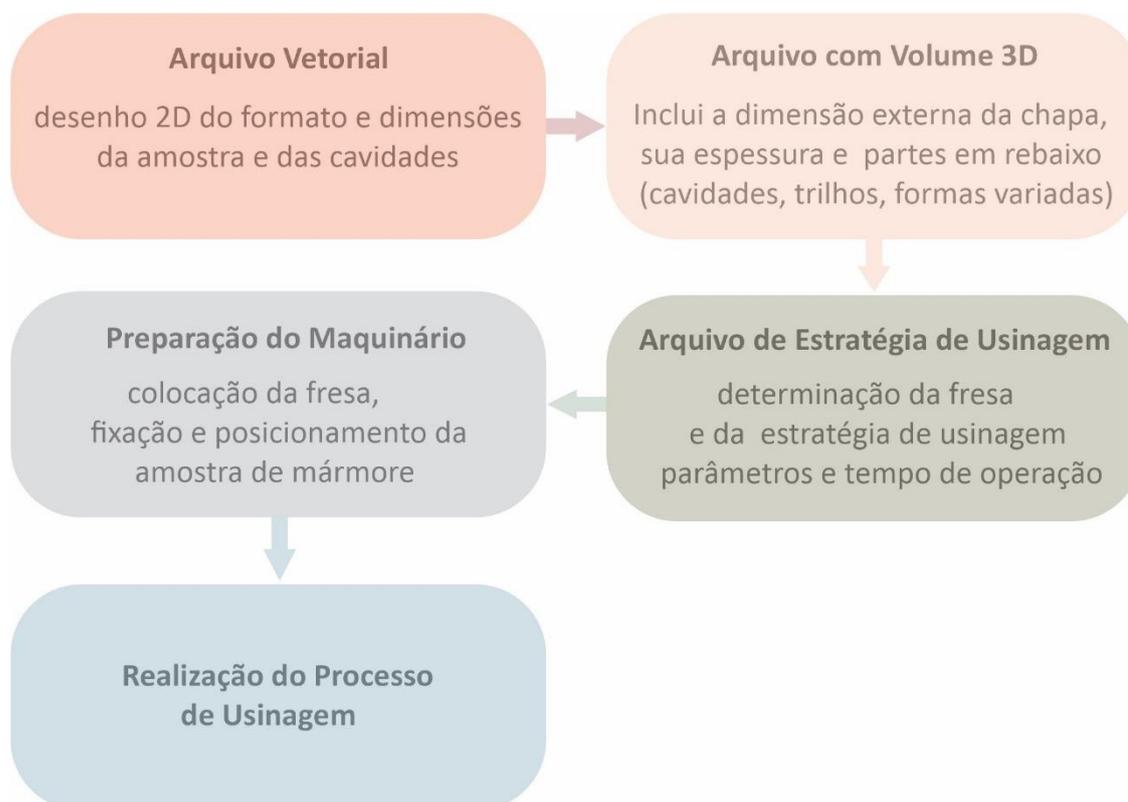
Com o objetivo de verificar o efeito da usinagem nos materiais pré-selecionados, foram realizados ensaios que podem indicar a viabilidade do processo e o incremento da característica de translucidez.

Os programas de usinagem foram projetados de modo a investigar as espessuras adequadas à passagem da luz para gerar efeitos visuais. As espessuras foram testadas em medidas decrescentes até que se obtivesse uma espessura suficientemente fina para que a luz pudesse se propagar através do material. Foram realizadas usinagens em formatos de cavidades, sendo cada uma com espessura homogênea e distintas entre si, com 6, 9 e 12 mm de espessura restante.

3.2.1 Usinagem CNC

Os ensaios de usinagem utilizados na etapa de seleção de materiais para esta tese foram programados em *software* para desenho vetorial e, posteriormente, utilizou-se o *software ArtCam®* para gerar volumes em 3D e o arquivo com os comandos do percurso de corte. Após a geração dos comandos, é iniciada a preparação do equipamento, que consiste em colocar a fresa, posicionar e fixar a peça que será usinada, dispor o ponto de início da operação, carregar o arquivo dos comandos e iniciar o processo. O processo de programação e usinagem dos ensaios é descrito no fluxograma abaixo (Figura 51).

Figura 51 – Fluxograma do Processo de programação para o corte por usinagem CNC



FONTE: Autora (2022).

Os procedimentos de usinagem da etapa de seleção de materiais foram realizados em escala laboratorial no equipamento Digimill 3D (Figura 52), no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDASM/UFRGS). O sistema possui potência de 1.1 kW, rotação máxima de 24.000 RPM e avanço máximo de 4.000 mm/min (Figura 52 A). A usinagem foi realizada com uso de fresa de topo reto, com espiral e duas arestas de corte, diâmetro de 6 mm, em metal duro (Figura 52 B).

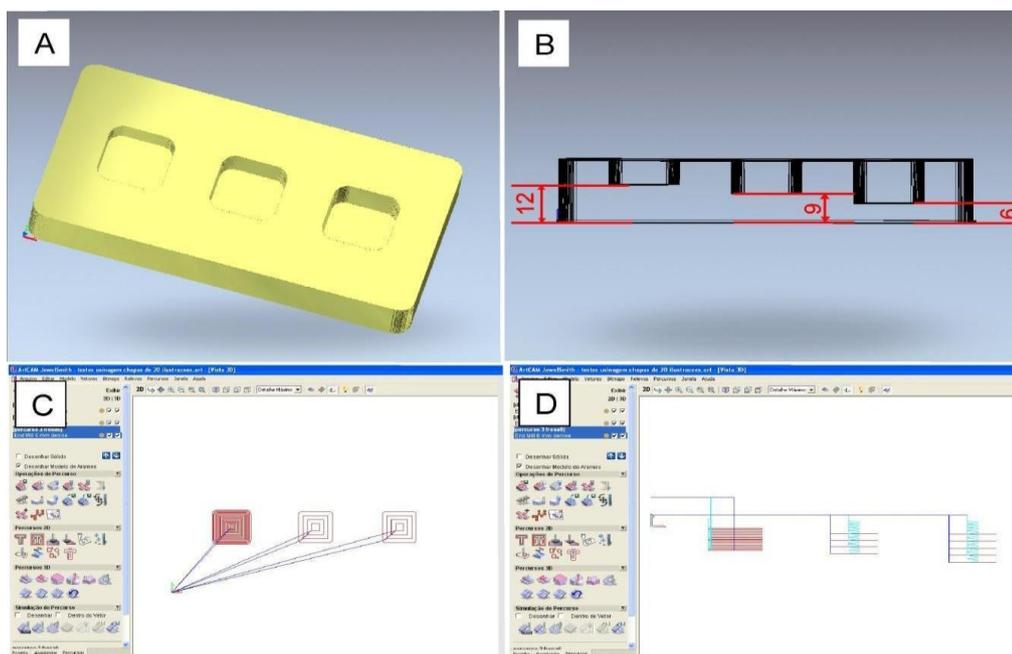
Figura 52 – Equipamento de usinagem CNC: (A) Fresadora CNC – Digimill 3D; (B) Fresa de topo com diâmetro de 6 mm, com espiral com duas arestas de corte.



FONTE: Autora (2022).

A programação 1 foi usinada em amostras dos mármore Carrara, Nero e Verde, com espessuras restantes dentro das cavidades de 6, 9, 12 mm (Figuras 53 A). Nesta operação foi realizado o desbaste de cavidades a partir de amostras na forma de chapa retangular de 125 x 60 mm e com uma espessura de 20 mm (Figura 53 B)

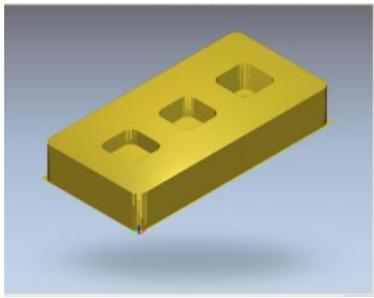
Figura 53 – Programação de usinagem 1: (A) Programação do volume 3D, (B) Vista lateral da programação, ilustrando as espessuras restantes nas cavidades, (C) Simulação do percurso usinagem em três etapas, uma por cavidade, em vista de topo e (D) Simulação percurso de usinagem em vista lateral.



FONTE: Autora (2022).

As cavidades foram projetadas em forma quadrada de 20 x 20 mm com os cantos arredondados e distância entre cada cavidade de 15 mm. A estratégia de corte inclui percurso de corte em três operações em sequência (Figura 53 C) em várias camadas de descida (Figura 53 D). Como parâmetros básicos, foram utilizados velocidade de rotação de 15.000 RPM e avanço de 1.200 mm/min. A programação com seu respectivo formato, parâmetros de usinagem no equipamento e ferramenta constam no Quadro 5.

Quadro 5 – Ensaio de usinagem para retroiluminação.

	Mármore	Formato programado para Usinagem	Ferramentas	Parâmetros do Processo	Espessuras Finais
Programação 1	Carrara	 <p>Tamanho: 125 x 60 x 20 mm</p>	<p>Forma: Topo Reto com espiral e duas arestas de corte</p> <p>Diâmetro: 6 mm</p>	<p>Vel. de Rotação: 15.000 RPM</p> <p>Vel. de avanço: 1.200 mm/min</p> <p>Penetração: 1,2 mm</p> <p>Profundidade: 1 mm por passe</p>	6, 9 e 12 mm
	Nero				
	Verde				

FONTE: Autora (2022).

3.2.2 Avaliação de Retroiluminação

A avaliação da retroiluminação foi realizada nas 3 amostras usinadas com a programação 1. Os mármore foram submetidos à retroiluminação com a aplicação de uma luz LED direcional do equipamento Olympus LG-PS2 a partir de uma lâmpada de 50W. O feixe de luz emitido pela lâmpada foi direcionado nas cavidades usinadas a fim de verificar a transmitância da luz no material de forma mais concentrada. A avaliação foi feita de maneira visual, pelo observador posicionado frente à amostra retroiluminada.

3.3 Resultados da etapa de Seleção de Materiais

Neste item serão apresentados os dados obtidos e avaliados na etapa de caracterização dos materiais.

3.3.1 Fluorescência por raios X

As amostras dos quatro materiais foram analisados quanto à composição e concentração dos elementos presentes. Os resultados encontram-se apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Composição química dos mármore, resultados quantitativos obtidos por fluorescência de raios-X.

	Carrara	Nero	Verde	Crema
CaO	61,3937%	53,2000 %	29,0145 %	58,0960 %
MgO	0,8574 %	-----	11,1523 %	-----
SiO₂	0,2845 %	3,2607 %	23,7083 %	0,4382 %
Al₂O₃	0,1075 %	0,6694 %	0,6645 %	0,2546 %
Fe₂O₃	0,1528 %	0,5419 %	9,1136 %	0,2334 %
K₂O	-----	0,1624 %	-----	-----
P₂O₅	-----	0,1247 %	-----	-----
SO₃	0,0476 %	0,2215 %	-----	0,0530 %
SrO	0,0338 %	0,8304 %	0,0192 %	0,0337%
NiO	-----	-----	0,3320 %	-----
Cr₂O₃	-----	-----	0,1684 %	-----
MnO	-----	-----	0,1459 %	-----
Co₂O₃	-----	-----	0,0424 %	-----
NbO	-----	-----	0,0208 %	-----
CO₂	37,1228%	40,9889 %	25,6180 %	40,8911 %
TOTAL	100%	100%	100%	100%

FONTE: Autora (2022).

Como resultado já esperado em mármore, a presença de carbonato de cálcio CaCO_3 , é abundante em todas as amostras, também é possível verificar a presença de Óxido de Magnésio – MgO , nas amostras do mármore Carrara e no Verde. Concentrações menores de 4% de MgO indicam a classificação de mármore calcítico – caso do Carrara, de 4 a 10% indicam a classificação para mármore dolomítico, caso do mármore Verde, com concentração de 11,15% de MgO .

É possível verificar, para todas as amostras, concentrações de dióxido de silício ou sílica SiO_2 , em baixa concentração no mármore Carrara, 0,28%; e no Crema 0,43% e em maiores concentrações no Nero e no Verde, sendo os valores de 3,25% e de 23,70%, respectivamente.

Concentrações de óxido de alumínio, Al_2O_3 , estão presentes, em baixas

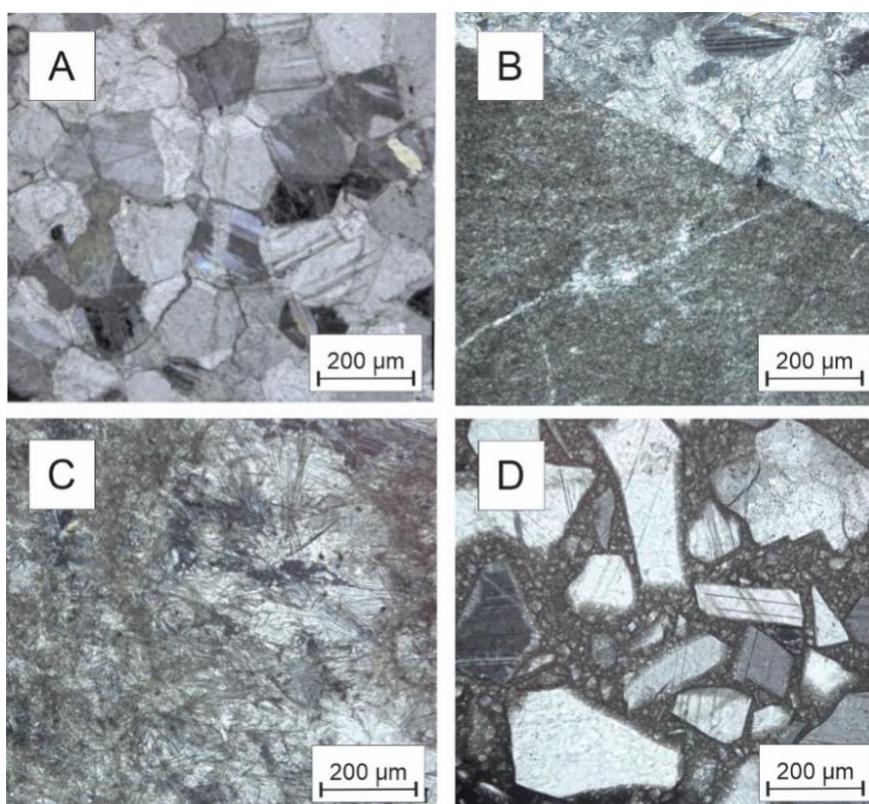
concentrações, em todas as amostras. O óxido de ferro, Fe_2O_3 , está presente em baixas concentrações em todas as amostras e apenas em maior concentração no Verde, correspondendo a 9.11%. Foram identificados ainda outros elementos em menores concentrações, presentes nas amostras.

Nos resultados de análise da composição química de todos os materiais, nota-se uma alta perda de massa na calcinação do pó das amostras, correspondente à liberação de CO_2 dos carbonatos durante o aquecimento. A perda ao fogo de CO_2 foi de 37,12% para a amostra do Carrara, 40,89%, 40,98% para o Nero, 25,61% para o Verde e 40.89% para o Crema.

3.3.2 Análises Petrográficas

A análise petrográfica identifica a textura³ e a mineralogia dos materiais selecionados em lâminas com espessura de 30 μm (Figura 54).

Figura 54 – Petrografia: etapa de microscópica ótica das amostras em lâminas com espessura de 30 μm : (A) Carrara; (B) Nero; (C) Verde e (D) Crema.



FONTE: Autora (2022).

³ A textura de uma rocha refere-se ao tamanho, forma, disposição, contatos e arranjo ou organização de seus componentes minerais e, se existirem, vítreos (WINGE, 2001).

O Mármore Carrara, é constituído por cristais de calcita, com estrutura maciça e textura granoblástica, e por cristais intercrescidos e de tamanho uniforme, com grãos subédricos⁴ e anédricos⁵ não alongados e presença de maclas lamelares. O Mármore Nero, é uma rocha de granulometria muito fina e de aparência maciça, onde podem ser observados veios calcíticos de cor branca e textura granoblástica⁶ definida por grãos de maiores dimensões. O Mármore Verde, é uma rocha de textura maciça, constituída por cristais muito finos e com algumas porções com grãos de maiores dimensões.

Já o Crema, é um material fabricado, constituído por fragmentos de rochas, provavelmente mármore indicado pela análise de FRX, e cimentado por uma matriz fina, provavelmente de composição polimérica. Esta análise microscópica permitiu identificar este material como fabricado, não sendo classificado como rocha natural. Por este motivo, este material será retirado da Seleção de Materiais, uma vez que é pretendido o estudo com rocha ornamental natural.

Nas amostras com espessura de 1 mm, quando observadas com luz transmitida, vistas na lupa estereoscópica, percebe-se que para essa espessura todas as amostras dos materiais analisados tiveram, ao menos em certas porções, passagem de luz, como observa-se na Figura 55.

No mármore Carrara e no material fabricado Crema o efeito de iluminação é percebido; a lâmina do mármore Nero não apresentou passagem de luz nas porções de coloração preta (sua maior parte é preta com veios calcíticos brancos), apresentou a passagem de luz nas porções brancas; o mármore Verde indica a possibilidade de passagem de luz nas porções que apresentam cristais claros de grãos maiores e não indicou a possibilidade de passagem de luz em porções de textura maciça de cor verde e grãos pequenos.

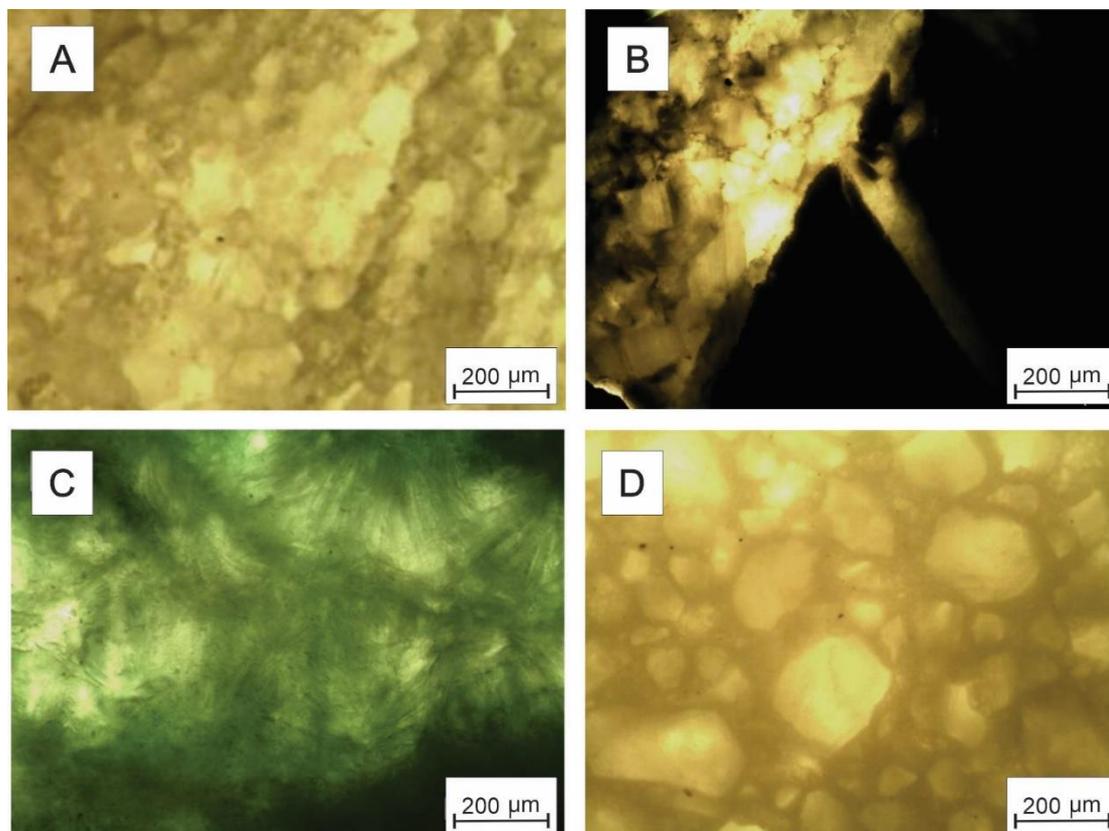
É possível identificar, portanto que o mármore Carrara, de coloração clara, apresenta melhor efeito ótico, maior translucidez. Desse modo, dentre as variedades avaliadas, este material pode ser considerado o mais adequado para projetos associados à retro iluminação.

⁴ Grão mineral ou cristal que apresenta faces de crescimento cristalino que lhe são típicas somente em parte de sua superfície externa (WINGE, 2001).

⁵ Grão mineral ou cristal que não apresenta faces de crescimento cristalino que lhe são típicas em toda a sua superfície externa (WINGE, 2001).

⁶ Textura metamórfica com arranjo dos minerais na forma de grãos que tendem a ser equidimensionais, poligonizados, a lenticulados e orientados quando dão origem a uma foliação por achatamento de grãos (WINGE, 2001).

Figura 55 – Amostras observadas por luz transmitida em espessura de 1 mm observadas à Lupa Estereoscópica: (A) Mármore de Carrara; (B) Mármore Nero; (C) Mármore Verde; e (D) Material Fabricado Crema.

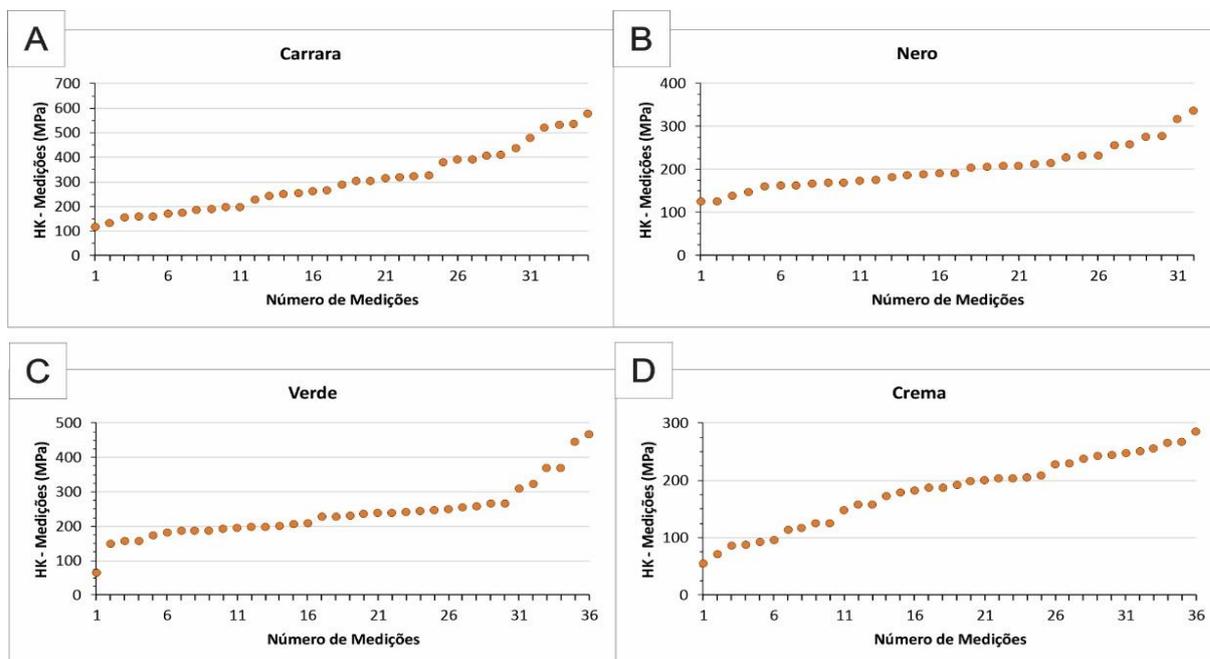


FONTE: Autora (2022).

3.3.3 Medições de Dureza Knoop

Os resultados das 35 medições em cada amostra foram bastante heterogêneos. As médias são de 302HK para o mármore Carrara, de 203 HK para o Mármore Nero, média de 302HK para o mármore Verde e 169 para o Crema. A dureza de um material indica, neste caso, a ferramenta de corte mais adequada a ser utilizada. Mesmo com valores heterogêneos de dureza, pois as rochas como vistas na petrografia são constituídas de diferentes minerais, a média é relativamente baixa, o que indica que o material poderia ser usinado com ferramentas de metal duro, e não necessariamente diamantadas. Porém, nem só a dureza serve para esta indicação. A constituição mineralógica é parâmetro importante para determinação do tipo de ferramenta, pois se, por exemplo, existem minerais metálicos associados, a ferramenta mais adequada, neste caso, será a diamantada. Os gráficos abaixo indicam as medições dos ensaios (Figura 56).

Figura 56 – Gráficos dos dados dos ensaios de dureza Knoop: (A) Carrara; (B) Nero; (C) Verde e (D) Crema. Dados apresentados em ordem crescente.

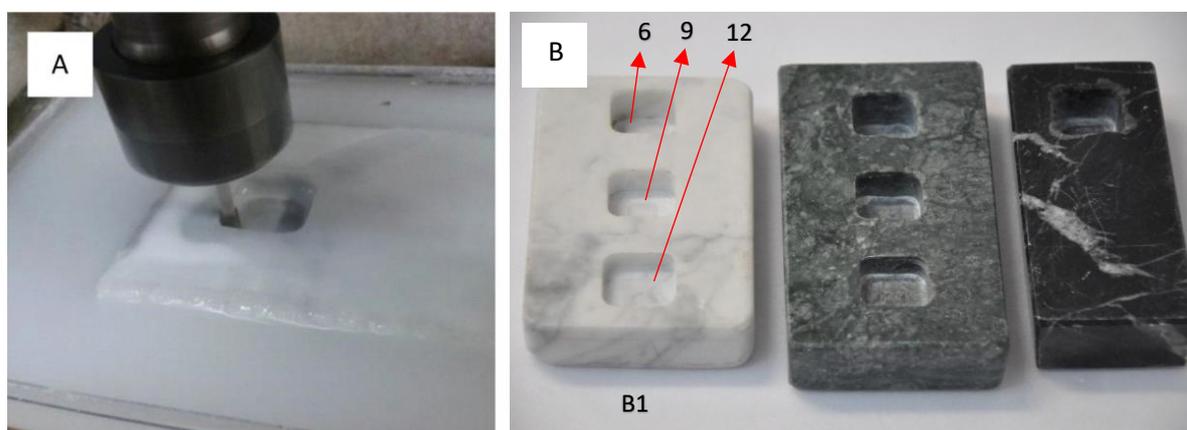


FONTE: Autora (2022).

3.3.4 Usinagem CNC

Os resultados do processo de usinagem, descrito no tópico 3.2.1, indicam a viabilidade do processo de usinagem ser realizado nos mármoreselecionados (Figura 57), utilizando ferramenta de metal duro e a programação 1 (Quadro 5). Os parâmetros foram: velocidade de rotação 15.000 RPM, velocidade de avanço 1.200 mm/min, penetração de 1,2 mm e profundidade de 1 mm por passe.

Figura 57 – Usinagem da programação número 1: (A) Usinagem de mármore Carrara e (B) Corpos de provas com as cavidades produzidas por usinagem, onde em (B1) são indicadas as espessuras finais em ordem crescente (6, 9 e 12 milímetros).



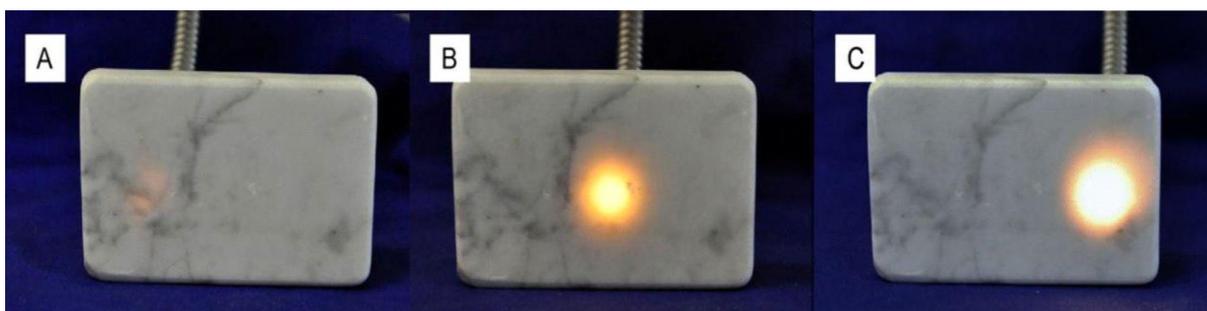
FONTE: Autora (2022).

3.3.5 Retroiluminação

Nesta etapa do estudo preliminar, que teve como objetivo conhecer a relação entre a transmissão da luz, a cor e a espessura do material, ficou indicado que apenas o mármore Carrara permite a transmissão da luz. A Figura 58 mostra o mármore Carrara iluminado nas diferentes espessuras.

O resultado do processo de usinagem indica que com espessura de 12 mm a iluminação é quase imperceptível (Figura 58 A), podendo ser a espessura reduzida para maior efeito de luz. Já nas cavidades usinadas de 9 e 6 mm ocorre uma iluminação perceptível pelo observador e também que é inversamente proporcional à espessura, ou seja, quanto mais espesso, menor a percepção do efeito visual pelo observador (Figura 58 B e C).

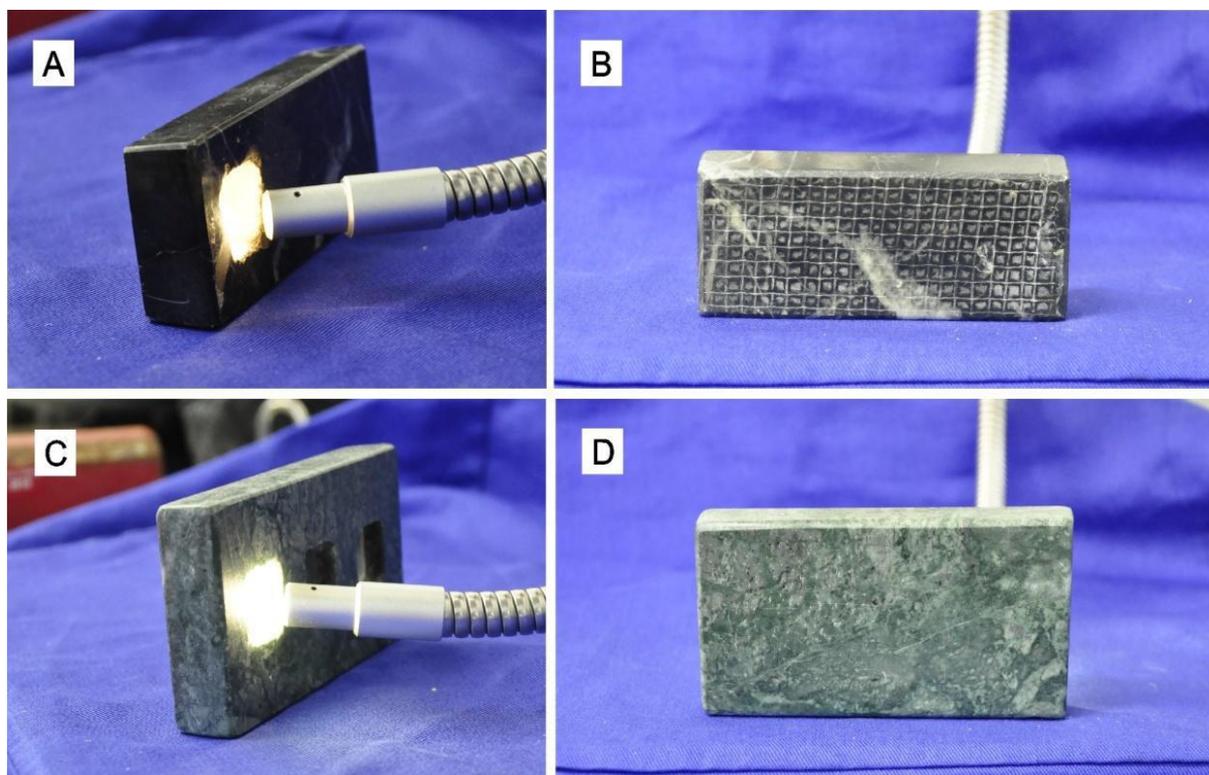
Figura 58 – Resultados dos ensaios de retroiluminação em mármore Carrara: (A) Cavidade iluminada com espessura restante de 12 mm; (B) Cavidade iluminada com espessura restante de 9 mm; (C) Cavidade iluminada com espessura restante de 6 mm. Amostra de dimensões 125 x 60 mm.



FONTE: Autora (2022).

Nos demais mármore, não houve transmissão da luz para nenhuma das espessuras analisadas (Figura 59). A Figura 59 mostra os mármore Nero (Figura 59 A e B) e Verde (Figura 59 C e D) em ensaios de iluminação com este mesmo equipamento, onde se observou que para estes mármore de cores mais escuras a propagação da luz não pôde ser observada nem mesmo na menor espessura, na cavidade de 6 mm. Isto pode ser relacionado à ausência de características de translucência nesta espessura, o que caracteriza os materiais, nestas condições, como opacos. Esta situação de não transmissão da luz pode ser atribuída à cor do material, que está relacionada com a mineralogia e textura.

Figura 59 – Resultados dos ensaios de retroiluminação nos mármore Nero e Verde: (A) Mármore Nero, amostra posicionada em perspectiva com a cavidade de espessura restante 6 mm, iluminada; (B) Mármore Nero amostra em vista frontal com iluminação posicionada na parte posterior. (C) Mármore Verde amostra posicionada em perspectiva com a cavidade de espessura restante 6 mm, iluminada; (D) mármore Verde em vista frontal com iluminação posicionada na parte posterior. Amostras de dimensões 110 x 40 mm (Nero) e 125 x 60 mm (Verde).



FONTE: Autora (2022).

3.4 Material selecionado

A etapa de seleção de materiais auxiliou no prosseguimento deste estudo. A intervenção de usinagem na amostra do mármore Carrara, quando retroiluminada, apresentou propriedades óticas de efeitos visuais por retroiluminação.

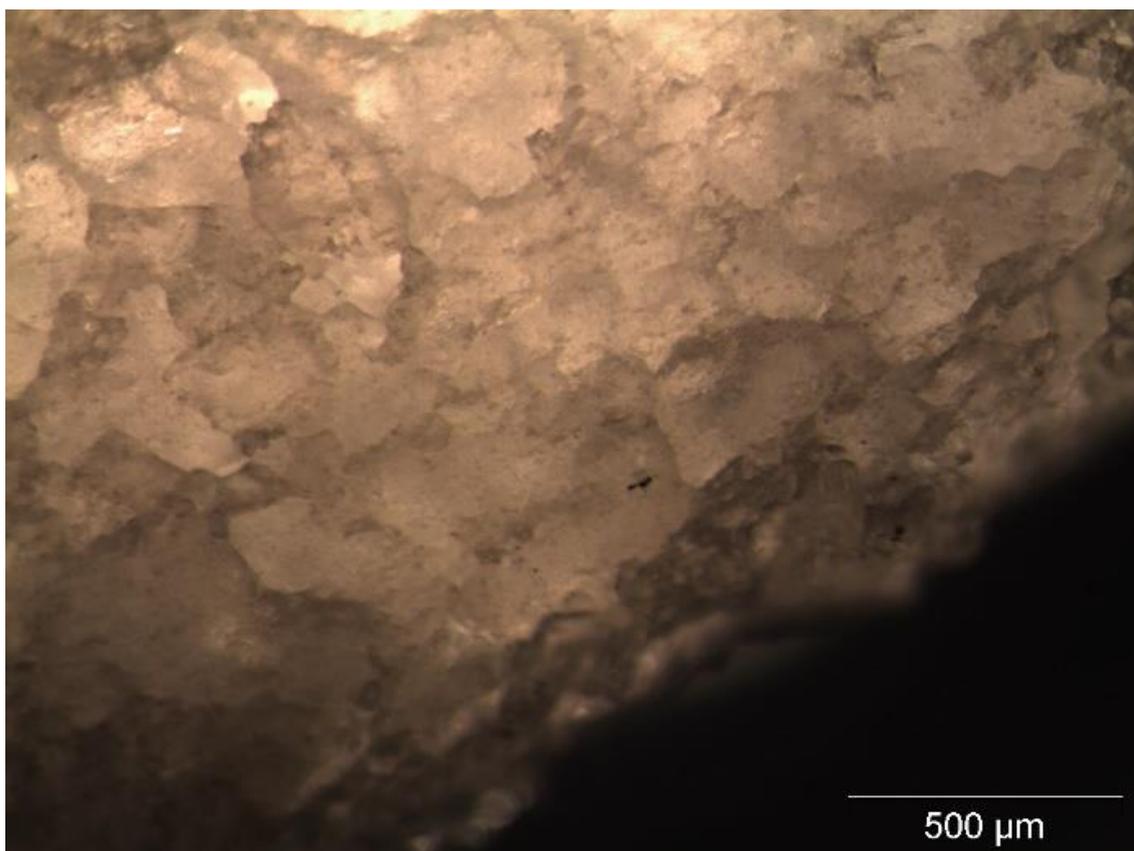
O mármore Carrara foi selecionado dentre os materiais, porém, por ser originário da Itália, haveria pouca possibilidade e interesse de uso pelo mercado brasileiro, de modo que para uma maior prioridade de continuidade do estudo, uma rocha de ocorrência no território nacional seria mais adequada. Então, foi selecionada uma rocha ornamental do tipo mármore, de ocorrência no território nacional, que contemplasse características semelhantes às observadas no Carrara. O material selecionado foi o mármore Serra do Paraíso, que é um mármore predominantemente branco, com algumas porções cinzas e beges com textura fina. Inclusive, para este tipo de material,

o mercado normalmente o denomina como “tipo Carrara”.

A primeira etapa feita para validação do material selecionado é a avaliação da transmissão da luz em lâminas de 1 mm, tal qual feito para a etapa preliminar de seleção para ou outros materiais. Esta etapa é a que define se o material é ou não transluzente.

O resultado da retroiluminação realizada em lâmina de 1 mm do Mármore Serra do Paraíso quando observada à lupa estereoscópica Olympus® SZX16 caracteriza previamente o material do ponto de vista das propriedades óticas e prováveis efeitos visuais (Figura 60). A observação indica a passagem de luz nas porções brancas. Cabe destacar que nessa espessura, por sua fragilidade, o material não é recomendado para aplicação em projetos de revestimento.

Figura 60 – Retroiluminação do Mármore Serra do Paraíso, realizado em lâmina de espessura de 1 mm, onde se observa a transmissão da luz.



FONTE: Autora (2022).

4 MÁRMORE SERRA DO PARAÍSO – ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado o material utilizado para o desenvolvimento do protótipo do produto, que são placas retroiluminadas. O capítulo inicia com informações da procedência da jazida e descrições da rocha. Consta como descrição do material a informação contida nos relatórios técnicos da empresa Amagran, que foi parceira deste estudo e que forneceu as amostras para serem feitas as usinagens e demais técnicas analíticas. Cabe ressaltar que o material, na espessura comercializada de 20 e 30 mm, não é translúcido. Para isso, processos de usinagem devem ser realizados para tornar este material translúcido a espessuras adequadas. Esta etapa consiste em definir as espessuras que possibilitem a transmissão da luz pelo material de modo a gerar um efeito visual.

Constam neste capítulo as programações de usinagem para a geração de amostras e as análises de retroiluminação e da quantidade de luz que consegue chegar ao observador, bem como definição de porções claras e escuras, que são intrínsecas ao material (dada a diferença de mineralogia) e que geram efeitos visuais.

Além da intervenção por usinagem e a retroiluminação que são os objetivos principais do estudo, neste capítulo constam a metodologia de caracterização (ensaios complementares aos relatórios técnicos da empresa Amagran). Tais como análises químicas e de composição, análises físicas de dureza e espectrais para definição da cor das amostras. E análises quanto as propriedades mecânicas deste material que podem ser modificadas pela retirada de material do sólido quando realizadas as cavidades.

4.1 Mármore Serra do Paraíso – Procedência e Descrição

O mármore da Serra do Paraíso (Figura 61) ocorre como jazida no sul do Estado da Bahia, no Brasil. Este mármore foi selecionado para este estudo devido às suas características semelhantes o Mármore Carrara que, pela Etapa de Seleção de Materiais, indica ser este tipo de material o mais apropriado para projetos de produto com efeitos visuais gerados por retroiluminação. Este mármore trata-se de uma rocha predominantemente branca, com porções mais impuras que são acinzentadas e mesmo opacas. De modo que há grande heterogeneidade de cores na rocha, e assim, o

processamento da usinagem para desenvolver o efeito de retroiluminação pode apresentar partes mais claras e mais favoráveis à efeitos visuais por translucidez.

Figura 61 – Mármore Serra do Paraíso

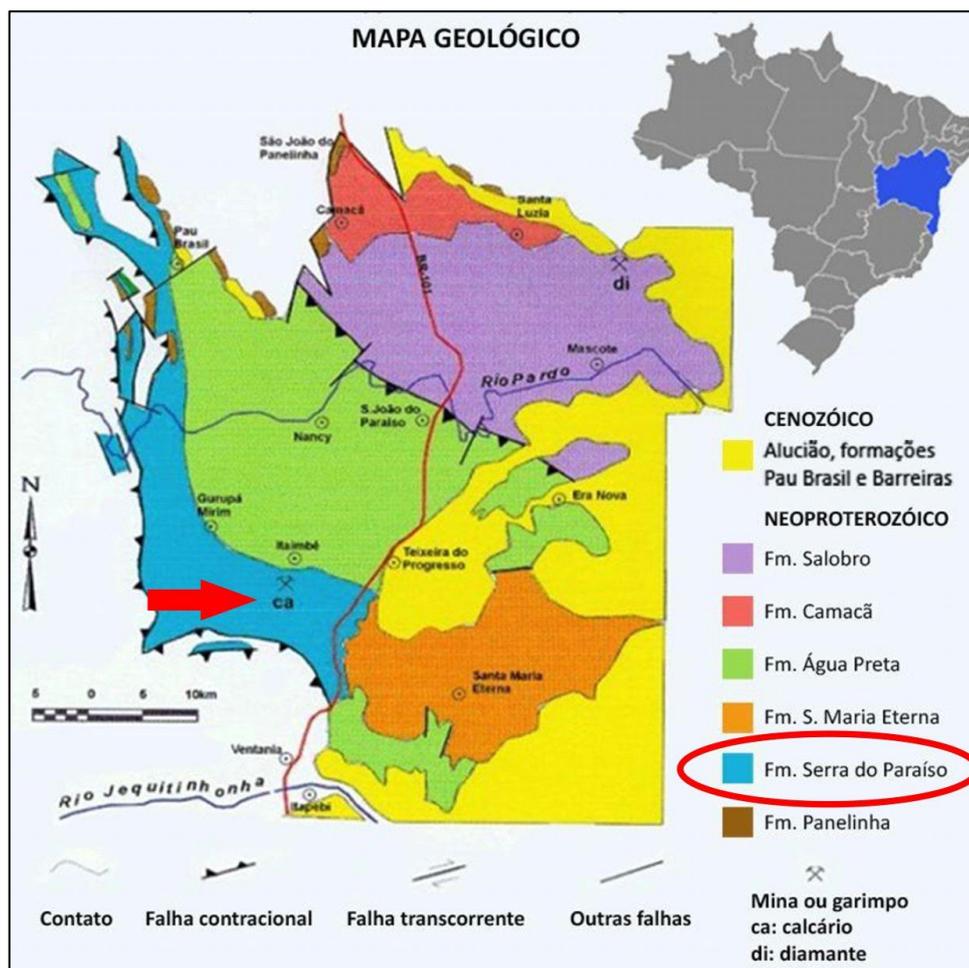


FONTE: Autora (2022).

Segundo Relatório Técnico do Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - CETEM (2017, Anexo A), o mármore Serra do Paraíso é uma rocha de natureza metamórfica caracterizado por uma coloração branca e cinza com pontos milimétricos de tonalidade bege. Observa-se estrutura bandada constituída por cristais de carbonato de cálcio (85-80%), predominantemente dolomita. Em sua composição mineralógica ocorrem também bandas filossilicáticas de muscovita (10-5%), quartzo (10-5%), e minerais metálicos (sulfetos), tal como a pirita (6-5%) e raramente serpentina.

A extração da rocha ocorre na Bahia, na área da formação Serra do Paraíso, região geologicamente composta por metadolomitos, metacalcários micáceos e arenosos, quartzitos puros e micáceos intercalados, além de calcoxistos finos subordinados (Amagran, 2014). A pedreira de rocha ornamental está localizada na zona rural Gurupá Mirim, no município de Potiragua, Bahia (Figura 62). As coordenadas do local de onde foram extraídas as amostras para ensaios tecnológicos são: Fuso 24 LESTE, Longitude 433.951 e Latitude 8.259.130, segundo relatório técnico fornecido pela empresa Amagran, datado de 2014.

Figura 62 – Mapa Geológico da Bacia Metassedimentar do Rio Pardo onde está destacada a localização (seta) da pedra do mármore Serra do Paraíso.



FONTE: Adaptado de Amagran (2014).

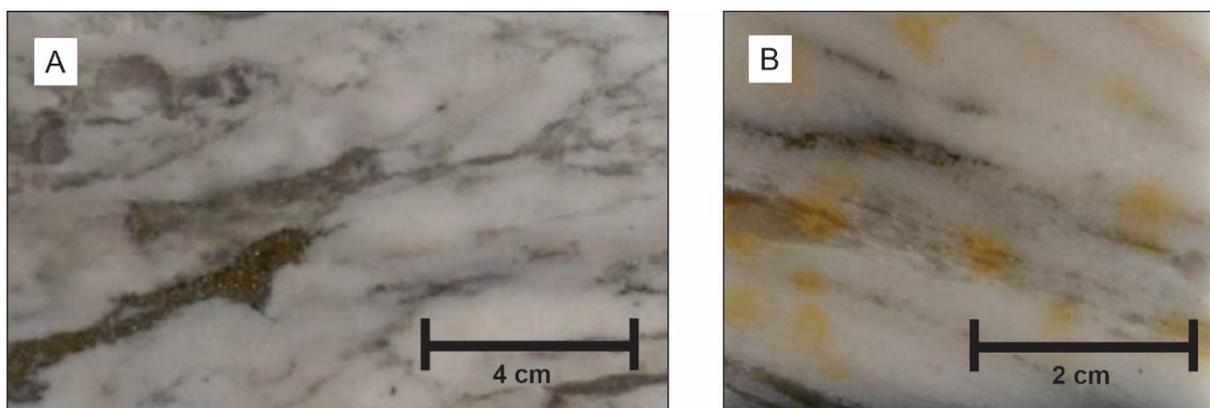
4.1.1 Análise Macroscópica

Segundo análise macroscópica, o mármore possui cor branca com pontos milimétricos de cor cinza e acastanhada. Os minerais estão organizados em estrutura bandada e que por vezes ocorrem em dobras centimétricas. A granulação é predominantemente fina, embora apresente áreas de granulação média e grossa, em menores proporções. As discontinuidades desta rocha são bem importantes para o ponto de vista de aproveitamento deste material, visto que podem ser possíveis zonas de fraqueza, e são indicadas por bandas quartzofilossilicáticas.

A alteração ocorre em pequenas manchas de oxidação intempérica, predominantes em bandas filossilicáticas (muscovita), e, em menor proporção, encontram-se associadas à presença dos minerais metálicos (sulfetos), tal como a pirita, e são

constituídos de óxidos e hidróxidos acastanhados (leucoxênio), como pode ser evidenciado na Figura 63.

Figura 63 – Petrografia: etapa de análise macroscópica do mármore Serra do Paraíso, onde em (A) Seção perpendicular ao bandamento dobrado/brechado e em (B) Porções Oxidadas associadas a filossilicatos.



Fonte: Cetem (2017).

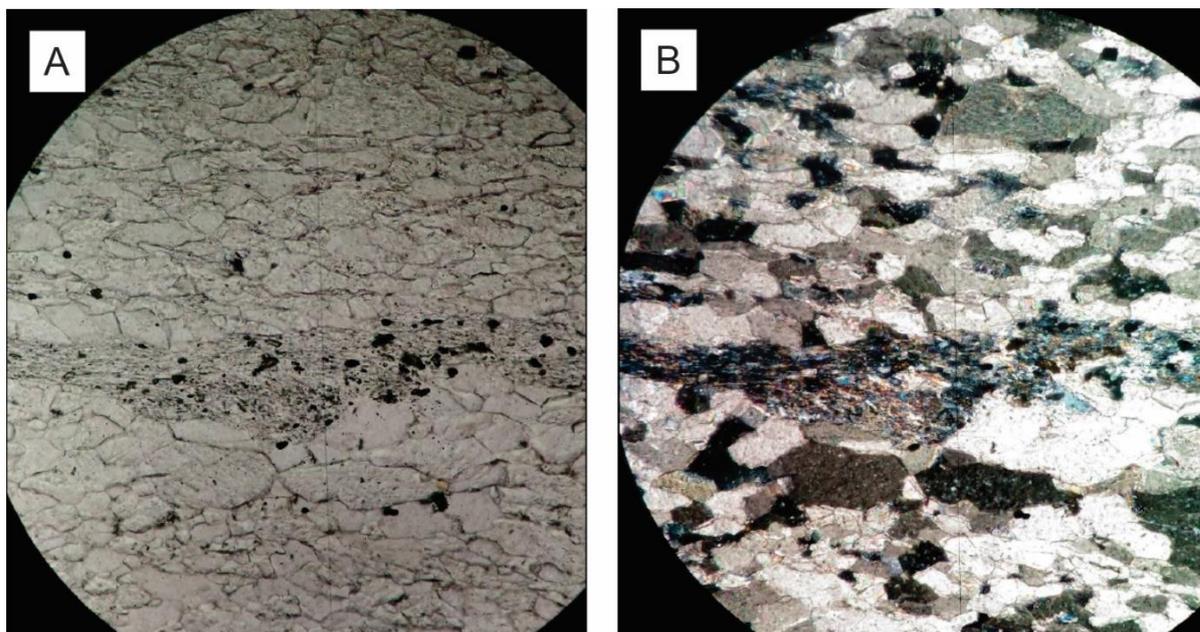
4.1.2 Análise de Microscopia

Segundo dados elaborados a partir do relatório do CETEM (2017, Anexo A), e da Amagran (2014, Anexo C) a composição principal é de carbonatos, predominantemente dolomita. A microestrutura do material é representada por grãos com textura granolepidoblástica, de granulação fina (> 1 mm) em 90% da área e de granulação média (5 a 1 mm) em 10%. A principal textura é a granoblástica poligonal dos cristais de carbonato, com ocorrência de cristais de muscovita e minerais opacos. Ocorrem rutilos associados à foliação milimétrica que é composta por muscovita, quartzo, pirita e serpentina. A orientação da muscovita caracteriza uma textura lepidoblástica⁷, no qual uma parte dos cristais de carbonato apresenta forma alongada, sugerindo que a rocha foi submetida a esforços tectônicos (Amagran, 2014).

Ocorre grau de microfissuramento fraco, microfissuras notáveis em porfiroclastos de quartzo. A classificação da rocha é dada petrograficamente como: pirita quartzo muscovita mármore dolomítico (CETEM, 2017 – Anexo A). Abaixo as imagens da petrografia do mármore em lâmina delgada observada ao microscópio de luz transmitida e polarizada com aumento de 20x (Figura 64).

⁷ Textura metamórfica definida por minerais lamelares como as micas e as cloritas dispendo-se paralela ou sub-paralelamente (WINGE, 2001).

Figura 64 – Petrografia: etapa de análise microscópica do mármore Serra do Paraíso. Fotomicrografias de lâmina delgada. (A) Polarizadores descruzados e em (B) cruzados, visualizada com objetiva 20x.



FONTE: CETEM (2017).

Os índices físicos de qualidade da matéria-prima, do mármore Serra do Paraíso, tais como densidade aparente, porosidade, resistência à flexão, à ruptura, ao impacto, à compressão, entre outros, foram ensaiados em 246 amostras, conforme consta no Relatório Técnico do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM, 2017, Anexo A), onde os resultados são exemplificados no Quadro 7.

Salienta-se que, dentre esses resultados, podemos ressaltar os de flexão em quatro pontos, que indicam a resistência adequada para aplicações em paredes internas, resultando em 6,46 MPa, com a rocha em estado natural (seco) em placa de 20mm de espessura, enquanto referências da ASTM C 503 para mármore, recomenda resultados maiores ou iguais a 5,8 MPa para aplicações em paredes verticais internas. Também podemos ressaltar os resultados de compressão uniaxial, de 103,8 MPa, indicando boa resistência deste mármore, uma vez que o resultado exigido pela norma ASTM C 503 indica 52 MPa. Os resultados de densidade aparente, relacionados com a resistência físico-mecânica da rocha, também indicaram um índice satisfatório de 2.844 kg por m³ e o resultado exigido para mármore, segundo a norma ASTM C97 é de 2.600. Os demais resultados permitem restringir aplicações para as quais a rocha não possui as características de demanda de resistência em seu uso (tais como sua aplicação para pisos e degraus ou fachadas externas).

Quadro 7 – Caracterização tecnológica do mármore Serra do Paraíso

NORMA	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS
ABNT NBR 15845:2:2015	Densidade aparente	2844 kg/m ³
ABNT NBR 15845:2:2015	Porosidade aparente	0,6%
ABNT NBR 15845:2:2015	Absorção d'água	0,21%
ABNT NBR 12042:2012	Desgaste <i>Amsler</i>	3,06 mm
ABNT NBR 15845:6:2015	Módulo de ruptura – Perpendicular	4,58 MPa ao natural 2,23 MPa saturado*
ABNT NBR 15845:6:2015	Módulo de ruptura – Paralela	4,93 MPa ao natural 1,95 MPa saturado*
ABNT NBR 15845:7:2015	Flexão quatro pontos – Perpendicular	6,46 MPa ao natural 3,50 MPa saturado*
ABNT NBR 15845:7:2015	Flexão quatro pontos – Paralela	5,94 MPa ao natural 3,35 MPa saturado*
ASTM D 2845:2005	Velocidade de onda – Perpendicular	4087 m/s
ASTM D 2845:2005	Velocidade de onda – Paralela	5448 m/s
ABNT NBR 15845:5:2015	Compressão uniaxial – Perpendicular	103, 80 MPa ao natural 56,41 MPa saturado*
ABNT NBR 15845:5:2015	Compressão uniaxial – Paralela	86,69 MPa ao natural 55,12 MPa saturado*
ABNT NBR 15845:8:2015	Impacto de corpo duro – Perpendicular	0,33 m
ABNT NBR 15845:8: 2015	Impacto de corpo duro – Paralela	0,33 m

FONTE: CETEM (2017). * Saturado em água

O Mármore Serra do Paraíso foi caracterizado quanto à petrografia, massa específica, porosidade, absorção de água, resistência à flexão, à compressão, ao impacto e ao desgaste abrasivo. As caracterizações foram fornecidas pelo fabricante Amagran Granitos Ltda, via relatórios técnicos realizados pela Amagran em 2014 (análise petrográfica) e pelo CETEM (análises petrográficas e índices físicos – Anexo A), realizado em 2017.

4.2 Métodos de Caracterização (complementares)

Muitos dos métodos de caracterização e processos realizados para o Mármore Serra do Paraíso, são coincidentes com os métodos que foram realizados na Etapa Preliminar de Seleção de Materiais, e por isto em determinados casos o leitor será

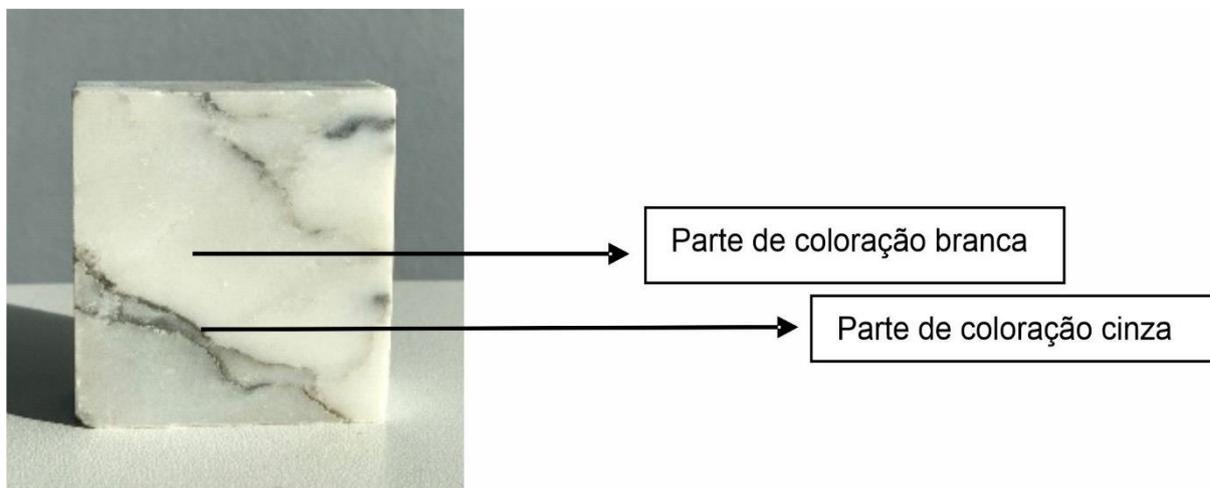
direcionado para mais detalhes em itens anteriores.

Também, neste tópico, trata-se por Métodos Complementares, pois a caracterização da rocha para uso ornamental foi feita pela empresa Amagran, que validou o uso desta rocha para esta finalidade. Assim, os métodos aqui descritos complementam a análise para as características requisitadas para o uso em retroiluminação, quais sejam, por exemplo, a análise da passagem da luz, bem como modificação de índices físicos que foram afetados, desde a original, pelo processamento de usinagem.

4.2.1 Fluorescência de raios x

A caracterização química foi investigada em dois tipos de amostras do mármore Serra do Paraíso, uma de coloração branca, apresentando poucos veios de coloração cinza, e em uma amostra com maior presença de veios de coloração cinza (Figura 65). A realização de duas análises para este material teve a intenção de comparar as duas amostras e desta forma, caracterizar a composição dos veios cinza.

Figura 65 – Amostra de mármore Serra do Paraíso com partes brancas e cinzas. Dimensões 50 x 50 milímetros.



FONTE: Autora (2022).

Utilizou-se o Espectrômetro Sequencial de Fluorescência por raios X por comprimento de onda, da marca Shimadzu®, modelo LabCenter XRF 1800, no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER/UFRGS), conforme descrito no Tópico 3.1.1 da Seleção de Materiais.

4.2.2 Dureza Knoop

A definição da dureza de uma amostra do Mármore Serra do Paraíso, foi realizada no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais, do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM / NRES / MCTIC), sendo utilizado o Microdurômetro Digital da Marca Future Tech®, modelo FM-700 (Figura 66), com ponteira diamantada Knoop. Nesta análise, foram utilizadas as mesmas configurações do ensaio descrito no tópico 3.1.3. Para a análise do Serra do Paraíso, utilizou-se o padrão do laboratório, que são de 40 medições.

Figura 66 – Equipamento Microdurômetro FM-700 – Marca FUTURE TECH®.



FONTE: Autora (2022).

4.2.3 Análises de Colorimetria

A espectroscopia de reflectância difusa é uma técnica que pode ser utilizada para detectar alterações de coloração em materiais. É “calculada” a partir da medição dos índices de reflectância em amostras de um material.

A colorimetria das amostras do mármore Serra do Paraíso foi obtida através de dados da reflectância a partir de medições de reflectância de raio laser no equipamento espectrofotômetro.

Os espectros de reflectância difusa foram obtidos no equipamento espectrofotômetro Cary® 5000 Vis-IR (Varian Inc, Palo Alto CA). Este equipamento é equipado com esfera de integração de 110 nm, sendo que os valores de reflectância difusa foram adquiridos no intervalo considerando o espectro eletromagnético visível de 400 a 700 nm, com resolução espectral de 1 nm de comprimento de onda. Então os dados gerados são processados no *software* COLOR®, do equipamento Carry 500. Desta forma são gerados os parâmetros colorimétricos. Os parâmetros são processados no *software* OriginLab® onde são obtidas as amostras da cor. As medições foram realizadas no laboratório de Espectroscopia à Laser e Óptica de Filmes do Instituto de Física da UFRGS (Figura 67).

Figura 67 – Espectrofotômetro Carry® 5000 Vis-IR (Varian Inc, Palo Alto CA).



Foto: Autora (2022).

A obtenção deste dado diz respeito a uma área limitada da superfície da amostra, a área corresponde à forma de um retângulo de dimensões de 13 x 3 mm. A espessura do bloco da amostra não interfere no resultado, pois análise é feita na superfície do

material. As amostras utilizadas para estas análises (18 unidades) são as mesmas amostras usinadas na programação 4, descrita mais adiante, no Quadro 8.

4.3 Usinagem CNC

A usinagem computadorizada por fresamento é a técnica de processamento para gerar as amostras com cavidades nas espessuras de interesse para a realização dos desenhos desbastados onde a luz poderá ser transmitida, difusa, gerando efeitos óticos pela interação com a luz. Também para produção de amostras para medições de resistência à flexão.

O mármore Serra do Paraíso foi usinado no equipamento Digimill 3D (LDSM/UFRGS) nas programações 2 e 3 (a programação 1 foi utilizada na etapa de seleção de materiais), visto no Quadro 8 e as programações 4, 5 e 6 (Quadro 9) foram realizadas no equipamento Ganger[®] CNC na Empresa Itaici Mármore (de porte para produção industrial).

A programação 2 corresponde a geração da primeira amostra ensaiada no material mármore Serra do Paraíso com a usinagem realizada em placa de 20 mm de espessura cortada em dimensões de 98 mm x 98 mm com cavidades horizontais (tipo trilho) de laterais abertas. As espessuras restantes nas cavidades foram de 6, 8 e 10 mm.

A programação 3, para geração de amostra de dimensões 48 x 48 mm a partir de placa de espessura 20 mm. Propõe o rebaixo em cavidade de espessuras heterogêneas em forma de círculo. As espessuras finais dos rebaixos foram 6, 8 e 10 mm, do centro da amostra para as extremidades.

A determinação da espessura mais alta ser de 10 mm e não de 12 mm, nas programações 2 e 3, deve-se ao entendimento de uma interação “pouco evidente” obtida com a espessura de 12 mm, no resultado no ensaio programação 1, feito no mármore Carrara na etapa de Seleção de Materiais.

As usinagens das programações 2 e 3 foram programadas com parâmetros adequados para ferramenta diamantada de topo reto, de diâmetro de 6 mm, (Figura 68) foram programadas em estratégia *off set*, tendo com parâmetros como: penetração de 1,2 mm, profundidade de 1 mm, velocidade de rotação 15.000 RPM e velocidade de avanço 1.200 mm/min.

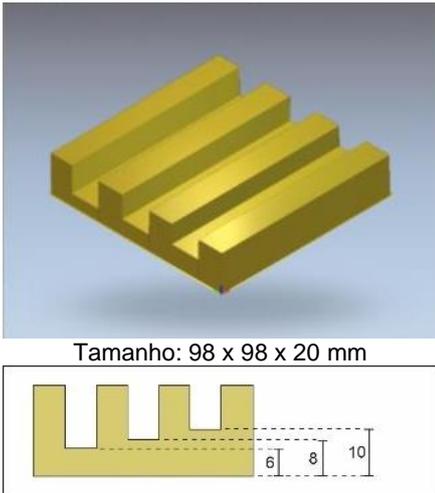
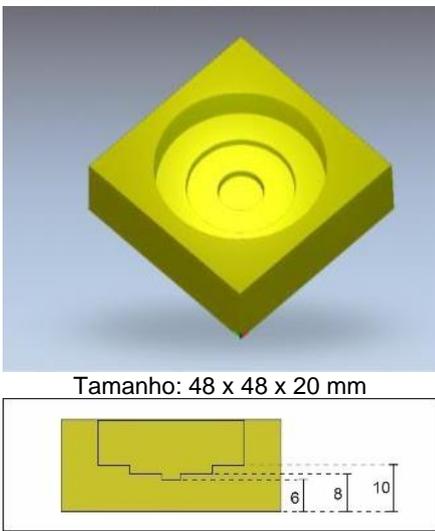
Figura 68 – Ferramenta diamantada de topo reto de diâmetro de 6 mm utilizada para usinagem das programações 2 e 3.



FONTE: Autora (2022).

O Quadro 8 inclui a representação gráfica dos sólidos usinados, o tipo de ferramenta, parâmetros de processo e espessuras finais.

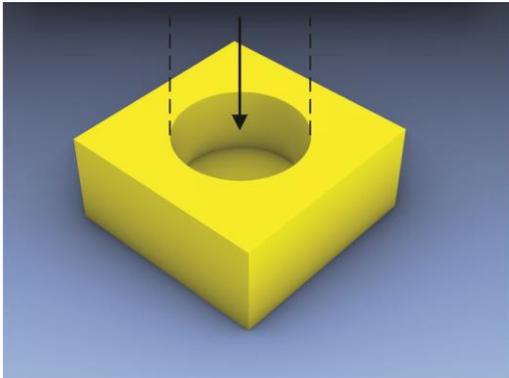
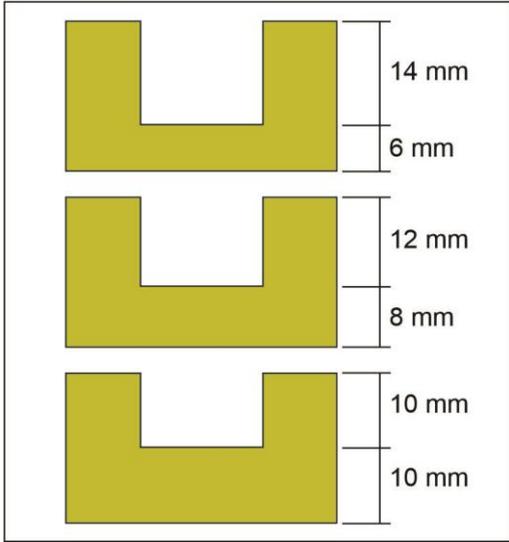
Quadro 8 – Ensaio de usinagem do Mármore Serra do Paraíso, programações 2 e 3. Amostras para finalidade de análise de retroiluminação.

	Formato programado para Usinagem	Ferramenta	Parâmetros do Processo	Espessuras Finais
Programação 2	 <p>Tamanho: 98 x 98 x 20 mm</p>	<p>Forma: Topo Reto Diamantada</p> <p>Diâmetro: 6 mm</p>	<p>Vel. de Rotação: 15.000 RPM</p> <p>Vel. de avanço: 1.200 mm/min</p> <p>Penetração: 1,8 mm</p> <p>Profundidade: 2,5 mm por passe</p>	6, 8 e 10 mm
Programação 3	 <p>Tamanho: 48 x 48 x 20 mm</p>	<p>Forma: Topo Reto Diamantada</p> <p>Diâmetro: 6 mm</p>	<p>Vel. de Rotação: 15.000 RPM</p> <p>Vel. de avanço: 1.200 mm/min</p> <p>Penetração: 1,2 mm</p> <p>Profundidade: 1 mm por passe</p>	6, 8 e 10 mm

FONTE: Autora (2022).

A fim de verificar uma cavidade com espessura homogênea em cada amostra, foi projetada a programação 4 (Quadro 9). Foram cortados 18 blocos de mármore Serra do Paraíso, com dimensões de 60 x 60 mm, aproximadamente, e 20 mm de espessura. Este tipo de formato delimitado servirá para observar o comportamento da passagem da luz em cada espessura separadamente.

Quadro 9 – Programação 4 de usinagem no mármore Serra do Paraíso.

	Formato programado para Usinagem e Espessuras Finais	Ferramenta	Parâmetros do Processo
Programação 4	 <p>Tamanho da amostra 600 x 600 x 20 mm</p> 	<p>Forma: Topo Reto Diamantada</p> <p>Diâmetro: 20 mm</p>	<p>Vel. de Rotação: 18.000 RPM</p> <p>Vel. de avanço: 300 a 600 mm/min</p> <p>Profundidade: 1,5 mm por passe</p>

FONTE: Autora (2022).

A programação 4 foi desenvolvida via *software* em formato de cavidade de círculo em baixo relevo, ao centro de uma das faces do bloco, com aproximadamente 33 mm de diâmetro. Os círculos em cada bloco foram rebaixados com profundidades até se obter espessuras restantes de 6, 8 e 10 mm. Assim, objetivou-se verificar como essas espessuras no mármore levam a diferentes níveis de transmitância da luz.

Após a modelagem dos blocos com suas respectivas espessuras, os arquivos foram exportados em extensão STL (*stereolithography*) para o equipamento de usinagem, segundo a definição dos comandos do caminho de ferramenta a serem realizados. Para a usinagem desta programação, foi realizada uma parceria com a empresa Itaiçi[®] Comércio e Indústria de Pedras Ltda, localizada na cidade de Guaçuí – ES, para uso do equipamento Ganger[®] CNC, modelo SH-1325 (Figura 69).

Figura 69 – Usinagem do mármore Serra do Paraíso: (A) detalhe da usinagem utilizando o equipamento Ganger[®] CNC com refrigeração, (B) e (C) ferramenta diamantada de topo reto, de diâmetro de 20 mm e (D) Equipamento Ganger[®] CNC.



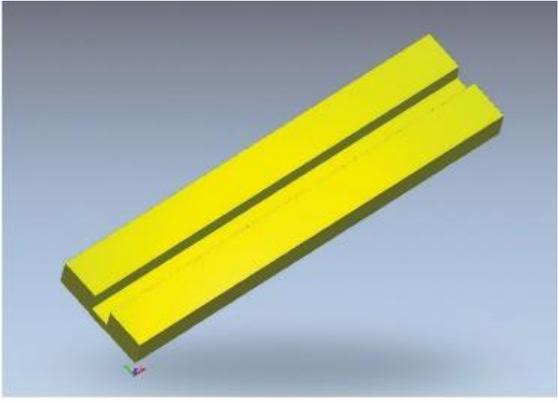
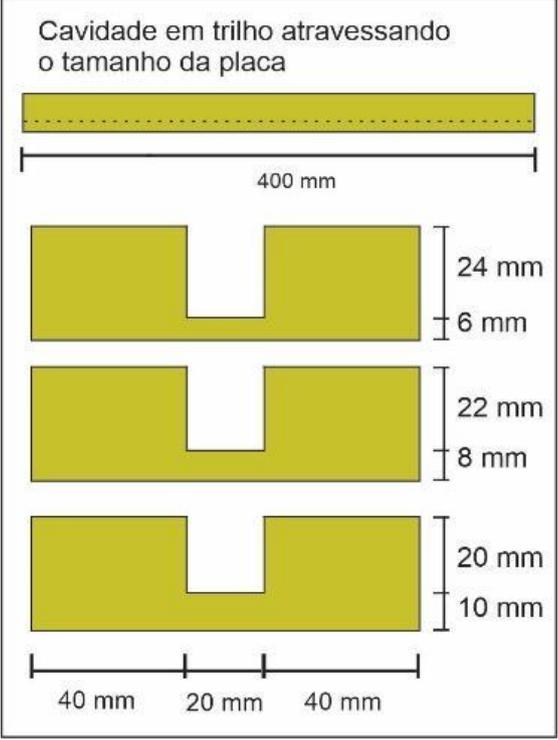
FONTE: Autora (2022).

O equipamento utilizado opera com potência de 5,5 kw, rotação máxima de 24.000 RPM de avanço, e refrigeração por água junto ao cabeçote de usinagem. Para os ensaios foi empregado o uso de uma fresa diamantada de topo reto, de 20 mm de diâmetro, com velocidade de rotação 18.000 RPM, profundidade de corte de 1,5 mm

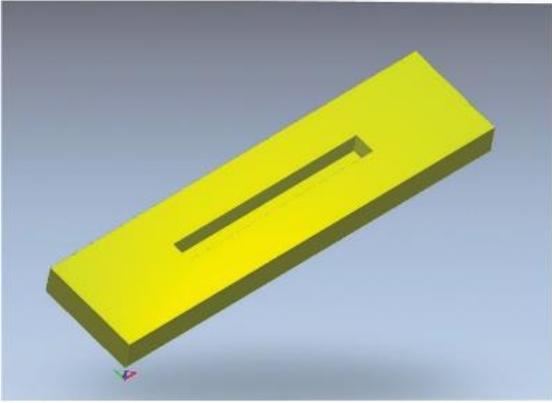
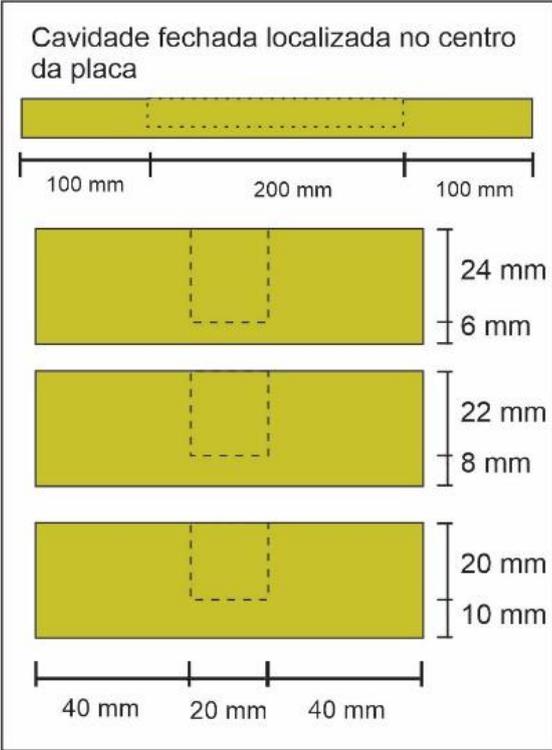
por passe de corte. As operações da programação 4 foram realizadas variando velocidades de avanço de 300 a 600 mm/min. Foram usinadas 6 amostras de cada espessura (6,8 e 10 mm), totalizando 18 blocos de mármore.

Foram desenvolvidas duas novas programações, 5 e 6 (Quadro 10) para ensaios de resistência mecânica das amostras com cavidades. As dimensões das placas foram projetadas de modo a adequar-se aos padrões requisitados para ensaios de flexão por 4 pontos, com dimensões de 400 x 200 mm e espessura aproximada de 30 milímetros.

Quadro 10 – Ensaio de resistência no mármore Serra do Paraíso programações 5 e 6.

	Formato programado para Usinagem e Espessuras Finais	Ferramentas	Parâmetros do Processo
Programação 5	 <p>Tamanho da amostra 400 x 100 x 30 mm</p> <p>Cavidade em trilho atravessando o tamanho da placa</p> 	<p>Forma: Topo Reto Diamantada</p> <p>Diâmetro: 20 mm</p>	<p>Vel. de Rotação: 18.000 RPM</p> <p>Vel. de avanço: 300 a 600 mm/min</p> <p>Profundidade: 1,5 mm por passe</p>

Quadro 10 – (CONTINUAÇÃO).

Programação 6	 <p>Tamanho da amostra 400 x 100 x 30 mm</p> <p>Cavidade fechada localizada no centro da placa</p> 	<p>Forma: Topo Reto Diamantada</p> <p>Diâmetro: 20 mm</p>	<p>Vel. De Rotação: 18.000 RPM</p> <p>Vel. De avanço: 300 a 600 mm/min</p> <p>Profundidade: 1,5 mm por passe</p>
---------------	--	---	---

FONTE: Autora (2022).

As placas da programação 5, foram usinadas com cavidade retangular ao longo da amostra, atravessando horizontalmente e deixando a cavidade aberta nas laterais da placa (forma de trilhos). Esta configuração permite uma continuidade e encontro de cavidades entre placas quando aplicadas lado a lado, o que possibilita inúmeras possibilidades de configurações e combinações parametrizadas para aplicação em design de produto. Na programação 6, a cavidade é centralizada na amostra com as laterais maciças, desta forma é possível averiguar se há diferença na resistência mecânica relacionada à forma da lateral das placas, aberta ou fechada.

Para os ensaios foram utilizadas 48 amostras, sendo 24 destas com cavidade usinada passante, e 24 com a cavidade centralizada. Nas amostras de cavidade passante as espessuras resultantes da usinagem, nas cavidades, foram de espessuras 6, 8 e 10 mm. Para cada espessura e geometria de cavidade, 8 amostras foram usinadas.

A usinagem das programações 5 e 6, do mármore Serra do Paraíso, foi realizada na empresa Itaici[®] Comercio e Indústria de Pedras Ltda, no equipamento Ganger[®] CNC, modelo SH-1325 (Figura 69). Para os ensaios foi empregado o uso de uma fresa diamantada de topo reto, de 20 mm de diâmetro, com velocidade de rotação 18.000 RPM, profundidade de corte de 1,5 mm por passe de corte. A quantidade de passes está associada a profundidade de desbaste, onde nestas programações correspondem a 24; 22 e 20 mm de retirada de material, programadas no *software* do equipamento.

4.4 Ensaios de Resistência Mecânica

Visando identificar a resistência das placas de mármore Serra do Paraíso aos esforços fletores em amostras com cavidades usinadas (programação 5 e 6) nas espessuras que possibilitam a retroiluminação, foram realizados os ensaios de flexão em 4 pontos seguindo a norma ABNT NBR 15845-7:2015 (Rochas para revestimento - Parte 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos).

No referido ensaio os corpos de prova foram medidos e posteriormente fixados no equipamento onde foi aplicada carga até a ruptura de cada amostra, determinando sua resistência máxima. No equipamento temos dois pontos de apoio e dois de aplicação de força. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais, do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM / NRES / MCTIC), utilizando o equipamento de Ensaio de Compressão, da marca Forney[®], modelo F-502F-CPILOT (Figura 70), sendo tipo eletro-hidráulico e possuindo uma capacidade máxima de carga de 2.200 kN.

A fim de se obter os valores corretos de resistência à flexão, é necessário verificar as dimensões corretas de cada cavidade nas amostras (em mm), tanto as com cavidades abertas quanto fechadas. Isso se deve pelo fato de que os valores de tensão obtidos (em MPa) são determinados a partir de uma força (em kN) registrada pelo

equipamento, sendo, então, calculados dividindo-se pelas espessuras.

Figura 70 – Ensaio de Resistência à Flexão: em (A) Equipamento de Ensaio de Compressão F-502F-CPILOT – Marca Forney® e (B) placas de Mármore serra do Paraíso, amostras usinadas segundo programação 5, de dimensões 400 x 100 x 30 mm. Segunda amostra rompida no ensaio de flexão, destacada no círculo vermelho.



FONTE: Autora (2022).

4.5 Análise de Retroiluminação com luz direcionada

As análises de retroiluminação nas amostras usinadas segundo das programações 2 e 3 foi realizada para análise visual da iluminação. Foi realizado, conforme método descrito no tópico 3.2.5 da Seleção de Materiais.

4.6 Análise de Retroiluminação por quantificação com luxímetro

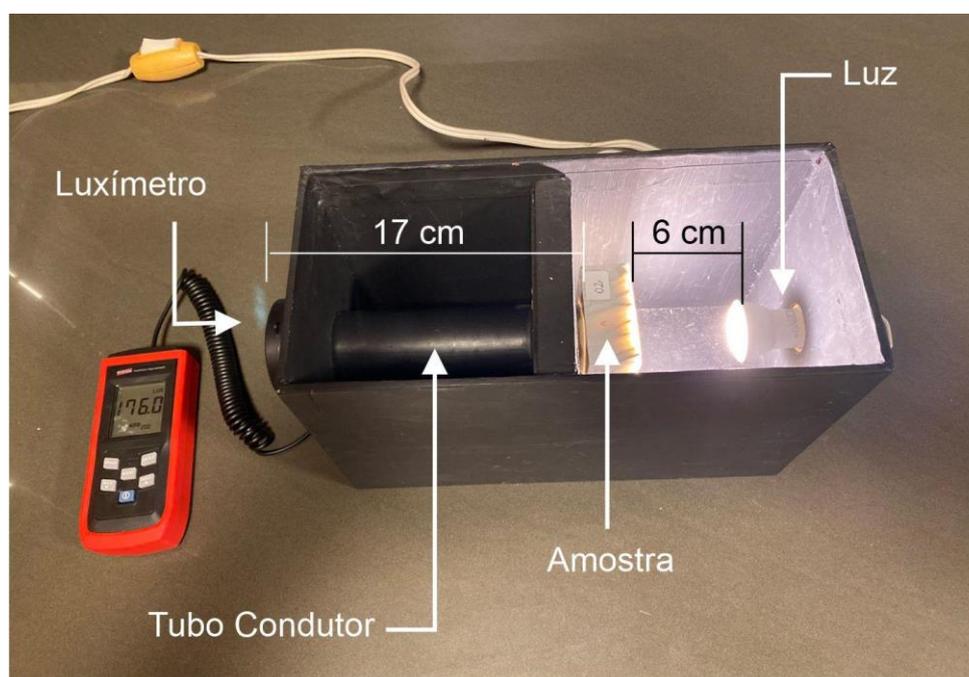
O efeito da retroiluminação pode ser percebido pela luz difusa e pela luz transmitida. A luz difusa pode ser entendida como a luz que permanece por difusão no material, a luz transmitida pode ser entendida como a luz que atravessa o material.

Com o objetivo de verificar a transmitância da iluminação (luz transmitida) através das amostras com cavidade, segundo a programação 4 (Quadro 9), foi realizada

a aplicação de feixe de luz em cada amostra e a quantificação foi feita com luxímetro.

Para este método de análise foi desenvolvido um aparato de medição, baseado-se na proposta de Ersoy, Yildiz e Turgut (2016), que consiste em uma caixa fechada com a inserção interna de uma fonte de luz e um tubo condutor, onde neste é fixado um luxímetro com um sensor para averiguar as medições (lx) da passagem de luz nas amostras (Figura 71). O aparato possui dimensões de 26 x 12 cm, com 17 cm de altura aproximadamente. A distância entre a lâmpada e o espaço para posicionamento das amostras é de 6 cm. Já a distância entre cada amostra e o local para acoplamento do luxímetro é de 17 cm.

Figura 71 - Aparato confeccionado: Caixa aberta para a visualização das localizações da fonte de luz, do local de fixação da amostra, do tubo condutor e do local de inserção do luxímetro, com seus distanciamentos.



FONTE: Autora (2022).

A fonte de luz utilizada foi uma lâmpada dicróica de LED com potência de 5,5 W, fluxo luminoso de 550 lm e temperatura de cor de 2.700K. O equipamento luxímetro utilizado foi o da marca Instrutherm®, modelo digital LD-400, com alcance máximo de 10.000 lx. Com o objetivo de se obter um registro fotográfico do efeito de transmitância da luz nas amostras, foi utilizado também o aplicativo *Galactica Luxmeter* para iOS, visto que o mesmo já foi verificado como possuindo resultados compatíveis com o aparelho específico (OSORIO-SCHMIED, 2019). Com isto, ambos os equipamentos foram utilizados de forma simultânea. Para este método foi acoplado ao aparato as 18

amostras usinadas, com as espessuras de 6, 8 e 10 mm, onde para cada amostra foram tomadas 4 medições, rotacionando a amostra no sentido horário.

4.7 Análise de efeito visual por Retroiluminação

O efeito da retroiluminação pode ser percebido pela luz difusa, que é o efeito óptico gerado pela luz que é emitida, por difusão, pelo material. Para analisar este efeito visual de uma maneira próxima à observada pelo usuário, foram obtidas imagens por fotografia, como descrito no item anterior. Entretanto, buscou-se analisá-las de uma maneira quantitativa. Desse modo as imagens foram quantificadas quanto à sua cor de superfície em função da sua luminosidade, que pode ser expressa pelo brilho, dentro do espectro de cor relativo à tonalidade amarelada.

A análise da imagem em tons de cinza foi feita pelo *software* Fiji, uma distribuição do ImageJ (SCHINDELIN *et al.*, 2012), baseado em Java. Os níveis de cinza são apresentados em forma de um histograma, para cada imagem, cujos valores de brilho variam entre 0 e 255 unidades de cor, onde 0 corresponde ao preto e 255 corresponde ao branco. A quantificação (contagem geral) de cada pixel visualizado nas fotografias é listada no histograma, de acordo com o seu respectivo valor de brilho.

Além da apresentação do histograma pela quantificação de pixels em cada nível de 0 a 255, as análises também retornam os valores de brilho médio e de desvio-padrão. Quanto maior o valor de brilho médio de branco, de modo geral mais clara é a imagem, o que significa que uma maior iluminação (luz difusa) é emitida pela amostra por meio de retroiluminação. Já quanto maior é o desvio-padrão dos valores de brilho, mais variável o valor é ao longo da amostra, de modo que a amostra visualizada possui mais regiões contrastantes entre valores claros e escuros; ou seja, menos uniforme ela é.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados da pesquisa, que serão organizados da seguinte maneira: Resultados de Caracterização do Mármore e Resultados do Mármore Processado. Deste modo, busca-se entender as características intrínsecas do material, ou seja, que são resultantes da composição, mineralogia, textura etc. As características do mármore processado são características extrínsecas, ou seja, que foram desenvolvidas após intervenções de processo de design no material, como a translucidez e a resistência mecânica, que são modificadas desde o material original pelo processo de retirada de material durante a usinagem CNC. As análises complementares do Serra do Paraíso consistem da fluorescência por raios X, dureza Knoop e análises de colorimetria por espectroscopia à laser.

O material original foi então usinado, a partir de chapas entre 20 e 30 mm, onde foi realizada a remoção de material por usinagem CNC. Após o processo de usinagem para obtenção de cavidades, nos diversos formatos descritos no capítulo anterior (programação 2-6), as amostras foram ensaiadas quanto à retroiluminação para observar os efeitos óticos e visuais, relacionados à difusão e transmitância da luz e quanto à resistência à flexão. Os resultados obtidos em cada etapa e as análises são apresentados neste capítulo.

5.1 Resultados de Caracterização do Mármore Serra do Paraíso

5.1.1 Fluorescência de raios X

O Quadro 11 apresenta os resultados da análise química do Mármore Serra do Paraíso, observa-se um alto teor de carbonato de cálcio, com valores em torno de 39% na amostra 1 e 33% na amostra 2, respectivamente, o que confirma a presença de calcita, previamente observada na avaliação microscópica. Verifica-se também que os teores de magnésio, encontram-se em valores de aproximadamente 10% e 8% para as amostras 1 e 2, indicando a tendência a ser classificado como um mármore dolomítico para a amostra 2, (com percentual de 10% Mg). Dependendo da porção da jazida de onde a rocha está sendo extraída haverá variação. Sílica e alumínio constam nos minerais filossilicáticos, que estão presentes, principalmente, em veios nas fases

minerais muscovita e quartzo. Também, associados a estes veios, estão óxidos ricos em Fe (pirita e calcopirita) e minerais como rutilo (TiO_2) e serpentina (rica em Mg).

Quadro 11 – Composição química do mármore Serra do Paraíso, resultados quantitativos obtidos por fluorescência de raios X.

	Amostra 1	Amostra 2
CaO	39,7762 %	33,7856 %
MgO	10,6908%	8,1748 %
SiO₂	5,7345 %	12,8074 %
Al₂O₃	1,6916 %	4,5698 %
Fe₂O₃	0,7676 %	1,1813 %
K₂O	0,6662 %	1,9118 %
P₂O₅	0,0699 %	0,1188 %
SO₃	0,0605 %	0,4304 %
SrO	0,0355 %	0,0154 %
TiO₂	-----	0,4896 %
ZrO₂	-----	0,0130 %
CO₂	40,5071 %	36,5021 %
TOTAL	100%	100%

FONTE: Autora (2022).

As amostras do Mármore Serra do Paraíso são bastante heterogêneas quanto à constituição mineralógica e isto é refletido na textura observada macroscopicamente (como visto na Figura 65, no item 4.2.1). Algumas amostras são constituídas majoritariamente por carbonatos (dolomita ou calcita), algumas possuem veios filossilicáticos e muitas delas possuem veios e manchas de minerais metálicos. Esta heterogeneidade é fator decisivo para a translucência da luz e serve de critério para a Seleção de Materiais.

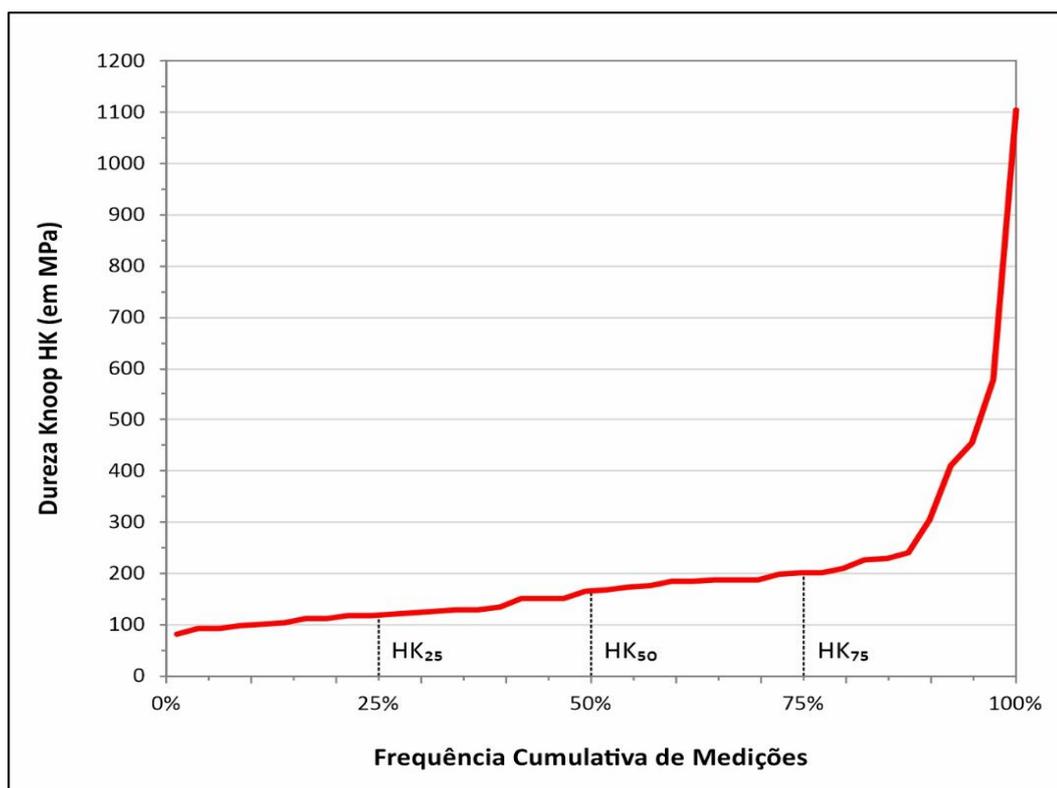
5.1.2 Dureza Knoop

Foram realizadas medições sequenciais, relativos aos 25%, 50%, 75% e 100% da curva. Os resultados apresentados no Mármore Serra do Paraíso evidenciam uma dureza variável entre 117 MPa e 1.104,1 MPa (Anexo B).

No diagrama de frequência cumulativa (Figura 72), os valores obtidos de microdureza Knoop são arranjados e plotados em ordem crescente (independentemente da ordem de realização de cada medição). Seu objetivo é apresentar uma visão geral da

uniformidade de dureza do material. As partes das curvas mais paralelas ao eixo-X representam regiões com componentes com valores de dureza mais homogêneos, enquanto as partes inclinadas representam uma variação maior entre regiões de uma amostra (EN 14205:2003).

Figura 72 – Diagrama de medições de Microdureza Knoop (em MPa) para o Mármore Serra do Paraíso, apresentando a frequência cumulativa de medições e ressaltando as marcações de HK₂₅, HK₅₀ e HK₇₅.



FONTE: Autora (2022).

Percebemos que até HK₇₅, a dureza máxima é de 200 MPa. As medições a partir dos 75% exprime a influência dos minerais mais duros da rocha. O material apresenta fases minerais independentes entre si em relação à dureza. A curva indica a heterogeneidade da sua composição, onde os minerais se apresentam misturados mantendo as propriedades individuais

Além dos valores de frequência cumulativa de microdureza HK₂₅, HK₅₀ e HK₇₅ a norma (EN 14205:2003) também propõe o cálculo de uma razão entre o quartil superior e inferior (HK_{75} / HK_{25}). Este cálculo fornece a indicação da uniformidade da rocha, quanto menor for esta razão (ou seja, quanto mais próximo de 1), mais uniforme é a dureza da amostra. O Mármore Serra do Paraíso, na amostra analisada, tem um coeficiente de heterogeneidade de 1,7 (Tabela 1).

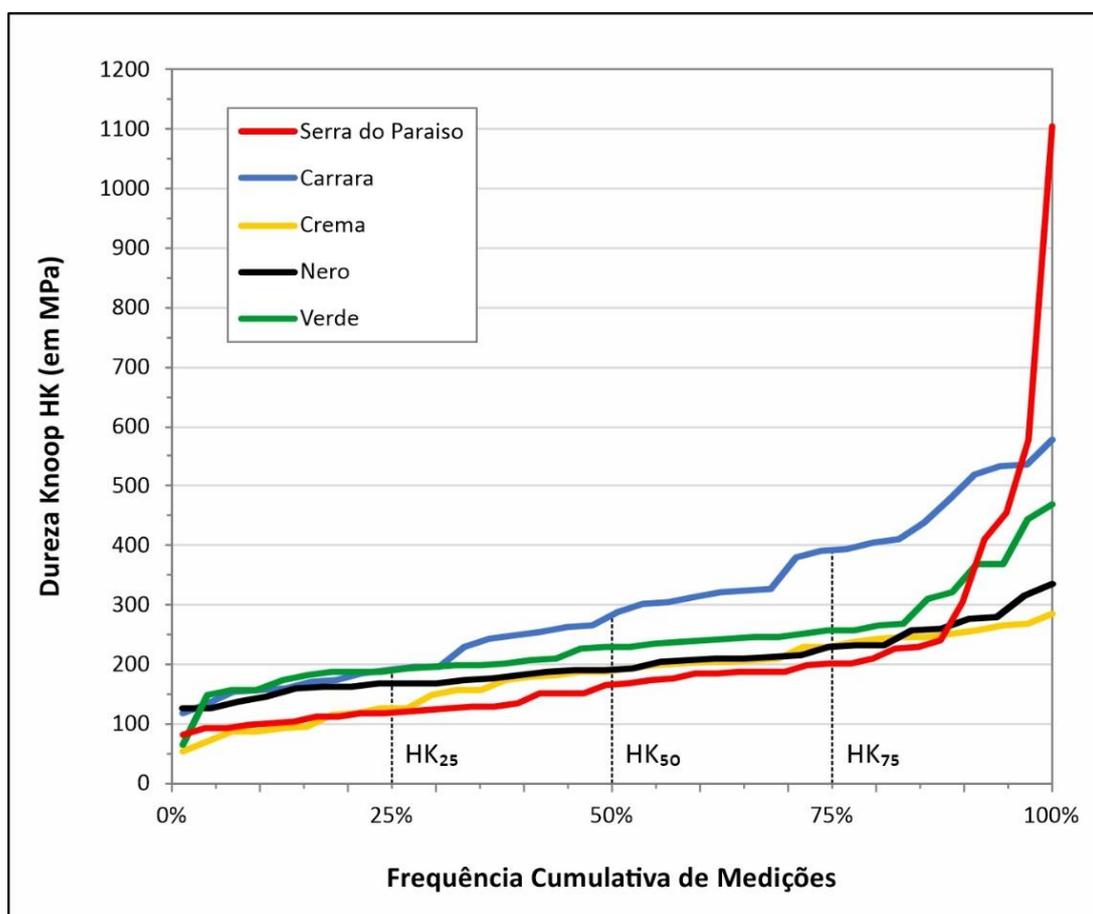
Tabela 1 - Medições de Frequência cumulativa do mármore Serra do Paraíso, apresenta valores de dureza Valores referentes aos 25% (HK₂₅ ou quartil inferior), 50% (HK₅₀ ou mediana) e 75% (HK₇₅ ou quartil superior). A razão entre as frequências cumulativas 75% e 25% (HK₇₅ / HK₂₅) representa a uniformidade de dureza é o coeficiente de heterogeneidade.

Medições Divididas por percentuais	Serra do Paraíso
HK ₂₅ (MPa)	117
HK ₅₀ (MPa)	164
HK ₇₅ (MPa)	201
HK₇₅ / HK₂₅	1,717

FONTE: Autora (2022).

Analisando comparativamente, os mármore da Seleção de Materiais e o Mármore Serra do Paraíso, em relação às medições de dureza, o mármore Serra do Paraíso mostra-se relativamente semelhante aos outros materiais estudados na Seleção de Materiais (Figura 73), até o percentil HK₇₅.

Figura 73 – Diagrama de medições de Microdureza Knoop (em MPa) para as diferentes amostras, apresentando a frequência cumulativa de medições e ressaltando as marcações de HK₂₅, HK₅₀ e HK₇₅.



FONTE: Autora (2022).

As durezas mais altas identificadas neste mármore (HK₁₀₀) podem estar relacionadas às fases de minerais metálicos presentes, pois muitas delas formam veios e são visualmente identificadas. Se formos comparar a textura macroscópica deste material com os tipos Nero, Verde e Carrara, temos que estes 3 são bem homogêneos, formados por minerais de granulometria fina e por isso, mesmo que em média eles possuam uma dureza maior que o Serra do paraíso, a dureza Knoop não identificou muitas fazes de dureza alta no percentil HK₁₀₀ como identificou na Serra do Paraíso. Abaixo, a apresentação dos resultados comparativos com os mármore analisados na Seleção de Materiais através de um diagrama de frequência cumulativa.

Juntamente da apresentação do digrama, segundo os estudos de Mancini e Frisa (1982), para uma análise mais comparativa dos resultados entre diferentes materiais, são incluídos os valores das medições das frequências cumulativas aos 25% (HK₂₅ ou quartil inferior), 50% (HK₅₀ ou mediana) e 75% (HK₇₅ ou quartil superior), e cujos valores absolutos podem ser visualizados na Tabela 2. Esses valores representam amostragem estatística da dureza máxima de cerca de 25%, 50% e 75% da região total de cada amostra, para fins de caracterização do material, bem como para escolha dos métodos mais apropriados para usinagem.

Tabela 2 – Medições das Frequências Cumulativas dos materiais do estudo. Valores referentes aos 25% (HK₂₅ ou quartil inferior), 50% (HK₅₀ ou mediana) e 75% (HK₇₅ ou quartil superior). A razão entre as frequências cumulativas 75% e 25% (HK₇₅ / HK₂₅) representa a uniformidade de dureza.

Mármore	Serra do Paraíso	Carrara	Crema	Nero	Verde
HK ₂₅ (MPa)	117	190	126	167	188
HK ₅₀ (MPa)	164	287	188	191	228
HK ₇₅ (MPa)	201	393	230	229	256
HK₇₅ / HK₂₅	1,717	2,068	1,825	1,371	1,362

FONTE: Autora (2022).

A uniformidade dos resultados de dureza, entre os materiais, demonstra semelhança entre o mármore Serra do Paraíso com coeficiente de uniformidade de 1,71 e o mármore Carrara de coeficiente 2,06. Os mármore Nero e Verde apresentam uma uniformidade maior entre os resultados de dureza, na faixa de 1,3. Os valores das medições realizadas no mármore Serra do Paraíso podem ser encontrados no Apêndice A.

5.1.3 Colorimetria e Reflectância Difusa

A capacidade de um material refletir uma radiação incidente está relacionada com sua composição e estrutura. Variações em tais valores revelam índices de homogeneidade. A energia refletida é medida por detectores e a **reflectância** é calculada pela razão entre a energia refletida e a incidente e apresentada segundo as diferenças nas curvas de reflectância.

5.1.3.1 Resultados de Colorimetria

A cor das amostras é um fator relevante para o efeito óptico por retroiluminação. De modo que quantificar a cor do lote (18 amostras) é pertinente para estabelecer as relações entre a cor e a luminosidade. As cores identificadas para as amostras do mármore Serra do Paraíso (Tabela 3) são quantificadas a partir dos parâmetros colorimétricos na escala CIE $L^*a^*b^*$.

Tabela 3 – Parâmetros colorimétricos das amostras do Mármore Serra do Paraíso.

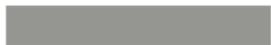
Amostra		L*	a*	b*
Espessura 6 mm	1.6	61,7973	-0,2019	2,0384
	2.6	81,6972	-0,0113	2,1107
	3.6	72,9852	0,0919	1,9192
	4.6	66,5457	-0,2525	2,0146
	5.6	73,6985	0,6208	4,1337
	6.6	74,1818	0,5213	3,7290
Espessura 8 mm	1.8	68,4982	0,3374	3,1474
	2.8	77,2693	0,4985	4,3043
	3.8	70,8737	1,3314	4,9498
	4.8	78,4727	-0,2360	1,5281
	5.8	74,1902	-0,2737	1,8110
	6.8	68,0218	-1,0890	-0,1255
Espessura 10 mm	1.10	62,7783	1,2629	4,4355
	2.10	78,4973	-0,0980	1,1501
	3.10	81,0014	0,3765	2,7639
	4.10	74,1974	-0,1728	2,6408
	5.10	76,3458	-0,1926	0,6565
	6.10	71,2773	-0,6737	0,4228

FONTE: Autora (2022).

A identificação das variações de colorimetria identifica a não homogeneidade do mármore Serra do Paraíso. A metodologia inicia no procedimento de medição da reflectância difusa considerando o espectro eletromagnético visível (400 a 700). Então os dados gerados são processados no software COLOR[®], do equipamento Carry 500.

A representação visual dos dados extraídos da Tabela 3 (acima) indica que o lote é predominantemente constituído por superfícies de tons de cinza, variando de claro até tons mais escuros (Quadro 12).

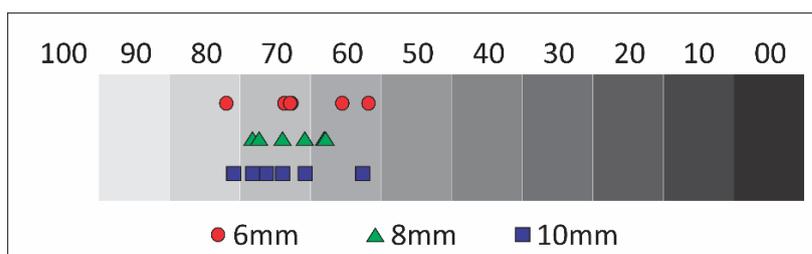
Quadro 12 – Cores das amostras obtidas para o sistema de cor CIE L*a*b*. A numeração indica identifica cada amostra, e as colunas separam nas diferentes espessuras (a análise seja feita na superfície e a espessura não interfere neste resultado).

1.6		1.8		1.10	
2.6		2.8		2.10	
3.6		3.8		3.10	
4.6		4.8		4.10	
5.6		5.8		5.10	
6.6		6.8		6.10	

FONTE: Autora (2022).

Quando analisado o fator L*, que indica a luminância ou luminosidade registrada pelo espectrofotômetro, este fator se refere à sensação de claro ou escuro, e é classificado em uma escala de 0 a 100, sendo que 0 indica o preto e 100 indica o branco. Assim, o lote analisado varia de 61,79 (amostra 1.6) a 81,69 (amostra 2.6). A Figura 74, faz uma representação gráfica do intervalo de luminosidade obtido.

Figura 74 – Representação gráfica da variação da luminosidade (L*) do lote de amostras do Serra do Paraíso, em conjunto. Agrupadas por espessuras de 6; 8; e 10 mm.

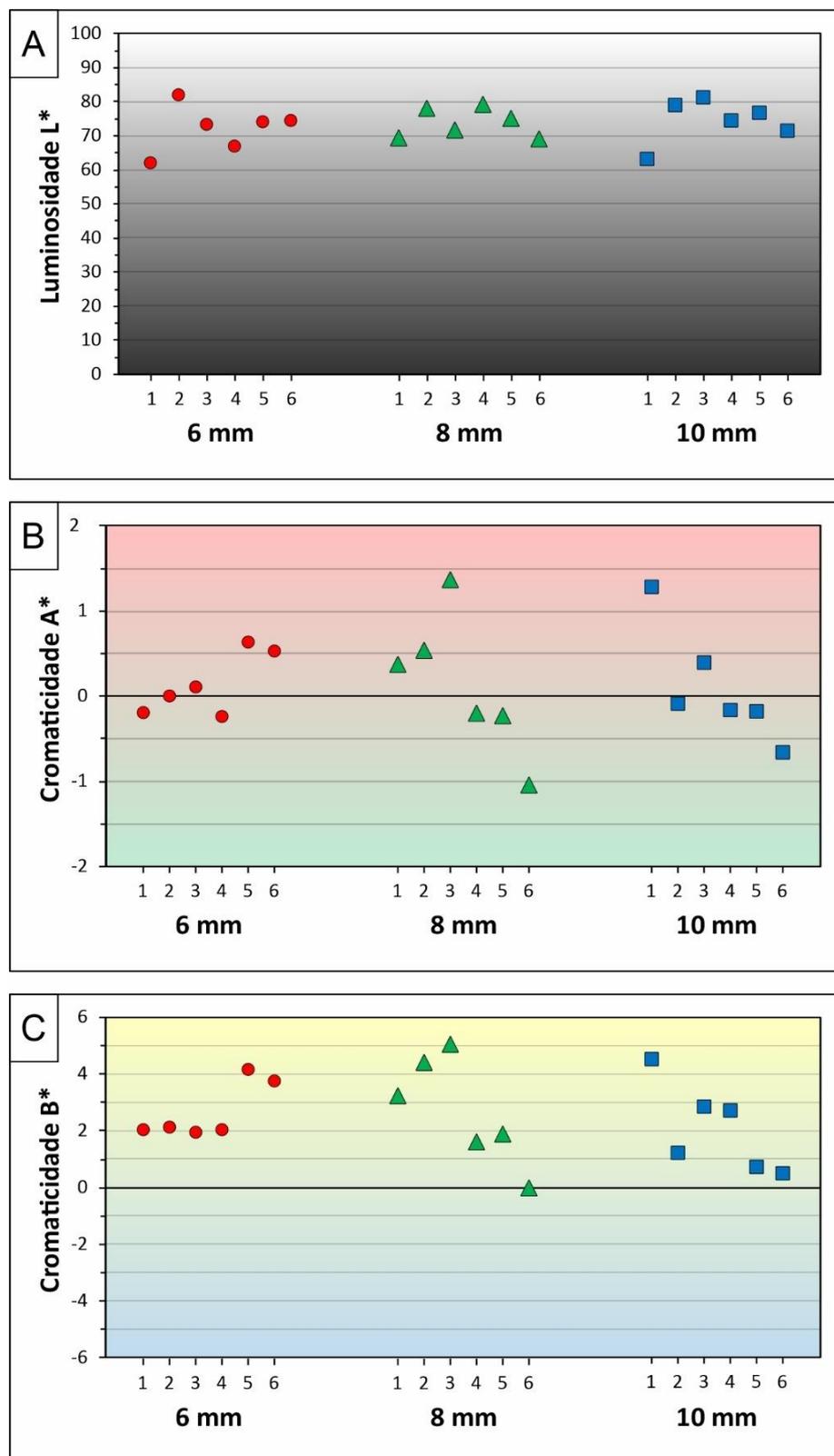


FONTE: Autora (2022).

A Figura 75 são apresentados os resultados de luminosidade, cromaticidade A*

e cromaticidade B^* , separadas entre amostras do mesmo grupo de espessuras.

Figura 75 – Resultados dos ensaios de colorimetria de: (A) Luminosidade L^* ; (B) Cromaticidade A^* ; e (C) Cromaticidade B^* , em amostras separadas por mesmo grupo de espessuras.



FONTE: Autora (2022).

Além dos resultados de Luminosidade L^* (Figura 75 A), no que se refere aos fatores da cromaticidade (A^* e B^*) as amostras possuem o componente de cor relacionado ao vermelho ao verde (indicado por A^*) e também pela componente do amarelo ao azul (indicado por B^*). Quanto a componente a^* , o lote varia de -0,67 a 1,33, que indica pouca contribuição destas cores na amostra, pois quanto mais próximo do positivo mais vermelha é a cor e quanto mais próxima do negativo mais verde é a cor (Figura 75 B). Quanto a componente b^* , os valores variam de -0,12 a 4,94, que indica que o lote tem tendência ao amarelo em comparação à componente azul (Figura 75 C), pois quanto mais próximo do positivo, mais amarela é a cor e quanto mais próxima do negativo mais azul é a cor.

5.1.3.2 Análise da Reflectância Difusa

O conjunto de dados obtidos para a reflectância do mármore Serra do Paraíso é variável, compreende um intervalo de 30,23% a 59,93%, analisando a faixa de interesse de 560 a 590 nm. Para este intervalo, foi selecionado o valor de 580 nm para indicar um único valor numérico para o conjunto de amostras (Tabela 4), que indica um comprimento de onda da faixa do amarelo, incluído no espectro emitido pela lâmpada incandescente. O espectro de reflectância difusa (RD) corresponde a valores de 30,23 até 59,93.

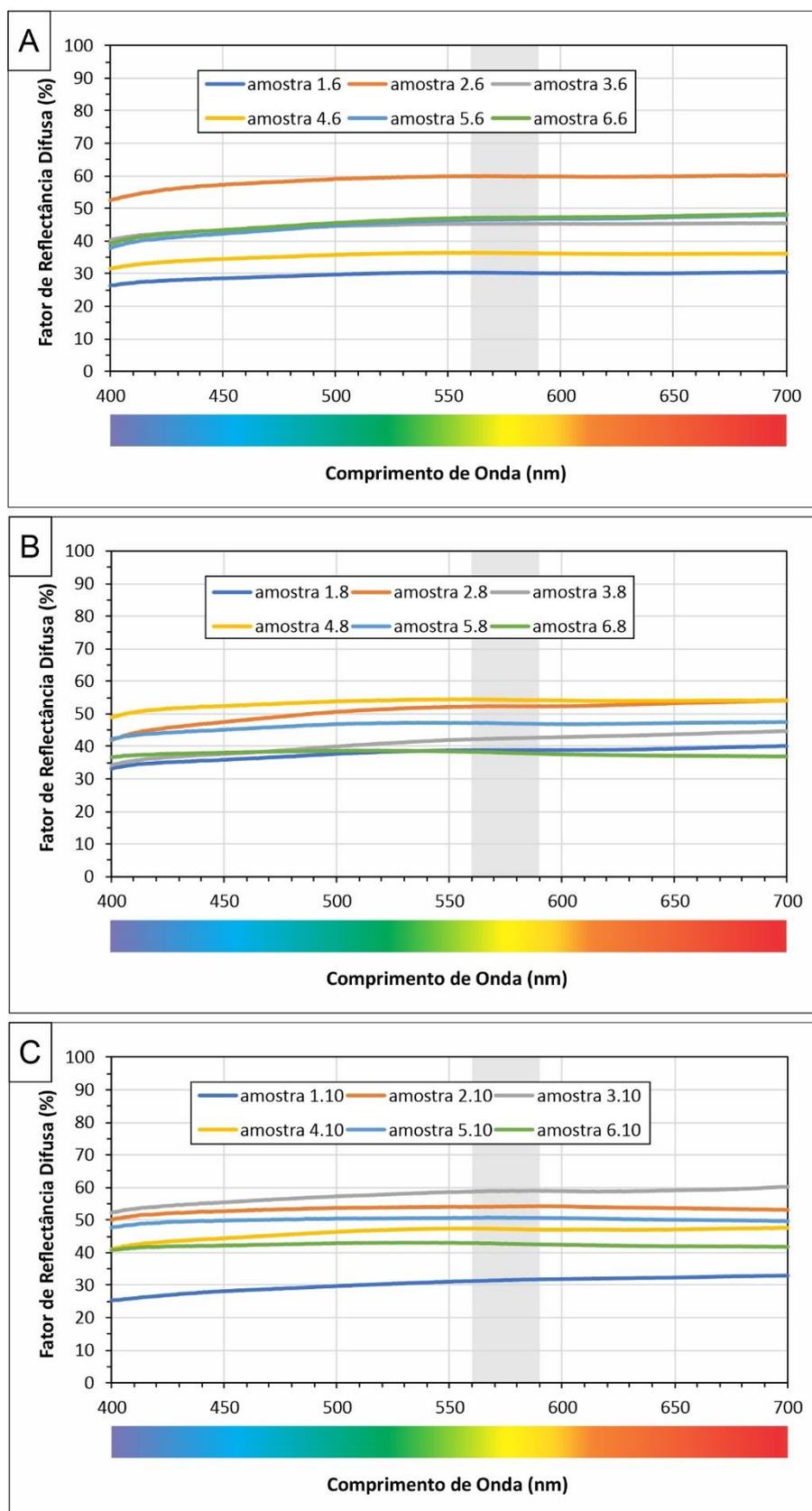
Tabela 4 – Valores de Reflectância Difusa (RD) para o comprimento de onda de 580 nm.

6 mm	RD	8 mm	RD	10 mm	RD
1.6	30,237	1.8	38,848	1.10	31,682
2.6	59,932	2.8	52,180	2.10	54,266
3.6	45,332	3.8	42,425	3.10	58,849
4.6	36,152	4.8	54,301	4.10	47,112
5.6	46,596	5.8	46,998	5.10	50,643
6.6	47,312	6.8	37,875	6.10	42,619

FONTE: Autora (2022).

Os gráficos da Figura 76 representam os fatores de reflectância de onda eletromagnética dentro do espectro visível, com destaque para o amarelo.

Figura 76 – Gráficos da reflectância difusa para o espectro eletromagnético da luz visível, para cada amostra do lote, dos grupos de (A) 6 mm; (B) 8 mm; e (C) 10 mm. A faixa cinza, no intervalo entre 560 e 590 nm é a faixa do amarelo, que é de interesse para este estudo. Cabe ressaltar que a espessura não influencia este dado, porém estão separadas em conjuntos para melhor visualizar os resultados.

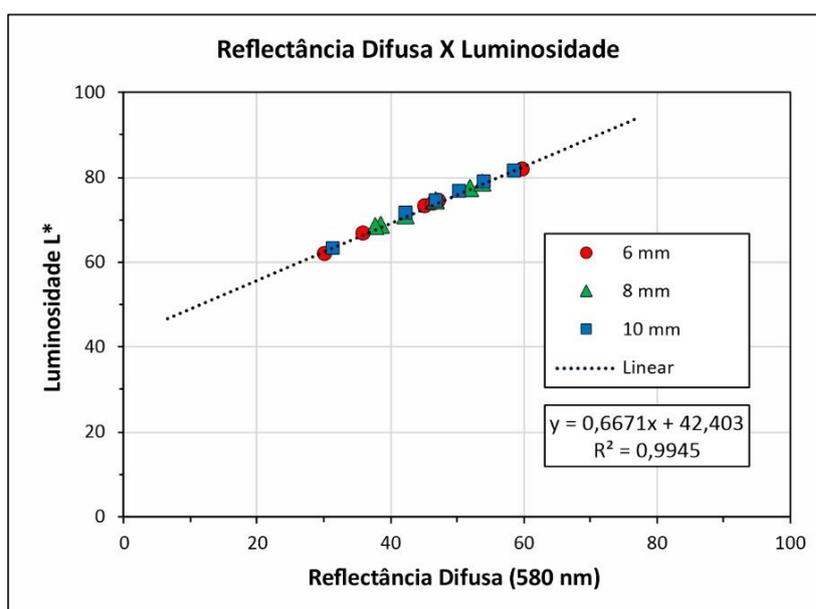


FONTE: Autora (2022).

Analisando a porção ensaiada (área de 39 mm²) em cada amostra individualmente, os valores de reflectância são aproximadamente uniformes para todo o espectro (400 a 700 nm). Este é um fator comum entre as amostras de cor branca (sem grandes índices de cromaticidade A* e B*). Para diferentes amostras, os fatores de reflectância indicam variação, pois está relacionado à composição mineralógica, ou seja, às propriedades ópticas de cada fase mineral (Figura 76), sugerindo, também, assim como indicou a dureza, que o material é heterogêneo.

Considerando as relações entre os valores obtidos para luminosidade, relacionadas aos tons de cinza, e aos valores de reflectância, relacionados à reflexão difusa, tem-se uma relação linear entre eles (Figura 77). Indicando que as amostras onde o L* é maior (mais branco) também são maiores os valores de Reflectância Difusa (RD), e quanto menor o L* (mais escuros), menores são os valores de reflectância. A razão entre L* e RD segue uma proporção linear com alta relação estatística ($R^2 = 0,994$).

Figura 77 – Relação linear entre valores de L* e RD para as amostras de todas as espessuras.



FONTE: Autora (2022).

5.2 Resultados do Mármore Serra do Paraíso Processado (com cavidades)

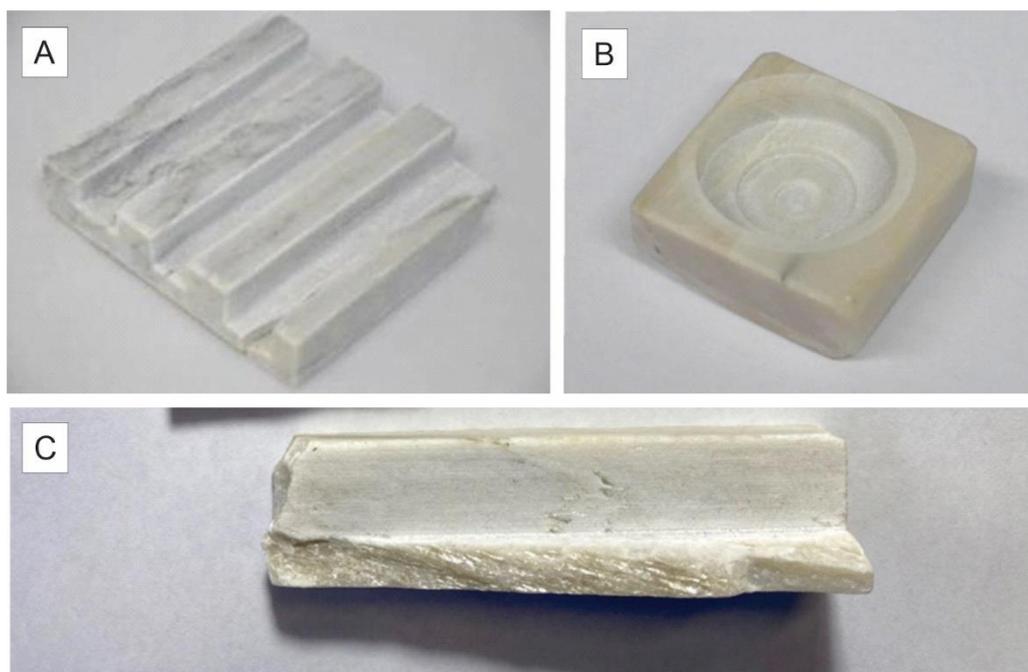
5.2.1 Usinagem

Como proposto nos métodos, o mármore Serra do Paraíso foi usinado com as

programações 2, 3, 4, 5 e 6. O processamento por usinagem CNC, através do fresamento realiza o desbaste das cavidades, para que nas espessuras determinadas, o efeito visual seja percebido, ou aconteça por retroiluminação (programações 2, 3 e 4) e para ensaios de resistência mecânica (programações 5 e 6). As primeiras amostras (programações 2 e 3) para verificação de possíveis efeitos visuais por retroiluminação foram produzidas no LDSM-UFRGS, em equipamento de escala laboratorial.

A amostra usinada na programação 2 foi quebrada após a usinagem, durante manuseio, a fratura ocorreu no trilho de espessura 6 mm. Cabe salientar que a região de desenvolvimento da fratura está relacionada a zonas de descontinuidade, formada pela textura granolepidoblásica, característica para este mármore e que está descrita na petrografia (Figura 78).

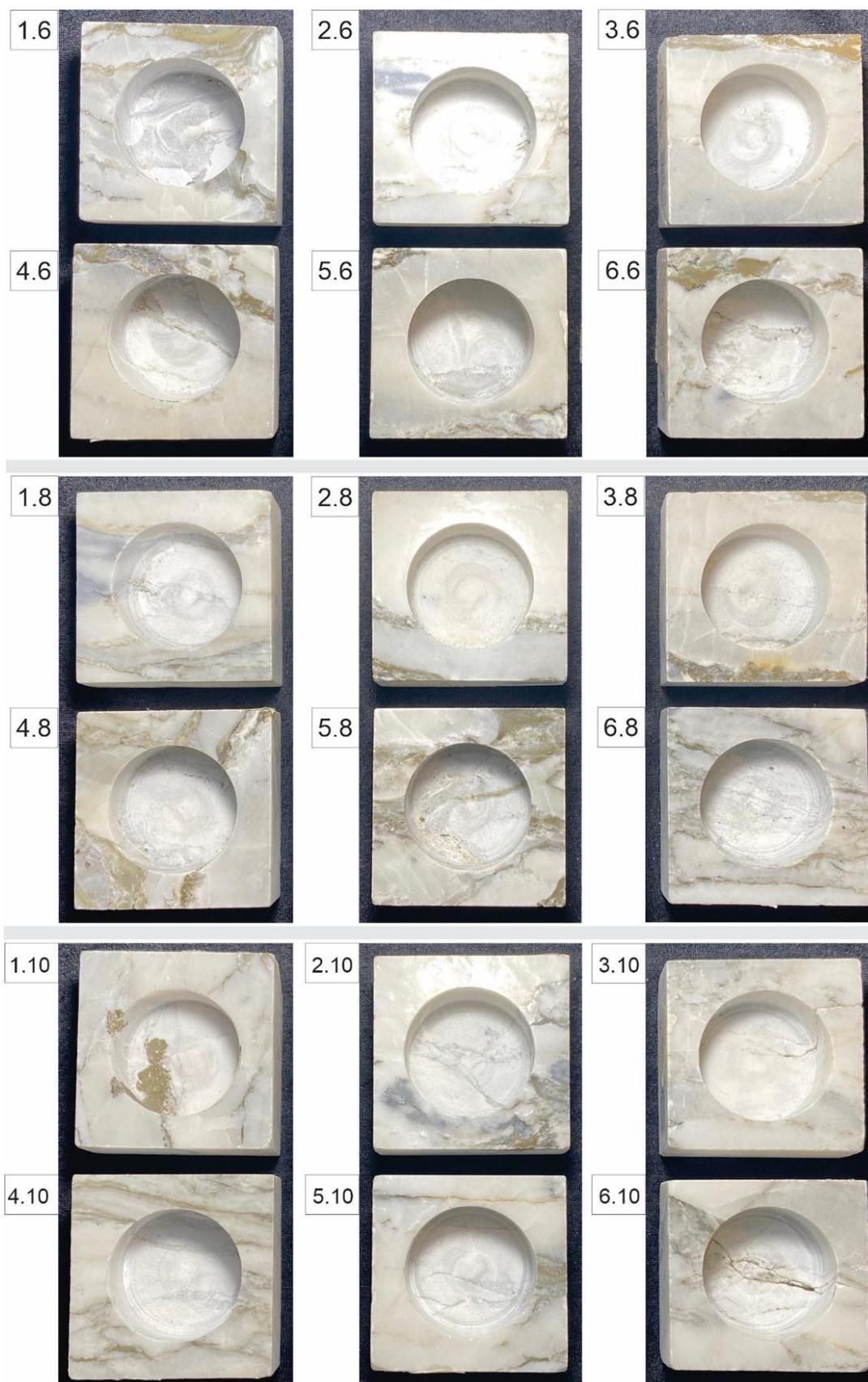
Figura 78 – Amostras usinadas do mármore Serra do Paraíso: (A) amostra usinada segundo programação 2, com trilhos de 6, 8 e 10 mm; (B) amostra usinada segundo programação 3, com cavidade de espessuras heterogêneas na parte interior e em (C) detalhe da face da fratura de parte da amostra da programação 2, quebrou no trilho de espessura de 6 mm.



FONTE: Autora (2022).

A amostra da programação 3 teve como intenção verificar diferenças de iluminação em uma cavidade com espessuras heterogêneas na parte interior. Esta usinagem, mostrou-se eficiente para o efeito visual pretendido, que será descrito nos itens subsequentes (iluminação). Para a programação 4, foram usinadas 18 amostras a fim de sistematizar a percepção da iluminação *versus* espessura das amostras (Figura 79).

Figura 79 – Amostras usinadas na programação 4, 18 unidades, divididas em três grupos segundo as espessuras: de 6 mm (numeradas 1.6; 2.6; 3.6; 4.6; 5.6 e 6.6); de 8 mm (numeradas 1.8; 2.8; 3.8; 4.8; 5.8 e 6.8); e de 10 mm (numeradas 1.10; 2.10; 3.10; 4.10; 5.10 e 6.10).

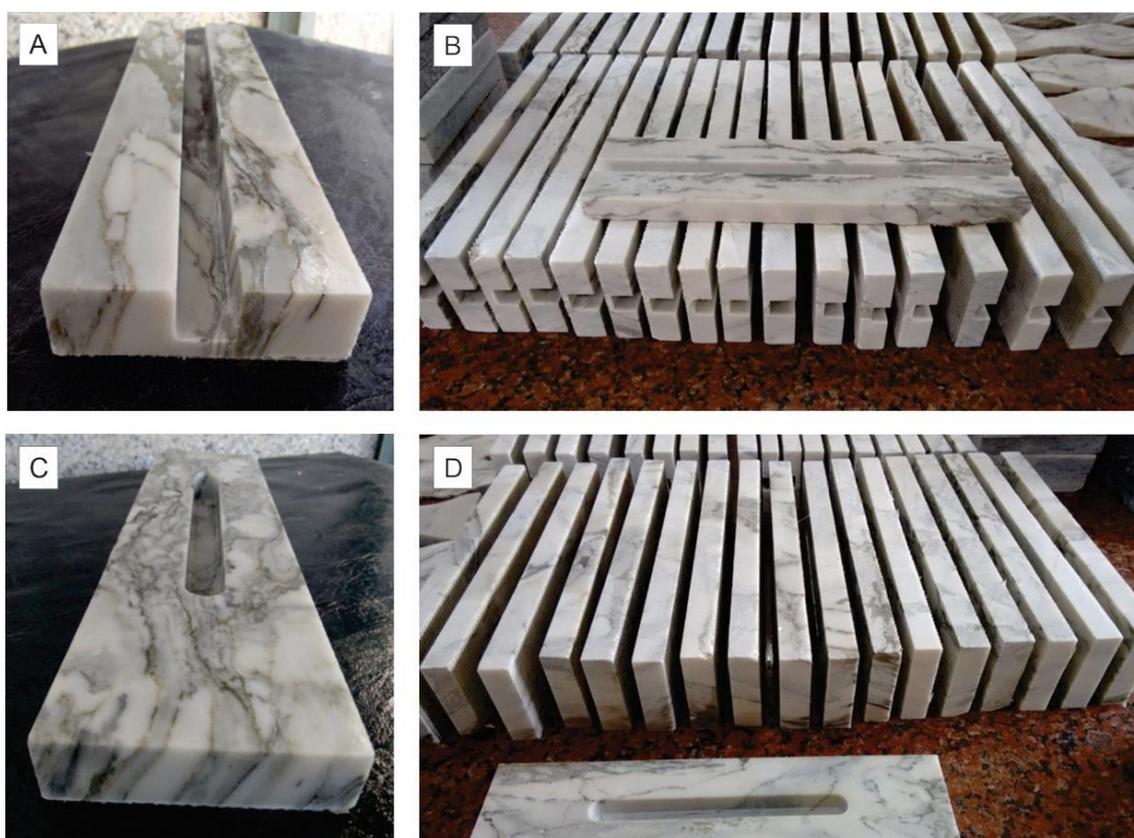


FONTE: Autora (2022).

Foram programadas cavidades circulares com diâmetro de 40 mm, e espessuras únicas restantes, dentro da cavidade, de 6, 8 e 10 mm. Foram produzidas 6 amostras para cada uma destas espessuras citadas. As dimensões programadas foram executadas com variações pouco perceptíveis à vista desarmada e sem uso de equipamentos. O diâmetro de 40 mm do círculo está uniforme para todas as amostras pois quando inserido no aparato para verificação da iluminação (Figura 71 do tópico 4.6), todas as amostras encaixaram perfeitamente no cano, que tem padrão de 40 mm de diâmetro externo. As pequenas irregularidades devem-se mais à espessura da placa original, do que pelo processo de usinagem. A amostra 6.10 apresentou rachadura e quebrou no manuseio durante as medições de transmitância.

Amostras das programações 5 e 6 têm como objetivo a medição da resistência à flexão (4 pontos). Foram usinadas 18 amostras em cada uma das programações, sendo um conjunto de 6 amostras para cada uma das espessuras, 6, 8 e 10 mm, conforme exemplificado na Figura 80.

Figura 80 – Amostras usinadas para ensaios de resistência: em (A) amostra de placa segundo programação 5; (B) grupo de amostras (sendo 6 amostras em cada espessura de cavidade 6, 8 e 10 mm); (C) Amostra de placa usinada segundo programação 6 e (D) conjunto de amostras (sendo 6 amostras em cada espessura de cavidade 6, 8 e 10 mm).



FONTE: Autora (2022).

Para a programação 4, a reprodução das programações 5 e 6 foram satisfatórias, porém, pode-se perceber que houve pequenas variações, no projeto em relação as espessuras do projeto. Por exemplo, as amostras com espessuras de 6 mm, tiveram um intervalo entre 5,11 e 6,52 mm, sendo a média das espessuras, para o lote de amostras, no valor de 6,05 mm. Para as amostras com 8 mm, a variação foi de 7,74 a 8,87 mm, sendo a média, para o conjunto, de 8,14 mm. Para as amostras de 10 mm, a variação foi de 9,42 a 10,45 mm, sendo a média, para o conjunto, de 9,73 mm. Estes dados estão contemplados com mais detalhes posteriormente, na Tabela 5, analisada sob o aspecto de resistência à flexão.

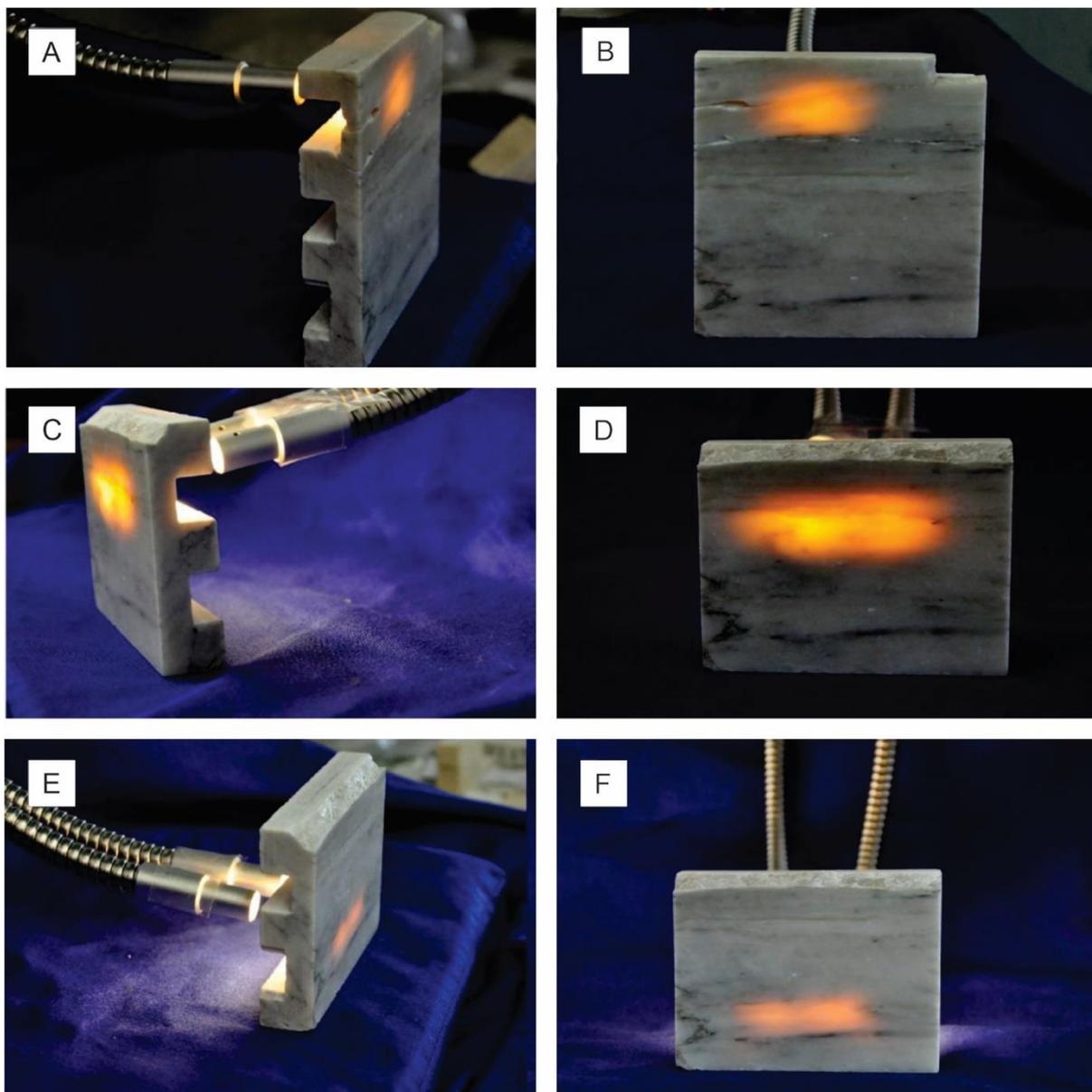
5.2.2 Resultados de amostras retroiluminadas

Os ensaios de retroiluminação das amostras da programação 2 e 3, foram de caráter ilustrativo. Não tendo uma forma de quantificar a o efeito visual embora permita ser detectado visualmente, de modo qualitativo, por um observador a frente à amostra. Nesse sentido, a Figura 81 a seguir apresenta os resultados dos ensaios de retroiluminação no mármore Serra do Paraíso, mostrando a iluminação aplicada nos trilhos usinados de 6; 8; e 10 mm, com vistas em perspectiva, mostrando a fonte da luz, e com vistas frontais, mostrando o efeito visual observável. Segundo a programação 2, as amostras ensaiadas apresentam rebaixos na forma de cavidades abertas em espessuras restantes obtidas de 6 mm (Figura 81 A e B); de 8 mm (Figura 81 C e D); e de 10 mm (Figura 81 E e F).

Ao analisar o ensaio de retroiluminação com luz direcional, com a fonte de 50 W em corpo de prova de mármore Serra do Paraíso, constatou-se que a passagem de luz ocorreu em todas as espessuras finais ensaiadas, porém na espessura de 10 mm, em menor intensidade. Já nas amostras com espessuras de 6 mm e de 8 mm a passagem da luz ocorreu de forma mais intensa.

O ensaio de iluminação direcional do mármore Serra do Paraíso, realizado na amostra usinada conforme a programação 3, em cavidades em forma de círculos concêntricos, com espessuras escalonadas em patamares de 6, 8 e 10 mm, observou-se a luz mais intensa nas espessuras mais finas (Figura 82). Na Figura 82 A e B, é observado a amostra na vista frontal, com passagem de luz em maior evidência justamente na parte onde as espessuras são referentes a 8 e 6 mm. Na espessura de 10 mm a passagem de luz na cavidade é de menor intensidade.

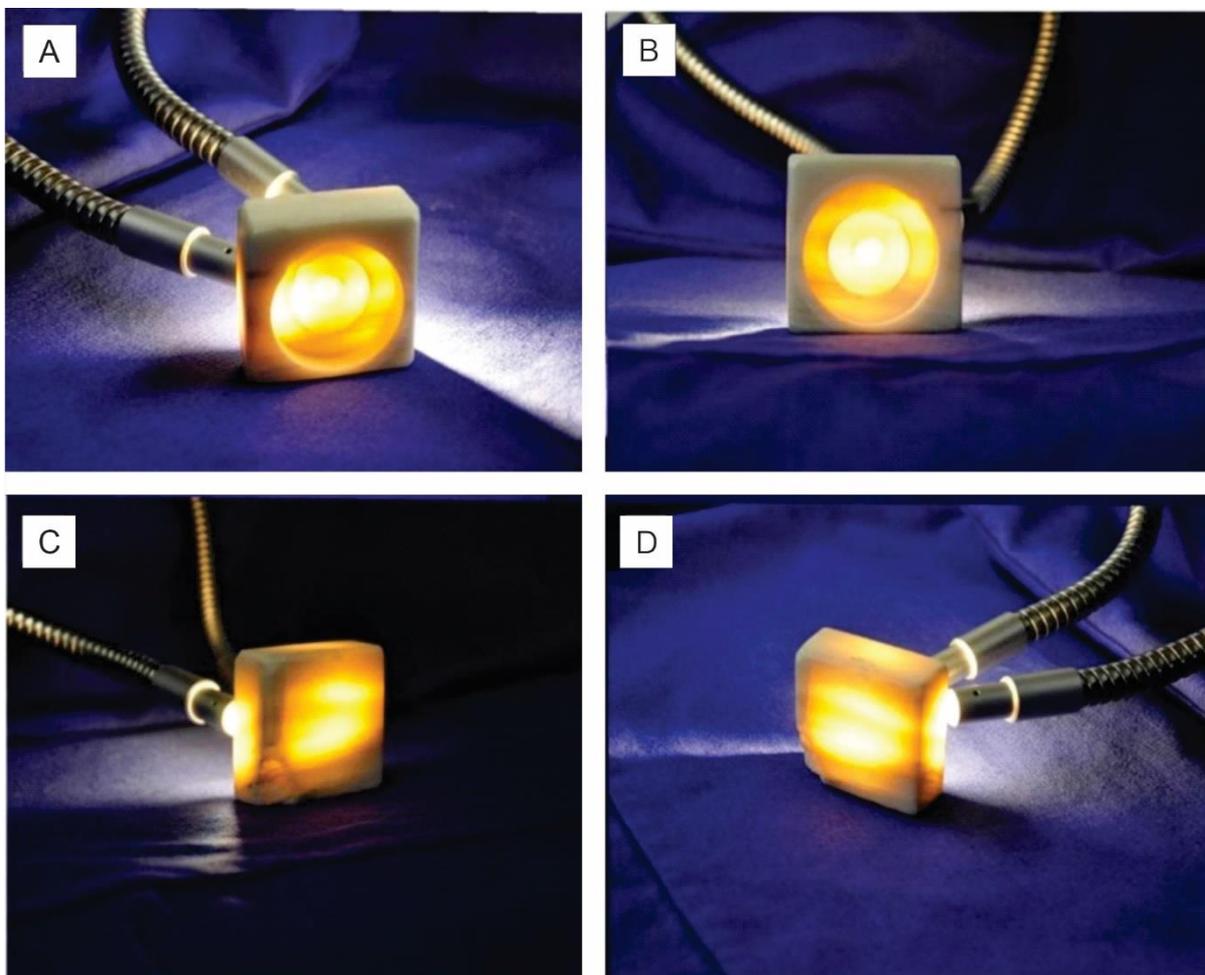
Figura 81 – Resultados dos ensaios de retroiluminação no mármore Serra do Paraíso: (A) Vista em perspectiva mostrando iluminação aplicada no trilho de espessura restante de 6 mm; (B) vista frontal com iluminação propagada 6 mm; (C) Vista em perspectiva mostrando iluminação aplicada no trilho de espessura restante de 8 mm; (D) Vista frontal com iluminação propagada em espessura de 8 mm; (E) Vista em perspectiva mostrando iluminação aplicada no trilho de espessura restante de 10 mm e (F) Vista frontal com iluminação propagada em espessura de 10 mm, apresenta luminosidade em menor intensidade que as espessuras anteriores.



FONTE: Autora (2022)

Já na Figura 82 C e D, com as amostras posicionadas de forma posterior, a propagação da luz também está em evidência na parte central do mármore, com dimensões menores de espessura de cavidade, mas também é possível notar-se a existência de luz nas laterais do bloco usinado.

Figura 82 – Resultados dos ensaios no mármore Serra do Paraíso: (A) vista perspectiva com luz aplicada na parte posterior com a cavidade vista da posição frontal, permite visualizar os relevos; (B) vista frontal com cavidade posicionada na porção frontal e a luz aplicada na porção posterior da placa; (C) e (D) vista em perspectiva com luz aplicada na parte posterior e a cavidade direcionada para a posição posterior da amostra, onde as partes lateral e superior da amostra também apresentam propagação da luz;

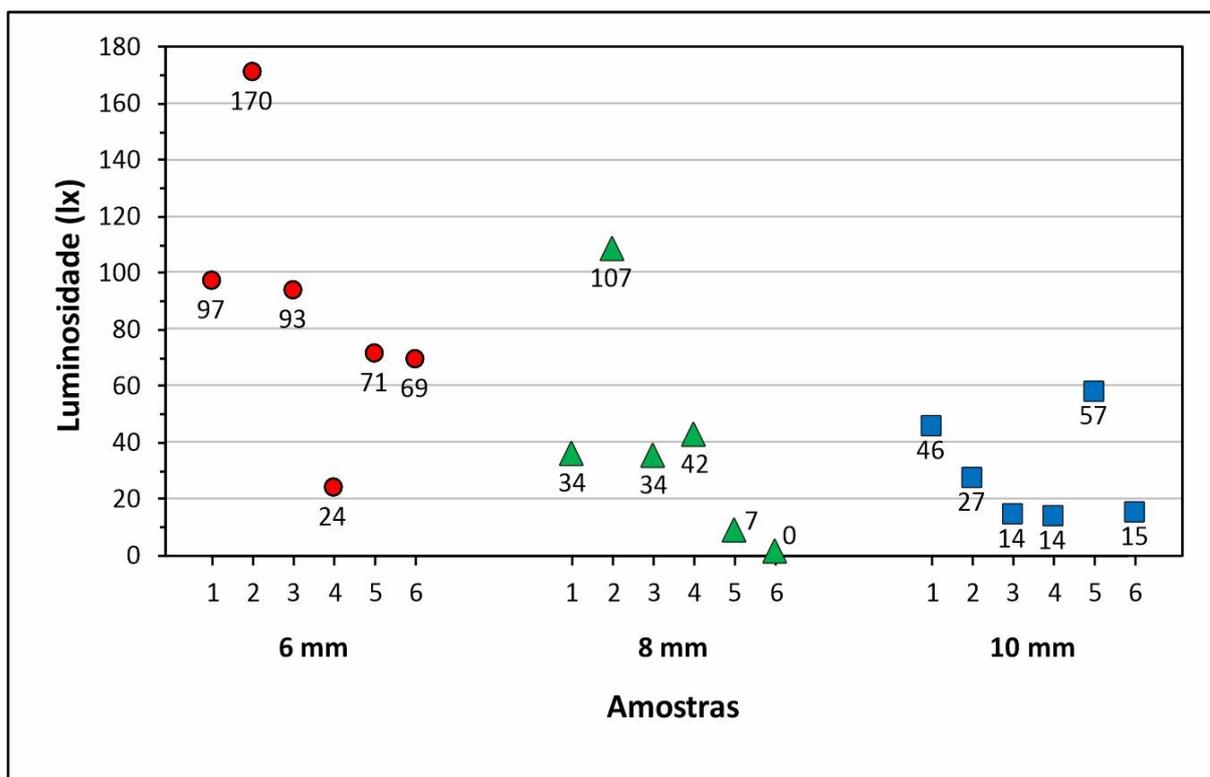


FONTE: Autora (2022)

5.2.2.1 Transmitância

As amostras usinadas com a programação 4 (18 amostras), divididas em três grupos, com espessuras de 6, 8 e 10 mm, foram analisadas quanto à transmissão da luz por retroiluminação. Para isso, foi utilizado o aparato desenvolvido para esta pesquisa, de modo que os resultados são quantificados pelo luxímetro, que fornece valores de transmitância em lux (lx). Os resultados aferidos pelas medições encontram-se apresentados na Figura 83, separados por grupos de amostras conforme suas espessuras e numeração atribuída.

Figura 83 – Medidas da quantificação do luxímetro na retroiluminação, separados por amostras agrupadas entre as medidas de 6; 8; e 10 mm.



FONTE: Autora (2022).

As medições resultantes com a maior passagem de luz ocorreram nas amostras com espessuras de 6 mm. Nota-se que na espessura de 6 mm, temos as medições variando de 29 a 170 lx, sendo que a amostra 2.6 registrou o maior valor de transmitância. As amostras de 8 mm, tiveram valores relativamente mais baixos, variando de 0 a 107 lx. Cabe ressaltar que a amostra 6.8 (Figura 83) apresentou uma transmitância muito baixa detectada pelo luxímetro. Já nas amostras com espessuras de 10 mm, os valores ficaram entre 14 e 57 lx. Este foi o grupo que apresentou os valores mais baixos de transmitância detectados pelo luxímetro.

Os valores médios dos grupos de amostras de 6 mm, 8 mm e 10 mm foram de 87,8 lx, 37,4 lx e 28,8 lx, respectivamente. Isso representa uma diminuição média de transmitância de cerca de 57% ao aumentar a espessura de 6 mm para 8 mm e de 67% ao aumentar de 6 mm para 10 mm. Já aumentar a espessura de 8 mm para 10 mm representa uma diminuição de cerca de 23% da transmitância. Isso significa que conforme as dimensões são mais espessas o decréscimo na transmitância é reduzido; por outro lado, com dimensões mais finas, poucas modificações de dimensões já diminuem bastante a transmitância das amostras.

Outro fator que vale observar é com relação à variabilidade das amostras. Segundo as medições realizadas no aparato, o grupo de amostras com 6 mm de espessura apresentou a maior variação na transmitância, com um desvio-padrão de cerca de $\pm 46,7$ lx entre as medições, ao passo que os grupos de amostras de 8 mm e de 10 mm apresentaram desvios-padrão de cerca de $\pm 37,7$ lx e $\pm 18,5$ lx, respectivamente. Podemos notar, então, que quanto menor é a espessura das amostras, mais sujeitas elas estão a apresentarem uma variação maior na transmitância, ou seja, mais sensíveis elas são a mudanças na sua estrutura com relação à retroiluminação.

Com as medições dos valores de retroiluminação nas amostras, os resultados indicam que os minerais presentes na rocha influenciam para os diferentes níveis de transmitância de luz. As regiões mais claras correspondem aos carbonatos e viabilizam um melhor resultado de transmitância e de efeito visual. Já as regiões cinzas correspondem às micas e as pretas aos metálicos. A Figura 84 apresenta fotografias representativas das amostras observáveis no aparato desenvolvido, juntamente com os resultados das análises de cor e brilho por meio de histogramas.

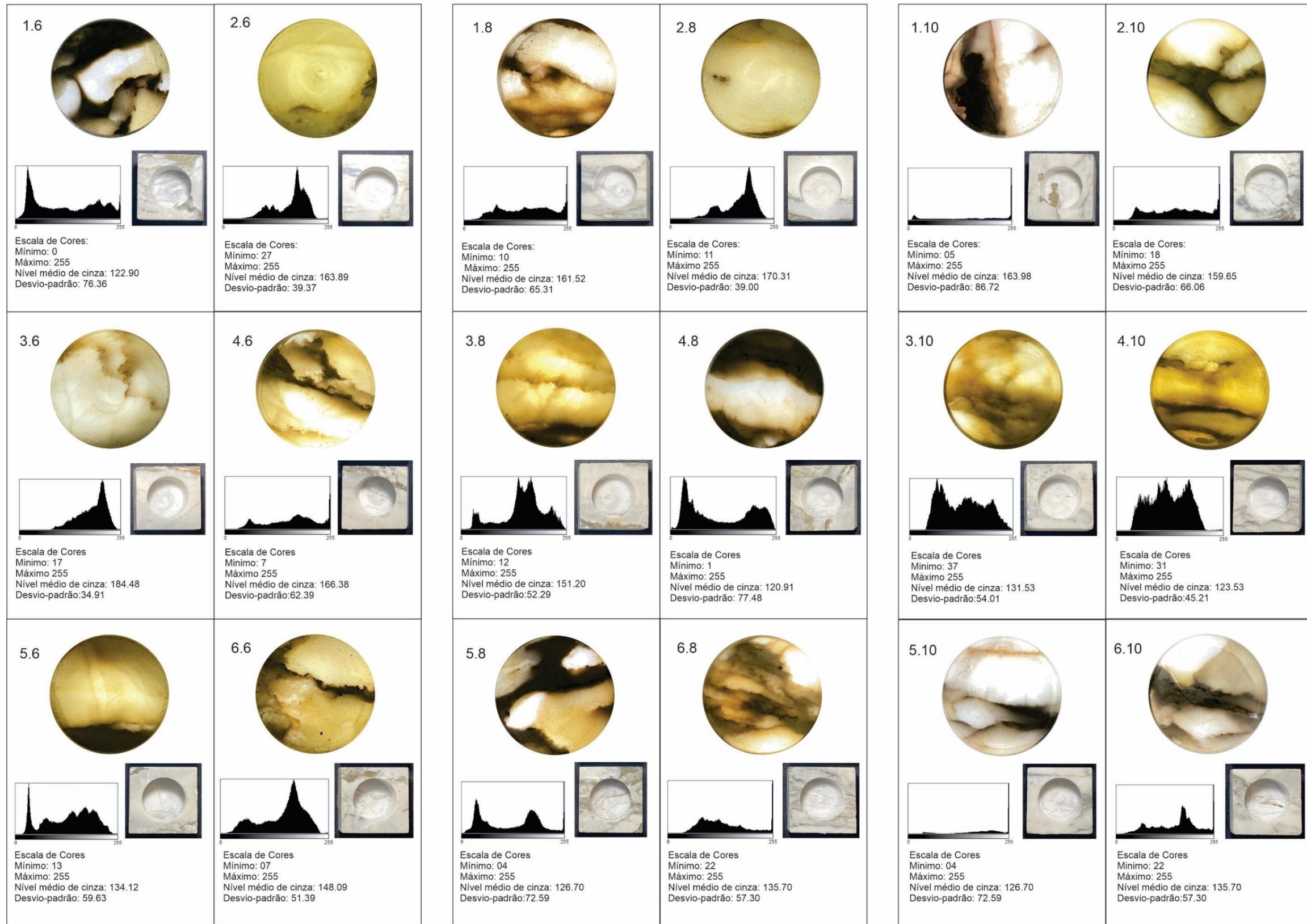
O efeito da luz pode ser percebido em algumas amostras ainda que o luxímetro tenha registrado valores relativamente baixos de transmitância. Pode-se perceber, por exemplo, que na amostra 4.10 (visto no gráfico da Figura 83) o valor mensurado é de cerca de 14 lx, ainda que o efeito visual observado (Figura 84) seja bem interessante. Neste caso, pode-se aventar que a luz permanece difusa, ou seja, internamente, na amostra e não atravessa o material para ser mais bem detectada pelo luxímetro.

É importante destacar também que as medições foram realizadas de maneira não-pontual, devido à abrangência do luxímetro ser de uma região de cerca de 25 mm de diâmetro, conforme o aparato utilizado. Assim, conforme a região usinada em uma mesma amostra é possível obter-se diferentes níveis de medições da passagem da luz dependendo de onde a mesma é localizada.

5.2.2.1 Análise Visual de Brilho e Cor – Histogramas

A análise do efeito visual da aplicação do feixe de luz nas amostras pode ser percebida pelas cores presentes nas imagens obtidas por fotografias das amostras retroiluminadas, de acordo com a Figura 84. Entretanto, os resultados obtidos pelas imagens também podem ser analisados de uma maneira quantitativa, através da visualização de Histogramas.

Figura 84 – Imagens representativas das amostras observadas pelo aparato desenvolvido, juntamente com os histogramas de quantificação de brilho. Ao lado dos histogramas estão imagens das amostras sem retroiluminação



FONTE: Autora (2022).

Como explicado anteriormente no tópico 4.7, o histograma apresenta um somatório de valores de pixels em cada imagem, os quais são distribuídos de 0 até 255, totalizando 256 valores de cinza, conforme encontrados em imagens de 8-bits. Nos histogramas, o valor 0 representa o preto e o valor de 255 representa o branco. Já os valores intermediários representam os tons de cinza.

Pode-se identificar que o valor 0 (zero ou próximo a zero) está relacionado às porções da rocha com presença de minerais metálicos, como a pirita, que são, por definição, opacos. Ou seja, a luz incidente por retroiluminação, não se propaga, é refletida ou absorvida e, deste modo, deixa o registro na imagem na coloração preta, ou cinza escuro. Quando os registros estão próximos a valores de 255, podem estar relacionados às porções mais calcíticas da rocha, que apresentam aspecto mais claro na imagem, e, portanto, possuem maior capacidade de retroiluminação.

O grupo de amostras de 6 mm apresentou uma variação de níveis médios de cinza de 122,9 (amostra 1.6) até 184,5 (amostra 3.6); o grupo de 8 mm variou de 120,9 (amostra 4.8) até 170,3 (amostra 2.8); já o grupo de 10 mm, de 123,5 (amostra 4.10) até 191,5 (amostra 5.10). As amostras com 6 mm, 8 mm e 10 mm de espessura apresentaram valores de brilho médio de 153,3; 144,4 e 155,19, respectivamente.

Ainda que o grupo de 6 mm tenha apresentado um valor médio de brilho observado nas fotografias menor que o do grupo de 8 mm, é possível destacar algumas exceções que foram responsáveis por essa variação, como as amostras 1.6 e 1.5. Essas amostras, apesar de possuírem uma média geral mais baixa (mais escuras), também possuem valores de desvio-padrão mais altos, ou seja, apresentam uma maior variabilidade de cinzas claros e escuros.

Os resultados mostraram que mesmo o mármore apresentando regiões mais claras (compostas por carbonatos – dolomita e calcita), beges (por manchas de oxidação provenientes de microcristais de rutilo) e cinzas (por muscovita, quartzo, pirita e serpentinita, que se associam a sulfetos), a luz pode ser transmitida com maior e menor intensidade, a depender das espessuras empregadas.

5.2.3 Ensaios de Resistência Mecânica nas amostras usinadas

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão em 4 pontos, para os grupos de placas com cavidades abertas com espessuras que possibilitam a passagem de luz (6, 8 e 10 mm) são apresentados na Tabela 5 e na Figura 85, para permitir uma

análise visual da correlação entre eles. Os resultados são apresentados com relação às espessuras aferidas durante a medição (eixo X) em função dos valores obtidos de resistência à flexão (eixo Y). As amostras do grupo de 6, 8 e 10 mm foram agrupadas em círculos vermelhos, triângulos verdes e quadrados azuis, respectivamente.

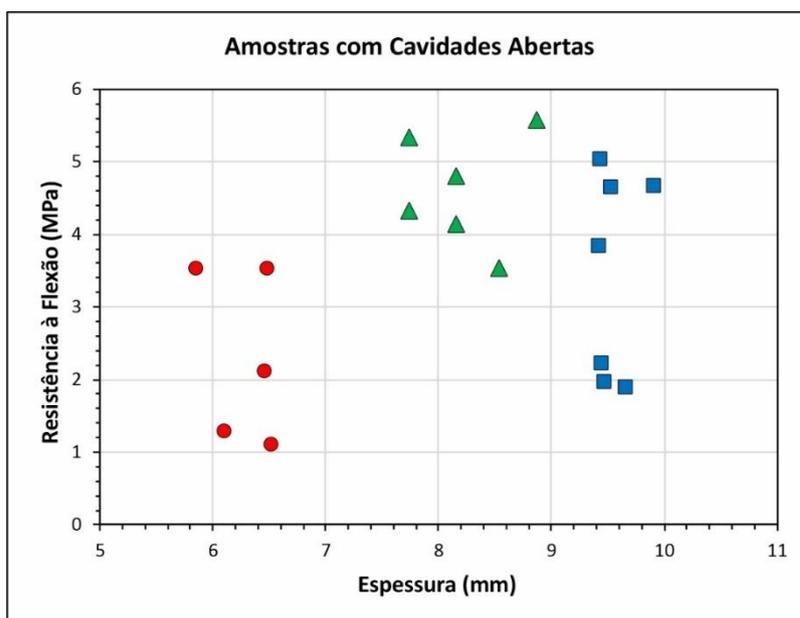
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão em função de sua espessura medida, para amostras com cavidades abertas e fechadas, agrupadas em grupos de aproximadamente 6, 8 e 10 mm

	Cavidades Abertas		Cavidades Fechadas	
	Espessuras (mm)	Resistência à flexão (MPa)	Espessuras (mm)	Resistência à flexão (MPa)
Grupo 6 mm	5,85	3,53	5,11	3,01
	6,10	1,29	5,95	3,44
	6,45	2,11	5,97	3,11
	6,48	3,52	5,98	2,12
	6,52	1,11	6,04	3,39
Grupo 8 mm	7,74	4,31	7,81	1,24
	7,74	5,33	8,00	2,85
	8,16	4,14	8,07	2,05
	8,16	4,79	8,15	2,52
	8,54	3,52	8,26	1,81
	8,87	5,57		
Grupo 10 mm	9,42	3,83	9,71	2,29
	9,43	5,04	9,86	1,73
	9,44	2,23	9,87	4,67
	9,47	1,97	10,05	3,22
	9,52	4,64	10,45	4,21
	9,66	1,89		
	9,90	4,66		

FONTE: Autora (2022).

De modo geral, as amostras dos grupos de 6, 8 e 10 mm apresentaram valores de resistência à flexão médios de 2,31 MPa, 4,61 MPa e 3,47 MPa, respectivamente. Isso representa um aumento da resistência das amostras de 8 e 10 mm em comparação com as de 6 mm, ainda que as amostras de 10 mm tenham apresentado um valor médio inferior às de 8 mm. Nota-se também que as amostras de 6 mm e de 10 mm apresentaram maiores desvios-padrão, de $\pm 1,17$ MPa e $\pm 1,39$ MPa, respectivamente. Assim, nota-se que mesmo que um aumento de espessura leve a um aumento na resistência à flexão, as características de cada amostra (composição, estrutura, fissuras) também são essenciais para uma heterogeneidade nos resultados.

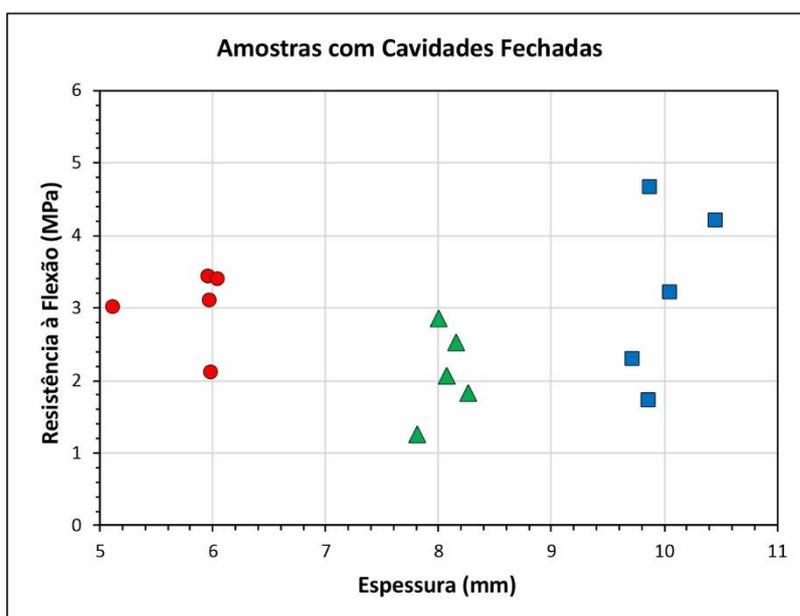
Figura 85 – Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão para amostras com cavidades abertas em função de sua espessura medida, em que as amostras do grupo de 6, 8 e 10 mm foram agrupadas em círculos vermelhos, triângulos verdes e quadrados azuis, respectivamente.



FONTE: Autora (2022).

A Figura 86 apresenta os resultados de resistência à flexão em função das espessuras reais com as amostras com cavidades fechadas, também agrupadas entre círculos vermelhos, triângulos verdes e quadrados azuis para os grupos de 6, 8 e 10 mm, respectivamente.

Figura 86 – Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão para amostras com cavidades fechadas em função de sua espessura medida, em que as amostras do grupo de 6, 8 e 10 mm foram agrupadas em círculos vermelhos, triângulos verdes e quadrados azuis, respectivamente.



FONTE: Autora (2022).

Diferentemente do ensaio anterior (cavidades abertas), neste ensaio as amostras do grupo de 8 mm apresentaram um valor médio menor que as do grupo de 6 mm (2,09 MPa em comparação com 3,01 MPa) ainda que com um desvio-padrão maior ($\pm 0,63$ MPa em comparação com $\pm 0,53$ MPa). Já o grupo de 10 mm obteve a maior média de resistência à flexão (3,22 MPa), ainda que com um desvio-padrão também maior ($\pm 1,24$ MPa).

Dentre as espessuras de passagem de luz, utilizando 6, 8 ou 10 mm, não há uma diferença significativa que indique a escolha de uma espessura específica perante outra, visto que elas não seguem uma relação estatisticamente direta de espessura por resistência à flexão, perante o grupo amostral utilizado. Por exemplo, em ambos os tipos de amostras, com cavidades abertas e fechadas, foram os corpos de prova do grupo amostral de 8 mm que apresentaram o maior valor geral (5,57 MPa) e o menor valor geral (1,24 MPa), respectivamente, o que comprova a heterogeneidade natural do material.

Como comentado anteriormente, dada à complexidade do material, fatores intrínsecos ao material devem ser levados em consideração na análise do resultado de resistência. Tais características podem ser condicionadas às indicadas pelos constituintes mineralógicos e pela petrografia, que identifica zonas descontínuas constituídas por minerais filossilicáticos. Entretanto, mesmo com um número limitado de amostras, é possível verificar de modo geral que: (i) quanto menor é a espessura obtida na região usinada, menor tende a ser a resistência à flexão da placa; e (ii) amostras com cavidades abertas tendem a apresentar médias superiores de resistência à flexão que as com cavidades fechadas, apesar de, também apresentarem maiores desvios-padrão (variabilidade).

Com base nas quantidades de amostras avaliadas, é possível afirmar que a cavidade aberta e a cavidade centralizada também alcançam resultados de resistência bastante variados, os quais não são, necessariamente, maiores ou menores em virtude da configuração escolhida para a cavidade. Assim, é importante destacar que devido à tamanha variabilidade natural do material rochoso, para uma relação Espessura X Resistência estatisticamente conclusiva seria necessário um número amostral muito maior, o que seria inviável. Portanto, ressalta-se que a resistência está mais associada às características de composição mineralógica e arranjo do que, propriamente, de espessura e forma das cavidades nas amostras usinadas.

As placas do Mármore Serra do Paraíso que foram ensaiadas quanto á flexão

em placa sólida sem cavidades usinadas apresentaram um valor médio de resistência de 6,46 MPa (quadro x Caracterização Tecnológica MSP) para placas perpendiculares em estado natural (seco). Para uma análise comparativa, as placas após a intervenção do processo de retirada de material por usinagem, apresentaram valores médios de 2,31 MPa, 4,61 MPa e 3,47 MPa, em cavidades abertas e de 3,01 MPa, 2,09 MPa e 3,22 MPa, em amostras com cavidades fechadas para as espessuras de 6, 8 e 10 mm. Os resultados dos valores após a intervenção classificam o uso das referidas placas como aplicação ornamental, devida a sua resistência. Portanto sua aplicabilidade pode ser no âmbito da arte e do design em painéis decorativos para paredes internas e objetos de design com placas retroiluminadas. E não apresentará resistência para finalidade protetiva e estrutural em usos como revestimento de degraus e pisos e em fachadas e áreas externas os quais as normas para mármore, aplicados como revestimento sugerem valores de ≥ 7 MPa (ASTM C 503) e de $\geq 5,8$ MPa (ASTM C 97).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa foram estudados mármore ornamentais comerciais, para serem processados por usinagem CNC e com este processo, obter capacidade de transmissão da luz, para gerar efeitos visuais que serão aplicados em produtos de design, tal como painéis decorativos retroiluminados.

A fase da Seleção de Materiais indicou que as rochas que podem ser destinadas ao processamento por usinagem CNC devem transmitir luz nas espessuras definidas neste estudo e que assim poderão gerar efeito visual por retroiluminação. Nesta etapa de seleção foram excluídos os mármore de coloração preta e verde, denominados de Nero e Verde, comercialmente, pois estes mármore não transmitiram luz nas cavidades usinadas. Assim, pôde-se indicar que mármore predominantemente brancos a acinzentados, como o Carrara, irão desenvolver efeitos visuais a partir do processo de usinagem CNC por desbaste de material.

Dados estes resultados preliminares, o Mármore Serra do Paraíso, de coloração clara, branco e cinza com porções beges, foi selecionado como estudo de caso para processamento e geração de efeitos visuais em placas retroiluminadas. Esta rocha ornamental carbonática, é extraída no nordeste do país e foi estudada no que diz respeito à sua capacidade de retroiluminação após as intervenções por processo de usinagem CNC. Diferentes amostras foram usinadas para a obtenção de espessuras específicas de 6, 8 e 10 mm para verificar como se dá a transmitância de luz. Os resultados mostraram que mesmo o mármore sendo heterogêneo no aspecto colorimétrico, com regiões mais claras, cinzas e beges, a luz pode ser transmitida nas espessuras 6,8 e 10mm com maior ou menor intensidade, a depender também das espessuras empregadas.

Os dados da dureza Knoop também indicam heterogeneidade, devida à variação dos minerais presentes, sendo então recomendado o uso de ferramenta diamantada para realizar o processamento de fresagem.

Os efeitos de iluminação foram analisados pela quantidade de luz transmitida através das espessuras, denominada de transmitância. Esses efeitos foram percebidos, também, por luz difusa na própria área da amostra. Esta luminosidade difusa pôde ser quantificada pelo estudo de tons de cinza da imagem da amostra iluminada. Os histogramas relacionados às variações de tons de cinza, refletem as diferenças relacionadas à translucência e opacidade dos minerais que constituem este

mármore.

Os resultados dos ensaios de resistência nas amostras com cavidades abertas ou fechadas não sugerem que existem diferenças relevantes entre as geometrias de desbaste estudadas. Assim, não há uma recomendação específica que dê preferência para uma ou outra forma de cavidade.

Quanto à modificação das propriedades da rocha do ponto de vista de resistência mecânica, cabe salientar que estas são modificadas após o processo de usinagem, pela subtração de material do sólido rochoso. De modo que pelas normas de aplicações da ASTM, como os índices físicos foram reduzidos, exclui-se este material usado para projetos estruturais, revestimento de pisos, degraus, paredes externas e fachadas. Sendo assim, as placas processadas podem ser selecionadas para usos em painéis decorativos para ambiente interno e em situações de uso que não sejam expostas à esforços fletores.

Por fim, cabe ressaltar a importância de se estudar e analisar matérias primas naturais do país para uma maior valorização do material via projetos com beneficiamento visando a novas aplicações.

6.1 Diretrizes para projetos decorativos com efeitos da retroiluminação

Este estudo sugere diretrizes para profissionais da área de design, arquitetura, decoração e engenharia, que podem ser aplicadas no desenvolvimento de projetos de geração de efeitos visuais por retroiluminação através da interação da luz em cavidades desbastadas por usinagem CNC. Devem ser associados os quesitos que consideram a luminosidade transmitida e difusa quando retroiluminado, a constituição mineralógica e a resistência mecânica.

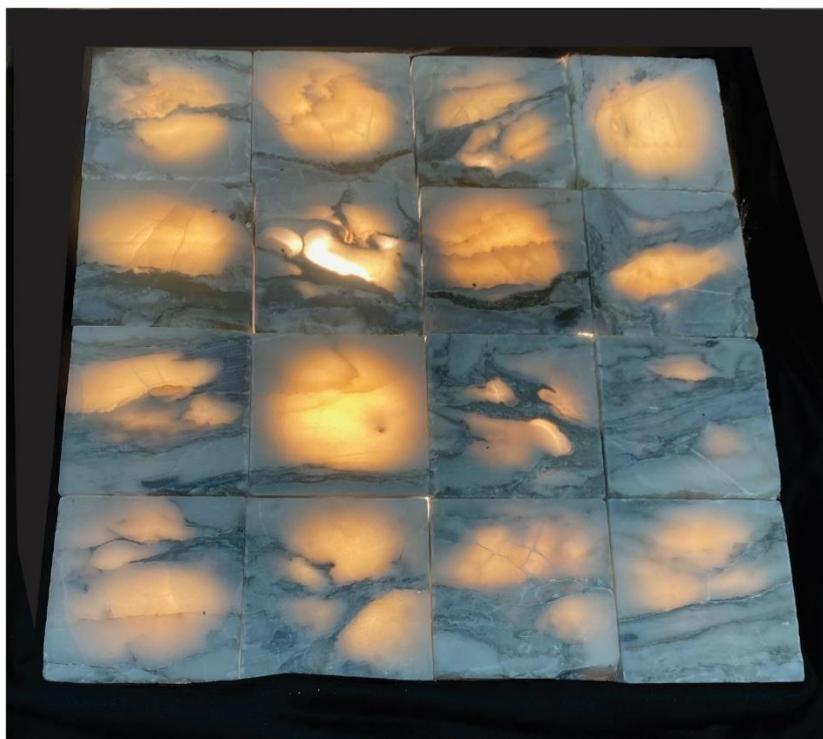
Quanto à espessura, mais do que sugerir uma única opção para a aplicação em projetos decorativos para retroiluminação, são elencadas algumas diretrizes a serem consideradas no projeto. A utilização de placas usinadas com cavidades em espessura de 8mm desenvolve efeitos satisfatórios de luminosidade e mantém bons resultados de resistência mecânica. Espessuras de 6mm tendem a ter mais luminosidade, porém se a usinagem for realizada em grandes proporções da superfície da rocha a resistência mecânica será prejudicada. A espessura de 10mm também apresentou um efeito visual de luminosidade e difusão satisfatórios, ainda que a quantificação da

transmitância tenha ocorrido em menor grau. A utilização desta espessura poderá propiciar aumento da resistência mecânica.

No aspecto relacionado à constituição mineralógica da amostra, dependendo da região escolhida para ser realizada a cavidade, o profissional poderá esperar um tipo de efeito que será gerado pela usinagem. Regiões mais claras contribuem expressivamente para um maior efeito de luminosidade, associada às menores espessuras. Deste modo a seleção da área onde será desenvolvida a cavidade, se for constituída por porções mineralógicas de coloração clara, evidenciará maior transmitância e difusão da claridade da luz da retroiluminação, como pode ser observado nas amostras 2.6; 3.6 e 2.8 (Figura 84).

Já quando selecionada a área de cavidade onde estiverem localizados veios e bandas escuras, esta região evidenciará efeitos visuais de desenhos de luz e sombras bastante interessantes. Como no caso das amostras 1.6; 4.6; 6.6; 1.8; 4.8; 5.8; 6.8; 2.10; 3.10, 4.10 e 6.10 (Figura 84). O efeito de retroiluminação pode ser observado na Figura 87, quando retroiluminado o conjunto das amostras usinadas para este estudo.

Figura 87 – Composição com amostras do mármore Serra do Paraíso usinadas segundo a programação 4. Cavidades voltadas para parte posterior. Arranjo sugerido para a visualização dos efeitos visuais por retroiluminação. A área desta composição possui 260 x 260mm.



6.1.1 Desenvolvimento de Projeto Virtual Decorativo

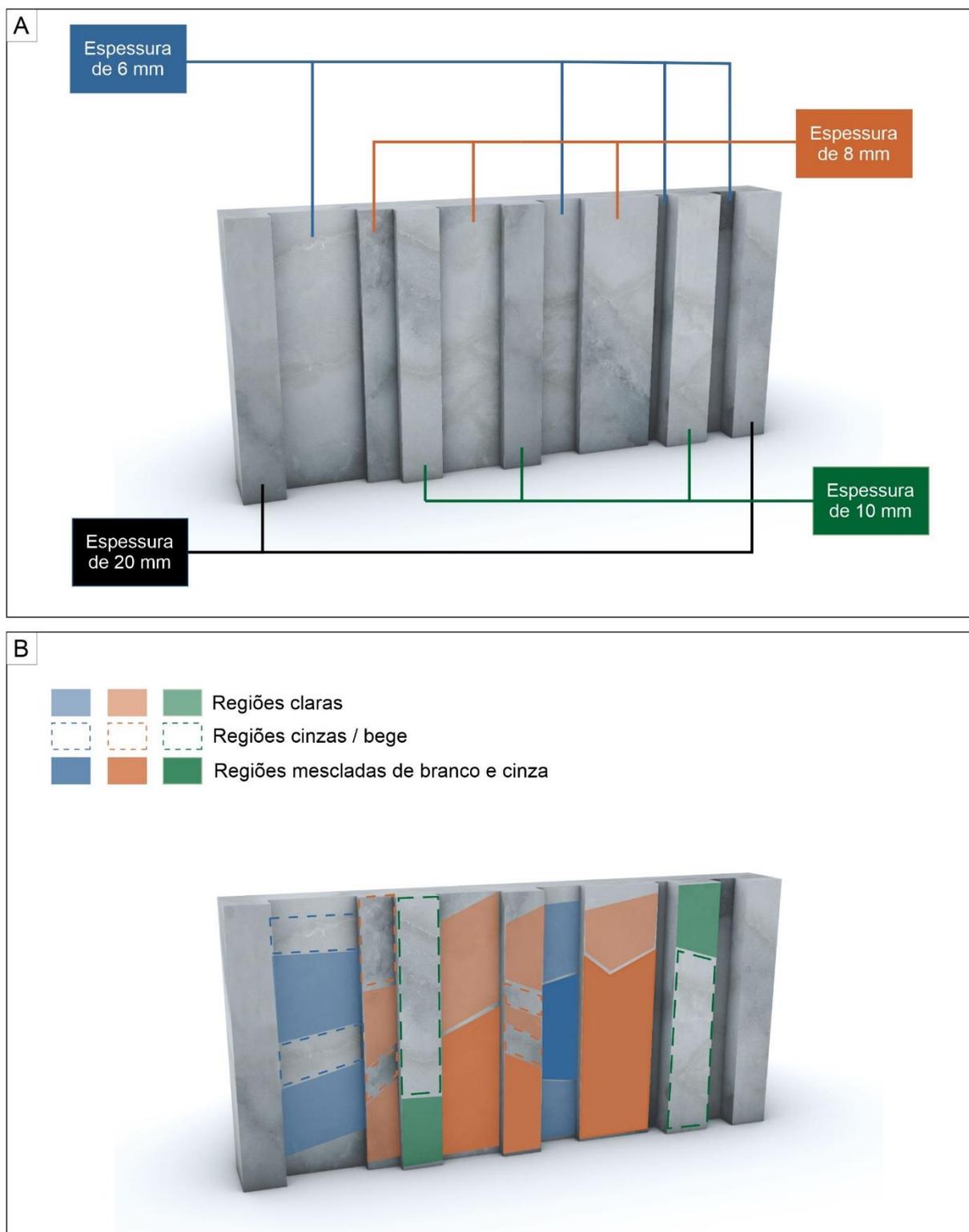
Um projeto virtual foi desenvolvido a partir das diretrizes geradas neste estudo, utilizando uma placa do Mármore Serra do Paraíso com cavidades em projeto de design que explore e evidencie a propriedade da translucência realizando efeitos visuais por retroiluminação.

Para isso foi desenvolvido um painel estilo “ripado” com retângulos verticais de diferentes dimensões, variando-se as espessuras conforme as tonalidades do bloco de mármore delimitado. Procurou-se adicionar as espessuras conforme as regiões mais claras e as mais opacas, *i.e.*, onde o mármore possui partes mais brancas foi delimitado as espessuras de 6 e 8 mm, e nas partes mais opacas, escolheu-se a espessura de 10 mm. Para o baixo relevo das espessuras, optou-se pela mesma configuração utilizada nos métodos desta pesquisa, descritos anteriormente. Na Figura 88, é exemplificado o projeto virtual para as futuras criações com este material.

Na Figura 88 A é indicado onde projetou-se os rebaixos com suas respectivas espessuras. Já para exemplificar a composição do material perante as tonalidades visíveis (Figura 88 B), um esquema é mostrado com as regiões mais claras (delimitado com uma tonalidade de 48% de transparência), com presença de locais cinzas e bege (demarcado com áreas tracejadas), e regiões mescladas de branco e cinza (100% da tonalidade).

Os estudos relacionados aos padrões e configurações ornamentais dos mármore, levaram aos registros de desenho industrial, com números BR302018003198-9, BR302018003199-7, BR302018003200-4 e BR302017005636-9 por meio da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico – SEDETEC/UFRGS. Os registros consistem em padrões geométricos aplicados a ladrilhos (ANEXO C).

Figura 88 – Projeto virtual decorativo: (A) rebaixos com suas respectivas espessuras e (B) esquema das regiões do mármore.



FONTE: Autora (2022).

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2018**. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe_01_2019_Balanco_2018.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2019**. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-01_2020-Balanco_2019.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2020**. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-01_2021-Balanco-2020.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Materiais Rochosos Naturais e Artificiais de Ornamentação e Revestimento em 2021**. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Informe-01_2022-Exportacoes-2021.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012:2013. **Rochas para Revestimento de Edificações – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845:2015. **Rochas para Revestimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-1: 2015. **Rochas para Revestimento - Análise Petrográfica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-6: 2015. **Rochas para Revestimento - Determinação do Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-7: 2015. **Rochas para Revestimento - Determinação da Resistência à Flexão por Carregamento em Quatro Pontos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-8: 2015. **Rochas para Revestimento - Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- AMAGRAN. **Laudo Geológico - Vanderley Bica**. Itapemirim: Amagran, 2014.
- ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design** : arte e ciência na seleção de materiais em projeto de produto. 2ª ed. Rio de Janeiro: CAMPUS, 2011.
- BARBIAN, T. **Design e tecnologia** : gravação a laser de desenhos no arenito. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BARP, D. R. A. **Design e materiais : contribuição ao estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BATES, R. L.; JACKSON, J. A. **Glossary of Geology**. 2. ed. Falls Church, VA: American Geological Institute, 1980.

BRANCAGLION JUNIOR, A.; SANTOS, J. R. L.; FACURI, C. P.; GRILLO, O. N.; PEREIRA, J. R. M. Epigrafia egípcia. In: LOPES, J. et al. (Eds.). **Tecnologias 3D** - Desvendando o passado, modelando o futuro. Rio de Janeiro: Lexikon, 2013. p. 50–53.

BRETON. **Pioneer in the development of advanced technologies and materials**. Disponível em: <<https://breton.it/>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

CALLISTER, W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais** : uma abordagem integrada. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. DE P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.

CIDADE, M. K.; PERINI, J. T.; PALOMBINI, F. L. Bionics for Inspiration: A New Look at Brazilian Natural Materials for Application in Sustainable Jewelry. In: PALOMBINI, F. L.; MUTHU, S. S. (Eds.). **Bionics and Sustainable Design**. Singapore: Springer-Nature, 2022. p. 195–223. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1812-4_8

CRYSTALLINE STONE. **Crystalline Stone USA**. Disponível em: <<https://www.crystallinestoneusa.com/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

DONNER, C.; JENSEN, H. W. Light diffusion in multi-layered translucent materials. **ACM Transactions on Graphics**, v. 24, n. 3, p. 1032–1039, jul. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1145/1073204.1073308>

ERSOY, M.; YILDIZ, A.; TURGUT, V. Luminous transmittance of carbonate based natural stones. **Materials Testing**, v. 58, n. 6, p. 575–584, 1 jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.3139/120.110894>

ETCHEPARE, H. D. **Contribuição ao estudo e seleção de materiais, caracterização e processamento por fresamento em altas velocidades (HSM) no beneficiamento do riódacito (basalto carijó)**. 2014. 137 f. Tese (Doutorado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

EXPO REVESTIR. **Expo Revestir**. Disponível em: <<https://www.exporevestir.com.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FALLER, R. DA R.; SILVA, F. P. DA; KINDLEIN JR, W. **A utilização da usinagem em altíssimas velocidades com quatro eixos no design de produto**. 7 Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. **Anais...** Curitiba: P&D Design 2006, 2006

FARINA, M.; PEREZ, C.; BASTOS, D. **Psicodinâmica das Cores em Comunicação**. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2006.

FEAM - GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Rochas Ornamentais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente; Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, 2015.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blucher, 1970.

FIEC. **Federação das Indústrias do Estado do Ceará**. Disponível em: <<https://www1.sfiec.org.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FITZPATRICK, M. **Introdução aos processos de usinagem**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FLEMING, R. W. Visual perception of materials and their properties. **Vision Research**, v. 94, p. 62–75, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.004>

FLEMING, R. W.; JENSEN, H. W.; BÜLTHOFF, H. H. **Perceiving translucent materials**. Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization - APGV '04. **Anais...** New York, New York, USA: ACM Press, 2004

FRASCÁ, M. H. B. DE O. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises das patologias associadas ao uso**. III SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. **Anais...** Recife: Curso para Arquitetos e Engenheiros, 2002

FRASCÁ, M. H. B. DE O. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. M. C. DE; CASTRO, N. F. (Eds.). **Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 45–95.

FRASCÁ, M. H. B. DE O.; SARTORI, P. L. P. Minerais e Rochas. In: OLIVEIRA, A. M. DOS S.; BRITO, S. N. A. DE (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 15–38.

GOESELE, M.; LENSCH, H. P. A.; LANG, J.; FUCHS, C.; SEIDEL, H.-P. DISCO: acquisition of translucent objects. **ACM Transactions on Graphics**, v. 23, n. 3, p. 835–844, ago. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1145/1015706.1015807>

GONZATTI, C.; PHILIPP, R. P. **Características Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia, 2009.

GROOVER, M. P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HAHN, D. W. **Light Scattering Theory**. Gainesville, FL, USA, University of Florida, , 2009.

HELD, G. **Introduction to light emitting diode technology and applications**. Boca Raton, FL: Auerbach publications, 2016.

KARACA, Z.; HACIMUSTAFAOĞLU, R.; GÖKÇE, M. V. Grain properties, grain-boundary interactions and their effects on the characteristics of marbles used as building stones. **Construction and Building Materials**, v. 93, p. 166–171, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.023>

KINDLEIN JUNIOR, W.; BRESSAN, F.; PALOMBINI, F. L. A importância do STEAM frente aos desafios da formação do ensino superior e da pesquisa multidimensional em Design. **Estudos em Design**, v. 29, n. 1, 30 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.35522/eed.v29i1.1152>

KINDLEIN JÚNIOR, W.; GUANABARA, A. S. Methodology for product design based on the study of bionics. **Materials & Design**, v. 26, n. 2, p. 149–155, abr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.05.009>

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory Evaluation of Food**. New York, NY: Springer New York, 2010.

LEÃO, A. C. **Gerenciamento de Cores para Imagens Digitais**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

LEFTERI, C. **Materiais em Design**. São Paulo: Blucher, 2017.

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

LITHOS DESIGN. **Natural stone interiors and marble design**. Disponível em: <<https://www.lithosdesign.com/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MACHADO, Á. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. DA. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

MANCINI, R.; FRISA, A. M. **Applications of Micro-Hardness Tests to the Technical Evaluation of Dimension Stones**. Proceedings of IV Congress International Association of Engineering Geology. **Anais...** New Delhi: ISEG, 1082

MARGRAF. **Industria Marmi Vicentini**. Disponível em: <<https://www.margraf.it/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MARMOMAC. **Marmomac**. Disponível em: <<https://www.marmomac.com/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MIA - MARBLE INSTITUTE OF AMERICA. **Dimension Stone Design Manual**. St. Oberlin, Ohio: Marble Institute of America, 2016.

MILLS, S. **Fundamentals of Architectural Lighting** : Graphic guidelines for the design of architectural interior lighting. London: Routledge, 2018.

MIRANDA, R. M.; QUINTINO, L. Microstructural study of material removal mechanisms observed in abrasive waterjet cutting of calcareous stones. **Materials Characterization**, v. 54, n. 4–5, p. 370–377, maio 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2004.12.008>

MONTEIRO, P. J. .; OSTERTAG, C. P.; NIELSON, U.; COHEN, J. Fatigue susceptibility of marble. **Materials & Design**, v. 22, n. 5, p. 393–398, ago. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(00\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(00)00086-8)

NICODEMUS, F. E.; RICHMOND, J. C.; HSIA, J. J.; GINSBERG, I. W.; LIMPERIS, T. **Geometrical considerations and nomenclature for reflectance**. Gaithersburg, MD: [s.n.]. Disponível em: <<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/MONO/nbsmonograph160.pdf>>.

OLIVEIRA, A. M. DOS S.; BRITO, S. N. A. DE. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

OSORIO-SCHMIED, E. Light Mantle: Quantifying Daylight Perception in Edward Hopper's Spaces. **Leonardo**, p. 1–7, 30 jul. 2019. DOI: https://doi.org/10.1162/leon_a_01829

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K.; MAGRIS, D. A.; GHEDINI, J. V. S. Práticas projetuais transdisciplinares entre design e biologia: metodologia prática para o ensino de biônica. **Revista Educação Gráfica**, v. 25, n. 2, p. 245–257, 2021.

PEITER, C. C.; CHIODI FILHO, C. **Rochas ornamentais no século XXI**: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Rio de Janeiro: CETEM/ABIROCHAS, 2001.

PEREIRA, J. R. M. **Processamento do arenito por fresamento CNC, a partir da digitalização 3D, para produção de réplicas de objetos do patrimônio cultural**. 2019.

208 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

PEREIRA, J. R. M.; SILVA, F. P. DA; KINDLEIN JÚNIOR, W. Usinagem de arenito e tecnologias 3D. In: DONATO, M.; DUARTE, L. DA C.; HARTMANN, L. A. (Eds.). **Inovação, Design e Pesquisas aplicadas em Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. p. 50–57.

PERES, M. **Laboratory Imaging and Photography** : best practices for photomicrography and more. New York: Routledge, 2016.

POLINI, W.; TURCHETTA, S. Force and specific energy in stone cutting by diamond mill. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 44, n. 11, p. 1189–1196, set. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.04.001>

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

QUITETE, E. B.; KAHN, H. **Dureza Knoop em rochas para revestimento**: correlação com desgaste abrasivo. Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, de 26 a 29 de novembro de 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002

REFORMOLOAR. **Empreiteiras**. Disponível em: <<https://www.tudoparaconstruiremorar.com.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

ROSSO, F.; JIN, W.; PISELLO, A. L.; FERRERO, M.; GHANDEHARI, M. Translucent marbles for building envelope applications: Weathering effects on surface lightness and finishing when exposed to simulated acid rain. **Construction and Building Materials**, v. 108, p. 146–153, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.041>

SANTOS, K. **Materiais de Construção I: Rochas Ornamentais**. Disponível em: <<http://mati2010karillasantos.blogspot.com/2010/06/rochas-ornamentais.html?m=1>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SANTOS, A. DOS; SAMPAIO, C. P.; VEZZOLI, C. Cascade approach on recycling for marble and granite product design. **Materials & Design**, v. 30, n. 2, p. 287–291, fev. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.068>

SCHINDELIN, J.; ARGANDA-CARRERAS, I.; FRISE, E.; KAYNIG, V.; LONGAIR, M.; PIETZSCH, T.; PREIBISCH, S.; RUEDEN, C.; SAALFELD, S.; SCHMID, B.; TINEVEZ, J.-Y.; WHITE, D. J.; HARTENSTEIN, V.; ELICEIRI, K.; TOMANCAK, P.; CARDONA, A. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. **Nature methods**, v. 9, n. 7, p. 676–682, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>

SERWAY, R. A.; JWEWTT, J. W. **Princípios de Física**. Vol. 4: Ótica e Física Moderna. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SHAW, M. C. **Metal Cutting Principles**. New York: Oxford University Press, 2005.

SILVA, F. P. DA. **Usinagem de espumas de poliuretano e digitalização tridimensional para fabricação de assentos personalizados para pessoas com deficiência**. 2011. 192 f. Tese (Doutorado em Design) - Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVEIRA, L. L. L. DA; VIDAL, F. W. H.; SOUZA, J. C. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. M. C. DE; CASTRO, N. F. (Eds.). **Tecnologia de rochas ornamentais** : pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 329–398.

SLIMSTONE. **Slimstone**. Disponível em: <<http://www.slimstone.com.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SMITH, D. **Calculating the Emission Spectra from Common Light Sources**. Disponível em: <<https://www.comsol.com/blogs/calculating-the-emission-spectra-from-common-light-sources/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SOSSAI, F. J. M. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais**. 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**. Boston, MA: Butterworth-Heinemann, 2001.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. DE; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (EDS.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

TESSMANN, C. S. **Importância do binômio design e engenharia no beneficiamento de rejeito mineral de opala e ágata na produção de camafeus por usinagem CNC**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

TÖNSHOFF, H. K.; HILLMANN-APMANN, H.; ASCHE, J. Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. **Diamond and Related Materials**, v. 11, n. 3–6, p. 736–741, mar. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-9635\(01\)00561-1](https://doi.org/10.1016/S0925-9635(01)00561-1)

TREGENZA, P.; LOE, D. **The Design of Lighting**. London: Taylor & Francis, 1998.

UHLMANN, E.; MANTHEI, M. **Analysis of the cutting process for milling of marble and sandstone with an end mill cutter**. International Conference on Stone and Concrete Machining (ICSCM). **Anais...** 2015

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F.; FRASCÁ, M. H. B. DE O. As rochas ornamentais na história. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. M. C. DE; CASTRO, N. F. (Eds.). **Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 16–42.

WALTER, Y. **O Conteúdo da Forma : subsídios para Seleção de Materiais e Design**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) - a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” , Bauru, 2006.

WARD, G. J. Measuring and modeling anisotropic reflection. **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, v. 26, n. 2, p. 265–272, jul. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1145/142920.134078>

WEIGAND, R.; GARCÍA, P. A.; CAMPOS ACOSTA, J.; STORCH DE GRACIA, J. Optical transmission properties of Pentelic and Paros marble. **Applied Optics**, v. 54, n. 4, p. B251, 1 fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.54.00B251>

WINGE, M. **Glossário Geológico Dinâmico Ilustrado**. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

APENDICE A – LAUDOS TÉCNICOS CETEM 2019

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHA
COMERCIALMENTE DESIGNADA SUPERLATIVE
PARA DENISE RIPPEL ARAUJO BARP – 2019**



CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
NÚCLEO REGIONAL DO ESPÍRITO SANTO

Coordenação de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais - COROM
Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHA COMERCIALMENTE DESIGNADA
SUPERLATIVE PARA DENISE RIPPEL ARAUJO BARP
(FOMENTO)**

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Tecnologista Sênior

Millena Basílio
Técnica

Abiliane de Andrade Pazeto
Pesquisadora Colaboradora

Cachoeiro de Itapemirim, maio de 2019.

RRM 0074-01-19 – Relatório elaborado para Denise Rippel Araujo Barp (Projeto de Fomento - Universidade Federal do Rio Grande do Sul), referente a DPT 0074-00-19.

CLIENTE**Nome:** Universidade Federal do Rio Grande do Sul**Responsável:** Denise Rippel Araujo Barp**Endereço:** Av. Paulo Gama 110- Bairro Centro, Porto Alegre (RS)- CEP: 90040-060**DPT:** 0074-00-19**DADOS INFORMADOS PELO CLIENTE****Procedência da Amostra:** Fazenda Forno, s-n, Zona Rural, Distrito de Gurupá, Potiragua (BA)**Processo ANM:** 874.202/2011**Coordenadas do local da amostragem (DATUM):**
24L X-433.951- Y-8.259.130**Nome Petrográfico:** Mármore Dolomítico**Nome Comercial:** Superlative**Responsável pela amostragem:** O cliente

Quantidade: -

RESULTADOS

ABNT NBR 15845-7:2015	Flexão 4 Pontos	0702 – A	3,44 MPa
		0702 – B6	2,83 MPa
		0702 – B8	4,61 MPa
		0702 – B10	3,19 MPa
		0702 – C6	2,98 MPa
		0702 – C8	2,09 MPa
		0702 – C10	3,22 MPa
BS EN 14205:2003	Microdureza Knoop	HK 25	1029,6 MPa
		HK 50	2413,1 MPa
		HK 75	4264,2 MPa

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

1. ABNT NBR 15845-7:2015 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM QUATRO PONTOS.

1.1 0702 - A

CP	Espessura (mm)		Força (kN)		Tensão (MPa)
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
1	15,97	0,35	0,35	3,06	
2	16,72	0,78	0,78	6,25	
3	16,97	0,45	0,45	3,49	
4	17,22	0,29	0,29	2,18	
5	15,23	0,23	0,23	2,25	
	Média		Média		3,44
	Desvio Padrão		Desvio Padrão		1,66
	Coeficiente de Variação (%)		Coeficiente de Variação (%)		48,32

CP	Espessura (mm)				Força (kN)				Tensão (MPa)			
	M1	M2	M3	M4	F1	F2	F3	F4	T1	T2	T3	T4
1	14,16	9,00	7,51	14,13	24,39	24,42	15,87	15,87	18,25	18,25	14,13	14,13
2	15,28	9,41	9,29	14,97	24,67	23,93	18,41	18,41	17,77	17,77	14,97	14,97
3	18,08	25,03	23,48	19,65	9,26	10,47	14,81	14,81	14,95	14,95	19,65	19,65
4	16,90	21,10	20,51	19,57	15,35	11,66	15,16	15,16	17,53	17,53	19,57	19,57
5	16,10	22,89	22,56	16,50	8,30	7,62	13,44	13,44	14,40	14,40	16,50	16,50

CP	Largura (mm)							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	100,06	99,44	99,22	99,53	100,18	99,88	99,77	99,81
2	99,82	99,93	99,65	99,67	100,76	100,52	98,27	99,98
3	100,80	100,91	100,83	100,86	100,47	98,62	98,27	99,98
4	98,76	98,26	100,47	99,76	98,75	98,96	99,81	99,98
5	98,99	98,79	98,75	98,96	99,81	99,98	99,98	99,98

Nº de Protocolo: 0702-A

Distância Cutelos (m): 0,300

Direção de Carregamento: Não Identificada

Estrutura: Não Identificada

Data Inicial: 16/04/2019

Condição: Seca

Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – NRES

Laudo RRM 00740119

1.2 0702 – B

Data Inicial: 16/04/2019 Nº de Protocolo: 0702-B6
 Condição: Seca Estrutura: Não Identificada Direção de Carregamento: Não Identificada Distância Cutelos (m): 0,300

CP	Espessura (mm)								Largura (mm)							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8
1	28,24	28,35	28,36	28,69	28,62	28,76	28,68	28,69	102,11	101,92	101,91	101,95	101,80	101,75	101,60	101,88
2	29,54	29,45	29,07	29,10	29,92	29,89	29,58	29,56	101,50	101,55	101,75	101,70	101,64	101,76	101,72	101,82
3	28,61	28,50	28,56	28,36	28,15	28,35	28,39	28,29	101,91	101,84	101,86	101,78	101,89	101,96	101,98	101,99
4	24,04	25,01	25,17	24,98	25,40	25,44	25,55	25,72	101,60	101,74	101,82	101,78	101,77	102,00	102,06	101,93
5	25,50	26,18	26,33	27,08	25,74	26,02	26,93	27,18	101,75	101,79	101,73	101,66	101,88	101,97	101,77	101,87

CP	Média (mm)		Espessura final restante		Força (kN)	Tensão (MPa)
	Essespessura	Largura	Medida 1	Medida 2		
1	28,55	101,87	22,00	22,06	0,41	1,11
2	29,51	101,68	23,12	22,95	1,39	3,52
3	28,40	101,90	22,12	22,48	1,29	3,53
4	25,16	101,84	19,25	19,38	1,11	3,86
5	26,37	101,80	19,83	20,01	0,67	2,11
					Média	2,83
					Desvio Padrão	1,17
					Coefficiente de Variação (%)	41,44

Data Inicial: 16/04/2019
Condição: Seca
Estrutura: Não identificada
Direção de Carregamento: Não identificada
Distância Cutelos (m): 0,300
Nº de Protocolo: 0702-B8

CP	Espessura (mm)								Largura (mm)							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8
1	27,83	27,46	27,75	27,87	27,40	27,49	27,64	27,44	101,23	100,67	101,12	101,48	101,02	100,97	101,24	101,30
2	28,11	28,21	28,40	28,39	28,12	28,27	28,31	28,48	100,42	100,84	100,77	100,52	100,45	100,47	100,73	100,55
3	27,78	27,69	28,24	28,48	27,30	27,57	28,09	28,47	101,27	101,06	101,09	101,13	101,13	101,08	101,26	101,31
4	28,46	28,44	29,21	28,89	28,85	29,06	28,00	28,62	100,71	100,48	100,34	100,37	100,38	100,34	100,39	100,49
5	30,61	30,24	29,77	29,65	29,30	29,48	29,59	29,90	101,44	101,58	101,74	101,76	102,10	101,68	101,47	101,43
6	29,59	29,62	29,74	29,91	29,65	30,01	30,31	30,29	101,57	101,59	101,82	101,89	101,47	101,57	101,65	101,68

CP	Média (mm)		Espessura final restante		Força (kN)	Tensão (MPa)
	Essesura	Largura	Medida 1	Medida 2		
1	27,61	101,13	19,18	18,96	1,21	3,52
2	28,29	100,59	20,64	20,46	1,91	5,33
3	27,95	101,17	19,41	20,17	1,46	4,14
4	28,69	100,44	19,67	19,98	2,05	5,57
5	29,82	101,65	21,95	22,21	1,73	4,31
6	29,89	101,66	21,77	21,69	1,94	4,79
					Média	4,61
					Desvio Padrão	0,77
					Coefficiente de Variação (%)	16,71

Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – NRES

Laudo RRM 00740119

Data Inicial: 16/04/2019
Condição: Seca
Estrutura: Não Identificada
Direção de Carregamento: Não Identificada
Distância Cutelos (m): 0,300
Nº de Protocolo: 0702-B10

CP	Espessura (mm)								Largura (mm)							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8
4	29,07	29,44	28,77	28,61	29,45	29,82	29,31	29,58	101,80	101,66	101,92	101,55	101,22	101,42	101,75	101,73
6	26,13	26,28	26,31	26,63	26,30	26,45	26,88	26,58	102,04	101,83	101,70	101,75	102,02	101,79	101,66	101,78
11	28,20	27,91	27,60	27,69	28,48	28,33	28,15	27,93	101,56	101,60	101,78	101,72	101,80	101,60	101,77	101,97
13	26,06	26,11	26,11	26,08	26,82	26,79	26,93	26,81	101,90	101,80	101,73	101,87	102,17	101,95	101,77	101,84
15	27,08	26,90	26,64	26,71	27,30	27,33	27,25	27,17	101,81	101,73	101,84	101,97	101,80	102,17	101,96	102,10
2	28,76	28,68	28,14	28,31	28,44	28,42	27,97	28,08	101,59	101,31	101,17	101,46	101,45	101,32	101,57	101,85
6	30,74	30,28	29,75	29,67	29,08	29,39	29,66	29,97	101,09	101,48	101,30	100,91	101,72	101,58	101,45	101,21
8	28,00	28,03	28,10	28,18	29,13	28,04	27,80	27,76	100,73	100,70	100,60	100,49	100,54	100,62	100,88	100,83
10	29,75	29,09	28,92	28,97	28,47	28,44	28,73	29,26	100,65	100,47	100,51	100,57	100,67	100,46	100,64	100,81

CP	Média (mm)		Espessura final restante (mm)		Força (kN)	Tensão (MPa)
	Essesura	Largura	Medida 1	Medida 2		
4	29,26	101,63	19,45	20,02	1,80	4,64
6	26,45	101,82	17,24	16,78	0,71	2,23
11	28,04	101,73	18,13	18,67	0,72	2,01
13	26,46	101,88	16,93	17,05	0,63	1,97
15	27,05	101,92	17,89	18,25	0,81	2,43
2	28,35	101,47	19,59	17,80	0,69	1,89
6	29,84	101,34	19,98	19,91	1,87	4,66
8	28,13	100,67	18,78	18,63	1,79	5,04
10	28,95	100,60	19,56	19,51	1,44	3,83
					Média	3,19
					Desvio Padrão	1,33
					Coefficiente de Variação (%)	41,75

Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – NRES

Laudo RRM 00740119

1.3 0702 - C

CP	Espessura (mm)								Largura (mm)							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8
	1	26,56	26,31	26,08	26,09	26,20	25,79	25,88	25,85	102,21	102,02	101,96	101,94	102,02	102,33	102,18
2	28,81	29,12	29,10	29,26	29,34	29,43	29,43	29,64	101,87	101,73	101,75	101,67	102,07	102,94	101,96	101,95
3	26,20	25,79	25,64	25,48	25,79	25,32	25,28	25,11	102,33	101,93	102,03	102,01	102,28	101,87	102,18	102,20
4	27,29	27,24	27,33	27,31	27,50	27,64	27,66	27,73	102,09	102,10	101,88	101,92	102,16	102,19	102,07	102,09
5	28,08	28,22	28,37	28,30	28,64	28,50	29,04	29,14	101,74	101,73	101,66	101,73	101,99	101,90	101,73	101,80
6	26,38	27,00	26,82	26,80	26,74	26,78	27,02	27,05	101,67	101,62	101,74	101,72	101,86	101,93	101,97	101,98

CP	Média (mm)		Espessura final restante		Força (kN)	Tensão (MPa)
	Largura	Medida 1	Medida 2	Medida 3		
1	26,09	102,13	5,93	5,97	0,96	3,11
2	29,27	101,99	6,31	5,95	1,34	3,44
3	25,58	102,10	5,93	6,04	1,01	3,39
4	27,46	102,06	5,84	5,98	0,73	2,12
5	28,54	101,79	5,9	6,15	1,04	2,82
6	26,82	101,81	4,88	5,11	0,98	3,01
					Média	2,98
					Desvio Padrão	0,48
					Coefficiente de Variação (%)	16,14

Nº de Protocolo: 0702-C6

Distância Cutelos (m): 0,300

Direção de Carregamento: Não Identificada

Estrutura: Não Identificada

Data Inicial: 16/04/2019

Condição: Seca

Nº de Protocolo: 0702-C8

Data Inicial: 16/04/2019

Distância Cutelos (m): 0,300

Direção de Carregamento: Não Identificada

Estrutura: Não Identificada

Condição: Seca

CP	Espessura (mm)								Largura (mm)							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8
1	25,14	25,19	24,84	24,64	25,50	25,32	24,67	24,50	102,11	101,98	101,78	102,14	101,95	101,93	101,70	102,04
2	25,15	25,13	25,55	25,82	24,55	24,58	25,25	25,65	102,20	102,05	102,04	102,38	102,03	101,94	102,28	102,19
3	27,08	27,00	26,82	26,81	27,15	27,05	27,02	26,75	101,71	101,62	101,75	101,76	101,80	101,60	101,62	101,70
4	26,84	26,84	27,32	27,12	26,81	26,86	27,03	27,14	101,45	101,40	101,61	101,80	101,54	101,44	101,58	101,60
5	26,11	26,22	25,75	25,90	26,10	26,13	25,87	25,83	102,36	101,91	102,04	102,06	102,49	102,15	102,12	102,09

CP	Média (mm)		Espessura final restante		Força (kN)	Tensão (MPa)
	Essesura	Largura	Medida 1	Medida 2		
1	24,98	101,95	7,77	7,85	0,35	1,24
2	25,21	102,14	8,08	8,05	0,59	2,05
3	26,96	101,70	8,27	8,24	0,60	1,81
4	27,00	101,55	8,12	8,18	0,83	2,52
5	25,99	102,15	7,95	8,04	0,88	2,85
Média					2,09	
Desvio Padrão					0,63	
Coeficiente de Variação (%)					29,97	

Data Inicial: 16/04/2019
 N° de Protocolo: 0702-C10
 Estrutura: Seca
 Direção de Carregamento: Não Identificada
 Distância Cutelos (m): 0,300

CP	Espessura (mm)								Largura (mm)							
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8
1	28,41	28,37	28,25	28,45	27,99	27,90	27,80	27,95	101,90	101,84	101,84	101,94	101,90	101,63	101,88	101,82
2	25,86	26,30	26,46	26,43	26,44	26,50	26,73	26,88	101,53	101,40	101,71	101,57	101,66	101,80	101,81	101,95
3	30,34	30,73	30,92	31,33	29,80	30,13	30,58	30,33	101,98	101,89	101,64	101,75	102,03	101,73	101,41	101,61
5	25,70	25,68	25,43	25,28	24,77	24,70	25,03	24,93	101,90	101,58	102,00	102,02	101,88	101,65	102,02	102,04
6	27,25	27,77	28,10	28,81	27,88	28,17	28,60	29,09	102,06	102,09	102,07	102,23	102,22	102,15	102,10	102,21

CP	Média (mm)		Espessura final restante		Força (kN)	Tensão (MPa)
	Essesura	Largura	Medida 1	Medida 2		
1	28,14	101,84	9,65	9,76	0,82	2,29
2	26,45	101,68	9,69	10,05	1,48	4,67
3	30,52	101,76	10,10	10,00	1,36	3,22
5	25,19	101,89	10,30	10,60	1,21	4,21
6	28,21	102,14	10,02	9,70	0,63	1,73
					Média	3,22
					Desvio Padrão	1,24
					Coefficiente de Variação (%)	38,51

Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – NRES

Laudo RRM 00740119

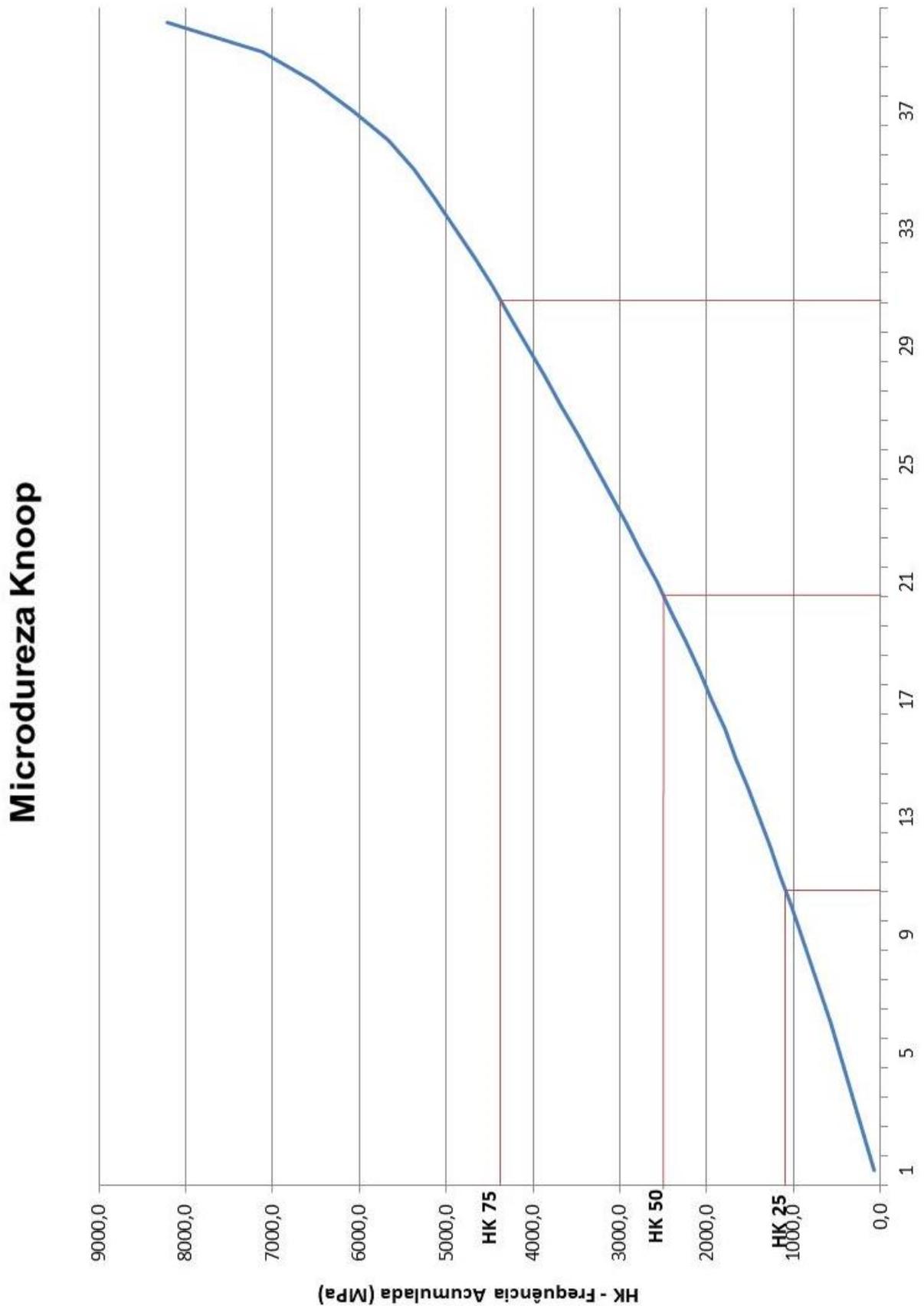
2. MICRODUREZA KNOOP (BS EN 14205:2003 – NATURAL STONE TEST METHODS – DETERMINATION OF KNOOP HARDNESS)

N° do Protocolo: 0702

Data Inicial: 20/05/2019

Polido: Sim

Medidas	HK (MPa)	Frequência Acumulada em Percentual (HK)	
1	81,2	81,2	
2	93,6	174,8	
3	93,6	268,4	
4	98,9	367,3	
5	101,7	469,0	
6	103,6	572,6	
7	110,9	683,5	
8	112,3	795,8	
9	116,8	912,6	
10	117,0	1029,6	HK 25
11	119,9	1149,5	
12	124,7	1274,2	
13	126,7	1400,9	
14	129,1	1530,0	
15	129,4	1659,4	
16	135,1	1794,5	
17	150,9	1945,4	
18	151,7	2097,1	
19	151,8	2248,9	
20	164,2	2413,1	HK 50
21	168,2	2581,3	
22	174,0	2755,3	
23	176,2	2931,5	
24	184,6	3116,1	
25	184,7	3300,8	
26	187,6	3488,4	
27	187,6	3676,0	
28	188,7	3864,7	
29	198,6	4063,3	
30	200,9	4264,2	HK 75
31	201,0	4465,2	
32	209,1	4674,3	
33	225,3	4899,6	
34	229,2	5128,8	
35	239,5	5368,3	
36	305,9	5674,2	
37	410,5	6084,7	
38	454,9	6539,6	
39	576,5	7116,1	
40	1104,1	8220,2	



EQUIPE EXECUTORA

Supervisão dos ensaios: Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - Geólogo, *D.Sc.* – Tecnologista Sênior;

Execução dos ensaios: Millena Basílio da Silva – Técnica;

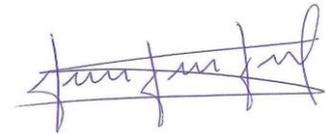
Elaboração do relatório: Millena Basílio da Silva – Técnica

Revisão do relatório: Abiliane de Andrade Pazeto – Pesquisadora Colaboradora;

Apoio: Eunice de Freitas Lima – Secretária;

Este relatório contém onze páginas, sendo esta página assinada e as demais, rubricadas.

Cachoeiro de Itapemirim, 21 de maio de 2019.



Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Geólogo, *D.Sc.* - Tecnologista Sênior
CETEM/NRES/MCTIC

ANEXO A – LAUDOS TÉCNICOS CETEM 2017

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHA
COMERCIALMENTE DESIGNADA SUPERLATIVE PARA
AMAGRAN IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA – 2017**

CETEM

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
NUCLEO REGIONAL DO ESPÍRITO SANTO

Coordenação de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais
Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHA COMERCIALMENTE DESIGNADA SUPERLATIVE PARA AMAGRAN IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Tecnologista Sênior

Millena Basilio da Silva

Técnico

Cachoeiro de Itapemirim, janeiro de 2017

**RRS 0004-00-17 – Relatório elaborado para a empresa Amagran Importação e
Exportação Ltda. Referente à proposta DPT-0105-00-16.**

Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – NRES

Laudo RRS 0004-00-17

**PROTOCOLO: 2016/0416
2016/0417**

CLIENTE

DPT-0105-00-16

Nome: Amagran Importação e Exportação Ltda

Endereço: Rua João Pessoa de Mattos, 505, Praia da Costa, Vila Velha-ES, Brasil

DADOS INFORMADOS PELO CLIENTE

Procedência da Amostra: Fazenda Forno, s/n, Zona Rural, Distrito de Gurupá Mirim, Mun. de Potiraguá-BA

Processo DNPM: 874.202/2011 Coordenadas do local da amostragem: 24L X-433.951/Y-8.259.130

Nome Petrográfico: Mármore Dolomítico

Nome Comercial: Superlative

Responsável pela amostragem: Amagran Importação e Exportação Ltda Quantidade: 246 amostras

RESULTADOS

NORMA	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS
ABNT NBR 15485-2:2015	Densidade aparente	2844 kg/m ³
ABNT NBR 15485-2:2015	Porosidade aparente	0,6 %
ABNT NBR 15485-2:2015	Absorção d'água	0,21 %
ABNT NBR 12042:2012	Desgaste <i>Amsler</i>	3,06 mm
ABNT NBR 15485-6:2015	Módulo de ruptura - Perpendicular	4,58 MPa ao natural 2,23 MPa saturado
ABNT NBR 15485-6:2015	Módulo de ruptura - Paralela	4,93 MPa ao natural 1,95 MPa saturado
ABNT NBR 15485-7:2015	Flexão quatro pontos - Perpendicular	6,46 MPa ao natural 3,50 MPa saturado
ABNT NBR 15485-7:2015	Flexão quatro pontos - Paralela	5,94 MPa ao natural 3,35 MPa saturado
ASTM D 2845:2005	Velocidade de onda - Perpendicular	4087 m/s
ABNT NBR 15485-5:2015	Compressão Uniaxial - Perpendicular	103,80 MPa ao natural 56,41 MPa saturado
ASTM D 2845:2005	Velocidade de onda - Paralela	5448 m/s
ABNT NBR 15485-5:2015	Compressão Uniaxial - Paralela	86,69 MPa ao natural 55,12 MPa saturado
ABNT NBR 15485-8:2015	Impacto de corpo duro - Perpendicular	0,33 m
ABNT NBR 15485-8:2015	Impacto de corpo duro - Paralela	0,33 m

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

1. ABNT NBR 15845-2:2015 - Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água.

Data Inicial: 05/01/2017

Data Final: 10/01/2017

Nº de Protocolo: 0416

Corpo de Prova	Massa (g)			Densidade Aparente (kg/m ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
	Seca	Submersa	Saturada			
1	561,62	365,80	562,84	2850	0,62	0,22
2	610,77	397,28	611,85	2846	0,50	0,18
3	584,13	378,65	585,50	2824	0,66	0,23
4	580,71	377,03	582,07	2832	0,66	0,23
5	606,80	394,80	607,92	2847	0,53	0,18
6	630,81	410,80	632,51	2845	0,77	0,27
7	622,80	404,63	623,84	2841	0,47	0,17
8	582,29	379,47	583,54	2853	0,61	0,21
9	577,99	375,22	579,23	2833	0,61	0,21
10	555,26	362,32	556,25	2863	0,51	0,18
Média				2844	0,6	0,21
Desvio Padrão				11	0,1	0,03
Coeficiente de Variação (%)				0,4	15,3	15,5

Equipamentos: Balança Registro do NRES nº 000440, Estufa com circulação mecânica de ar Registro do NRES nº 000606, Paquímetro Registro do NRES nº 000870

2. ABNT NBR 12042:2012 – Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão

Data inicial: 13/01/2017

Data final: 13/01/2017

Nº Protocolo: 0416

Corpo de Prova	Leitura Inicial (mm)		Leitura 500m (mm)		Leitura 1000m (mm)		Desgaste (mm) (500m)			Desgaste (mm) (1000m)		
	Canto		Canto		Canto		Canto	(Li-L500m)	%	Canto	(Li-L1000m)	%
1	1	33,33	1	31,33	1	29,96	1	2,00	6,00	1	3,37	10,11
	2	32,85	2	31,28	2	29,94	2	1,57	4,78	2	2,91	8,86
	3	32,87	3	31,47	3	30,05	3	1,40	4,26	3	2,82	8,58
	4	33,27	4	31,38	4	30,03	4	1,89	5,68	4	3,24	9,74
	Média	33,08	Média	31,37	Média	30,00	Média	1,72	5,18	Média	3,09	9,33
2	1	31,71	1	29,96	1	28,33	1	1,75	5,52	1	3,38	10,66
	2	31,75	2	29,83	2	28,34	2	1,92	6,05	2	3,41	10,74
	3	31,10	3	29,88	3	28,38	3	1,22	3,92	3	2,72	8,75
	4	30,98	4	29,95	4	28,37	4	1,03	3,32	4	2,61	8,42
	Média	31,39	Média	29,91	Média	28,36	Média	1,48	4,72	Média	3,03	9,65

Média Geral	1,60	Média Geral	3,06
-------------	------	-------------	------

Equipamentos: Abrasímetro *Amsler* Registro do NRES nº 000583, relógio comparador Registro do NRES nº 000701.

3. ABNT NBR 15845-6:2015 – Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos).

Nº Protocolo: 0416

Data Inicial: 07/12/2016

Acabamento: Levigado

Data Final: 05/01/2016

Direção de Carregamento: Paralela

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
6	50,15	99,70	5,32
7	49,53	99,96	5,36
8	49,82	101,09	4,35
9	50,04	99,35	4,75
10	49,99	100,17	4,86
Média			4,93
Desvio Padrão			0,42
Coeficiente de Variação (%)			0,09

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
11	49,22	100,19	1,76
12	48,89	100,12	2,19
13	50,34	100,77	2,32
14	50,24	100,89	1,81
15	48,62	99,53	1,67
Média			1,95
Desvio Padrão			0,29
Coeficiente de Variação (%)			0,15

Nº Protocolo: 0417

Data Inicial: 06/01/2017

Acabamento: Levigado

Data Final: 06/01/2017

Direção de Carregamento: Perpendicular

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
1	50,08	99,90	4,35
2	49,93	98,58	4,48
3	49,86	99,52	4,55
4	51,23	100,02	4,38
5	50,58	99,05	5,14
Média			4,58
Desvio Padrão			0,32
Coeficiente de Variação (%)			0,07

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
6	50,98	99,37	2,69
7	49,33	99,02	2,41
8	49,88	99,30	1,38
9	51,48	101,63	2,69
10	51,43	99,88	1,98
Média			2,23
Desvio Padrão			0,56
Coeficiente de Variação (%)			0,25

Equipamento: Estufa, registro do NRES nº 000606. Paquímetro, registro do NRES nº 000870. Máquina de compressão, registro do NRES nº 000782.

4. ABNT NBR 15845-6:2015 – Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos).

Nº Protocolo: 0416

Data Inicial: 07/12/2016

Acabamento: Levigado

Data Final: 05/01/2016

Direção de Carregamento: Paralela

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
6	50,15	99,70	5,32
7	49,53	99,96	5,36
8	49,82	101,09	4,35
9	50,04	99,35	4,75
10	49,99	100,17	4,86
Média			4,93
Desvio Padrão			0,42
Coeficiente de Variação (%)			0,09

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
11	49,22	100,19	1,76
12	48,89	100,12	2,19
13	50,34	100,77	2,32
14	50,24	100,89	1,81
15	48,62	99,53	1,67
Média			1,95
Desvio Padrão			0,29
Coeficiente de Variação (%)			0,15

Data inicial: 06/01/2017

Acabamento: Levigado

Nº Protocolo: 0417

Data final: 09/01/2017

Telado: Não

Direção de Carregamento: Perpendicular

Cor po	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
1	29,43	98,54	2,12
2	30,66	99,36	9,97
3	30,59	99,39	4,40
4	27,58	98,53	7,63
5	28,74	99,06	8,18
Média			6,46
Desvio Padrão			3,15
Coeficiente de Variação (%)			0,49

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Largura	Espessura	
6	28,87	99,33	2,69
7	28,86	99,88	3,94
8	28,33	99,54	3,58
9	28,41	100,56	4,09
10	28,83	99,44	3,23
Média			3,50
Desvio Padrão			0,56
Coeficiente de Variação (%)			0,16

Equipamento: Estufa, registro do NRES nº 000606. Paquímetro, registro do NRES nº 000870. Máquina de compressão, registro do NRES nº 000782.

5. Velocidade de onda (ASTM D 2845:2005 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock)

Data inicial: 06/12/2016

Data final: 07/12/2016

Nº Protocolo: 0416

Formato: Cúbico

Direção da leitura em relação a estrutura: Paralelo

Ensaio: Compressão

Transmis Direta

CP	Velocidade (m/s)
1	5426
2	5224
3	5344
4	5645
5	5426
6	5882
7	5036
8	5426
9	5645
10	5426
Média	5448
Desvio Padrão	153,8
Coeficiente de Variação	0,03

Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – NRES

Laudo RRS 0004-00-17

Data inicial: 06/12/201

Data final: 07/12/2016

Nº Protocolo: 0417

Formato: Cúbico

Direção da leitura em relação a estrutura: Perpendicular

Ensaio: Compressão

Transmissão: Direta

CP	Velocidade (m/s)
1	3911
2	4321
3	3911
4	4023
5	4268
6	4698
7	4605
8	4861
9	4142
10	4142
Média	4087
Desvio Padrão	195,9
Coefficiente de Variação	0,05

Equipamento: PUNDIT (Portable Ultrasonic Non Destrutive Digital Indicator Tester), registro do NRES nº 000939.

6. ABNT NBR 15845-5:2015 – Determinação da resistência à compressão uniaxial.

Nº de Protocolo: 0416

Data Inicial: 06/12/2016

Data Final: 05/01/2017

Direção de Carregamento: Paralela

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Aresta A	Aresta B	
1	72,39	71,98	70,27
2	71,97	72,88	87,73
3	72,08	72,08	66,92
4	72,24	72,72	88,90
5	73,22	72,19	119,62
Média		86,69	
Desvio Padrão		20,92	
Coefficiente de Variação (%)		0,24	

Natural

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Aresta A	Aresta B	
6	71,78	72,28	35,79
7	71,78	71,88	43,51
8	71,79	73,52	49,02
9	72,47	71,01	54,84
10	70,56	73,01	92,42
Média		55,12	
Desvio Padrão		22,01	
Coefficiente de Variação (%)		0,40	

Saturado

Nº de Protocolo: 0417

Data Inicial: 06/12/2016

Data Final: 06/12/2016

Direção de Carregamento: Perpendicular

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Aresta A	Aresta B	
1	72,58	72,91	111,03
2	71,81	71,63	112,02
3	73,47	72,94	91,69
4	71,36	73,21	120,12
5	72,46	73,36	84,13
Média		103,80	
Desvio Padrão		15,16	
Coefficiente de Variação (%)		0,15	

Natural

Corpo de prova	Média (mm)		Tensão (MPa)
	Aresta A	Aresta B	
6	73,55	73,27	62,32
7	73,18	71,67	72,32
8	71,99	72,77	49,77
9	72,48	72,12	24,60
10	72,56	71,27	73,03
Média		56,41	
Desvio Padrão		20,13	
Coefficiente de Variação (%)		0,36	

Saturado

Equipamento: Estufa, registro do NRES nº 000606. Paquímetro, registro do NRES nº 000870. Máquina de compressão, registro do NRES nº 000782.

7. ABNT NBR 15845-8:2015 – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro.

Nº de Protocolo: 0416

Data Inicial: 10/01/2017 Data Final: 10/01/2017
Acabamento: Levigado Telado: Não

	Altura de ruptura (m)	Energia de ruptura (J)
1	0,35	3
2	0,30	3
3	0,30	3
4	0,35	3
5	0,35	3
Média	0,33	3
Desvio Padrão	0,03	0,3
Coefficiente de Variação	0,1	0,1

Nº de Protocolo: 0417

Data Inicial: 10/01/2017 Data Final: 10/01/2017
Acabamento: Levigado Telado: Não

	Altura de ruptura (m)	Energia de ruptura (J)
1	0,35	3
2	0,30	3
3	0,35	3
4	0,30	3
5	0,35	3
Média	0,33	3
Desvio Padrão	0,03	0,3
Coefficiente de Variação	0,1	0,1

Equipamento: Aparelho para ensaio de impacto de corpo duro, registro do NRES nº 000371.

EQUIPE EXECUTORA

Supervisão dos ensaios: Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - Geólogo, D.Sc. – Tecnologista Sênior

Execução dos ensaios: Millena Basilio – Técnica

Elaboração do relatório: Millena Basilio – Técnica; Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - Geólogo, D.Sc. – Tecnologista Sênior

Apoio: Isabela de Oliveira Rigão - Secretária

Este relatório contém sete páginas, sendo esta página assinada e as demais, rubricadas.

Cachoeiro de Itapemirim, 19 de janeiro de 2017.

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Geólogo, D.Sc. - Tecnologista Sênior
CETEM/NRES/MCTIC

Leonardo Lyrio Silveira
Tecnologista
Matr.: 1696057



CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
NÚCLEO REGIONAL DO ESPÍRITO SANTO

Coordenação de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais - COROM
Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHA COMERCIALMENTE DESIGNADA
SUPERLATIVE PARA AMAGRAN IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA**

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Tecnologista Sênior

Hieres Vettorazzi da Silva

Pesquisador PCI

Cachoeiro de Itapemirim, abril de 2017

**RRS 0009-00-17 – Relatório elaborado para a empresa Amagran Importação e
Exportação Ltda. Referente à proposta DPT-0105- 00-16.**

PROTOCOLO: 0416/0417 Lâmina delgada nº: 54

CLIENTE Amagran Importação e Exportação Ltda

Nome: Paulo Renato Fantini de Rezende

Endereço: Rua João Pessoa de Mattos,505, Praia da Costa, Vila Velha - ES, Brasil

DPT: 0105.00.16

DADOS INFORMADOS PELO CLIENTE

Procedência da Amostra: Fazenda Forno, s/n, zona rural, distrito de Gurupá Mirim, Mun. de Potiguará - BA

Processo DNPM:874.202/2011 Coordenadas do local da amostragem: fuso 24L E 433951m

N 8259130m

Nome Petrográfico: quartzo pirlita muscovita mármore Nome Comercial: Superlative dolomítico

Responsável pela amostragem: Amagran Importação e Exportação Ltda Quantidade: 2 corpos de prova de ensaio de flexão

RESULTADOS

NORMA	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS
ABNT NBR 15485-1:2015	Análise petrográfica em luz transmitida	Microscopia óptica

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

1. ABNT NBR 15845-1:2015 - Análise Petrográfica.

- **Norma NBR 15845-1:2015 “Rochas para revestimento – Parte 1: Análise petrográfica”, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. A classificação petrográfica seguiu os critérios propostos por Best (2003), Le Maitre e Streckeisen (2004).**
- **Equipamento: Microscópio Petrográfico de luz polarizada modelo AXIOSKOP 40 A POL da marca ZEISS, Patrimônio no 6765.**

Tabela 1 – Tabela de dados da apreciação macroscópica da rocha.

TIPO DE AMOSTRA							
Rocha bruta		Rocha polida	X	Frag. de rocha	X	Test. sondagem	
COR CHAPA BRUTA:		Branca		COR CHAPA POLIDA:		Branca	
ESTRUTURA							
Maciça		Foliada		Bandada	X	Dobras	X
GRANULAÇÃO							
Grossa	X	Média	X	Fina	X	Predominância	Fina
DESCONTINUIDADES							
Fraturas		Cavidades		Poros		Bandas quartzo-filossilicáticas	X
ALTERAÇÃO, MATERIAL DE PREENCHIMENTO E NATUREZA: Pequenas manchas de oxidação intempélica predominantes em bandas filossilicáticas (muscovita), em menor proporção encontram-se associadas a presença de pirita (Figura 1A).							
ALTERAÇÃO: Nenhuma alteração mineral perceptível nos sulfetos da rocha, tanto pirita quanto calcopirita. Em superfícies escovadas, cristais de pirita apresentam-se iridescentes.							



Tabela 2 – Tabela de composição mineralógica principal, subordinada e secundária por avaliação visual.

<p>PRINCIPAL: Carbonatos (85-80%) – predominantemente dolomita muscovita (10–5%) quartzo (10-5%) pirita (6-5%)</p>	<p>SUBORDINADA: serpentina microclínio (tr) plagioclásio (tr) rutilo (tr) calcopirita (tr) bornita (tr)</p>
<p>SECUNDÁRIOS: (tr) Óxidos/hidróxidos acastanhados, leucoxênio</p>	

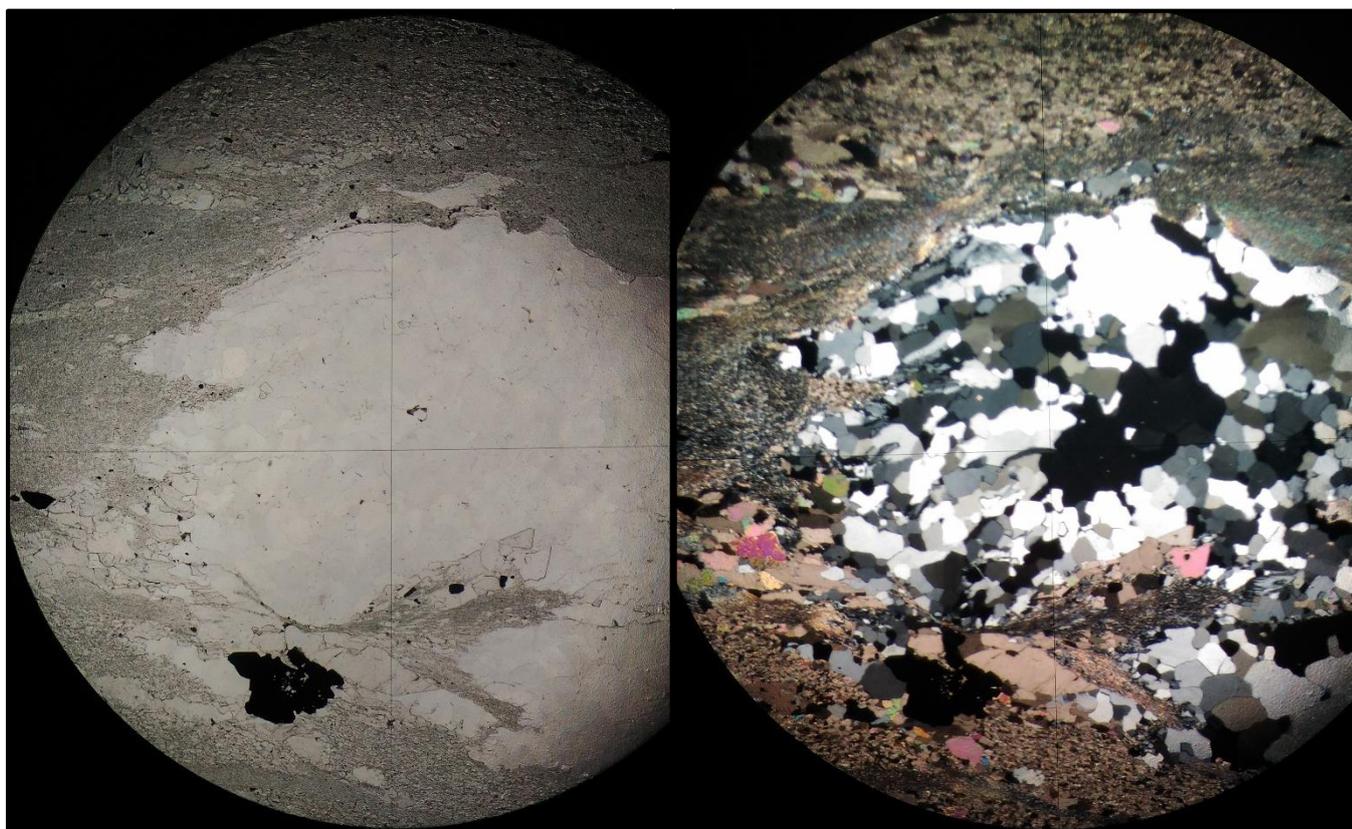
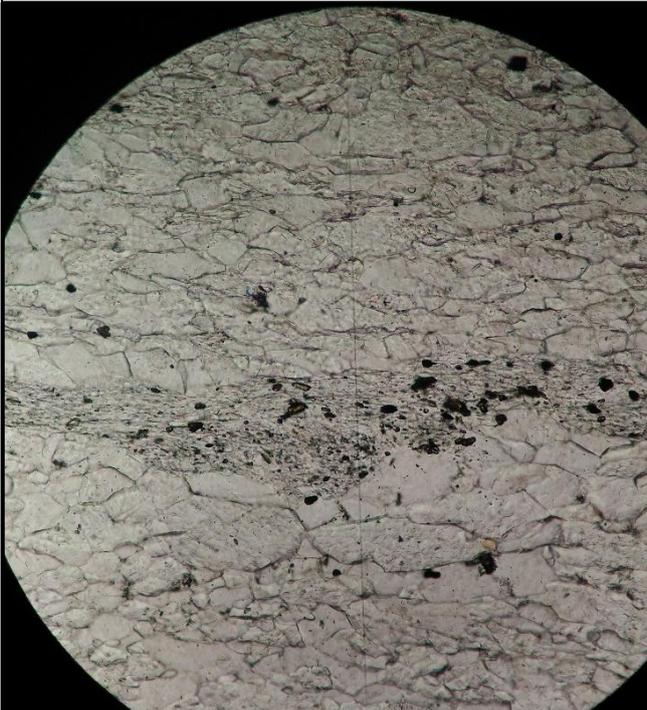
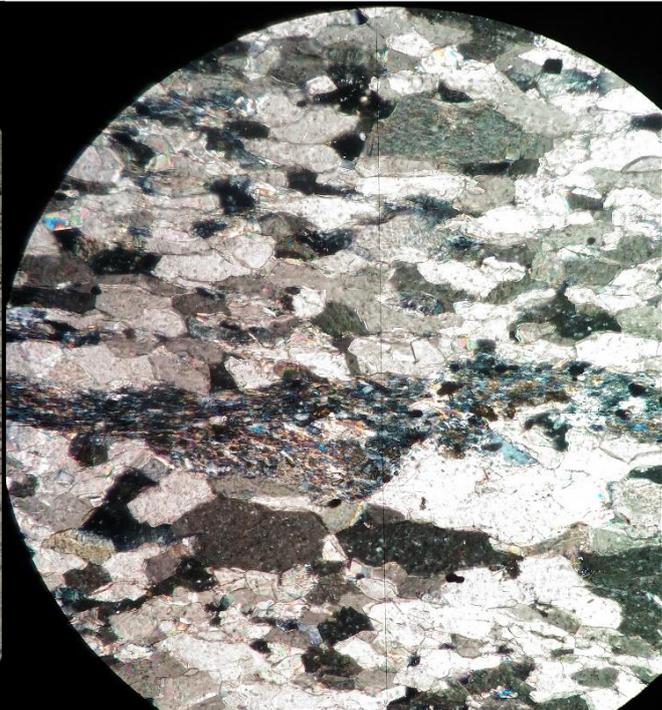


Figura 2 - Fotomicrografias da lâmina delgada 0416/0417 (polarizadores descruzados e cruzados – objetiva 2,5x). Notar porfiroclasto de quartzo (novos grãos) com sombra de pressão, circundado por sombras de pressão compostas por minerais filossilicáticos como muscovita e serpetina, que se associam a sulfetos, em geral pirita. Ocorre também, próximo a estas estruturas deformacionais, microestruturas do tipo *mica fish*, por vezes, reconhecíveis na macroscopia, assim como microdobras suaves em porções mais preservadas do bandamento metamórfico.

Natureza (Gênese): metamórfica				TEXTURA: granolepidoblástica			
GRANULIDADE							
Grossa (30 mm a 5 mm)		Média (5 mm a 1 mm)	X	Fina (< 1 mm)	X (90%)		
GRAU DE ALTERAÇÃO DA ROCHA							
Rocha sã	X	Pouco alterada		Medianamente alterada		Fortemente alterada	
<p>OBS: Alteração hidrotermal sintectônica a deformação dútil, possivelmente por brechamento hidráulico, que gera estruturas dobradas centimétrica e clastos brechados deformados, que por vezes se apresentam com aspecto sigmoidal. Sombras de pressão são compostas por muscovita, quartzo, pirita e rara serpentina. Em concentrações filossilicáticas é perceptível, após algum tempo, o surgimento de manchas de oxidação de alteração intempérica, provenientes de microcristais de rutilo parcialmente leucoxenizados associados a foliação filossilicática (Figura 3).</p>							
							
<p>Figura 3 – Rutilos idiomórficos associados a foliação milimétrica composta por muscovita. Notar anisotropia dos cristais de dolomita com o bandamento metamórfico irregular (Objetiva 20X).</p>							
GRAU DE MICROFISSURAMENTO							
Ausente		Fraco	X	Moderado		Forte	
<p>OBS: Microfissuras notáveis em porfiroclastos de quartzo.</p>							
CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA: pirita quartzo muscovita mármore dolomítico							
Segundo: Best (2003)							

EQUIPE EXECUTORA

Supervisão dos ensaios: Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - Geólogo, *D.Sc.* – Tecnologista Sênior

Execução dos ensaios: Elton Souza dos Santos – Técnico; Jean Rocha – Estagiário; Millena Basilio – Técnica

Elaboração do relatório: Técnico; Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - Geólogo, *D.Sc.* – Tecnologista Sênior

Apoio: Isabela de Oliveira Rigão - Secretária

Este relatório contém cinco páginas, sendo esta página assinada e as demais, rubricadas.

Cachoeiro de Itapemirim, 26 de abril de 2017.

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Geólogo, *D.Sc.* - Tecnologista Sênior
CETEM/NRES/MCTIC

ANEXO B – LAUDO GEOLÓGICO AMAGRAN

**LAUDO GEOLÓGICO
VANDERLEY BICA**

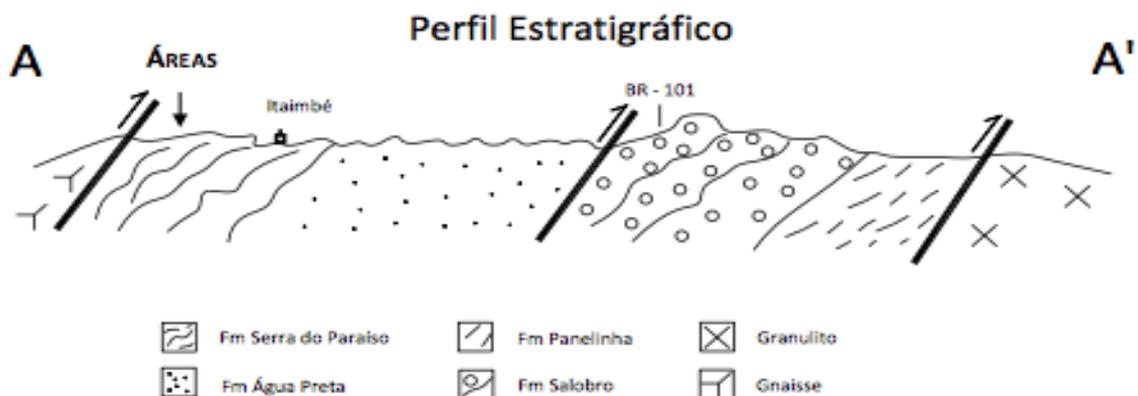
1. LOCALIZAÇÃO



2. GEOLOGIA REGIONAL



Figura 03 – Mapa Geológico da área pesquisada.



A Bacia Metassedimentar do Rio Pardo, situada no sul do estado da Bahia, ocorre em uma pequena área com dimensões em torno de cinquenta por cinquenta quilômetros, limitada por falhas e constituída por rochas metassedimentares de composição predominantemente pelítico-carbonática que compõe o denominado Grupo Rio Pardo.

Este Grupo está dividido em duas sub-bacias: a sub-bacia nordeste está depositada sobre a borda sudeste do Cráton do São Francisco; a sub-bacia sudoeste está envolvida nos dobramentos da Faixa Araçuaí, compreende da base para o topo a Formação Panelinha, o Subgrupo Itaimbé (Formações Camacã, Água Preta, Serra do Paraíso e Santa Maria Eterna) e a Formação Salobro, recobertos discordantemente pela Formação Barreiras e por sedimentos recentes.

As rochas deste grupo encontram-se falhadas, exibindo metamorfismo da fácies xisto-verde (Silva Filho et al., 1974). Segundo datações realizadas na região, utilizando os métodos K-Ar e Rb-Sr, o metamorfismo se processou durante o ciclo Brasileiro (Mascarenhas & Garcia, 1989).

O embasamento da Bacia Metassedimentar do Rio Pardo no domínio do Cráton do São Francisco consiste em granulitos quartzo feldspáticos, khondalitos, hiperstênio granulitos, enderbitos e granulitos básicos (Souto et al 1972), intrudidos por gabros e diques de diabásio datados por Cordani & Iyer (1976) entre 800 e 1.100 Ma. No domínio da Faixa Araçuaí, no sul da bacia, as rochas compreendem gnaisses e migmatitos, com intercalações de anfíbolitos, quartzitos, xistos e rochas calcissilicáticas (Mascarenhas et al. 1979).

As rochas metassedimentares do Grupo Rio Pardo, da base para o topo, compreendem as formações Panelinha, Camacã, Água Preta, Santa Maria Eterna, Serra do Paraíso e Salobro.

Estas Formações estão reunidas no Subgrupo Itaimbé sobre o qual depositou-se discordantemente a Formação Salobro. Os conglomerados desta formação, de acordo com Karmann (1987), contêm clastos cuja composição é semelhante a das formações subjacentes, inclusive do embasamento cristalino. A análise petrográfica indicou a presença de fragmentos de rochas das formações subjacentes à Formação Salobro, e do embasamento (granitos e gnaisses).

No Subgrupo Itaimbé, a sedimentação das formações Camacã, Água Preta, Serra do Paraíso e Santa Maria Eterna foi controlada pela variação da profundidade da lâmina d'água, de modo que as formações onde predominavam sistemas deposicionais de planície de maré lamosa, carbonática e litoral se distribuíam na periferia da bacia ou em zonas mais rasas, ao passo que os turbiditos depositaram-se na sua parte central e na atual borda sul.

A morfologia da linha de costa, com saliências e reentrâncias, exerceu controle sobre a distribuição das fácies dentro desses sistemas e a localização dos sistemas fluviais na periferia da bacia controlou o afluxo de material terrígeno. Os sedimentos do Subgrupo Itaimbé podem ser comparados com o preenchimento de uma bacia remanescente (remnant basin), definida por Ingersoll et al. (1995) como "uma bacia oceânica contracional que é flanqueada pelo menos por uma margem convergente, e cujo assoalho é coberto tipicamente por turbiditos derivados de zona(s) de sutura associada(s)".

Nas partes proximais desses sedimentos pode existir exposição subaérea (Dominguez 1993). Os turbiditos, fluxos gravitacionais de massa (Souto et al, 1971 p.19) flysch calcário ou margoso correspondem à Formação Água Preta, enquanto as feições de exposição subaérea encontram-se nas demais formações do subgrupo (Karmann, 1987).

A deposição da Formação Salobro ocorreu posteriormente à litificação das unidades subjacentes, pois estas serviram de área-fonte juntamente com o embasamento, como é comprovado pela presença de conglomerados calcários, calcarenitos, paraconglomerados e brechas de ardósia, metarenito, calcário, gnaisses e granulitos do embasamento, podendo assim ser considerada como originada a partir de correntes de turbidez.

Pode-se distinguir duas fácies de turbiditos, tendo-se em vista a distância geográfica em relação ao ponto de origem da corrente de turbidez: proximal e distal. A primeira consistiria em uma alternância de arenitos, geralmente, grosseiros e conglomeráticos, e lamitos; e a outra os arenitos apresentariam uma granulometria mais fina, chegando a se igualar aos lamitos. A explicação para isto seria a queda de velocidade e a diminuição do tamanho dos grãos no sentido da progressão da corrente; quanto maior a distância percorrida por uma corrente de turbidez, tanto menor o número de termos litológicos.

No início de cada novo ciclo a corrente de turbidez pode destruir o topo da seqüência anteriormente depositada, contribuindo para a eliminação dos seus termos litológicos superiores.

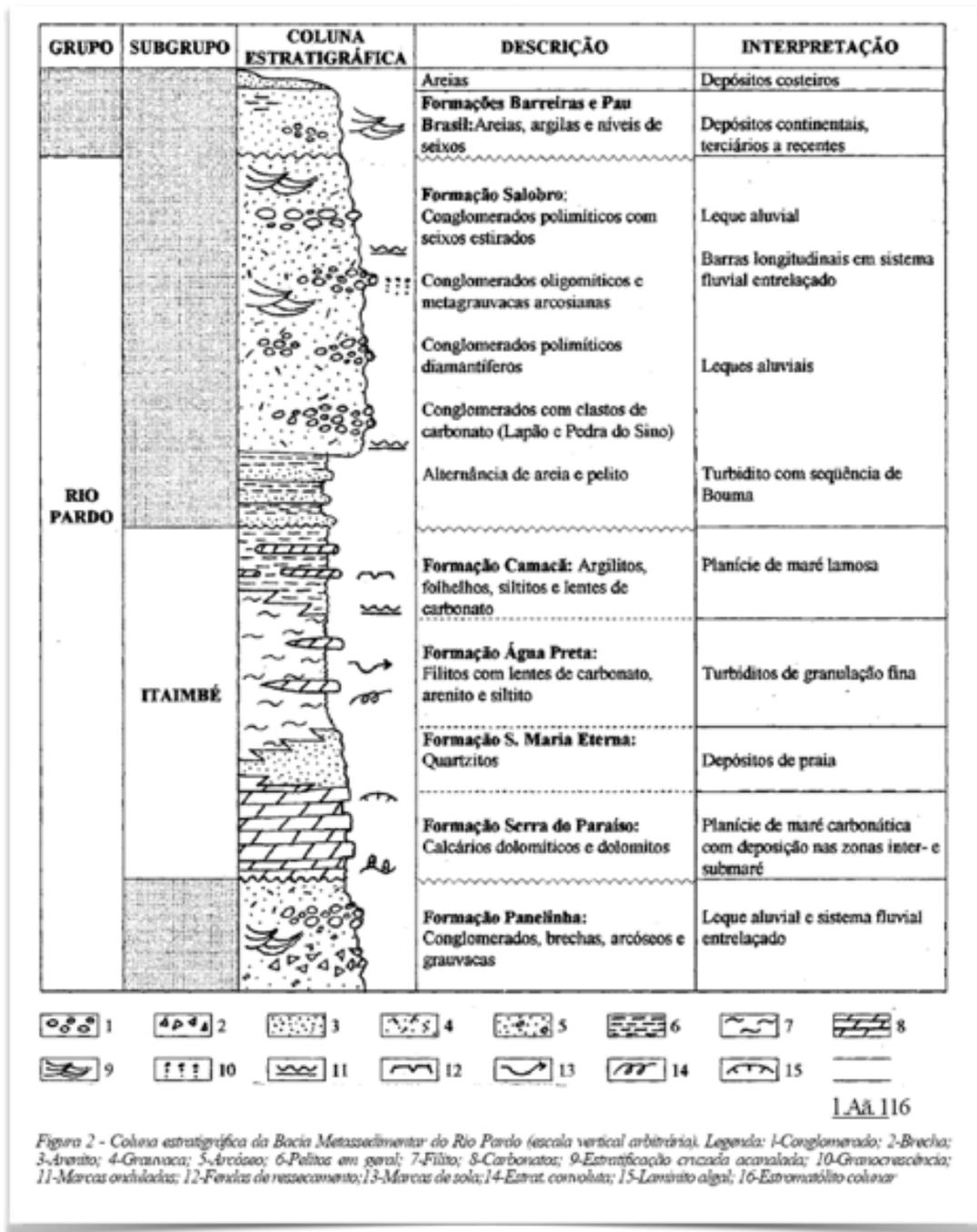


Figura 2 - Coluna estratigráfica da Bacia Metasedimentar do Rio Pardo (escala vertical arbitrária). Legenda: 1-Conglomerado; 2-Brecha; 3-Arenito; 4-Grauvasca; 5-Arcóseos; 6-Pelitos em geral; 7-Filito; 8-Carbonatos; 9-Estratificação cruzada acanalada; 10-Granocrescência; 11-Marcas onduladas; 12-Fossas de ressecamento; 13-Marcas de sola; 14-Estrat. com olota; 15-Lamínio aguil; 16-Estr. oncolito colunar

3. GEOLOGIA LOCAL

A área estudada está sob o domínio da Formação Serra do Paraíso que é composta por metadolomitos, metacalcários micáceos e arenosos, quartzitos puros e micáceos intercalados, além de calcoxistos finos subordinados. A norte de Pau Brasil foram observados os metacarbonatos transgredindo sobre metarcóseos da Formação Panelinha e o embasamento.

A seqüência inicia-se com metadolomitos e metadolomitos calcíferos intraclásticos e laminados de coloração cinza-clara a bege. Os níveis intraclásticos são centimétricos e arenosos. Os grãos de areia (quartzo e feldspato) atingem até 20% da rocha em alguns leitos intraclásticos. Estruturas primárias do tipo "tepee" estão associadas aos níveis intraclásticos.

No topo do nível intraclástico, foram identificados estromatólitos tabulares e dômicos, formando conjuntos isolados entre zonas de dolomito intraclástico e arenoso. No setor entre a Serra do Paraíso e Gurupá-Mirim numa seção quase E/W, a partir da serra, tem-se uma seqüência de meta-ritmitos areno-carbonáticos formados por lâminas milimétricas a centimétricas de metacalcário quartzo-micáceo e metarenito fino carbonático com microestratificação gradacional.

Na região sul, nas seções da BR-101 e BR-antiga, tem-se uma visualização mais completa das litologias da Formação Serra do Paraíso. Na base predominam calcoxistos finos interestratificados com metadolomitos de cor cinza-clara e maciços.

Na porção mediana ocorrem metacalcários e metadolomitos com intercalações de quartzitos finos a médios, que atingem até 10 m de espessura. De modo geral, os metacarbonatos estão interestratificados com quartzitos formando ritmitos. Na porção mapeada o pacote de metacalcário de coloração branca, a foliação predominante é Az 130°/52°SW na porção do afloramento af01, para as porções dos afloramentos af02 e af03 a foliação está sub-horizantalizada, Az 115°/23°SW e Az 110°/14°SW, respectivamente.

4. PETROGRAFIA

Análise petrográfica baseada na norma NBR 12768/92 – “Rochas para revestimento – Análise Petrográfica” da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. A classificação petrográfica segue os critérios propostos por Le Maitre (1989).

Descrição Macroscópica

Cor: estado seco: cor branca com pontos milimétricos de cor bege.

estado úmido: cor branca com pontos milimétricos de cor bege.

Estrutura: aspecto maciço, sem orientação dos minerais.

Textura: granoblástica equigranular fina (0,1 mm) caracterizada pela ampla predominância de carbonatos.

Estado microfissural: apresenta raras fraturas com formas pouco curvilíneas, com superfície lisa, sem preenchimento.

Descrição Microscópica

Estrutura: foliada caracterizada pela orientação dimensional incipiente do carbonato e raramente de muscovita.

Texturas: A principal textura é granoblástica poligonal equigranular fina a média (0,3 a 1 mm) caracterizada pela ampla dominância de cristais de carbonato com formas equidimensionais a poligonais, com ocorrência de cristais intersticiais de muscovita e minerais opacos. A orientação da muscovita caracteriza uma textura lepidoblástica.

Uma parte dos cristais de carbonato apresenta forma alongada sugerindo que a rocha foi submetida a esforços tectônicos.

Natureza: metamórfica (metassedimentar)

Minerais: (avaliação visual - %)

Carbonato 95-98

Muscovita 1-2

Quartzo Tr

O Carbonato é o principal mineral da rocha, apresentando formas equidimensionais com 0,05 a 0,1 mm a pouco alongadas, quando varia de 0,1 a 0,3 mm. Os limites são retos a pouco curvilíneos. Não apresenta fraturas. No teste de colorimetria, feito através da imersão em uma solução de Vermelho de Alizarina, identificou-se a presença de calcita (cor rosa clara) e da Dolomita (incolor) como pode ser observado na fotomicrografia 4.

O Quartzo ocorre como raros cristais intersticiais de forma equidimensional, xenoblástico, com limites interlobados a raramente retos, com tamanho entre 0,1 e 0,2 mm. Mostra-se deformado, com extinção ondulante.

A Muscovita ocorre com forma prismática alongada, idioblástica a subidioblástica, com tamanhos entre 0,1 a 0,3 mm, intersticial. É incolor e não apresenta pleocroísmo.

Estado microfissural: Não apresenta fraturas em lâmina delgada.

Alteração: Não há indícios de alteração hidrotermal e/ou intempérica. .

Classificação: Mármore dolomítico

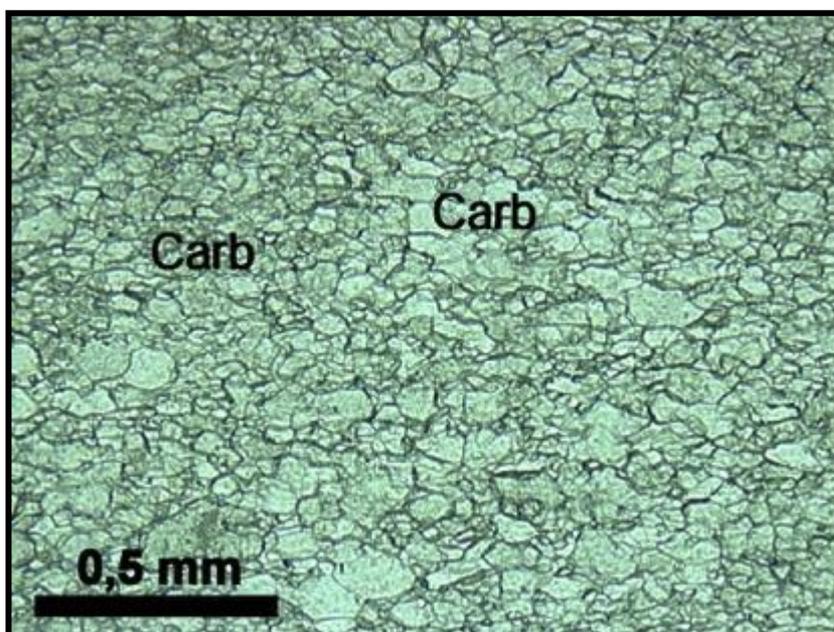


Figura 08 – Mármore aspecto geral da rocha. Estrutura foliada incipiente definida pela orientação dimensional de parte dos cristais de carbonato. Luz natural.

5. QUALIDADE DO MATERIAL

Além do aspecto estético da rocha, esta não apresenta evidências microscópicas que indicam fraqueza quando submetida a corte e polimento. A ausência de fraturas e de feições de alteração hidrotermal e/ou intempérica associadas ao baixo percentual de moscovita que resulta em rocha coesa e com elevada resistência a alterações climáticas.

CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade %	Abs. d'água %
	Seco (A)	Sat (B)	Sub (C)	Seca	Saturada		
1	293,78	294,10	191,45	2,862	2,865	0,31	0,11
2	262,38	262,61	171,18	2,870	2,872	0,25	0,09
3	313,02	313,32	204,19	2,868	2,871	0,27	0,10
4	308,67	308,95	201,30	2,867	2,870	0,26	0,09
5	338,16	338,52	220,54	2,866	2,869	0,31	0,11
6	306,83	307,14	200,05	2,865	2,868	0,29	0,10
7	342,68	343,05	223,07	2,856	2,859	0,31	0,11
8	265,77	265,99	173,36	2,869	2,872	0,24	0,08
9	327,01	327,34	213,29	2,867	2,870	0,29	0,10
10	251,54	251,72	164,02	2,868	2,870	0,21	0,07
Valores Médios:				2,866	2,869	0,27	0,10
Desvio Padrão:				0,004	0,004	0,035	0,012

Tabela 01 – Determinação de Índices Físicos.

O processo de polimento e lustro de placas de mármore se caracteriza por ser uma série de operações que reduzem a rugosidade da superfície trabalhada com vista a transformá-la em uma placa com determinada intensidade de brilho. A intensidade do brilho que determinada superfície apresenta é função das propriedades refletivas do material, sendo também inversamente proporcional à rugosidade da superfície. A qualidade final do polimento de uma placa é determinada apenas por métodos empíricos. Como regra geral, tal parâmetro é inferido pela granulometria dos abrasivos utilizados durante as etapas de levigamento e polimento.

Fatores que influem no polimento:

Certas características inerentes à rocha e outras relativas aos processos de beneficiamento são de fundamental importância para melhor compreensão da etapa de polimento.

- 1- Acabamento da Serrada – Esta etapa de beneficiamento primário irá imprimir a superfície da placa uma determinada rugosidade. Esta rugosidade será função da qualidade da serragem/corte que o bloco de rocha sofreu, no caso específico será utilizado o processo de talha-bloco, que consiste em cortar o bloco de rocha com a utilização de discos diamantados com diâmetro de 120 cm. Verificou-se a boa qualidade da serrada através da não presença de canaletas ou ranhuras geradas pelas serras.

- 2- Dureza da Rocha – Antes de começar o polimento, foi estabelecida a seqüência correta dos grãos abrasivos, observando a rocha com textura uniforme que é formada apenas por um mineral de granulometria fina.

- 3- Fechamento do Polimento – A Indústria da Pedra convencionou chamar de fechamento uma característica relacionada com espaços e depressões que algumas placas já polidas podem apresentar, cujas Rochas constituídas essencialmente por apenas um mineral mostram aumento nos valores de brilho com a diminuição da granulometria.

A medição foi realizada com a utilização de um Medidor de Brilho - Glossmeter – modelo GB – 4420 – com ângulo de incidência de 20° e um campo de leitura de 10x10 mm. Foi utilizada a média de 10 leituras em diferentes locais da placa de 20 x 20 x 2 cm, conforme os dados abaixo:

leituras	valores
01	89,5
02	86,5
03	85,3
04	84,7
05	88,5
06	86,2
07	86,9
08	85,3
09	89,1
10	87,3
Valor médio	86,93
Desvio padrão	1,66

Tabela 02: Resultado da medição de brilho

Os resultados dos testes superaram as expectativas referentes à qualidade do material, em comparação com outras rochas ornamentais, este mármore não apresenta nenhuma restrição na utilização como revestimento, apresentando um excelente brilho após o processo de lustro e suas propriedades físicas sem restrições de uso como rocha de revestimento, confirmando os produtos para a comercialização tanto para o mercado interno, quanto para o mercado externo,



**CERTIFICADO DE ANÁLISES QUÍMICAS
ESPECIAL MINERAÇÃO FOCUS**
Certificado ISO: 9001:2000 - BSI

Cliente: MINERAÇÃO FOCUS LTDA

Solicitante: VANDERLEI BICA

Data Rec. : 05/09/2014

Data Liberação : 12/09/2014

Tipo Amt : MINÉRIO DOLOMITAS

Nº amt : 4

ENSAIO : FUSÃO COM TETRABORATO DE LÍCIO E LEITURA EM FLUORESCENCIA DE RAIOS-X
EQUIPAMENTO: SHIMADZU MODELO EDX-720

AMOSTRA	CaO%	Na2O%	MgO%	Al2O3%	SiO2%	P%	K2O%	TiO2%	V2O5%	Cr2O3%	MnO%	Fe%	PPC%
AMOSTRA SÃO LUIZ	30,00	0,02	21,50	0,69	1,02	0,39	0,03	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	45,34
AMOSTRA PAU BRASIL	29,59	0,03	19,94	0,95	4,25	0,37	0,05	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,14	44,04
AMOSTRA 96	28,54	0,07	17,99	0,35	10,58	0,32	0,06	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,04	41,52
AMOSTRA 97	27,54	0,05	19,00	<0,01	9,98	0,41	0,04	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	41,97



Rua Pereira Passos, 237 PO Boa Vista Duque de Caxias, RJ Tel:(21) 2671-2723 Fax:(21) 2671-8108
email: nomoslaboratorio@terra.com.br







Pedreira da empresa AMAGRAN

Nome do material SUPERLATIVE AGAINST

<http://www.amagrangranitos.com.br//materiais/3/SUPERLATIVE-AGAINST.html>

Vanderlei Bica

ANEXO C – CERTIFICADOS DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL**Desenhos Industriais Registrados no decorrer desta Tese:**

BR 302017005636-9 - CONFIGURAÇÃO APLICADA A/EM LADRILHO

BR 302018003199-7 - PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO A/EM LADRILHO

BR 302018003200-4 - PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO A/EM LADRILHO

BR 302018003198-9 - PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO A/EM LADRILHO



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE MARCAS, DESENHOS INDUSTRIAIS E INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS

CERTIFICADO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL
BR 302017005636-9

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede, automaticamente, sem exame de mérito, o presente CERTIFICADO DE REGISTRO, que outorga ao seu titular propriedade do desenho industrial discriminado neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dele decorrentes, previstos na legislação em vigor.

A proteção conferida pelo registro de desenho industrial, em conformidade com o que estabelece o art. 95 da Lei 9.279/96, é definida exclusivamente a partir da configuração da forma plástica ornamental do objeto ou do conjunto ornamental de linhas e cores requeridos, não abarcando os dados contidos nos eventuais relatórios descritivos e reivindicações juntados ao presente certificado de registro.

(21) Número do Depósito: BR 302017005636-9

(22) Data do Depósito: 14/12/2017

(45) Data de Concessão: 12/06/2018

(52) Classificação Internacional de Desenhos Industriais: 25-01

(30) Prioridade Unionista:

(54) Título: CONFIGURAÇÃO APLICADA A/EM LADRILHO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 92969856000198. Endereço: AV. PAULO GAMA Nº 110, 6º ANDAR, CENTRO, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL(BR), 90040-060, Brasileira

(72) Autor: DENISE RIPPEL ARAUJO BARP; FELIPE LUIS PALOMBINI; LAUREN DA CUNHA DUARTE

Prazo de Validade: 10(dez) anos contados a partir de 14/12/2017, mediante o recolhimento da taxa quinquenal de manutenção (Artigos 119 e 120 da LPI) e observadas as demais condições legais.

Registro Concedido em: 12/06/2018

Expedido em: 14 de Junho de 2018

Assinado digitalmente por:
André Luis Balloussier Ancora da Luz
Diretor

CONFIGURAÇÃO APLICADA EM LADRILHO

Sumário do Desenho Industrial

Conforme apresentado nas figuras, este desenho industrial compreende uma configuração aplicada em ladrilho. Trata-se de um desenho com padrão em relevo único para aplicação em ladrilho de mármore, permitindo efeitos de iluminação.

Breve descrição das figuras:

Figura 1.1- Vista em Perspectiva

Figura 1.2 - Vista Frontal

Figura 1.3 - Vista Posterior

Figura 1.4 - Vista Lateral Esquerda

Figura 1.5 - Vista Lateral Direita

Figura 1.6 - Vista Inferior

Figura 1.7 - Vista Superior

Figura 1.1 – Vista em Perspectiva

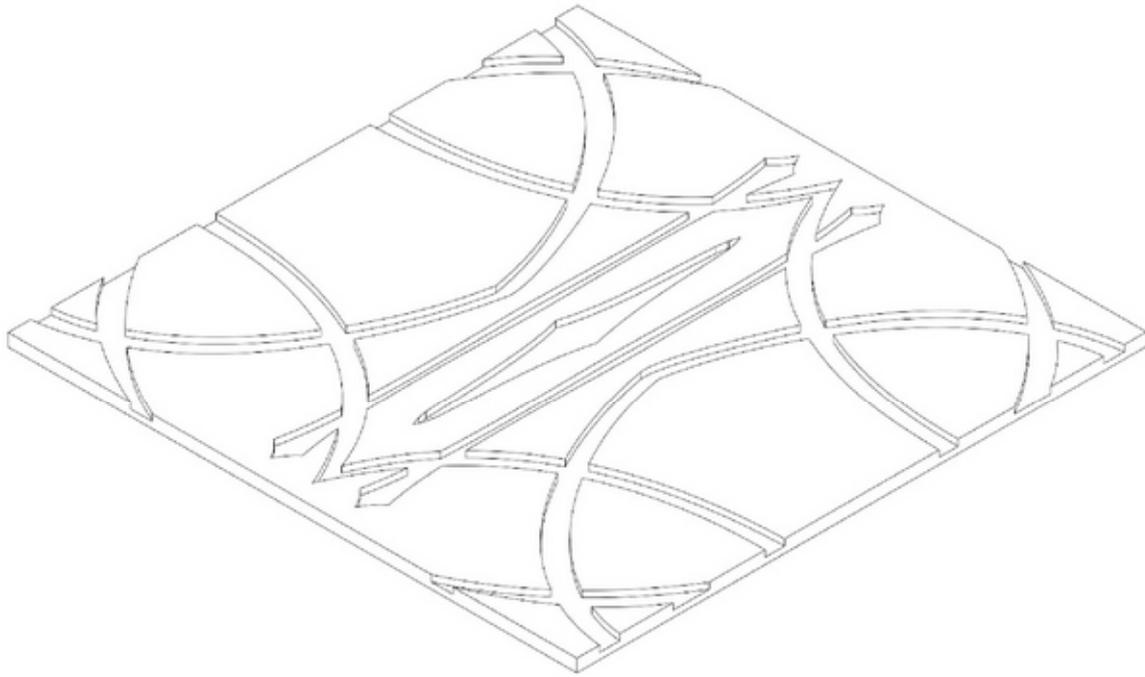


Figura 1.2 - Vista Frontal

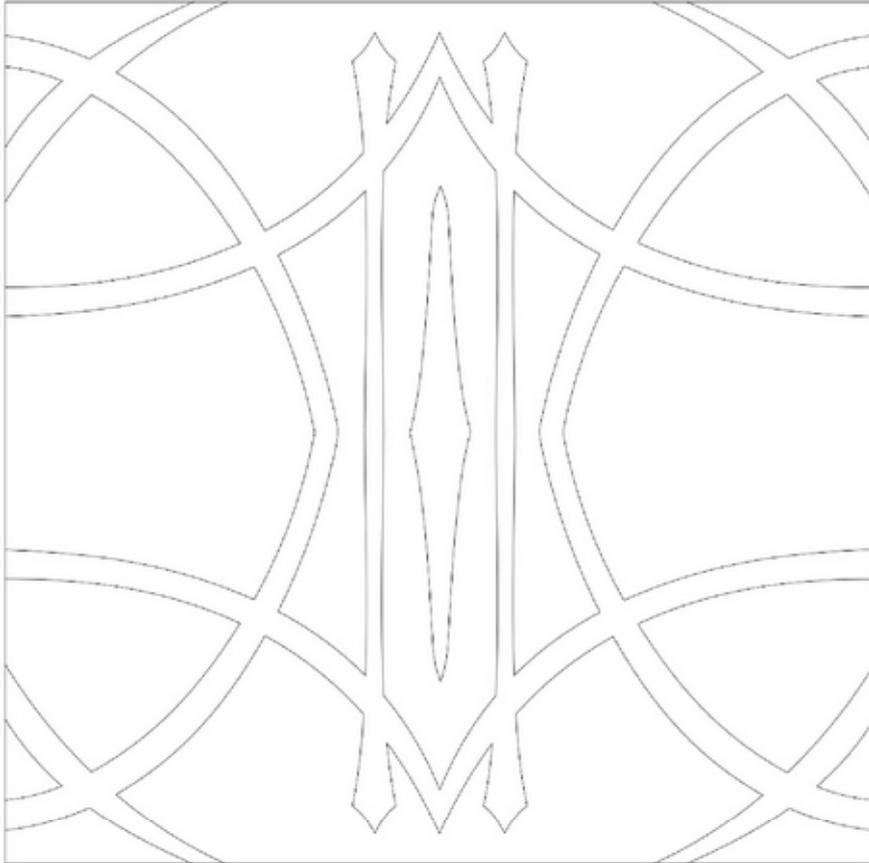


Figura 1.3 - Vista Posterior

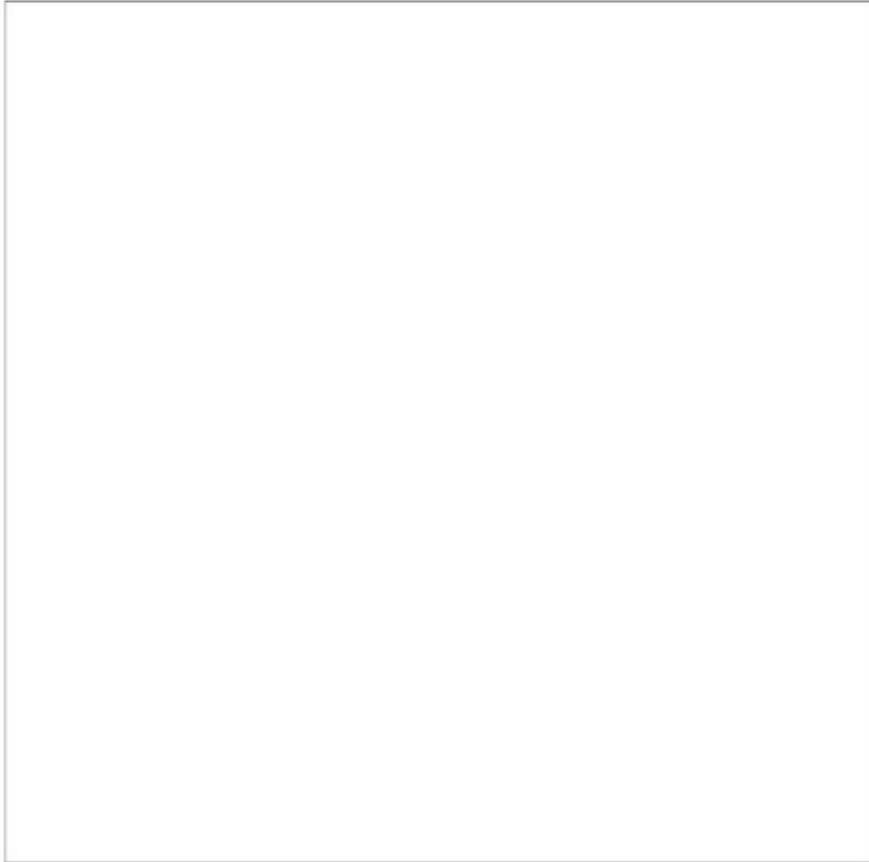


Figura 1.4 - Vista Lateral Direita



Figura 1.5 - Vista Lateral Esquerda



Figura 1.6 - Vista Superior



Figura 1.7 - Vista Inferior





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE MARCAS, DESENHOS INDUSTRIAIS E INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS

CERTIFICADO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL
BR 302018003199-7

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede, automaticamente, sem exame de mérito, o presente CERTIFICADO DE REGISTRO, que outorga ao seu titular propriedade do desenho industrial discriminado neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dele decorrentes, previstos na legislação em vigor.

A proteção conferida pelo registro de desenho industrial, em conformidade com o que estabelece o art. 95 da Lei 9.279/96, é definida exclusivamente a partir da configuração da forma plástica ornamental do objeto ou do conjunto ornamental de linhas e cores requeridos, não abarcando os dados contidos nos eventuais relatórios descritivos e reivindicações juntados ao presente certificado de registro.

(21) Número do Depósito: BR 302018003199-7

(22) Data do Depósito: 24/07/2018

(45) Data de Concessão: 16/10/2018

(52) Classificação Internacional de Desenhos Industriais: 32-00

(30) Prioridade Unionista:

(54) Título: PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO AEM LADRILHO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 92969856000198. Endereço: AV. PAULO GAMA Nº 110, 6º ANDAR, CENTRO, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL(BR), 90040-060, Brasileira

(72) Autor: JUSSARA SMIDT PORTO; DENISE RIPPEL ARAUJO BARP; SILVIE JANIS MOSSATE JOBIM; LAUREN DA CUNHA DUARTE

Prazo de Validade: 10(dez) anos contados a partir de 24/07/2018, mediante o recolhimento da taxa quinzenal de manutenção (Artigos 119 e 120 da LPI) e observadas as demais condições legais.

Registro Concedido em: 16/10/2018

Expedido em: 16 de Outubro de 2018

Assinado digitalmente por:
André Luis Balloussier Ancora da Luz
Diretor

PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO EM LADRILHO

Sumário do Desenho Industrial

O desenho industrial refere-se a um padrão ornamental aplicado em ladrilho, conforme a Figura 1. O presente desenho refere-se a um padrão de repetição, geométrico, encaixável em sequência, com motivos estéticos inspirados na natureza.

Breve Descrição da Figura

Figura 1 - Vista do padrão ornamental

FIGURA

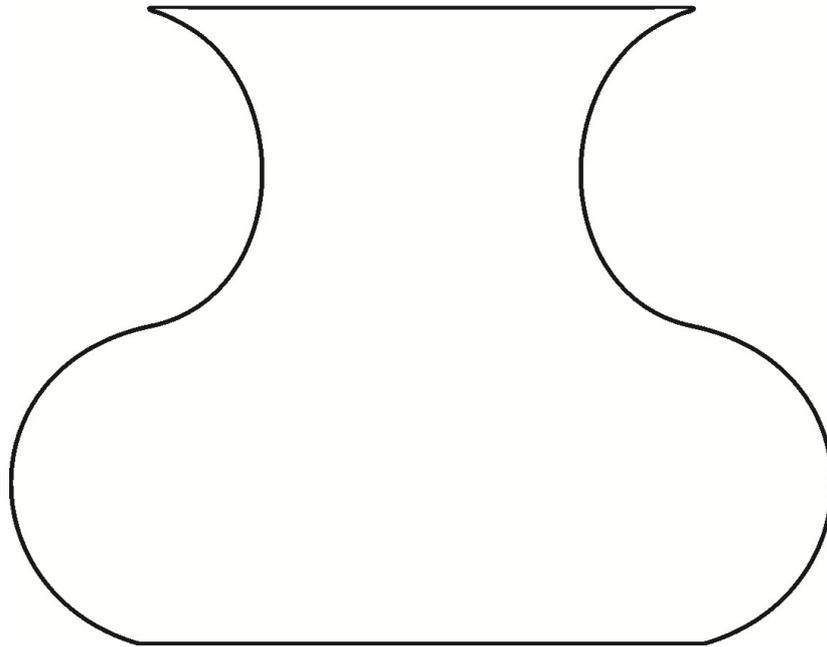


Figura 1 - Vista do padrão ornamental



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE MARCAS, DESENHOS INDUSTRIAIS E INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS

CERTIFICADO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL
BR 302018003200-4

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede, automaticamente, sem exame de mérito, o presente CERTIFICADO DE REGISTRO, que outorga ao seu titular propriedade do desenho industrial discriminado neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dele decorrentes, previstos na legislação em vigor.

A proteção conferida pelo registro de desenho industrial, em conformidade com o que estabelece o art. 95 da Lei 9.279/96, é definida exclusivamente a partir da configuração da forma plástica ornamental do objeto ou do conjunto ornamental de linhas e cores requeridos, não abarcando os dados contidos nos eventuais relatórios descritivos e reivindicações juntados ao presente certificado de registro.

(21) Número do Depósito: BR 302018003200-4

(22) Data do Depósito: 24/07/2018

(45) Data de Concessão: 16/10/2018

(52) Classificação Internacional de Desenhos Industriais: 32-00

(30) Prioridade Unionista:

(54) Título: PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO AEM LADRILHO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 92969856000198. Endereço: AV. PAULO GAMA Nº 110, 6º ANDAR, CENTRO, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL(BR), 90040-060, Brasileira

(72) Autor: JUSSARA SMIDT PORTO; DENISE RIPPEL ARAUJO BARP; SILVIE JANIS MOSSATE JOBIM; LAUREN DA CUNHA DUARTE

Prazo de Validade: 10(dez) anos contados a partir de 24/07/2018, mediante o recolhimento da taxa quinzenal de manutenção (Artigos 119 e 120 da LPI) e observadas as demais condições legais.

Registro Concedido em: 16/10/2018

Expedido em: 16 de Outubro de 2018

Assinado digitalmente por:
André Luis Balloussier Ancora da Luz
Diretor

PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO EM LADRILHO

Sumário do Desenho Industrial

O desenho industrial refere-se a um padrão ornamental aplicado em ladrilho, conforme a Figura 1. O presente desenho refere-se a um padrão de repetição, geométrico, encaixável em sequência, com motivos estéticos inspirados em escamas de peixe.

Breve Descrição da Figura

Figura 1 - Vista do padrão ornamental

FIGURA

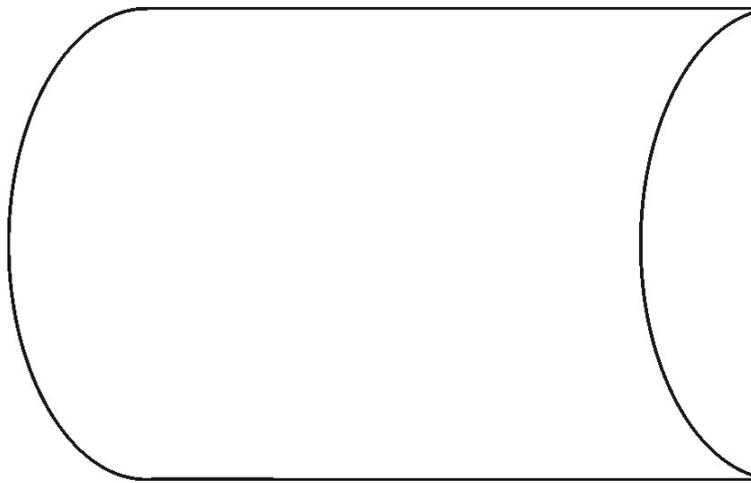


Figura 1 - Vista do padrão ornamental



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE MARCAS, DESENHOS INDUSTRIAIS E INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS

CERTIFICADO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL
BR 302018003198-9

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede, automaticamente, sem exame de mérito, o presente CERTIFICADO DE REGISTRO, que outorga ao seu titular propriedade do desenho industrial discriminado neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dele decorrentes, previstos na legislação em vigor.

A proteção conferida pelo registro de desenho industrial, em conformidade com o que estabelece o art. 95 da Lei 9.279/96, é definida exclusivamente a partir da configuração da forma plástica ornamental do objeto ou do conjunto ornamental de linhas e cores requeridos, não abarcando os dados contidos nos eventuais relatórios descritivos e reivindicações juntados ao presente certificado de registro.

(21) Número do Depósito: BR 302018003198-9

(22) Data do Depósito: 24/07/2018

(45) Data de Concessão: 16/10/2018

(52) Classificação Internacional de Desenhos Industriais: 32-00

(30) Prioridade Unionista:

(54) Título: PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO AEM LADRILHO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 92969856000198. Endereço: AV. PAULO GAMA Nº 110, 6º ANDAR, CENTRO, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL, PORTO ALEGRE, RS, BRASIL(BR), 90040-060, Brasileira

(72) Autor: DENISE RIPPEL ARAUJO BARP; JUSSARA SMIDT PORTO; SILVIE JANIS MOSSATE JOBIM; LAUREN DA CUNHA DUARTE

Prazo de Validade: 10(dez) anos contados a partir de 24/07/2018, mediante o recolhimento da taxa quinzenal de manutenção (Artigos 119 e 120 da LPI) e observadas as demais condições legais.

Registro Concedido em: 16/10/2018

Expedido em: 16 de Outubro de 2018

Assinado digitalmente por:
André Luis Balloussier Ancora da Luz
Diretor

PADRÃO ORNAMENTAL APLICADO EM LADRILHO

Sumário do Desenho Industrial

O desenho industrial refere-se a um padrão ornamental aplicado em ladrilho, conforme a Figura 1. O presente desenho refere-se a um padrão de repetição, geométrico, encaixável em sequência, com motivos estéticos inspirados nos estudos de botânica, em flores.

Breve Descrição da Figura

Figura 1 - Vista do padrão ornamental

FIGURA

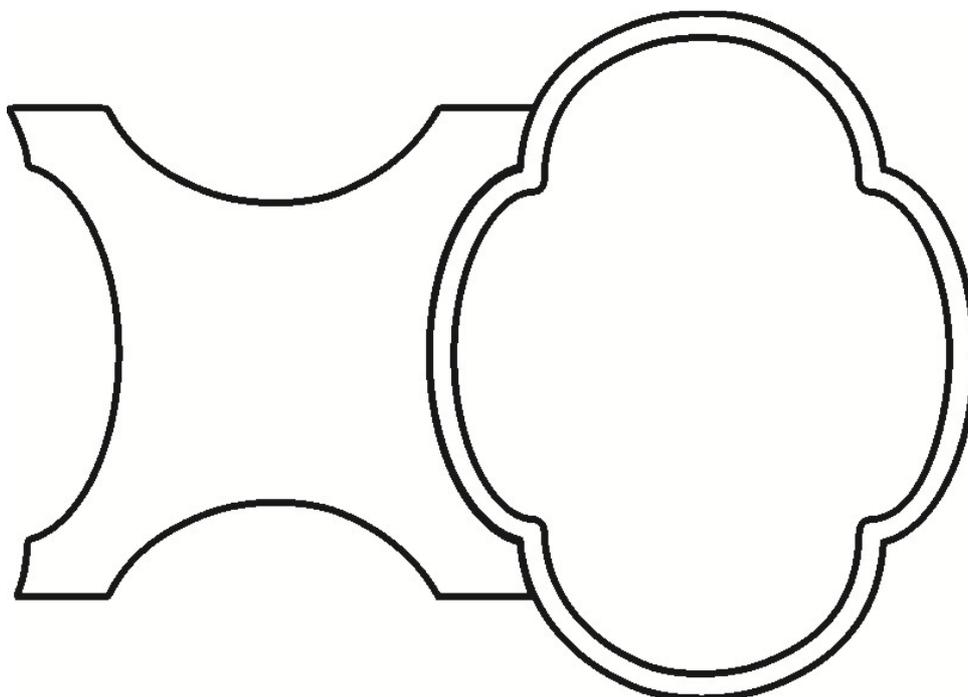


Figura 1 - Vista do padrão ornamental