



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

Ardalla Ziembovicz Vieira

**DESENVOLVIMENTO DE ELEMENTOS MODULARES DO TIPO COBOGÓ EM BASALTO VIA
BENEFICIAMENTO POR JATO D'ÁGUA ABRASIVA**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2023

ARDALLA ZIEMBOVICZ VIEIRA

**Desenvolvimento de elementos modulares do tipo cobogó em basalto via
beneficiamento por jato d'água abrasiva**

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

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

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Vieira, Ardalla Ziembovicz
Desenvolvimento de elementos modulares do tipo
cobogó em basalto via beneficiamento por jato d'água
abrasiva / Ardalla Ziembovicz Vieira. -- 2023.
218 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, 2023.

1. Design de Superfície. 2. Elementos Modulares. 3.
Cobogó. 4. Corte por jato d'água abrasiva. 5. Basalto.
I. Duarte, Lauren da Cunha, orient. II. Título.

Ardalla Ziembovicz Vieira

**DESENVOLVIMENTO DE ELEMENTOS MODULARES DO TIPO COBOGÓ EM BASALTO VIA
BENEFICIAMENTO POR JATO D'ÁGUA ABRASIVA**

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

Porto Alegre, 14 de Julho de 2023.

Fábio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

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

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS

Prof^a. Dra. Danieli Nejeliski

Instituto Federal Sul-rio-grandense – IFSUL – Examinadora Externa

Prof^a. Dra. Mariana Cidade

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM – Examinadora Externa

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

A construção deste trabalho foi um caminho longo e árduo, por isso deixo registrado aqui meu agradecimento a todos que de alguma forma contribuíram para que esta pesquisa chegasse a um bom termo. Em especial:

Ao Instituto Federal Farroupilha (IFFar) – Campus Santa Rosa, onde sou docente desde 2012, e que por meio do auxílio à capacitação docente possibilitou minha dedicação exclusiva para o desenvolvimento da tese, fundamental para os constantes deslocamentos e conclusão. Aproveito e agradeço também meus colegas do IFFar que compartilham os desafios diários da docência, e em especial à minha amiga, colega e irmã de coração Fernanda Conrad Rigo, pelo apoio, incentivo, trocas, cafés e amizade, desde o tempo do mestrado.

Meu agradecimento ao PG Design UFRGS, pelo ensino gratuito e de qualidade. Minha gratidão e carinho pela minha orientadora Lauren Da Cunha Duarte que me acolheu como orientanda quase no meio do caminho do doutorado, por sua calma que conforta e acalma.

Gostaria de agradecer ao Laboratórios LAMTAC e DEMIPE, ambos da UFRGS, pela disponibilidade de realização dos ensaios. Em especial ao profes: Clóvis Gonzatti por sua acessibilidade, conhecimento e prontidão.

Agradeço imensamente o Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do RS, de Soledade/RS, pela disponibilização do equipamento utilizado. Ao Thomas Zibetti pela disponibilidade e atenção na realização dos cortes dos corpos de prova e protótipos.

Também agradeço à empresa Basaltear (Pará/RS) por disponibilizar a matéria-prima utilizada nesta tese, por abrir suas portas e mostrar todas etapas de processamento das rochas, foi um grande aprendizado.

Todo meu amor e gratidão à minha família, que são minha base, de onde vem meus valores de vida. Mãe, pai, sou grata por tudo! Dezi, obrigada por estar sempre perto, mesmo longe. Aos meus sogros (que são como pais), grandes incentivadores deste percurso, obrigada!

E por fim, o meu agradecimento mais que especial, de alma, aos meus amores Marina e Tarcizio. À Nina por entender minhas ausências, horas no computador, pelo amor incondicional. Ao Tarcizio, o maior incentivador de tudo, obrigada por acreditar, pela gigantesca paciência nos momentos de inquietações pelos quais passei durante a realização deste trabalho, por estar sempre perto e atento, pelo amor. Agradeço vocês dois de tal forma e imensidão que mesmo que eu utilizasse todas as palavras existentes e espaços aqui disponíveis não seriam suficientes para agradecer o que fizeram. Tudo ainda seria pouco.

Enfim, a todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para a execução deste trabalho, seja pelo conhecimento, pelo sorriso, pelas críticas construtivas, pela paciência, amizade e que por ventura não citei, muito obrigada!

Dedico este trabalho aos meus amores:
Marina e Tarcizio
e à minha querida avó Avelina (*in memoriam*).

RESUMO

VIEIRA, A. Z. **Desenvolvimento de elementos modulares do tipo cobogó em basalto via beneficiamento por jato d'água abrasiva.** 2023. 218 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

As rochas vulcânicas da Formação da Serra Geral, de ocorrência abrangente no Rio Grande do Sul, são costumeiramente comercializadas para aplicações da construção civil, como em pisos e paredes, mas pouco conhecidas e usadas como rocha para ornamentação. No Brasil, o ramo de rochas ornamentais tem crescido significativamente e isto requer o implemento de inovação em processos e produtos. Por isto, cada vez mais as empresas de beneficiamento têm de investir no aprimoramento da manufatura, explorando o uso de novas tecnologias, como o corte por jato d'água abrasiva. Contudo, o aumento da demanda produz um excedente de resíduos considerável e que pouco é utilizado para o desenvolvimento de novos produtos com maior valor agregado. O objetivo principal desta pesquisa é viabilizar a produção de elementos modulares do tipo cobogó, com material residual da manufatura do basalto, por meio do corte por jato d'água abrasiva, agregando valor estético e comercial à rocha. Artefato muito utilizado pela arquitetura, o cobogó – elemento vazado que constitui superfícies – tem papel importante na iluminação e circulação de ar do ambiente, podendo ser utilizado

tanto em áreas internas quanto externas. Desta forma, foram desenvolvidas duas proposições formais de elementos modulares do tipo cobogó para a realização dos ensaios. Visando a identificar o parâmetro de corte via jato d'água abrasiva adequado para essa rocha, foram realizadas leituras de rugosidade. Os resultados indicam que o parâmetro satisfatório para a elaboração do artefato foi Pressão: 340 MPa, Velocidade de avanço: 70 mm/min e Vazão mássica de abrasivo: 8 mm. Após a elaboração dos protótipos, de acordo com os parâmetros averiguados, foram realizados ensaios que remetem à resistência da matéria-prima pós-beneficiamento. Foi realizada a conferência da Massa Específica Aparente e Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas. Os índices demonstram uma leve queda na qualidade do material, se comparadas aos Relatórios de Ensaio feitos pelo Instituto de Geociências da UFRGS (BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018), mas compatíveis com a finalidade proposta. Para tanto, após os ensaios de compressão uniaxial, observou-se que a resistência do material ficou relativamente menor do que os índices propostos pela ABNT (NBR 15844) e ASTM C – 615, que apontam a resistência para rochas ornamentais para revestimentos. Contudo, no tocante à resistência dos artefatos cobogós, o estudo indica que o produto confeccionado com os resíduos dessa rocha possui uma resistência significativamente superior aos dados preconizados pelas normas regulamentadoras de peças similares.

Palavras-chave: Design de superfícies. Elementos Modulares. Cobogó. Corte por jato d'água abrasiva. Basalto.

ABSTRACT

VIEIRA, A. Z. **Development of cobogó-type modular elements in basalt using abrasive water jet processing.** 2023. 218 p. Thesis (Doctor of Design) Engineering School /Architecture College, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

Volcanic rocks from the Serra Geral Formation, widely occurring in Rio Grande do Sul, are usually sold for civil construction applications, such as floors and walls, but are not usually used as an ornamental rock. In Brazil, the business of ornamental stones has grown significantly, increasing the demand for the implementation of innovation in processes and products. For this reason, a large proportion of companies have to invest in improving manufacturing, exploring the use of new technologies, such as abrasive waterjet cutting. However, such an increase of residues is not matched with policy for developing new, higher-value products. The main objective of this research is to enable the production of modular elements of the cobogó type, with the waste material from the manufacture of basalt, using abrasive water jet cutting, adding aesthetic and commercial value to the rock. An artifact widely used by architecture, the cobogó – a hollow element that constitutes surfaces – plays an important role in lighting and air circulation in the environment, and can be used both indoors and outdoors. As such two formal propositions of modular elements of the cobogó type were developed for carrying out the tests.

Aiming to identify the appropriate cutting parameter via AWJ for basalt, roughness readings were performed. The results indicate that the satisfactory parameter for the elaboration of the artifact was Pressure: 340 MPa, Feed speed: 70 mm/min and Mass flow of abrasive: 8 mm. After the elaboration of the prototypes, according to the verified parameters, tests regarding the resistance of the post-processing material were carried out. Apparent Specific Mass and Propagation Velocity of Ultrasonic Waves were checked. The indices show a slight decrease in the quality of the material, compared to the BSC 01/2017, BSC 02/2017 and BSC 01/2018 Reports, but compatible with the proposed purpose. Therefore, after the uniaxial compression tests, it was observed that the resistance of the material was relatively lower than the indices proposed by ABNT (NBR 15844) and ASTM C - 615, which point to the resistance of ornamental stones for coatings. However, in the topic of the resistance of the cobogós artifacts, the study indicates that the product made with basalt residues has a significantly higher resistance than the data recommended by the regulatory standards for similar pieces.

Keywords: Surface design. Modular Elements. Cobogó. Abrasive waterjet cutting. Basalto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Panorama geral do processo produtivo de rochas ornamentais.....	44
Figura 2: Roteiro para seleção de rochas ornamentais.....	45
Figura 3: Etapas do beneficiamento de rochas ornamentais e geração de resíduos.....	47
Figura 4: Resíduos de rocha ornamental (basalto): a) Lavra - Pedreira Paludo (Garibaldi/RS); b) Material excedente pós desdobramento – Empresa Basaltear (Paráí/RS).....	48
Figura 5: Resíduos provenientes das chapas de rochas ornamentais: a) “Casqueiros” – sobras laterais dos blocos; b) Perdas oriundas de chapas.....	49
Figura 6: Coloração do basalto (Riodacito): a) Basalto Flamenado Flor de Camomila ; b) Basalto Levigado Fio Flor de Camomila; c) Basalto Lustrado São Francisco.....	54
Figura 7: Aplicações do basalto: a) Peças para revestimentos ; b) Calçadas ; c) Muros.....	55
Figura 8: Detalhe de amostra do basalto com textura esferulítica (pontos esbranquiçados).....	58
Figura 9: Desenho da bomba hidráulica – Corte por jato d’água pura (WJC).	67
Figura 10: Fluxo de funcionamento básico do corte por jato de água e abrasivo. 69	
Figura 11: Corte AWJ em rochas ornamentais: a)Mosaico em mármore (50 cm diâmetro); b) Desenho personalizado em mármore (40 x 40 cm).....	73
Figura 12: Textura Hydrofinishing na parede em rocha ornamental.....	73

Figura 13: Painel de revestimento em ágata com módulos encaixáveis.....	76
Figura 14: Protótipos virtuais dos designs de gemas ou rochas gerados em um biogrid.....	76
Figura 15: Revestimento tridimensional cobogó: a) Bloco vazado com resíduo de sururu; b) Composição da superfície elaborada com os blocos vazados.....	78
Figura 16: Esquema de integração entre arquitetura x superfície x design.	81
Figura 17: Exemplos de treliças que inspiraram o cobogó: a) Treliça tipo Muxarabi; b) Treliça tipo Gelosia.....	84
Figura 18: Reprodução do desenho esquemático do bloco perfurado - Cobogó – Registro de patente: a) Parte superior da página – configuração do “Combogó”; b) Parte inferior da página – aplicação.....	85
Figura 19: Prédio da Caixa D’água de Olinda/Pernambuco - Obra do arquiteto Luiz Nunes, 1935.....	86
Figura 20: Casas Maya: a) Millard House; b) Ennis House.....	87
Figura 21: a) Detalhe fachada do Conjunto habitacional Pedregulho – Arquiteto Affonso Eduardo Reidy; b) Corredor Interno de acesso aos apartamentos do Conjunto habitacional Pedregulho; c) Fachada da Biblioteca Nacional de Brasília Leonel de Moura Brizola – Arquiteto Oscar Niemeyer; d) Detalhe dos cobogós da fachada da biblioteca.	89
Figura 22: Detalhe da fachada da edificação Parque Eduardo Guinle - Arquiteto Lúcio Costa: a) Vista geral – Brises e cobogós; b) Detalhe dos cobogós.....	90
Figura 23: Edificação padrão das superquadras do Plano Piloto Brasília/DF – Oscar Niemeyer.	91

Figura 24: Exemplos de variações de formatos de cobogós: a) Cobogó Rama - louça verde; b) Cobogó Rústico Reto Flor – cerâmica vermelha; c) Cobogó Foco – louça vermelha.	97
Figura 25: Desenho geral das etapas metodológicas seguidas.....	100
Figura 26: Matéria-prima utilizada para execução da pesquisa: Material residual presente no pátio da empresa Basaltear.....	103
Figura 27: Matéria-prima disponibilizada para execução da pesquisa: a) Material usado para a confecção dos corpos de prova.	104
Figura 28: Máquina de corte por jato d’água abrasiva utilizada no estudo: a) parte da pressurização; b) local de corte; c) local de comando; d) local de alimentação de abrasivo; e) unidade de refrigeração.....	105
Figura 29: Rugosímetro utilizado no experimento pertencente ao LATRIB - UFRGS: a) Ponteira de medição da rugosidade b) Unidade de controle dos resultados.....	107
Figura 30: Equipamento de Ultrassom (Pundit Lab) utilizado no experimento pertencente ao Laboratório de Geologia de Engenharia – UFRGS.	108
Figura 31: Balança de precisão utilizada no experimento pertencente ao Laboratório de Geologia de Engenharia – UFRGS.	109
Figura 32: Máquina de ensaios universal utilizada no experimento pertencente ao LAMTAC NORIE – UFRGS.....	110
Figura 33: Metodologia aplicada para a execução do experimento do estudo.	113
Figura 34: Desenhos dos corpos de prova e a junção de formas para aproveitamento de material.....	116

Figura 35: Detalhe da conexão de 2 mm entre a ligação chapa-peça.....	119
Figura 36: Dimensão geral dos corpos de prova: a) Mensuração da altura; b) Mensuração do comprimento; c) Vista frontal com dimensão geral.	120
Figura 37: Corpos de prova de 20 mm usinados: a) Dimensão conferida com o paquímetro b) Corpos de prova usinados com o mesmo tamanho e geometria..	121
Figura 38: Corpos de prova 28 e 44mm: a) Vista superior das peças de 28 e 44 mm b) Geometria igual em ambas espessuras.....	121
Figura 39: Pontos de leitura do rugosímetro: A,B e C.	123
Figura 40: Determinação da velocidade ultrassônica: a) Realização do ensaio de ultrassom. b) Direções de verificação de VP.....	125
Figura 41: Exemplos combinações modulares dos murais de azulejaria de Athos Bulcão: a) Detalhe painel de azulejos do Palace Hotel, Brasília, 1958 (Foto: Edgard César); b) Detalhe painel de azulejos do Centro Cultural Missionário da CNBB, Brasília, 1995 (Foto: Edgard César); c) Detalhe painel de azulejos do Posto de Saúde - Câmara dos Deputados, Brasília, 1972 (Foto: Edgar César).	131
Figura 42: Geração de alternativa dos módulos.....	132
Figura 43: Elementos modulares: do quadrado ao retangular.	132
Figura 44: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo cobogó 1.	134
Figura 45: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo cobogó 2	135
Figura 46: Exemplos de combinações possíveis dos cobogós: Representação do sistema alinhado – Módulo cobogó 1.....	137
Figura 47: Exemplos de combinações possíveis dos cobogós: Representação do sistema alinhado – Módulo cobogó 2.....	138

Figura 48: Exemplos de combinações possíveis dos cobogós: Representação do sistema não alinhado – Módulo cobogó 1 e 2.	139
Figura 49: Aplicação do módulo cobogó 1 – padrão 1 do sistema alinhado – Divisória cozinha/lavanderia.....	141
Figura 50: Aplicação do módulo cobogó 1 – padrão 3 do sistema alinhado – Hall de entrada	142
Figura 51: Aplicação do módulo cobogó 2 – padrão 1 do sistema alinhado – Fachada residencial.....	143
Figura 52: Aplicação do módulo cobogó 2 – padrão 1 do sistema alinhado – Divisória área externa a) Vista externa da área de piscina b) Vista privativa da piscina.....	144
Figura 53: Textura da superfície da rocha pós AWJ – Corpo de prova 44 mm – Vf: 40 mm/min.....	147
Figura 54: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 20 mm: a) Ra; b) Rq.....	150
Figura 55: Exemplificação da variação de rugosidade - Comparação Ra e Rq do corpo de prova 11.....	151
Figura 56: Ra e Rq – mínimo e máximo dos corpos de prova 20mm.....	152
Figura 57: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 28 mm: a) Ra; b) Rq.....	154
Figura 58: Ra e Rq – mínimo e máximo dos corpos de prova 28mm.....	155
Figura 59: Síntese dos resultados de Ra e Rq (mínimo e máximo) dos corpos de prova de 20 e 28mm.	156

Figura 60: Diferença da rugosidade das superfícies pós AWJ: a) Corpo de prova 20mm; b) Corpo de prova 28 mm.	157
Figura 61: Protótipos usinados via AWJ.....	160
Figura 62: Acabamentos dos protótipos: a)Flameado; b) Polido	161
Figura 63: Resultados da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (barras verticais) x Médias BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018 (barras horizontais).	163
Figura 64: Síntese comparativa das médias de velocidade de propagação ultrassônica.....	165
Figura 65: Variação dos valores individuais da MEA.....	167
Figura 66: Comparação da MEA dos protótipos e as respectivas densidades aparentes das normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615 e dos Relatórios BSC 01/2017 e BSC 01/2018.	168
Figura 67: Protótipo posicionado na prensa universal para determinação da resistência à compressão uniaxial.	169
Figura 68: Compressão uniaxial da peça teste: a) Ruptura na prensa; b) Local da ruptura da peça.	170
Figura 69: Gráfico comparativo: Valores de resistência à compressão uniaxial de cada protótipo.....	171
Figura 70: Compressão uniaxial do protótipo 1: a) Ruptura na prensa; b) Local de ruptura da peça.	172
Figura 71: Compressão uniaxial: a) Ruptura do protótipo 2; b) Ruptura do protótipo 4; c) Ruptura do protótipo 5; d) Ruptura do protótipo 6.	173

Figura 72: Compressão uniaxial: a) Ruptura do protótipo 3 – Prensa mal posicionada (oblíqua); b) Ruptura do protótipo 3 - vertical; c) Início ruptura do protótipo 7.....	174
Figura 73: Ruptura do protótipo 9: a) Pós imediato aos esforços compressivos - carga de 52,55 Mpa; b) Local de ruptura principal.....	174
Figura 74: Resistência à Compressão Uniaxial: Correlação de dados das normativas (blocos verticais) e da média dos protótipos (linha horizontal).....	176
Figura 75: Correlação entre resistência à compressão uniaxial (blocos verticais) e a propagação de ondas ultrassônicas (linha irregular laranja)	177
Figura 76: Geometrias dos Módulos cobogó 1 e 2.....	184
Figura 77: Variação modular 1 – Módulo Cobogó 1.....	184
Figura 78: Variação modular 2 – Módulo Cobogó 1.....	185
Figura 79: Variação Modular - Módulo cobogó 2.....	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Compilação dos resultados da caracterização tecnológica do basalto - Jazida Paludo.....	63
Tabela 2: Histórico da utilização de elementos vazados em obras relevantes da arquitetura brasileira.....	93
Tabela 3: NBR's – Elementos Modulares vazados.....	98
Tabela 4: Valores obtidos pelo planejamento estatístico Minitab para o processo AWJ em chapa de 20 mm de espessura.....	117
Tabela 5: Valores obtidos pelo planejamento estatístico Minitab para o processo AWJ em chapa de 28 mm de espessura.....	118
Tabela 6: Valores obtidos pelo planejamento estatístico Minitab para o processo AWJ em chapa de 44 mm de espessura.....	118
Tabela 7: Tempo de duração do processo de usinagem dos corpos de prova.	146
Tabela 8: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 20mm - Aferições A, B e C	149
Tabela 9: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 28mm - Aferições A, B e C.	153
Tabela 10: Parâmetros utilizados no processo de AWJ – corpos de prova 20 e 28 mm.....	158
Tabela 11: Resultados das Veloc. de Propagação de Ondas Ultrassônicas.	162
Tabela 12: Resultados da Massa Específica Aparente dos protótipos.....	166
Tabela 13: Resultados da compressão uniaxial de cada protótipo.	171

Tabela 14: Combinação de parâmetros de corte – corpos de prova de 20 mm....	196
Tabela 15: Combinação de parâmetros de corte – corpos de prova de 28 mm....	196
Tabela 16: Combinação de parâmetros de corte – corpos de prova de 44 mm....	197
Tabela 17: Dados da rugosidade dos corpos de prova de 20 mm – Ranking por média – do maior ao menor.	198
Tabela 18: Dados da rugosidade dos corpos de prova de 28 mm – Ranking por média – do maior ao menor.	198
Tabela 19: Dados Velocidade Ultrassônica dos protótipos.	199
Tabela 20: Tabela de aferições de Massa Específica Aparente dos protótipos...	199

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Grupos de rochas e principais tipos de rochas ornamentais relacionados.....	41
Quadro 2: Exemplos de modelos de cobogós existentes no mercado.....	96
Quadro 3: Determinação dos fatores influentes, não influentes e fixos para o corte por jato d'água abrasiva para o estudo.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWJ	Abrasive Water Jet
CAD	Computer Aided Design
CEN	European Committee for Standardization
CNC	Comando Numérico Computdorizado
CT PEDRAS	Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul
DEMIPE	Departamento de Mineralogia e Petrologia UFRGS
DWG	Extensão Arquivos programa AutoCAD
g/cm³	Grama por Centímetro Cúbico
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Brasil)
Kg/m³	Quilograma por metro cúbico
Km/h	Quilômetro por hora
Km/s	Quilômetro por segundo
kN	Quilo Newton
LAMTAC	Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído UFRGS
LATRIB	Laboratório de Tribologia UFRGS
MEA	Massa Específica Aparente
m²	Metro quadrado

mm	Milímetros
m/s	Metro por segundo
MPa	Mega Pascal
m³A	Vazão mássica de abrasivo
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
psi	<i>Per Square Inch</i> (Por polegada quadrada)
P	Pressão
Ra	Rugosidade média
RS	Rio Grande do Sul
Rq	Raiz quadrada de desvio de rugosidade
σc	Tensão de ruptura
t	Tempo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Vf	Velocidade de Avanço
Vp	Velocidade Sônica
WJC	Water Jet Cutting
μm	Micrometros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	QUESTÃO NORTEADORA DE PESQUISA E HIPÓTESE.....	31
1.2	OBJETIVOS.....	32
1.2.1	Objetivo Geral.....	32
1.2.2	Objetivos Específicos.....	32
1.3	JUSTIFICATIVA.....	33
1.4	ESTRUTURA DA TESE.....	35
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	38
2.1	ROCHAS ORNAMENTAIS.....	38
2.1.1	Beneficiamento e especificações para rochas ornamentais.....	42
2.1.2	Reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais.....	46
2.1.3	O basalto da serra gaúcha.....	52
2.1.3.1	Especificidades: Basalto Flor de Camomila.....	56
2.1.3.2	Caracterização tecnológica.....	59
2.2	CORTE POR JATO D'ÁGUA ABRASIVA (AWJ).....	64
2.2.1	Corte AWJ de materiais geológicos.....	71
2.3	DESIGN DE SUPERFÍCIE.....	74
2.3.1	A superfície como elemento da arquitetura e design.....	79
2.4	ELEMENTOS MODULARES – COBOGÓS.....	83

2.4.1	Materiais e aplicações.....	95
3	MATERIAIS E MÉTODOS	100
3.1	METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DE TRABALHO	100
3.2	MATERIAL E EQUIPAMENTOS	102
3.2.1	Material.....	102
3.2.2	Máquina corte por jato d'água abrasiva.....	104
3.2.3	Rugosímetro	106
3.2.4	Equipamento de Ultrassom	107
3.2.5	Balança (Massa Específica Aparente).....	108
3.2.6	Máquina de Ensaio Universal.....	109
3.3	PROJETO DE PRODUTO: ELEMENTOS MODULARES DO TIPO COBOGÓ.....	108
3.4	EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO	112
3.4.1	Definição dos parâmetros do corte AWJ.....	113
3.4.1.1	Planejamento Estatístico Minitab.....	116
3.4.2	Execução dos cortes AWJ	119
3.4.3	Medição da Rugosidade	122
3.4.4	Determinação da Velocidade Ultrassônica – Ultrassom	124
3.4.5	Determinação da Massa Específica Aparente.....	126
3.4.6	Ensaio de Compressão Uniaxial.....	127
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	129
4.1	CONCEPÇÃO FORMAL DOS ELEMENTOS MODULARES	129

4.1.1	Especificações Técnicas	133
4.1.2	Módulos e Padrões	135
4.1.3	Aplicações	140
4.2	EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE CORTE	144
4.2.1	Tempo de corte	145
4.3	RUGOSIDADE	148
4.4	PROTÓTIPOS	160
4.5	VELOCIDADE ULTRASSÔNICA – ULTRASSOM	161
4.6	MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	166
4.7	RESISTÊNCIA MECÂNICA – COMPRESSÃO UNIAXIAL.....	169
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	179
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	182
5.1.1	Variações modulares e percentuais de retirada de material	183
	REFERÊNCIAS	187
	APÊNDICES	196
	ANEXOS	200

1 INTRODUÇÃO

A história da humanidade mostra que a evolução social, cultural, geográfica e política passaram por inúmeras transformações e que está em constante devir. O homem, por sua vez, busca diversos meios para sobrevivência, adaptando os mais diversos materiais para atender as suas necessidades.

Neste contexto, as rochas são uns dos primeiros materiais naturais utilizados para edificação de moradias, em virtude de sua perenidade e abundância, sendo empregadas na construção civil desde os tempos remotos até os dias atuais. Em tempos líquidos, a permanência e durabilidade da rocha faz com que o mercado explore ainda mais os processos de extração, beneficiamento e diversidade de produtos em rochas ornamentais.

No Brasil existe uma das maiores geodiversidade de rochas ornamentais do mundo, sendo em torno de 1000 variedades ofertadas no mercado. Isto faz com que o país tenha uma cadeia de produto consistente, com grandes produtores e exportadores. Em um panorama geral, de acordo com a ABIROCHAS (2021), o Brasil encontra-se em 5º lugar dentre os maiores produtores e exportadores mundiais, ficando atrás somente da China, Itália, Turquia e Índia.

O perfil produtivo brasileiro de materiais rochosos naturais, de acordo com Chiodi Filho (2019), em denominações comerciais das rochas, inclui principalmente Granito e similares (50%), Mármore e Travertino (23,3%), Ardósia (4,5%), Quartzito Foliado (3,3%), Quartzito maciço (12,2%), Granito Miracema (2,2%) e outros como Balsalto, Pedra Sabão, Pedra Cariri, e demais, com 4,5 %. Neste cenário, os

principais estados produtores e exportadores são: Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte, Paraíba e Rio de Janeiro, conforme aponta o Informe ABIROCHAS 02/2020.

No Rio Grande do Sul, a variedade de rochas para ornamentação e revestimento é escassa, sendo a principal formação rochosa de riolito, uma rocha vulcânica pertencente à Formação da Serra Geral, com características peculiares, chamada comercialmente de basalto, denominação também adotada nesta tese. Normalmente estas rochas possuem aparência textural em variações de cinza com pontuações brancas (feições esferulíticas esbranquiçadas), motivo pelo qual também é conhecida por “Carijó” ou “Flor de Camomila”.

É encontrada principalmente em diversos municípios da serra gaúcha, dentre eles, Garibaldi/RS. Nesta cidade localiza-se a Jazida Paludo Pedras, local de onde são extraídos os blocos de basalto que posteriormente são beneficiados pela empresa Basaltear, empresa fornecedora do material para os experimentos deste estudo, situada em Parai/RS.

A extração e beneficiamento do basalto têm reflexos diretos na economia local, entretanto é pouco difundido para uso de ornamentação no restante do país. Trivialmente é comercializado como revestimento para construção civil, britas, cascalhos, paralelepípedos e ladrilhos.

Todavia, é comum a existência de material residual em todos os processos da cadeia produtiva (da lavra ao beneficiamento final), sendo muito expressiva a quantidade de matéria-prima excedente. Grande parte destes rejeitos são transformados em brita e a outra permanece no pátio da pedreira, constituindo-se

em passivo ambiental (TOSCAN *et al.*, 2007) e conseqüentemente pouco explorado como uma rocha de maior valor agregado.

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais se constitui basicamente por três grandes etapas: a lavra, que é a retirada dos blocos rochosos da jazida; o beneficiamento primário, processo de desdobramento dos blocos; e o acabamento final, habitualmente feito nas marmorarias. Estes processos cada vez mais têm se aprimorado, tanto pelo avanço da tecnologia, quanto pelas demandas do mercador consumidor, contando com investimento em equipamentos que otimizam a manufatura e ainda melhoram o acabamento final da rocha.

Assim, um novo ciclo de processamento tem se mostrado promissor: o corte por jato d'água abrasiva (AWJ – *Abrasive Water Jet*) para rochas ornamentais. A utilização dessa tecnologia apresenta vantagens notáveis, tais como alta precisão, versatilidade para operações de corte e limpeza, eficácia no processo e uma eficiência energética destacada.

Este tipo de usinagem permite cortes personalizados, transformando as rochas em peças únicas, diferenciadas e com acabamento mais aprimorado. O corte é feito por um jato de água, que misturado ao abrasivo, e por meio da regulagem de parâmetros de velocidade de deslocamento, pressão e tempo, opera realizando a usinagem definida. Os recortes podem ser executados em linhas retas ou curvas, em “[...] formas planas ou superfície de forma livre, requerendo ou não a inclinação do cabeçote para realizar o recorte” (IPAR, 2018, p.11).

Embora algumas empresas da área de rochas ornamentais já tenham investido neste tipo de equipamento, ainda continua incipiente o processo

produtivo em outras. Inserir esta tecnologia de manufatura, em meio às etapas produtivas, é explorar outras vertentes de artefatos e ainda aprimorar o produto final.

Aliar o AWJ à elaboração de novos produtos oriundos do excedente do processo de manufatura do setor de rochas ornamentais, mais especificamente do basalto, é de grande relevância, pois o material é pouco explorado para fins da fabricação de outros artefatos com maiores atributos de qualidade estética e funcional. Desta forma, constrói-se a proposição de pesquisa: desenvolver elementos modulares do tipo cobogó, com resíduos de basalto, por meio do beneficiamento de corte por jato d'água abrasiva.

Sobre os cobogós, convém mencionar, que são elementos vazados tipicamente brasileiros e funcionam como componentes arquitetônicos que garantem de forma contínua a iluminação natural, proteção solar e a ventilação natural do espaço (PAULERT, 2012). Além dos aspectos funcionais, o emprego dos cobogós também se caracteriza pelo apelo estético, pois a combinação de seus módulos forma grandes superfícies desenhadas, com projeção de luz e sombra.

Por fim, o estudo proposto por esta pesquisa envolve a identificação de parâmetros de usinagem via AWJ que melhor se adequam ao beneficiamento do basalto, bem como averiguar questões que envolvem as características de resistência dos elementos vazados, além das temáticas que abordam o design de superfície, produtos e sustentabilidade, maximizando o uso do bem mineral.

A constante pesquisa sobre seleção de materiais e suas inúmeras possibilidades de manufatura, viabiliza a propagação e aplicação dos resultados

nas diversas esferas do design de produtos, bem como do mercado de rochas ornamentais, em específico. A contribuição do estudo prevê a compatibilidade entre processo e material, com fins de maior produtividade, precisão, inovação e criatividade ao produto final por meio do design.

1.1 QUESTÃO NORTEADORA DE PESQUISA E HIPÓTESE

Questão norteadora: Como viabilizar a produção de elementos modulares do tipo cobogó com resíduos de rocha ornamental basalto?

Hipótese: O setor de rochas para ornamentação e revestimento teve um aumento significativo nos últimos anos (até o ano 2020), direcionando-o ao aprimoramento de seus processos produtivos e produtos. O emprego de tecnologias, como máquinas com comando CNC, por meio do uso de fresas, brocas, discos de serra, fios diamantados e corte por jato d'água abrasiva, permite trabalhar a rocha de maneira diferenciada, por vezes otimizando a produção e melhorando a aparência.

No Brasil, a inserção de corte por jato d'água abrasiva para rochas ornamentais ainda não é recorrente, no entanto, o setor tem buscado esta alternativa produtiva como forma de melhorar a qualidade do produto final, principalmente para o processamento de mármore e granitos. Assim, explorar a usinagem de rochas ornamentais por meio do uso desta tecnologia se faz pertinente, sobretudo quando a temática envolve agregar valor estético, funcional

e comercial para resíduos de rochas. Pensar outras possibilidades de artefatos rochosos, especialmente em basalto, permite transitar por vertentes inexploradas, como produção de cobogós, por exemplo.

Portanto, acredita-se que o desenvolvimento de elementos vazados do tipo cobogó, via AWJ, é uma possibilidade viável para o melhor aproveitamento do material residual proveniente das empresas que beneficiam a rocha ornamental basalto, expandindo a gama de produtos produzidos e ainda estreitando a relação entre o design –arquitetura –superfície.

1.2 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados o objetivo geral e os específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Transformar os resíduos de rocha ornamental basalto em elementos modulares do tipo cobogós, para aplicação na arquitetura de interiores e exteriores visando agregar valor estético, funcional e comercial à rocha, que normalmente é empregada em soluções e artefatos de baixa complexidade formal.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e compreender o setor de rochas ornamentais, em específico o basalto, suas características físicas e mecânicas;
- Entender como funciona o processo AWJ em rochas ornamentais e averiguar o comportamento do basalto quando submetido à usinagem;
- Identificar os parâmetros adequados para a usinagem do material via AWJ, por meio da aferição da rugosidade;
- Valorizar resíduos de basalto através do design de superfície, desenvolvendo elementos modulares do tipo cobogó;
- Verificar a morfologia, estrutura superficial e massa específica aparente do material após beneficiamento;
- Desenvolver ensaios para avaliação da resistência mecânica nos elementos modulares do tipo cobogó, de acordo com a sua funcionalidade;
- Estimar combinações adequadas de processo AWJ para a produção do artefato em basalto.

1.3 JUSTIFICATIVA

A arquitetura possui uma relação direta e intrínseca com o design, seja por meio da elaboração de produtos que ambientam o espaço, ou pelo desenvolvimento de superfícies de revestimentos que constituem a edificação. Explorar novas possibilidades de produtos, materiais e tecnologias permite a abertura de novos mercados, além de contribuir em aspectos de ordem formal, estrutural e também sustentável para o espaço arquitetônico.

O setor da construção civil e a arquitetura de interiores são os principais demandantes de rochas ornamentais para aplicações em revestimentos, pisos, bancadas, espaços gourmet, dentre outros usos. Esta demanda é reflexo do aumento das exportações, que teve um crescimento positivo de 35% entre os anos de 2020 e 2021, conforme ABIROCHAS (2021).

Com a expansão e conseqüente maior beneficiamento das rochas ornamentais, o excedente produtivo também aumentou. No entanto, ações que visam o reaproveitamento dos rejeitos das rochas, com a finalidade de incrementar aspectos estéticos, e conseqüentemente comerciais, a novos produtos deste material, ainda é incipiente.

Por isto, transformar os resíduos de rocha ornamental em blocos vazados do tipo cobogós para aplicação na arquitetura, é percorrer um caminho que viabiliza o desenvolvimento de novos produtos com soluções diferenciadas e que atendem a demanda com foco na sustentabilidade, estética, funcionalidade e no valor comercial.

Os cobogós são artefatos que materializam a tríade Arquitetura x Superfície x Design, pois são utilizados como paredes e/ou divisórias e conferem ao espaço, além da aparência visual, aspectos que envolvem a iluminação e ventilação natural.

Como a natureza da materialidade dos cobogós é diversa, o desenvolvimento deste tipo de produto em basalto é de fato uma alternativa viável para implementar o setor de rochas ornamentais e construção civil, sendo este o fio condutor desta pesquisa.

Para tanto, a rocha ornamental explorada é o basalto, material encontrado em abundância no Rio Grande do Sul. Assim, foi utilizado como norte o trabalho intitulado “Pesquisa geológica e caracterização tecnológica da jazida de Riodacito para uso em rocha ornamental e de revestimento em Garibaldi/RS” (DE ABREU, 2019), em que são apontadas as especificações técnicas referentes a rocha ornamental desta jazida em específico, pois é o mesmo material utilizado neste estudo.

E é neste ponto que entra a relevância desta tese: reaproveitar os resíduos oriundos da jazida e/ou do beneficiamento primário, para a elaboração de estruturas modulares do tipo cobogós, a partir de uma tecnologia ainda pouco empregada no setor de rochas ornamentais: o beneficiamento de corte por jato d’água abrasiva.

O processo de usinagem AWJ viabiliza um corte preciso e com formas mais complexas, em recortes que possibilitam encaixes e sobreposições para diversos produtos e tipos de rochas (PALDÊS, ZAMPIROLI, 2019), ampliando as propostas de concepção formal dos designers de produtos.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Para a elaboração deste trabalho, foram adotados três enfoques metodológicos: pesquisa bibliográfica, desenvolvimento de novos produtos e fabricação dos artefatos. O foco da primeira abordagem é a fundamentação teórica, enquanto as duas últimas versam sobre o desenvolvimento e produção de

elementos modulares (cobogós) em rocha ornamental basalto, feitos por meio de corte por jato d'água abrasiva.

No primeiro capítulo, são apresentados a contextualização, o problema de pesquisa, a hipótese, os objetivos, a justificativa e a estrutura da tese.

O segundo capítulo trata da base teórica dos três principais tópicos deste trabalho: rochas ornamentais (basalto), beneficiamento através do corte por jato d'água abrasiva e design de superfície por meio do uso de cobogós. Desta forma, o capítulo está distribuído em tópicos que trazem breves apontamentos sobre o que são as rochas ornamentais, o reaproveitamento residual, seguido da caracterização e demais especificações sobre a rocha ornamental basalto. O terceiro item apresenta os processos de usinagem das rochas ornamentais, sobretudo o processo de corte por jato d'água abrasiva.

Ainda no capítulo da fundamentação teórica, apresentam-se conceitos sobre o design de superfície, sua relação com a arquitetura e design e por fim aspectos que abordam as especificidades do artefato deste trabalho: o cobogó.

O terceiro capítulo é dedicado aos materiais e métodos utilizados neste trabalho. Apresenta-se inicialmente um desenho geral das etapas realizadas, depois aspectos referentes ao desenvolvimento do projeto dos produtos, material usado, equipamentos e softwares. Logo, são descritos apontamentos sobre o projeto dos artefatos, em que são apresentadas as metodologias projetuais utilizadas como base para a elaboração da concepção formal, a realização prática dos experimentos: a definição dos parâmetros de corte e sua execução, a medição da rugosidade e as experimentações de velocidade ultrassônica, determinação da

massa específica aparente, além da execução dos ensaios de resistência mecânica dos protótipos.

Os resultados e discussões são descritos no quarto capítulo, onde estão expostos o referencial estético utilizado como fonte visual para o processo criativo, a definição projetual e em seguida as especificações técnicas dos desenhos propostos, as configurações dos módulos e padrões e posteriormente a exemplificação da aplicação do artefato no espaço. Ainda neste tópico são explorados os dados obtidos a partir dos experimentos efetuados e a comparação com as referências normativas vigentes.

As considerações finais, no quinto e último capítulo, fazem observações sobre a fundamentação teórica e os resultados encontrados em relação a produção de cobogós via corte por jato d'água abrasiva em basalto, culminando com as sugestões para trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências utilizadas na construção deste trabalho, os apêndices e os anexos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente trabalho está direcionado à relação entre o design de produto e os materiais, compreendendo os usos de rochas ornamentais para a fabricação de itens de uso comum na construção civil. A fundamentação teórica elucida a interdisciplinaridade no design de produto e sua correlação com a arquitetura, bem como outras questões que envolvem o processo de usinagem por jato d'água abrasiva para beneficiamento de rochas. A construção desta pesquisa leva em consideração as propriedades do material selecionado, processos de usinagem, bem como os elementos modulares do tipo cobogó.

2.1 ROCHAS ORNAMENTAIS

Desde os tempos mais remotos, as rochas são os materiais de origem natural mais usado pelo homem para construção de edificações, por suas boas propriedades mecânicas e também por se encontrar em abundância.

Existe uma grande gama de ambientes geológicos, cada um com suas peculiaridades, nas quais conferem características únicas a cada rocha, pois se formam de acordo com a evolução da crosta terrestre, combinando distintos elementos químicos e minerais. Os resultados são inúmeros padrões visuais e texturas, além de diversas colorações (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

Por isto, a identificação e descrição sistemática de estudo por meio da petrologia e a investigação da origem das rochas - a petrogênese, são de suma

importância. O estudo sobre rochas envolve o conhecimento sobre o modo geológico de ocorrência ou de jazida, a composição química, os fatores variáveis (tamanho, forma e arranjo dos componentes minerais) e ainda devem ser consideradas as composições, texturas e estruturas (MENEZES, 2013).

A compilação destas informações permitem afirmar que cada espaço-temporal de um maciço rochoso possui rochas únicas e exclusivas, que possuem características estéticas e físico-mecânicas específicas. Estas propriedades fazem com que a rocha seja especificada nominalmente, recebendo um nome próprio, como no comércio de rochas ornamentais.

A designação sobre rochas ornamentais, nos termos da *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT), especifica que “Rocha ornamental é material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária.” (ABNT NBR 15012:2013).

Contudo, de acordo com Frascá (2014), esta normatização não possui uniformidade e consenso com as demais entidades mundiais que tratam de categorizar o setor, como o CEN (*European Committee for Standardization*) e ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

Então, com a intenção de esclarecer a terminologia destes materiais, Frascá (2014) propõe que ao termo "rochas ornamentais se incluiriam todos os materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética para utilização em trabalhos artísticos, [...], como elemento decorativo (tampos, balcões e outros) e como materiais para construção.”(FRASCÁ, 2014, p.46)

A descrição proposta pela autora, corrobora com a conceituação fundamentada por Vidal *et al.* (2014) em que qualificam as rochas ornamentais em materiais naturais de origem rochosa, que podem ser extraídos em maior ou menor quantidades, mas que servem para emprego decorativo, de revestimento, bem como estrutural. Os autores apontam ainda que também podem ser chamadas de rochas de cantaria, rochas dimensionadas, pedras naturais e materiais lapídeos.

Comercialmente, as rochas ornamentais não possuem uma normatização de nomenclatura, podendo “o mesmo material receber diferentes designações comerciais e materiais distintos a mesma designação, o que causa dificuldades para o consumidor” (CHIODI FILHO, CHIODI, 2019, p.11), com vistas de preservar a exclusividade do produtor.

Este fato faz com que o setor comercial de rochas ornamentais seja impropriamente subdividido em “mármore” e “granito”, “que assumem de maneira generalizada estes nomes, independentemente de terem ou não outra designação mais intrínseca do ponto de vista geológico – petrográfico.” (ALENCAR, 2013, p.23). Estas 2 subdivisões atualmente abrangem quartzitos, arenitos, calcários, travertinos e ardósias.

Ao encontro desta afirmação, Mello *et al.* (2011) e os autores Filho e Chiodi(2020), classificam as rochas ornamentais em distintos grupos, a saber:

- Silicáticas - granitos, pegmatitos e xistos;
- Silicosas - quartzitos, quartzo, metaconglomerados;
- Carbonáticas - mármore, travertinos, calcários (limestones);
- Ultramáficas – serpentinitos, pedra-sabão, pedra - talco;

- Siltico-argilosas foliadas - ardósias;

Frascá, Rodrigues e Paldês (2019) também indicam (Quadro 1), a diversificação de rochas ornamentais, em que se dispõe nos 3 grandes grupos de rochas (ígneas, sedimentares e metamórficas), subdivididos em principais tipos de rochas ornamentais, com classificação entre comercial e científica, bem como suas características de cores e variedades, conforme ilustra o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Grupos de rochas e principais tipos de rochas ornamentais relacionados.

Grupo de Rochas	Principais Tipos de Rochas Ornamentais		Cores	Principais Variedades
	Classificação Comercial	Classificação Científica		
ÍGNEAS	Granitos	Granito Sienito	Muito variadas Marrom, cinza e até azul	Vermelho Capão Bonito, Branco Ceará, Cinza Andorinha Café Brasil, Café Imperial, Azul Bahia
	Granitos pretos	Diorito Gabro Chamockito	Verde escuro a preta	Preto Piracaia, Preto Bragança Preto Absoluto, Preto Café de Minas, Preto São Gabriel Verde Labrador, Verde Pavão, Verde Butterfly
	Granitos amarelos	Gnaisses com sillimanita e granada	Branco-amarelado a amarelo-alaranjado	Santa Cecília, Giallo Veneciano, Branco Itaúnas, Branco Desirée
	Pegmatitos (rochas exóticas)	Pegmatito	Cores claras	Delicatus, Golden Himalaya, Coliseu
SEDIMENTARES	Arenito	Arenito	Bege a vermelho	Pedra Morisca
	Calcário	Calcário	Geralmente bege, mas também vermelho e preto	Pedra Cariri, Crema Rivera, Crema Marfil
	Travertino	Travertino		Bege Bahia, Travertino Romano (Itália)
METAMÓRFICAS	Rochas movimentadas	Gnaisses Milonito Migmatitos	Variadas	Acrópolis, Tigrato, Pantaleão Pedra Paduana ou Miracema, Pedra Madeira Kashmir Bahia, Okinawa
	Quartzito	Quartzito	Branca a variada	Azul Macaúbas, Azul Imperial, Pedra São Tomé, Pedra Luminárias, Iron Red, River Storm
	Mármore	Mármore	Geralmente branco	Branco Paraná, Branco Cachoeiro, Branco Italva, Carrara, Pighes
	Ardósia	Ardósia	Cinza, verde, preta	Ardósia Cinza, Ardósia Verde, Ardósia Grafite

Fonte: ABIROCHAS, 2019.

O quesito estético, com certeza é um dos aspectos mais determinantes para a escolha e utilização das rochas ornamentais e seu desenho e coloração são itens que ditam seu valor comercial, ficando as demais qualidades em segundo plano. O padrão de cada rocha é exclusivo, inerente à natureza de sua

formação/jazida, contendo informações petrográficas de cor, textura e granulometria. A cor depende da composição química dos minerais integrantes e de seu estado de alteração. A textura se caracteriza pela distribuição espacial dos minerais que compõem a rocha e a granulação se refere aos tamanhos dos grãos minerais constituintes.

Com relação à aplicação das rochas ornamentais, anteriormente usadas como elemento estrutural de edifícios, hoje são empregadas como revestimento decorativo em fachadas, pisos, paredes e até em arte funerária, como no desenvolvimento de lápides, túmulos e mausoléus. Além da construção civil, os produtos desse material estão presentes no urbanismo e no interior de residências.

Contudo, além das qualidades estéticas é preciso compreender suas propriedades intrínsecas (tipo e natureza da rocha, grau de alteração e de fissuramento, porosidade e configuração do sistema poroso, entre outros), suas características físicas e mecânicas e alterabilidade, para fazer a escolha adequada de aplicação, uso e manutenção, levando em consideração também qualidades como durabilidade, resistência à intempéries e ao fogo, versatilidade (pelos diversos tipos de aplicações), higiene e limpeza.

2.1.1 Beneficiamento e especificações para rochas ornamentais

Quanto ao beneficiamento, o processo tem seu início na prospecção e pesquisa mineral, seguidos da identificação e qualificação tecnológica das rochas a serem extraídas da jazida.

A seguir, a primeira etapa é a extração de grandes blocos retangulares da jazida. Estes blocos possuem dimensões variadas mas que se aproximam ao máximo aproveitamento do material em todas as etapas do beneficiamento. Normalmente, de acordo com Frascá, Rodrigues e Paldês (2019), estas “fatias” possuem dimensões entre 6m^3 e 10m^3 , comumente (3,00-2,70 m x 1,40-1,60 m x 1,60-1,40 m), sendo esta primeira etapa chamada de lavra.

O processo da extração das rochas ornamentais pode ser realizada tanto por lavra à céu aberto como por lavra subterrânea. Esta etapa deve considerar além dos aspectos tecnológicos, também os sociais, econômicos e ambientais. De acordo com Vidal *et al.* (2014), é necessário analisar duas situações: avaliação das condições geológicas, sociais e ambientais e a definição de uma estratégia de lavra que seja economicamente viável e segura durante as operações.

Após a retirada do material útil da jazida, os grandes blocos são desdobrados em chapas, com dimensões próximas das que terão quando serão comercializados, pelo processo de serragem. Esta etapa compreende a utilização de maquinário específico, como teares convencionais ou multifios diamantados para granitos, teares com lâminas diamantadas para mármore, talha-blocos, monofios diamantados, dentre outros.

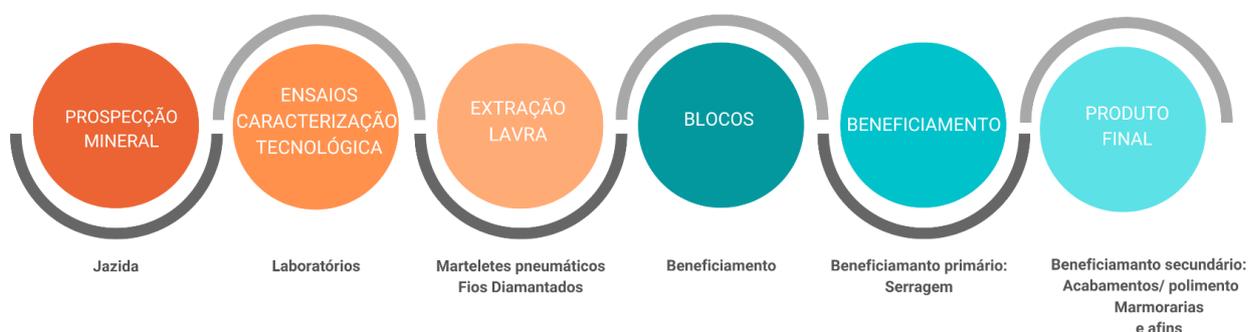
O beneficiamento final é a fase em que a rocha fica com a forma, dimensão e aparência definitiva. Este processo acontece em etapas distintas: acabamento superficial (polimento, escovação, resinagem, jateamento etc.), corte (dimensões, formas e desenhos) e o acabamento final em si. É neste ciclo produtivo que as

qualidades estéticas das rochas ornamentais afloram, pois se sobressaem as texturas e a coloração da rocha.

Os formatos mais comuns usados comercialmente, de acordo com Oliveira e Brito (1998), são as chapas, cuja espessura é menor que 40 mm; as placas que são produzidas de acordo com o dimensionamento e formato das chapas, com cerca de 20 mm e superfície polida; o ladrilho, também obtido de uma chapa e a laje, com superfície igualmente plana, mas sem passar por processos de beneficiamento automatizado. Também podem ser resinadas com a aplicação de produtos químicos (resinas epóxi, acrílicas ou poliéster), para minimizar microfissuras e ainda realçar as cores e padronagens das rochas. (FRASCÁ *et al.* 2019).

Ao final do processo, o material é enviado para as marmorarias e empresas afins, onde são dimensionadas de acordo com a solicitação de projetos de arquitetura de interiores e construção civil. A Figura 1 demonstra o processo de beneficiamento das rochas ornamentais.

Figura 1: Panorama geral do processo produtivo de rochas ornamentais.



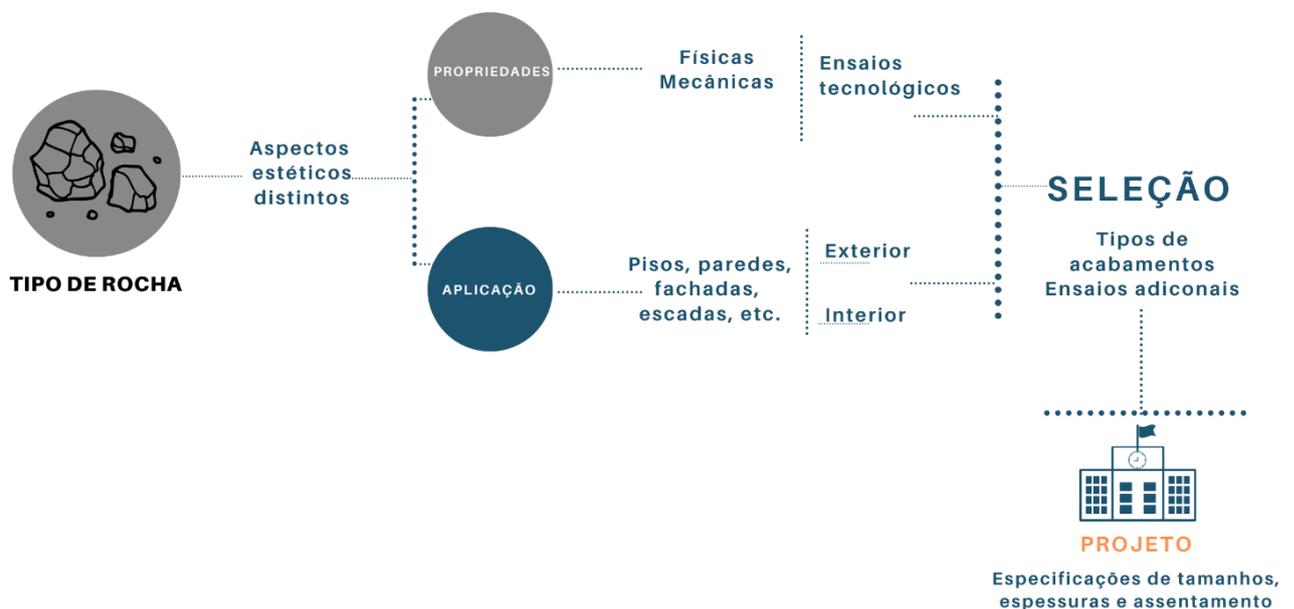
Fonte: Adaptado de Rodrigues; Paldês, 2019.

Obviamente, para cada tipo de produto há uma aplicabilidade, e para isto é necessário conhecer as características básicas da rocha escolhida, como os

aspectos de ordem física-mecânica, pois inúmeros fatores atuam sobre a superfície da rocha, como a ação das intempéries, produtos de limpeza e afins, poluição, desgaste abrasivo pelo tráfego ou contato com outra superfície/material. Assim, a escolha e emprego inadequado, sem conhecimento prévio, podem ocasionar patologias e deterioração nas rochas de revestimento.

De acordo com Frascá (2014), é muito importante adicionar às informações preliminares sobre o material, noções sobre as propriedades tecnológicas, determinadas por ensaios e análises laboratoriais, e das técnicas construtivas (fixação, assentamento e outros) na seleção da rocha. Para elucidar, o esquema abaixo (Figura 2) ilustra sucintamente o roteiro escolha do melhor material.

Figura 2: Roteiro para seleção de rochas ornamentais.



Fonte: Modificado de Frascá, 2014.

Cabe salientar, que os ensaios laboratoriais de caracterização tecnológica são normatizados pela ABNT (normas ABNT NBR 15845-1 a 15845-8: Métodos de

Ensaio), e servem para nortear os procedimentos de ensaios, especificações e requisitos que as rochas devem cumprir de acordo com os usos a que se destinam.

Assim como a ABNT indica a normatização dos ensaios de laboratório para as rochas de revestimento, também especifica condições em relação ao desempenho em uma edificação, a NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – desempenho, em que aborda o uso de rochas ornamentais como componente integrante da edificação, especialmente pisos e vedações – internas e externas, como acabamentos, sem função estrutural.

Outra normatização é a NBR 15844:2015 – Rochas para revestimento - Requisitos para Granitos, que categoriza as características físicas e mecânicas de granitos destinado a revestimentos em edificações.

Segundo Frascá *et al.* (2019), as principais características tecnológicas que são de uso rotineiro e mais significativas no Brasil, encontradas na literatura especializada são: densidade (peso), absorção (capacidade de absorver água), resistência à abrasão e flexão, módulo de ruptura, dilatação térmica e resistência ao impacto. Esta caracterização é muito importante para a classificação e especificações das rochas ornamentais, pois são essenciais para a decisão quanto ao uso e aplicação das rochas.

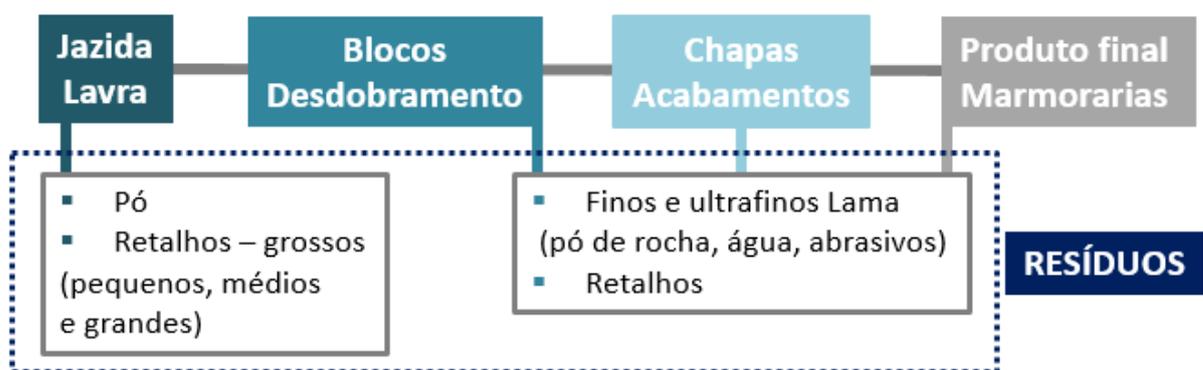
2.1.2 Reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais

A produção de rochas ornamentais e de revestimento é uma importante atividade no Brasil, conhecido como 4º maior produtor mundial devido a variedade

local. Apesar da abundância, o setor explora o material basicamente em peças planas, para revestimentos, pisos, bancadas, pias, dentre outras aplicações na construção civil. Entretanto, parte considerável dos resíduos que advém do processo de beneficiamento, ficam armazenados em depósitos a céu aberto, ou então viram cascalhos e britas.

De acordo com Vidal (2003), mesmo com o avanço da tecnologia, na etapa de lavra das rochas ornamentais acontece uma perda expressiva de material. Já Paldês (2007), descreve que no processo industrial das rochas ornamentais, na etapa de beneficiamento (serragem e corte do granito nas indústrias), também existem milhares de toneladas de resíduos sólidos provenientes do esquadreamento das chapas, ou seja, todas as etapas produzem material residual de diferentes dimensões, grosso, finos e ultrafinos (CAMPOS; CASTRO, 2007), conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3: Etapas do beneficiamento de rochas ornamentais e geração de resíduos.



Fonte: VIEIRA; DUARTE, 2021.

Ainda, conforme Vieira e Duarte (2021), grande parte do material oriundo das etapas de beneficiamento são resíduos considerados grossos, que diminuem

de tamanho a medida que avança o processo produtivo. Como exemplo, as Figuras 4a e 4b com material excedente desde a lavra e após o desdobramento das chapas, ambos basalto.

Figura 4: Resíduos de rocha ornamental (basalto): a) Lavra - Pedreira Paludo (Garibaldi/RS); b) Material excedente pós desdobramento – Empresa Basaltear (Paráí/RS).

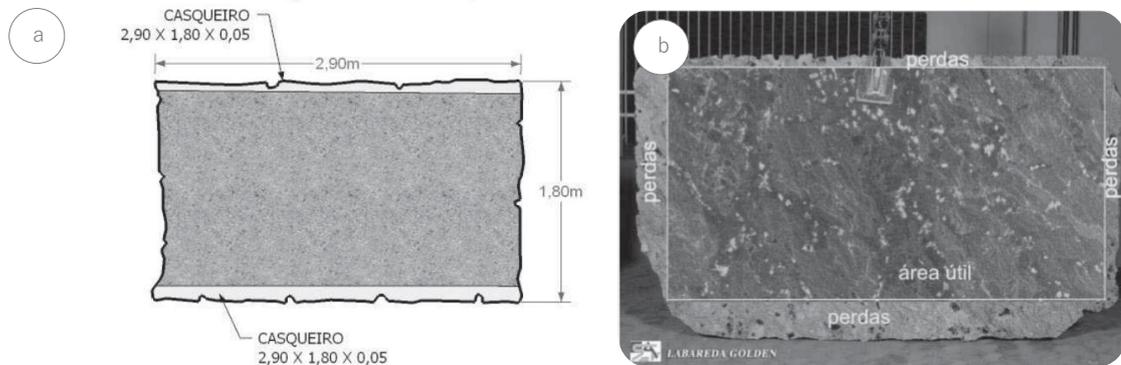


Fonte: autora.

Paldês (2007) descreve que alguns resíduos provenientes das sobras laterais dos blocos, chamados de “casqueiros”¹, possuem uma perda estimada de cerca de 0,47m² por chapa (Figura 5 a). O autor também descreve que existem outros resíduos provenientes de chapas com dimensões diversas (Figura 5 - b), que por vezes tem desperdício ainda maior devido à variação de tamanhos. As tiras retiradas no processo de esquadrejamento são refugos que em grande parte são quebrados durante o processo, empilhados e enviadas ao lixo.

¹ No processo de corte dos blocos nos teares, esta falta de prumo ou esquadro resulta em blocos com laterais deformadas, resultando numa primeira perda, estimada em 0,05m de cada lado, chamado pela indústria de “Casqueiro”.(PALDÉS, 2007, p.43)

Figura 5: Resíduos provenientes das chapas de rochas ornamentais: a) “Casqueiros” – sobras laterais dos blocos; b) Perdas oriundas de chapas.



Fonte: PALDÊS, 2007.

Sobre a aplicabilidade, ou reaproveitamento deste material residual, existem estudos que apontam possibilidades distintas de reutilização. Como por exemplo, para o mercado da construção civil (principal consumidor do rejeito de rochas): agregados de rochas - materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras, areia, pedra britada, pedregulhos, pedriscos e o pó da pedra, conforme aponta Vidal (2003).

Paldês (2007) traz ainda que os rejeitos podem ser utilizados de diferentes formas no segmento da arquitetura e afins, pois os “casqueiros”, por exemplo, podem virar painéis de revestimento, onde sua parte irregular configura a textura e a estética do painel, usado para revestir muros, paredes, colunas e até balcões. Outra proposição feita pelo autor, é o aproveitamento das sobras para a elaboração de faixas decorativas, tiras para construção de ralos e até pias escavadas.

Ainda no âmbito da construção civil, Aguiar *et al.* (2018) propõem o reaproveitamento do rejeito do corte de granito, com adição de concreto, para a

produção de cobogós e pisos táteis. Este estudo aponta que a produção de cobogós com rejeito de granito adicionado ao concreto confere maior resistência ao artefato, com custo de produção mais barato e ainda contribui com a sustentabilidade ambiental e responsabilidade social.

Além das proposições corriqueiras de exploração dos rejeitos para o setor da construção civil, outro tipo de aproveitamento que tem grande destaque no cenário atual das rochas ornamentais e de revestimento é a Rochagem. A Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS (2020), aponta que a rochagem é uma revolução tecnológica para o setor agrícola, pois poderá substituir com vantagens econômicas e ambientais os fertilizantes químicos do tipo NPK e alguns tipos de agrotóxicos, através do agregamento de pó de rocha (“petrofertilizante”) no meio agrícola.

Neto e Melo (2013) sugerem a exploração e o emprego de resíduos pétreos para o desenvolvimento de produtos de pequeno, médio e grande porte, gerados no beneficiamento de rochas ornamentais, com a intenção de melhor destinação dos resíduos e geração de renda para os trabalhadores de cantaria (local de destino dos excedentes). Os produtos desenvolvidos englobam bancos de jardim, mesas de centro, poltronas, chapas para corte de carne, vasos, cinzeiros, saboneteiras, porta-papel e porta-lápis.

Em relação ao aproveitamento de resíduos sólidos de dimensões maiores, Vieira e Duarte (2021) sugerem o design como ferramenta de valorização para o desenvolvimento de produtos a partir do material residual proveniente das etapas do beneficiamento primário das rochas ornamentais, bem como do excedente de

marmorarias. Este fato é analisado em peças produzidas para as exposições de produtos desenvolvidos em rochas ornamentais (Brazilian Stones Original Design), fomentada pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) e em parceria com a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil). Designers renomados desenvolveram artefatos que facilmente se enquadrariam às especificações de resíduos sólidos (por seu dimensionamento), e poderiam ser executadas com a matéria-prima residual, como mesas laterais, bandejas, fruteiras, objetos multiusos e ainda peças com design de superfícies.

Outra vertente que também pode ser explorada pela relação reaproveitamento – design – rochas ornamentais, é pelo caminho da articulação da economia circular em conjunto com o design. Vieira e Duarte (2021), abordam que a inserção da economia circular nas micro e pequenas marmorarias é um desafio emergente, podendo impulsionar a diversificação do leque de produtos, que por sua vez trará reflexos no setor de finanças, além de contribuir para a redução de resíduos pétreos sólidos descartados ao ar livre.

Esta proposição, da inserção do design e reaproveitamento no segmento de rochas ornamentais, converge com os indicadores de tendências do setor previstos para o período de 2020-2021, em que descrevem uma considerável expectativa de melhor emprego dos rejeitos de todas etapas de beneficiamento, junto com uma maior vinculação do design para impulsionar o mercado (ABIRCOHAS, 2021).

É fato que reaproveitar os rejeitos oriundos de qualquer etapa do processo de produção de rochas ornamentais – lavra até o beneficiamento final – agrega

valor ao material, como também diversifica sua aplicabilidade, introduz mudanças tecnológicas, por meio de novas máquinas e equipamentos e ainda contribui para o desenvolvimento regional de onde se encontram as jazidas e empresas de manufatura. Por isso que, pesquisar novos meios - produtos e processos – para obtenção de artefatos rochosos é de grande importância para o setor, visto que além de auxiliar a sustentabilidade de toda a cadeia, promove o aprofundamento do conhecimento sobre as características tecnológicas das rochas e dos seus processos de beneficiamento.

2.1.3 O basalto da serra gaúcha

A ocorrência do basalto abrange diversas partes do globo terrestre, como nos planaltos de Deccan (Índia), Colúmbia (EUA), e principalmente a Bacia no Paraná, uma das maiores nos quesitos de extensão e volume. No Brasil a incidência ocorre em áreas do Mato Grosso e Goiás, oeste de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e nos Planaltos de Santa Catarina e Rio Grande do Sul - a chamada Formação da Serra Geral (Cretáceo – Bacia do Paraná).

A cadeia produtiva de rochas do tipo basalto e outras (Pedra Cariri, Pedra-Sabão, Pedra Morisca, dentre outras), também usadas como rochas ornamentais, apontam que somente 4,5% da produção brasileira possui rochas desta variedade, sendo a maior concentração em granitos e similares, com 50% da capacidade produtiva, de acordo com os dados apontados por Chiodi Filho (2019).

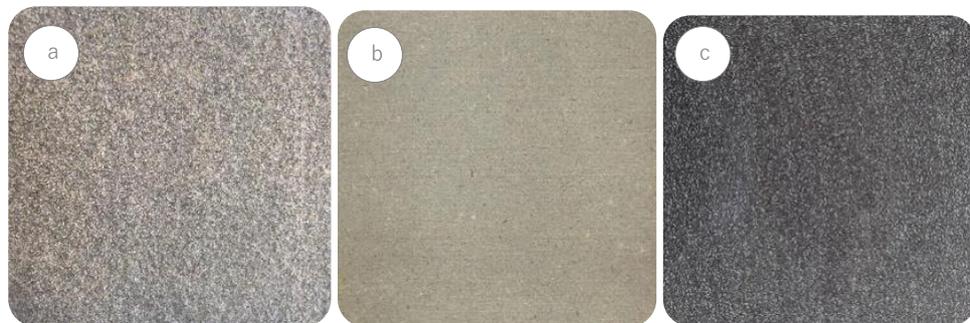
No entanto, a realidade produtiva do setor gaúcho é diferente, pois de acordo com o Anuário Mineral Estadual do Rio Grande do Sul (ANM, 2019), as rochas ornamentais do tipo basalto, somam um total de 460.982 toneladas comercializadas até o ano de 2019, fazendo parte importante na economia do estado.

No Rio Grande do Sul, o basalto é encontrado principalmente em 17 municípios próximos à Nova Prata (considerada a Capital Nacional do Basalto), dentre eles: André da Rocha, Guabijú, Nova Araçá, Nova Bassano, Paraí, Protásio Alves, São Jorge, Veranópolis, Vila Flores e Vista Alegre do Prata (ETCHEPARE, 2014). Acrescenta-se ainda Garibalbi, cidade em que se localiza a Jazida Paludo Pedras, local de retirada dos corpos de prova do presente estudo.

Nesta área, há mais de 400 pedreiras do Basalto que estão em operação, sendo que, a maioria é de escala familiar e cerca de 12 empresas representam uma escala industrial. Segundo a informação fornecida pelo Sindicato de Produtores do Basalto em Nova Prata, a produção anual da área soma-se 15.500 m² de “laje”, que é a mercadoria principal das pedreiras do Basalto (COMUNELLO, 2016).

Litologicamente, o basalto da serra gaúcha, também chamado de “Carijó” ou “Flor de Laranjeira”, como é denominado comercialmente, classifica-se como uma rocha vulcânica com baixo teor de ferro e magnésio e alto teor de sílica (MOTOKI *et al.*, 2004). Esta rocha é categorizada tecnicamente em função de sua composição química e mineralógica como dacito e/ou riodacito (popularmente chamado de basalto), cuja coloração é cinza, variando os tons, conforme procedência e tipo de acabamento (Figura 6).

Figura 6: Coloração do basalto (Riodacito): a) Basalto Flamenado Flor de Camomila ; b) Basalto Levigado Fio Flor de Camomila; c) Basalto Lustrado São Francisco.



Fonte: Basaltear (2023).

De acordo com Motoki *et al.* (2004), as unidades de resfriamento da lava, causaram fraturas nas rochas basálticas, interferindo diretamente na resistência e, conseqüentemente, no uso do basalto gaúcho, nas quais caracteriza-se da seguinte maneira:

- Fraturas Verticais: resfriamento magmático que causaram disjunções colunares de 1 a 2 cm, deixando a rocha mecanicamente mais frágil. Uso apenas ornamental.
- Fraturas sub-horizontais: fraturas de 5 a 30 cm, porém se extrai placas de boa qualidade.
- Fraturas horizontais: Com pequeno intervalo podem ser extraídas placas quadrangulares (laje) de 40 x 40 x 6 cm, este tipo tem uma boa aparência estética, porém sem resistência mecânica. Com intervalo maior são feitos paralelepípedos de tamanho 10 x 10 x 20 cm, usados para pavimentação de áreas com tráfego de veículos.
- Sem fraturas paralelas: são as rochas maciças, usadas para estruturação de alicerces, muros e afins, cuja dimensão é 18 x 25 x 50

cm. Para uso empresarial os blocos são extraídos inteiros e posteriormente fatiados (como mármore e granitos) em placas mais finas que recebem polimento.

Quanto à aplicação, o basalto gaúcho é amplamente usado na construção civil, em pisos e paredes, como também para pavimentação de calçadas e ruas, além das britas que são feitas a partir dos retalhos produzidos durante a extração e beneficiamento (Figura 7 a,b,c).

Figura 7: Aplicações do basalto: a) Peças para revestimentos ; b) Calçadas; c) Muros.



Fonte: autora.

Esporadicamente também são usadas como rochas de revestimento, porém sem o valor agregado como dos mármore e granitos, provavelmente pelo mercado não explorar sua aplicação de outras formas. No entanto, conforme explica De Abreu (2019), existe uma lacuna na investigação em relação ao conhecimento tecnológico sobre essas rochas, sendo fundamental pesquisas geológicas e de caracterização tecnológicas das jazidas para garantir um produto de qualidade para o mercado interno e externo.

A partir de uma base mais detalhada sobre as especificações técnicas das rochas basálticas, é possível o aprimoramento de projetos de novos produtos e

usos. Assim, o tópico a seguir discorre sobre algumas particularidades do basalto utilizado como base deste estudo.

2.1.3.1 Especificidades: Basalto Flor de Camomila

O basalto “Flor de Camomila”, objeto deste estudo, é proveniente de uma jazida localizada na cidade de Garibaldi/RS, aproximadamente a 110 km da capital Porto Alegre/RS, pertencente à empresa Paludo Pedras.

A região em que se localiza a Jazida Paludo Pedras faz parte da Formação Serra Geral, pertencente à Bacia do Paraná, com rochas de origem vulcânicas. Sua composição química possui características bimodais, sendo apenas 10% rochas como riolito e riodacitos e 90% de basaltos e andesitos. (WILDNER, 2004; NARDY; MACHADO; OLIVEIRA, 2008).

Wildner (2004) propôs uma classificação faciológica e estratigráfica para os derrames da Formação Serra Geral, usando como base as características texturais, geoquímicas e geocronológicas, além de conceitos litológicos e reológicos, com a contribuição subsidiária de dados laboratoriais específicos, em que definiu oito diferentes fácies: Gramado, Paranapanema, Esmeralda, Pitanga, Palmas (Caxias), Chapecó, Varzea do Cedro e Alegrete. A fácies que a jazida deste estudo pertence é a Fácies Caxias, tipo Palmas, cuja localização engloba partes dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. No RS está especificamente entre as cidades de Garibaldi e Guaporé.

De acordo com Nardy, Machado e Oliveira (2008) o perfil típico da fácies Palmas a qual a jazida Paludo pertence, pode ser dividida em 3 setores: inferior, principal e superior. O inferior é caracterizado pela zona de interface entre o substrato basáltico e o fluxo de lava ácida e apresenta de 1 até 5 m de espessura. Já o superior é configurado por inúmeras quantidades de feições, que conforme o topo se aproxima as feições de fluxo assumem um padrão ondulado (DE ABREU, 2019), e o setor intermediário - principal, a qual se assemelha o basalto da jazida Paludo Pedras, são rochas de natureza maciça, “sem feições de fluxo e apresentando bandamento ígneo de atitude horizontal, sendo caracterizado pela intercalação de bandas de coloração clara e bandas de coloração escura” (DE ABREU, 2019, p. 91).

O material rochoso oriundo desta pedreira apresenta poucos problemas relacionados à descontinuidade (termo denominado por DE ABREU, 2019), ou seja, a pedreira foi diagnosticada com apenas uma família de fraturas, com poucas irregularidades em diversas direções que abrangem centímetros (cm) ou até metros (m), que se relacionam com a infiltração de água. No entanto, conforme descreve De Abreu (2019), nos locais onde existem as fraturas, a extração do bloco inteiro para confecção de chapas é prejudicada, ocasionando menor rendimento da jazida.

Mineralogicamente a rocha constitui-se de microfenocristais de plagioclásio (com matriz semi-vítrea - 63% do volume total da rocha), augita, pigeonita e magnetita (DE ABREU, 2019). Em alguns locais a rocha possui diferença de coloração, em decorrência do bandamento subhorizontal, centimétrico, regular e

contínuo. É “marcado pela intercalação de coloração esbranquiçada e escura, possivelmente relacionada com horizontes com diferentes teores de vidro vulcânico e conseqüente desvitrificação diferencial” (DE ABREU, 2019, p.58).

Esta característica da rocha, de origem vulcânica com textura afanítica, faz com que a coloração tenha variações entre a escala de cinzas, com feições esferulíticas esbranquiçadas (Figura 8), circulares e milimétricas, popularmente denominada textura carijó (DE ABREU, 2019), ou ainda, como intitulada pela empresa que faz o beneficiamento primário, “Flor de Laranjeira”.

Figura 8: Detalhe de amostra do basalto com textura esferulítica (pontos esbranquiçados).



Fonte: autora.

A caracterização petrográfica, que estuda os caracteres intrínsecos da rocha, se referindo a cor, textura e granulometria, dentre outros aspectos, possibilita o entendimento sobre as relações entre os minerais que as constituem, determinando as condições físico-químicas das rochas. Em relação à petrografia do material, pode-se afirmar que microscopicamente a rocha possui textura

maciça, microporfírica, com microfenocristais de sanidina, plagioclásio e augita, envoltos em matriz microcristalina, de composição de 70 a 75 % de quartzo-feldspática, com teores variáveis de vidro vulcânico, em processo de desvitrificação, compondo cerca de 10-15% do volume total da rocha (DE ABREU, 2019). A autora indica ainda que não foram encontradas feições que potencializem a desqualificação mecânica da rocha, sendo a jazida uma única erupção vulcânica.

Esta investigação permite também contribuir para o compreensão sobre o comportamento físico-mecânico dos materiais em ensaios tecnológicos, fundamentais para a seleção, extração e direcionamento de uso da rocha.

2.1.3.2 Caracterização tecnológica

A caracterização tecnológica implica a execução de ensaios normatizados em laboratórios especializados, para determinar os parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos das rochas (FRASCÁ, 2014). Isto permite o enquadramento adequado de aplicabilidade da rocha e serve como suporte para subsidiar a escolha condizente para cada projeto.

Assim, a caracterização tecnológica utilizada nesta pesquisa, usa como base os dados publicados por De Abreu (2019), em seu estudo sobre “Pesquisa Geológica e caracterização tecnológica da jazida de riodacito para uso em rocha ornamental e de revestimento em Garibaldi- RS”, mesmo local de onde foi extraído o basalto utilizado nos experimentos desta tese, bem como dados apontados nos

Relatórios BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018 do DEMIPE-Departamento de Mineralogia e Petrologia, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Para tanto, foram realizados ensaios que determinaram índices físicos, resistência à compressão uniaxial, flexão de três pontos, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais e congelamento e degelo, além do levantamento topográfico da frente de lavra. Porém, dentre todos os ensaios realizados, os que detêm maior relevância para este trabalho são:

- **Determinação de índices físicos:** um dos ensaios mais relevantes no estudo para rochas de revestimentos. Indica a densidade (massa Kg/m^3), absorção de água e a porosidade aparente da rocha.
- **Resistência à compressão uniaxial:** “A resistência à compressão (MPa- Mega Pascal – unidade de medida de pressão) é a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos” (FRASCÁ, 2014, p.79). Aspectos como porosidade, estrutura e granulometria interferem diretamente. Ensaio significativo para rochas que serão usadas em pilares e colunas.
- **Propagação de ondas ultrassônicas:** Ensaio que permite verificar, de forma indireta, a qualidade e a consistência das alterações e coesão das rochas. É uma técnica extremamente importante, já que é um dos poucos métodos não destrutivos para medir as propriedades dessas formações. Quanto maior o valor de propagação da onda ultrassônica, menor grau de alteração e uma maior coesão dos minerais (FRASCÁ, 2014).

Os ensaios realizados por De Abreu (2019) foram feitos sob a padronização das normas da ABNT NBR-15845, com seus respectivos valores, nos laboratórios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Conseqüentemente, os resultados obtidos em relação ao basalto proveniente da jazida Paludo são os seguintes:

- **Determinação de índices físicos:** os ensaios foram realizados com 10 corpos de prova, com dimensionamento entre 5 e 7 cm. A densidade obtida com a análise, foi de $2,57 \text{ g/cm}^3$, praticamente o mesmo valor recomendado pela ABNT, que é $\geq 2,55 \text{ g/cm}^3$. A absorção de água resultou 0,61 %, dado acima do que a normatização aponta como ideal, que é $\leq 0,4$. A porosidade média indicou valor “de 1,55%, acima da recomendação da norma que limita os valores a ≤ 1 ”.(DE ABREU, 2019, p.71).
- **Resistência à compressão uniaxial:** foram usados 10 corpos de prova secos, sendo 5 com a orientação da estruturação paralelos e outros 5 perpendiculares, conforme recomendações para os ensaios. O resultado da compressão uniaxial perpendicular foi de 20% mais alta que da orientação paralela, comprovando um resultado satisfatório – acima de 100 MPa – valor de referência encontrado na ABNT NBR 15844. Isto indica que a amostragem de basalto derivado da Jazida Paludo pode ser usado como rocha ornamental e tem qualidade para também ser utilizado em colunas e pilares. De Abreu (2019) destaca ainda que a estratificação da rocha (em algumas

amostras) foi o que determinou seu rompimento: a estratificação paralela em relação à ação da prensa lascou e na perpendicular ocasionou cisalhamento.

- **Propagação de ondas ultrassônicas:** Neste ensaio foram utilizados os mesmos corpos de prova que foram submetidos aos ciclos de congelamento e degelo, com três baterias de ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em longitudinal para os mesmos corpos de prova. Além disso, as amostras foram ensaiadas na direção perpendicular e paralela à estratificação natural da rocha. Os resultados apontaram que todos valores obtidos foram de velocidade de ondas acima de 4 Km/s, conforme indica a normativa NBR 15844 (DE ABREU, 2019).

Frente aos dados obtidos, das análises citadas acima, por meio de ensaios regradados de acordo com as normativas, os resultados do estudo da caracterização dos resíduos rochosos da Jazida Paludo Pedras, localizada em Garibaldi/RS, estão de acordo com as especificações da ABNT NBR – 15844: 2015 e podem ser utilizadas como rocha ornamental, conforme podem ser visualizados na Tabela 1.

Observa-se em destaque na Tabela 1 que os itens em vermelho são os dados obtidos que encontram-se fora dos padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15844. Estes valores são referentes aos índices físicos absorção de água aparente e porosidade aparente. Embora os resultados indiquem que a existência de marcações em diferentes direções, tenha maior absorção de água quando ocorre

maior volume de precipitação, são fatores que não interferem no resultado final geral das análises.

Tabela 1: Compilação dos resultados da caracterização tecnológica do basalto - Jazida Paludo.

Ensaio	Especificações	Resultado deste trabalho (média aritmética)	Valor estabelecido pela ABNT NBR 15844
Ensaio de índices físicos	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	2,57	≥ 2,55
	Absorção de água aparente (%)	0,61	≤ 0,4
	Porosidade aparente (%)	1,55	≤ 1
Ensaio de Resistência a compressão uniaxial	Resistência à compressão uniaxial realizado perpendicular à estratificação.	241,652	>100
	Resistência à compressão uniaxial realizado paralelo à estratificação.	198,292	>100
Ensaio de Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais	Média aritmética considerando os valores paralelos, perpendiculares e após o 1º, 13º e 25º ciclos de congelamento e degelo.	5,38	≥ 4
Ensaio de Flexão três pontos	Após 25 ciclos de congelamento e degelo	25,68	≥ 10
Ensaio de congelamento e degelo	Modificação visual identificada no 25º ciclo.		

Fonte: DE ABREU, p. 91, 2019.

Os demais dados como ensaio de flexão três pontos, realizado após o congelamento e degelo, o ensaio de resistência a compressão uniaxial e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, por exemplo, obtiveram bons desempenhos, contemplando as especificações necessárias para ser utilizada como rocha de revestimento e ornamental (DE ABREU, 2019).

Estas especificações e caracterizações são relevantes para a presente pesquisa, visto que identifica o basalto oriundo da jazida Paludo, como rocha do tipo ornamental e define suas características, aspectos importantes a considerar no processo de usinagem proposto: o corte de jato d'água abrasiva.

2.2 CORTE POR JATO D'ÁGUA ABRASIVA (AWJ)

Nos últimos tempos a tecnologia está em uma linha crescente de inovação em maquinários para o setor produtivo em geral. O uso de máquinas com ferramentas de corte para esculpir materiais são de uso frequente em diversos setores da indústria, possibilitando uma certa rapidez produtiva em uma gama variada de materiais, em diversas formas e características geométricas, viabilizando uma precisão dimensional e a elaboração de ótimos acabamentos superficiais (GROOVER, 2014).

Todo e qualquer processo de usinagem consiste em uma variedade de processos de fabricação que são utilizados para mudar a forma de um componente através da remoção de material, referido como cavaco, obtendo a geometria desejada a partir de uma peça inicial sólida (FERRARESI, 1970; GROOVER, 2014).

Jim Lesko (2004) traz como operações típicas de usinagem o corte, torneamento, rosqueamento, furação, fresagem e alargamento. Já Lefteri (2013) aponta que o termo usinagem envolve vários processos diferentes, de remoção de material, e os classifica e subdivide de acordo com o formato do material a ser transformado, e indica os principais como: torneamento, rosqueamento, furação, feixe de elétrons (EBM), Jiggering e Jollying, corte a plasma, corte a laser, corte por estampagem, corte por jato d'água (objeto do estudo), todos processos de usinagem controlados por computador (CNC), dentre outros.

Groover (2014) indica que a usinagem convencional é composta principalmente pelos processos de torneamento, furação e fresamento, em que

uma ferramenta de corte é responsável mecanicamente por remover material da peça em processo. O autor ainda classifica os processos de usinagem não tradicionais os procedimentos que usam partículas abrasivas duras, para remoção de material, além de outras formas de energia como química, eletroquímica e térmica, e os dos cortes por jato d'água, abrasivos ou não.

Assim, pode-se afirmar que, o recurso de usinagem por jato d'água abrasiva é um processo ainda não tradicional, que opera o processo de corte basicamente com a combinação de água, abrasivo, velocidade e pressão, sem o uso de uma ferramenta cortante.

De acordo com Lefteri (2013), jatos d'água são usados como métodos de remoção de materiais de mineração, desde a metade do século XIX. Este processo que também é chamado de Usinagem Hidrodinâmica, foi desenvolvido para fazer cortes precisos, com jatos de água de 0,5 mm de espessura, expelido de um bocal com alta pressão, em velocidades de até duas vezes a velocidade do som (LEFTERI, 2013).

Apesar do alto índice de pressão que acontece no momento de acionamento do equipamento, os jatos de água não cortam apenas pela pressão, mas sim pela velocidade da água que sai do orifício do cabeçote, ou seja, na proporção de quanto maior a pressão, maior a velocidade do fluxo e mais preciso o recorte. Por exemplo, em dados mais atuais: “Em 60 psi, a água que sai de uma torneira está passando a 103 km/h. Em 94.000 psi, o jato de água está passando a aproximadamente 4.000 km/h - mais de três vezes a velocidade do som” (FLOW, 2015, p.2).

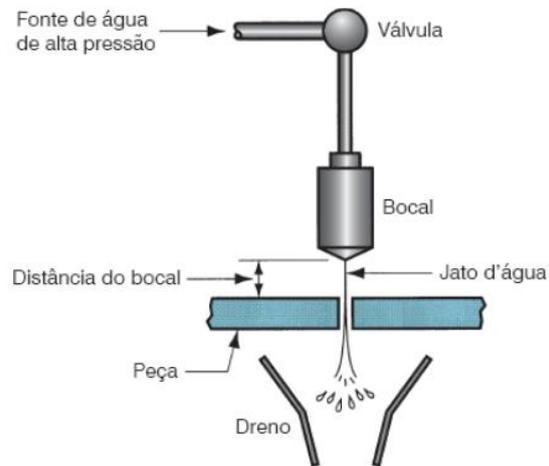
Desta forma é perceptível o papel preponderante da pressão no corte por jato d'água abrasivo, pois tem influência sobre a distribuição de água e também de partículas abrasivas no jato, sendo diretamente proporcional à profundidade do recorte e à remoção de material (YUVARAJ *et al.*, 2020).

De acordo com Groover (2014), o corte a jato d'água pode ser realizado de duas maneiras: com jatos d'água puros a alta velocidade ou com uma combinação de água e abrasivos, ocorrendo de maneira intermitente ou contínua.

O processo original de corte envolve o uso de um jato de água puro (WJC) em alta pressão e velocidade, que é emitido por meio de um bocal de diâmetro reduzido, variando de 0,1 a 0,4 mm (GROOVER, 2014). O procedimento de corte é automatizado por meio de uma CNC (comando numérico por computador), que manipula o bocal ao longo da geometria a ser recortado, conforme o projeto elaborado no CAD.

O processo acontece através pressurização do fluido (água), por meio de uma bomba hidráulica (Figura 9). As pressões que fornecem o fluxo de energia para o corte são de até 400 MPa e fazem o jato atingir até até 900 m/s de velocidade (GROOVER, 2014). Ou seja, uma fonte d'água conectada à bomba hidráulica sofre uma alta pressão, fazendo com que a água percorra o equipamento e seja expelida por meio de um bocal (ajustável para a saída do fluxo de água), situado próximo à peça, realizando o corte projetado por meio do contato da água altamente pressurizada com o material. Para tanto, a Figura 9 a seguir exemplifica o processo.

Figura 9: Desenho da bomba hidráulica – Corte por jato d'água pura (WJC).



Fonte: GROOVER, 2014, p.411.

Em relação ao desempenho de corte, é importante considerar a regulação de alguns parâmetros: distância do bocal, diâmetro da abertura do bocal, pressão d'água e velocidade de avanço do corte. A distância do bocal até a superfície a ser cortada deve ser mínima, em torno de 3,2 mm, para que não haja dispersão do fluxo do fluido. O diâmetro de abertura se refere a precisão do corte, quer dizer, materiais finos - corte mais fino – abertura menor e vice-versa. E a velocidade de avanço do corte, diz respeito à velocidade que o bocal, por onde sai o jato d'água, se move pela linha de corte. “As velocidades de avanço típicas variam de 5 mm/s até mais de 500 mm/s em função do material da peça e da sua espessura”(GROOVER, 2014, p.411).

Já o processo que envolve a adição de abrasivos no fluxo do fluido para corte por jato d'água, foi idealizado em 1985, por Saurwein, da empresa Flow Water Jet, uma das principais empresas que produz a tecnologia atualmente. A incorporação

de aditivos abrasivos aumentou a força de corte em milhares de vezes e permitiu explorar uma gama variada de materiais a serem usinados (FLOW, 2015).

Assim, o corte por jato d'água abrasiva, envolve a adição de partículas abrasivas que auxiliam o procedimento de corte. A introdução dos abrasivos tornam o processo mais complexo, pois os parâmetros como tipo de abrasivo, tamanho do grão e taxa de fluxo também devem ser controlados para o efetivo sucesso de corte (GROOVER, 2014).

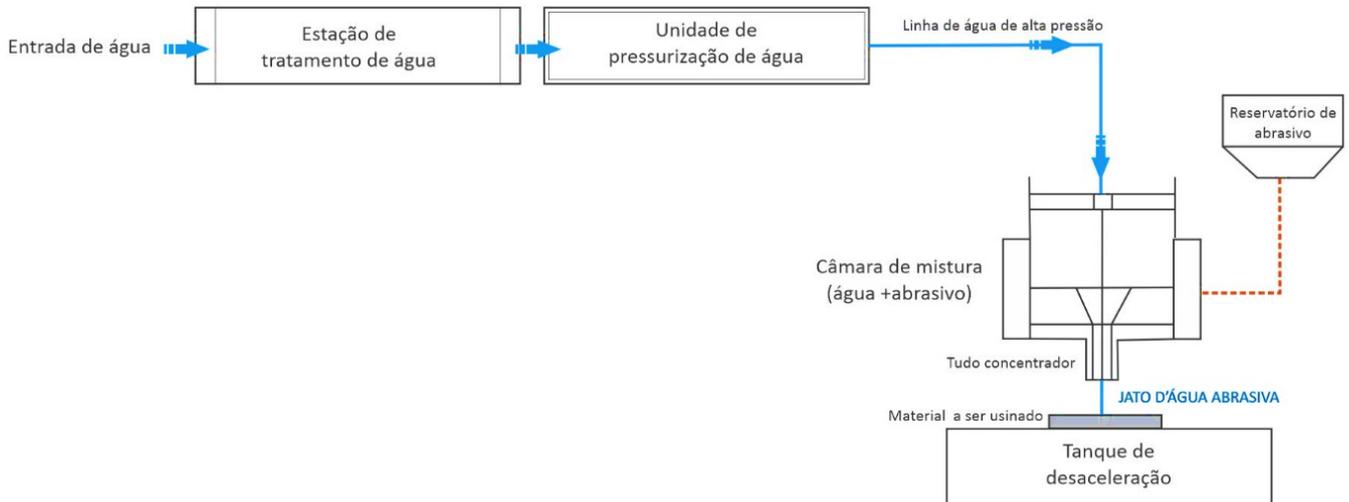
Além dos parâmetros comuns ao WJC, o que diferencia um processo do outro, conforme aponta Groover (2014), é que no corte por jato d'água abrasiva o bocal é um pouco maior - variam em torno de 0,8 mm – fazendo com que haja mais fluxo e energia na corrente antes da injeção de abrasivos. Outro ponto de diferenciação é que a distância entre o bocal e a peça usinada são menores, entre 1 e 6 mm do que aquelas do corte por jato d'água pura, para diminuir o efeito da dispersão do fluido abrasivo.

O funcionamento acontece basicamente pela mistura de água, abrasivo e ar, sendo que a velocidade do fluxo da água acrescido do abrasivo acontece de forma supersônica. Este fluxo misturado (água + abrasivo), passa por um tubo concentrador em alta velocidade, que na saída se direciona à superfície da peça e realiza o corte (IPAR, 2018).

Henriques (2009) cita que a água altamente pressurizada, forma um jato puro que atravessa o bocal e que na câmara de mistura, um fluxo de ar e de abrasivo são adicionados, isto engloba a aceleração das partículas sólidas que se

dirigem à superfície a ser cortada através de um tubo de focalização coaxial (Figura 10).

Figura 10: Fluxo de funcionamento básico do corte por jato de água e abrasivo.



Fonte: Adaptado de Prasad e Chaytania, 2017.

Para tanto, Momber e Kovacevic (1998), descrevem mais detalhadamente os aspectos que envolvem os parâmetros de corte com jatos abrasivos, fracionando em 4 grandes grupos:

1. Parâmetros hidráulicos: pressão de trabalho e vazão de água;
2. Parâmetros de corte: velocidade de avanço, distância de afastamento entre o tubo concentrador e a peça de trabalho;
3. Parâmetros de aceleração e mistura: diâmetro interno e comprimento do tudo concentrador;
4. Parâmetros de abrasivo: dimensão, formato e dureza da partícula abrasiva e vazão do abrasivo;

Ainda, Momber e Kovacevic (1998), indicam também que é considerável e relevante conhecer as propriedades do material a ser trabalhado, tais como: dureza, propriedades mecânicas, geometria e espessura.

Em consonância ao apontado por Momber e Kovacevic (1998), Yuvaraj *et al.* (2020), também apontam que aspectos como a distância entre o material e a ponteira por onde sai o jato d'água, o abrasivo, o fluxo de massa abrasiva, o ângulo de impacto do jato (definido como o ângulo entre o AWJ inicial e a direção do fluxo e a superfície do material) e o material a ser trabalhado, são tópicos que possuem maior influência do corte por jato d'água abrasiva.

Existem vários tipos de abrasivos, dentre os mais usuais o óxido de alumínio, dióxido de silício e a granada (um mineral da família do silicato), usados com granulometrias que variam entre 60 e 120 Mesh (GROOVER, 2014). A empresa Flow (2015), indica que seu equipamento usa “grãos de abrasivo que variam de 50 a 220 Mesh de granada, sendo o mais comum de 80”, dentro dos padrões citados por Groover (2014).

De acordo com Patel e Shaikh (2015) o tipo de abrasivo utilizado, juntamente com a pressão do jato de água, são os fatores que possuem maior significância na rugosidade da superfície cortada. Fato também apurado por Aydin *et al.* (2010), em que verificaram estatisticamente que a pressão da água e a taxa de fluxo abrasivo são os fatores mais significativos que influenciam a rugosidade da superfície dos granitos.

Outro aspecto interessante sobre a usinagem AWJ, é que o processo não gera resíduos tóxicos, ou seja, a água (com esferas de aço ou brita) que fica

armazenada no tanque usado para suavizar o impacto da água jogada pelo jato, é armazenada em unidades coletoras móveis e posteriormente descartada de forma segura em locais que contam com a rede de esgoto, sem um meio de descarte específico.

Entender o processo de beneficiamento de corte por jato de água abrasiva e as características do material a ser usinado, é o ponto crucial para a escolha adequada da regulagem dos parâmetros de corte, para que a qualidade de acabamento seja satisfatória, assim como pode reduzir o custo do processo, tornando-o mais atrativo para diversos setores (IPAR *et.al.*, 2015).

2.2.1 Corte AWJ de materiais geológicos

A versatilidade de uso do processo de usinagem via AWJ por vários tipos de materiais é uma realidade. Nos setores que envolvem a produção de artefatos cuja materialidade são de origem geológica, é um caminho ainda em construção.

Conforme indica Ipar *et.al/* (2015), no estudo sobre o acabamento da superfície usinada por AWJ em placas de ágata, uma grande barreira para a sua difusão é o custo relacionado ao processo, pois exige um alto consumo de abrasivos para obter um acabamento de qualidade. Entretanto, o estudo aponta que para uma usinagem eficiente e produtiva, do ponto de visto econômico, uma combinação de parâmetros deve ser levada em consideração: o aumento da velocidade e a baixa vazão de abrasivo, além da espessura pequena.

Em concordância com esta afirmativa, Barp *et.al*/ (2010), apontam que em comparação com outros processos de usinagem, o corte AWJ apresentou maior agilidade, sem desgaste ferramental, e muito eficiente para chapas planas de ágata com espessura mínima de 3,5 mm.

Em outra pesquisa com material gemológico, de Silva (2013), para a produção de anéis em ágata, o resultado mostra que o tempo de execução das peças foi menor em relação a outro processo de usinagem, destaca o dimensionamento pouco espesso do material, entre 10 e 12 mm, e ressalva a importância de controlar parâmetros como pressão e velocidade de avanço.

Já no âmbito das rochas ornamentais, algumas investigações envolvem principalmente o granito e a avaliação de parâmetros (velocidade, pressão e vazão mássica e abrasivo) que influenciam na rugosidade da superfície cortada, como registrado por Aydin *et.al*/ (2011 e 2017), Karakurt *et.al*/ (2012) e Árabe e Celestino (2020), por exemplo.

Em relação ao emprego da tecnologia no setor fabril de rochas ornamentais, pode-se afirmar que é um sistema ainda pouco usual, porém quando é operada, é utilizada para a realização de usinagem em mármore e granitos, para a produção de produtos com recortes em mosaicos com desenhos personalizados (Figura 11a), como tampo para mesas, por exemplo; painéis vazados (Figura 11b), cortes para diversos tipos de geometrias para pias e demais produtos similares, conforme pode-se verificar na Figura 11 a e b.

Figura 11: Corte AWJ em rochas ornamentais: a) Mosaico em mármore (50 cm diâmetro); b) Desenho personalizado em mármore (40 x 40 cm).



Fonte: autora.

Além dos cortes e vazados, a tecnologia permite o desenvolvimento de acabamentos superficiais, como baixo relevo e texturas. Esta técnica (Figura 12), ainda pouco utilizada no Brasil, é chamada de Hydrofinishing (hidroacabamento) e realizada a partir do controle da geometria determinada por um projeto em CAD, em que pode-se realizar acabamentos distintos em uma mesma superfície (PALDÊS, ZAMPIROLI, 2019).

Figura 12: Textura Hydrofinishing na parede em rocha ornamental.



Fonte: Paldês; Zampirolli, 2019.

Ainda, de acordo com Ipar *et al.* (2015), este processo de usinagem é uma tecnologia que permite o processamento em diversos materiais, com baixa temperatura durante a execução do corte, não interferindo na estabilidade da peça usinada e possibilita o recorte de inúmeros formatos e otimização do material, fazendo com que a indústria utilize cada vez mais este processo na fabricação de artefatos, especialmente a indústria de gemas. Além disto, a ausência de rebarbas, o não aquecimento e queima da superfície usinada, a perda mínima de material da zona de corte, a automatização do processo, não poluição ambiental, a possibilidade de iniciar e acabar o corte em qualquer que seja o ponto e qualquer que seja o momento (HENRIQUES, 2009), são vantagens do uso deste processo de usinagem.

2.3 DESIGN DE SUPERFÍCIE

O termo Design de Superfície à primeira vista é relacionado ao desenho de texturas visuais, táteis ou relevos que por meio de padrões modulares conferem estética ao objeto, corriqueiramente relacionada ao design têxtil.

No entanto, ao pensar o termo superfície sob outro viés, percebe-se que o assunto extrapola os limites de apenas ser um padrão desenvolvido pelo design gráfico, pois faz interface com diversas outras áreas. Assim, as superfícies podem se configurar tanto na forma bidimensional, quanto tridimensional, sendo elas os próprios objetos/produtos ou ainda revestimentos, mas abertas e interativas em seu diálogo com o usuário (BARANCHINI, 2002).

Rutschilling (2009) aponta que o design de superfície é uma atividade que alia técnica e criatividade para o desenvolvimento de projetos de texturas visuais e táteis, para a composição e/ou tratamento de superfícies que unem soluções de ordem estética e funcional aos mais diversos de meios de manufatura, tanto artesanal quanto industrial.

Assim, o emprego de novas tecnologias no processo de concepção e produção de produtos que compõem as superfícies é um aspecto relevante, visto que permite a elaboração de novas formas (bi e tridimensionais), além de texturas nos mais variados materiais, pois “cada material oferece possibilidades gráficas e estruturais que ao serem trabalhados por diferentes processos, podem apresentar resultados formais diferentes, específicos de sua natureza e composição” (NEJELISKI; DUARTE, 2020, p.403)

Um exemplo aplicado de desenvolvimento de superfície com emprego de novas tecnologias e materiais, é a concepção de painéis de revestimento em ágata, gerados a partir do material residual produzidos pelas indústrias e fábricas beneficiadoras do Rio Grande do Sul. Este estudo desenvolveu uma superfície tátil a partir de um padrão modular encaixável (Figura 13), com a intenção de valorizar os minerais encontrados no estado, usando um processo de fabricação inovador, o corte por jato d’água (SILVEIRA *et al.*, 2014). O resultado mostra que mesmo com desenhos de maior complexidade, a proposição atendeu os requisitos que envolvem estética, técnica e funcionalidade (SILVEIRA *et al.*, 2014), como ilustra a Figura 13 a seguir.

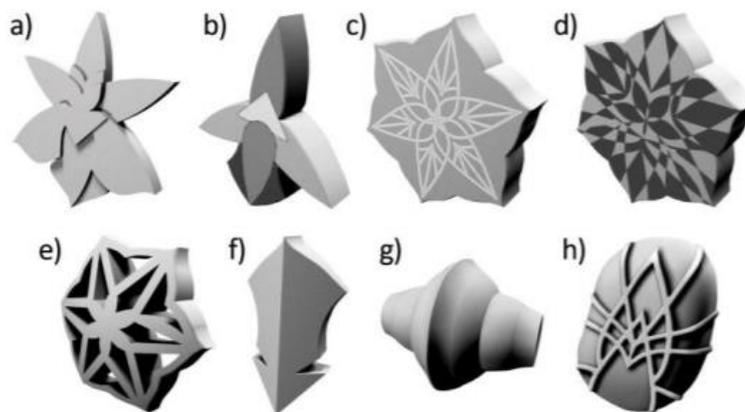
Figura 13: Painel de revestimento em ágata com módulos encaixáveis.



Fonte: SILVEIRA *et.al.*, 2014, p.12

Outro estudo que explora de maneira diferenciada o design de superfície em materiais gemológicos e rochas, é o desenvolvimento de grids (vetores lineares) bioinspirados – biogrids (Figura14) - para gravação a laser de desenhos neste tipo de material, gerando “designs para esculturas, painéis (design de superfície), etc” (SZCZEPANIAK *et al.*, 2019, p.262).

Figura 14: Protótipos virtuais dos designs de gemas ou rochas gerados em um biogrid.



Fonte: SZCZEPANIAK, *et.al.*; 2019, p.262

Este estudo sugere que os biogrids gerados são designs de superfície funcionais que poderão auxiliar no desenvolvimento e configuração de projetos que utilizam gemas ou rochas como matéria-prima. (SZCZEPANIAK *et al.*, 2019).

Alguns autores tecem conceitos e abordagens para além do design de superfície bidimensional e embora seja uma temática que engloba distintos enfoques, a superfície se estrutura em 3 perspectivas (representacional, constitucional e relacional) que ampliam o pensar projetual sobre o design de superfícies (SCHWARTZ *et al.*, 2008). Esta afirmação reforça a questão da “tridimensionalização da Superfície” e permite então subdividir a perspectiva Representacional em: superfície-envoltório e superfície-objeto.

Então, no contexto da superfície tridimensional, pode-se considerar o cobogó um artefato que se constitui em superfície-objeto. A superfície-objeto, é o objeto em si, é o volume que estrutura a peça, não sendo apenas um revestimento, uma película. A superfície-objeto pode ser, por exemplo, revestimentos cerâmicos tridimensionais e os cobogós, em que o próprio volume, formato e a materialidade constituem o produto.

Recentemente, foi desenvolvido um projeto chamado Cobogó da Mundaú, cujo objetivo foi incorporar o resíduo da pesca do sururu – as cascas, na produção de massa cimentícia para produção de cobogó (Figura 15 a,b). As cascas trituradas correspondem a 62,5% do bloco vazado, do qual o desenho remete ao formato da concha do molusco (BARATTO, 2021). Este artefato exemplifica claramente o conceito superfície-objeto.

Figura 15: Revestimento tridimensional cobogó: a) Bloco vazado com resíduo de sururu; b) Composição da superfície elaborada com os blocos vazados.



Fonte: Rosenbaum (2021).

Em vista do descrito acima, percebe-se que o design de superfície pode transitar por diversos tipos de produtos, sejam eles virtuais ou materiais, e que certamente fazem interface com diversas áreas, como na arquitetura.

O espaço arquitetônico é dotado de superfícies, que podem ser exploradas e percebidas de distintas maneiras. Revestimentos cerâmicos, azulejos, paredes, cobogós, dentre tantos outros elementos chamados de superfície, tem papel preponderante no tempo histórico da arquitetura e contribuem com a construção da identidade do ambiente, sendo o elo da relação usuário-produto-espaço.

A questão de relacionar e alinhar diversos pontos distintos em um só produto, a interdisciplinaridade, que o design consegue percorrer, torna a superfície em objetos que interagem com o todo – sujeito/espaço – deixando de lado a ideia de que superfície é apenas aparência, ao contrário, o design propõe um design inquisitivo, atuante, que não é determinado, mas que se propõe a ser determinante (BARACHINI, 2002).

Deste modo, o design de superfície tem como função explorar e ressaltar a interface comunicativa dos objetos, unindo características funcionais e estéticas que se apresentam também em outras especialidades, conforme defende Freitas (2011).

Ao encontro destes conceitos, a arquitetura explora diferentes aspectos relacionados à superfície, tópicos que serão correlacionados a seguir.

2.3.1 A superfície como elemento da arquitetura e design

A arquitetura e sua história está em constante devir, a concepção da forma, a função, os cheios, os vazios, os materiais, preceitos técnicos e demais aspectos que constituem o espaço arquitetônico. Estas edificações são dotadas de superfícies, também chamadas de tetos, paredes, pisos, ou seja, limites físicos que copõem os espaços internos e externos, com a intenção de fechar e abrigar, tornando-se elementos que interrelacionam entre si, com o meio e com a percepção do usuário, estabelecendo entre eles diferentes dinâmicas e relações.

Para Allgayer (2009) a arquitetura é materializada por meio dos volumes, que podem se configurar em superfícies planas, horizontais, verticais, curvas, inclinados ou cascas, limitados por distintas possibilidades plásticas e visuais. Afirma ainda, que o aspecto do volume está diretamente associado às suas próprias características e ao tipo de material da superfície, relacionado às funções simbólicas, estéticas e funcionais, apontadas por Löbach (2001) e adotadas na concepção projetual do design, cujas diretrizes “podem, com maior ou menor grau

de relevância, instrumentalizar o desenvolvimento de padrões para design de superfície na arquitetura.” (ALLGAYER, 2009, p.13)

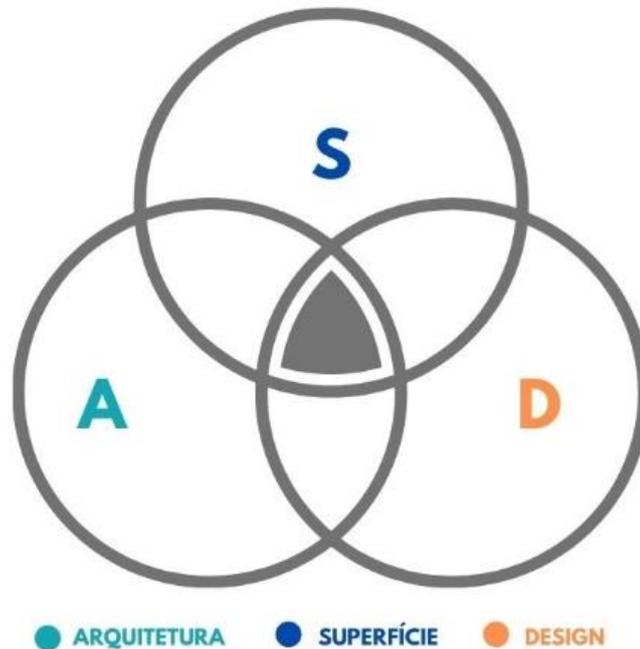
As superfícies podem ser percebidas sob distintos pontos de vista, em diversos formatos, podendo ser a construção em si, seus revestimentos, como ladrilhos, azulejos, porcelanatos, papeis de parede, etc; bem como os blocos vazados do tipo cobogós. Estes elementos, combinados entre si, fazem com que as superfícies obtenham texturas e padrões visuais que formam não apenas o aspecto estético do meio, mas também o conceito e a história do espaço.

Barachini (2002), indica que as superfícies possuem uma relação intrínseca e direta com a arquitetura, visto que criam uma ligação entre o interno e externo. A autora escreve ainda, que ao extrapolar as qualidades materiais (vidro, cerâmica, etc), as superfícies podem intensificar a percepção do observador, transformando as superfícies arquitetônicas em objeto/ volume.

Nestes casos, a transformação do volume arquitetônico, com a aplicação de recursos visuais, sejam eles revestimentos ou os próprios materiais – como os cobogós, em um jogo de planos que se sobressaem dos demais, reforça o conceito de superfície-objeto abordado anteriormente (BARACHINI, 2002).

Entender a arquitetura e a sua relação com as superfícies é assimilar que há uma relação intrínseca, que ambas formam a edificação/construção e que concebem a plasticidade volumétrica do local. E, se esta relação é pertencente uma da outra, se identifica a linha tênue com o design, formando, portanto, a tríade Arquitetura – Superfície – Design (Figura 16).

Figura 16: Esquema de integração entre arquitetura x superfície x design.



Fonte: autora.

Esta conexão entre arquitetura – superfície – design, inclui a estrutura física e a constituição de planos - provenientes da arquitetura, e o desenvolvimento projetual de elementos que revestem - e em alguns momentos estruturam a edificação - por meio do design. Desta maneira, o design se materializa na combinação de configurações plásticas e, por vezes, estruturais dos planos arquitetônicos, que dialogam entre si, com o meio e com a percepção do indivíduo. A superfície é, portanto, o elo de intersecção entre estes dois pontos, pois quando se encontram, se conectam e fazem com que a percepção do meio seja um único volume, indissociável, uma única área.

Pensar em elementos transformadores dos espaços colabora não apenas para a construção conceitual e estética do ambiente, mas também contruibui com aspectos de ordem técnica e estrutural, como os cobogós por exemplo, que além

de formar grandes painéis/superfícies visuais, contribuem para a entrada de iluminação natural e ventilação, favorecendo o conforto térmico do recinto, como também pode agregar valor como bem patrimonial.

No design de interiores, a superfície arquitetônica raramente se compõe sem algum tratamento desenvolvido pelo design, ou seja, o ambiente normalmente recebe a aplicação de revestimentos com texturas e padronagens diversas, contribuindo significativamente na construção da identidade do ambiente (GUBERT, 2011). É nesta área, dentre tantas outras permeadas pela arquitetura, que o design de superfície mais se funde ao espaço arquitetônico.

O advento das tecnologias em geral, fez o cotidiano mudar, a comunicação, os processos produtivos, e claro, o espaço urbano, que cresceu e se transformou. Em consequência, as formas de morar modificaram, e analisar a nova arquitetura que emerge é buscar entender as transformações do dia-a-dia, seja no espaço doméstico, urbano e na sociedade (REQUENA, 2019). Este entendimento possibilita vislumbrar o quanto híbrida é a arquitetura atual e o quanto ela está intimamente ligada ao design, posto que se movem na mesma direção para a construção de ambientes.

Por fim, percebe-se que a arquitetura contemporânea e o design direcionam o mercado para inúmeras tendências, tanto para a conformação da edificação, quanto para a materialidade e sua diversidade técnica e estética. Isto possibilita a renovação constante do repertório arquitetônico e suas superfícies, estabelecendo novas possibilidades formais, estruturais e estéticas.

2.4 ELEMENTOS MODULARES – COBOGÓS

Termo originalmente brasileiro, os cobogós, foram inspirados nos muxarabis² árabes, uma espécie de tela de madeira vazada, cuja função era esconder as mulheres dentro de casa e também ventilar o ambiente. Este painel perfurado modificou significativamente a estética da arquitetura árabe e influenciou o desenvolvimento da arquitetura moderna no Brasil.

De acordo com Corona e Lemos (2017), o elemento vazado feito de cimento, também chamado de combogó, especificamente no nordeste brasileiro, é empregado para construção de paredes perfuradas que permitem a entrada de luz natural e da ventilação, além de separar o interior e exterior. “Nome que se generalizou para designar os elementos celulares como quebra-sol. Parece que o combogó brasileiro filia-se diretamente aos tijolos perfurados das construções norte-africanas, como sugere a forma da palavra evidentemente negra.” (CORONA; LEMOS, 2017, p.138).

Já Philip Goodwin (1943), adota o termo cambogé, para narrar a estética de algumas edificações modernas brasileiras, como por exemplo, a Torre d’água de Olinda/ Pernambuco, em que descreve que os “longos muros são de cambogé ou concreto perfurado.” (GOODWIN, 1943, p. 158). Historicamente a origem deste artefato se dá em Pernambuco, no começo do século XX, onde um engenheiro e

² A origem do Muxarabi ou Muxarabiê, segundo vários autores, está vinculada à cultura árabe, povo que geralmente habita regiões de clima quente e seco. É um “balcão de origem mourisca em balanço na fachada de uma construção, protegido de cima a baixo por gelosias ou treliças para resguardar o interior da luz, do calor e do devassamento a partir da rua.”(KLÜPPEL, 2009, p.402)

dois comerciantes desenvolveram este bloco de concreto pré-fabricado, para ser feito em série, que permite a ventilação natural e reduz a incidência solar, fatores importantes para projetos em lugares de clima quente e úmido (VIEIRA, BORBA, RODRIGUES, 2012).

O nome se dá pela junção dos sobrenomes de seus criadores, do comerciante português Amadeu Oliveira **Coimbra**, do alemão Ernst August **Boeckmann** e pelo engenheiro pernambucano Antonio de **Góes** – COBOGÓ, cuja ideia surgiu a partir das treliças encontradas no muxarabis árabes (Figura 17 - a) e nas gelosias³ (Figura 17 - b), elementos que também fazem parte da arquitetura colonial brasileira, trazidos pelos colonizadores portugueses com a intenção de dar mais privacidade a residência sem limitar a iluminação e ventilação.

Figura 17: Exemplos de treliças que inspiraram o cobogó: a) Treliça tipo Muxarabi; b) Treliça tipo Gelosia.

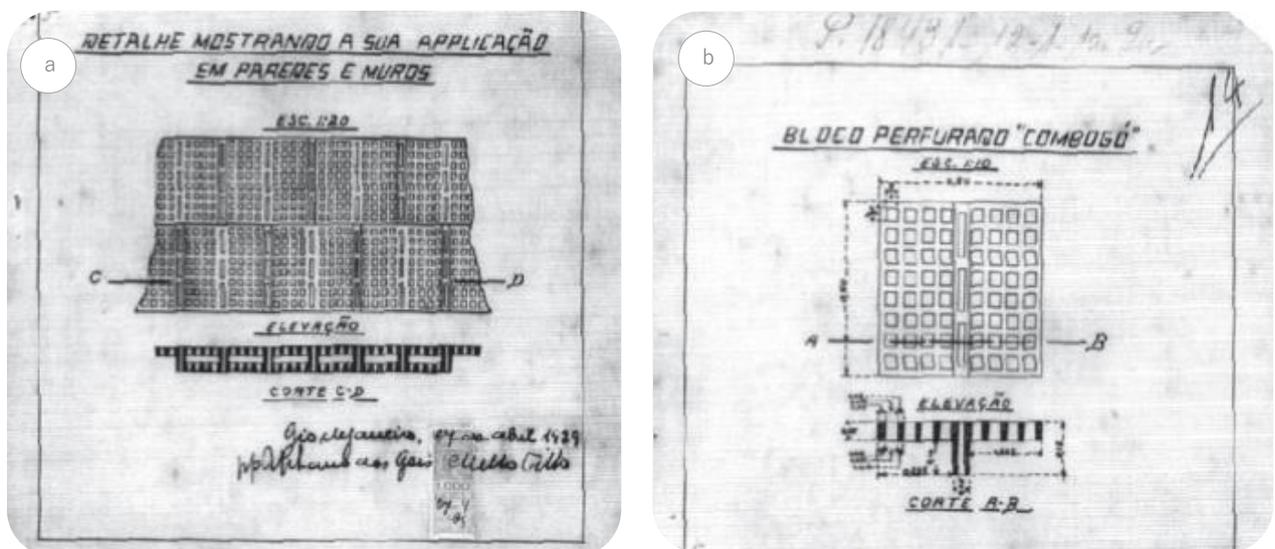


Fonte: Vetorazzi *et.al* (2022).

³ Gelosias – “Janela em treliça de uma única peça com giro na horizontal, normalmente no topo.” (KLÜPPEL, 2009, p.402)

De acordo com VIEIRA, BORBA, RODRIGUES (2012) o registro de patente se deu em 1929, e neste documento consta descrito como “Um systema de blocos de concreto para construções”, denominados “BLOCOS PERFURADOS COMBOGÓ”. Sobre sua utilização, menciona-se que foram criados para substituir o tijolo comum, de argila, “não só quanto à resistência como quanto ao preço de aquisição e ao modo especial pelo qual serão dispostos na construção de muros e paredes, permitindo grande segurança, rapidez e economia na sua aplicação.” (VIEIRA, BORBA, RODRIGUES, 2012, p. 21). A patente ainda continha como os cobogós deveriam ser instalados, bem como o desenho esquemático de aplicação feito à mão (Figura 18).

Figura 18: Reprodução do desenho esquemático do bloco perfurado - Cobogó – Registro de patente: a) Parte superior da página – configuração do “Combogó”; b) Parte inferior da página – aplicação.



Fonte: VIEIRA; BORBA; RODRIGUES, 2012, p. 24.

A primeira obra moderna brasileira que utiliza o cobogó é a Caixa D'água de Olinda/PE (Figura 19), projeto do arquiteto Luis Nunes, de 1935. A edificação,

situada em pleno centro histórico da cidade, tem uma aparência que destoa das demais construções, pois se constitui em uma planta livre, estrutura vertical sobre pilotis, acesso interno por escadas e “fechamento das fachadas através de um elemento vazado ainda não utilizado até aquele momento da arquitetura nacional — o COBOGÓ” (VIEIRA, BORBA, RODRIGUES, 2012, p. 18). Esta obra se tornou um marco mundial da arquitetura moderna brasileira, sendo pioneira no uso deste artefato, que foi amplamente difundido no cenário arquitetônico nacional.

Figura 19: Prédio da Caixa D’água de Olinda/Pernambuco - Obra do arquiteto Luiz Nunes, 1935.

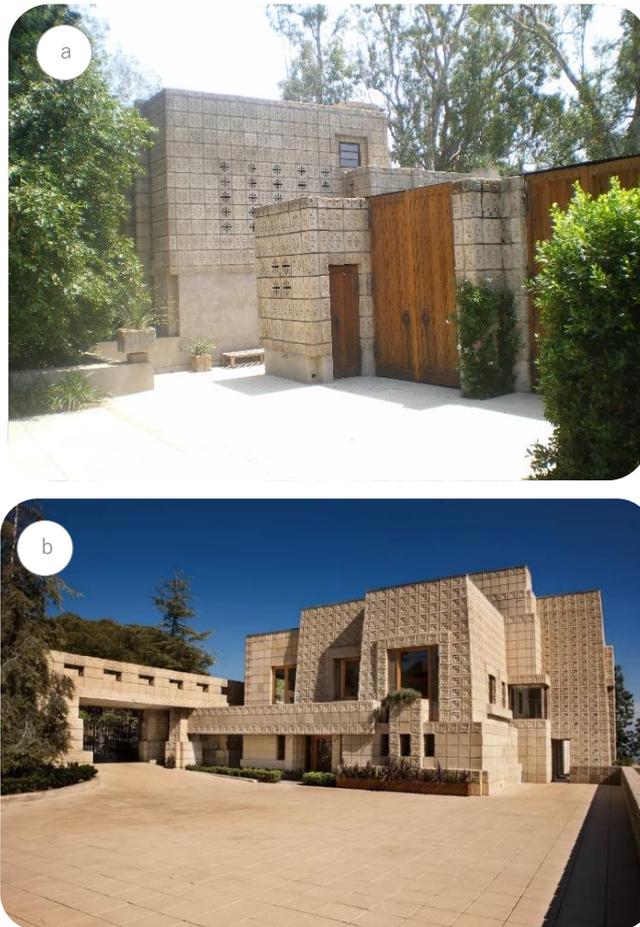


Fonte: João Serraglio (2023).

Ainda, com relação a concepção do cobogó, cabe aqui um adendo: sobre o sistema de construção modular de Frank Lloyd Wright, que de acordo com a Frank Lloyd Wright Foundation, usou blocos de concreto unidos por hastes de aço, chamado de *Textile Block System*.

Este sistema usado para a construção das chamadas Casas Maya (1923-24) – conjunto de casas formado pela casa Millard - ou *La Miniatura* – (Figura 20 a), localizada em Pasadena, e das casas Storer, Freeman e Ennis (Figura 20 b), situada em Los Angeles/ Estados Unidos. Eram compostas por blocos de concreto de diferentes padrões que poderiam ser manuseados por qualquer pessoa, sem ser necessário de mão-de-obra especializada para o assentamento da construção de paredes, considerado um processo simples e barato para edificação de casas.

Figura 20: Casas Maya: a) Millard House; b) Ennis House.



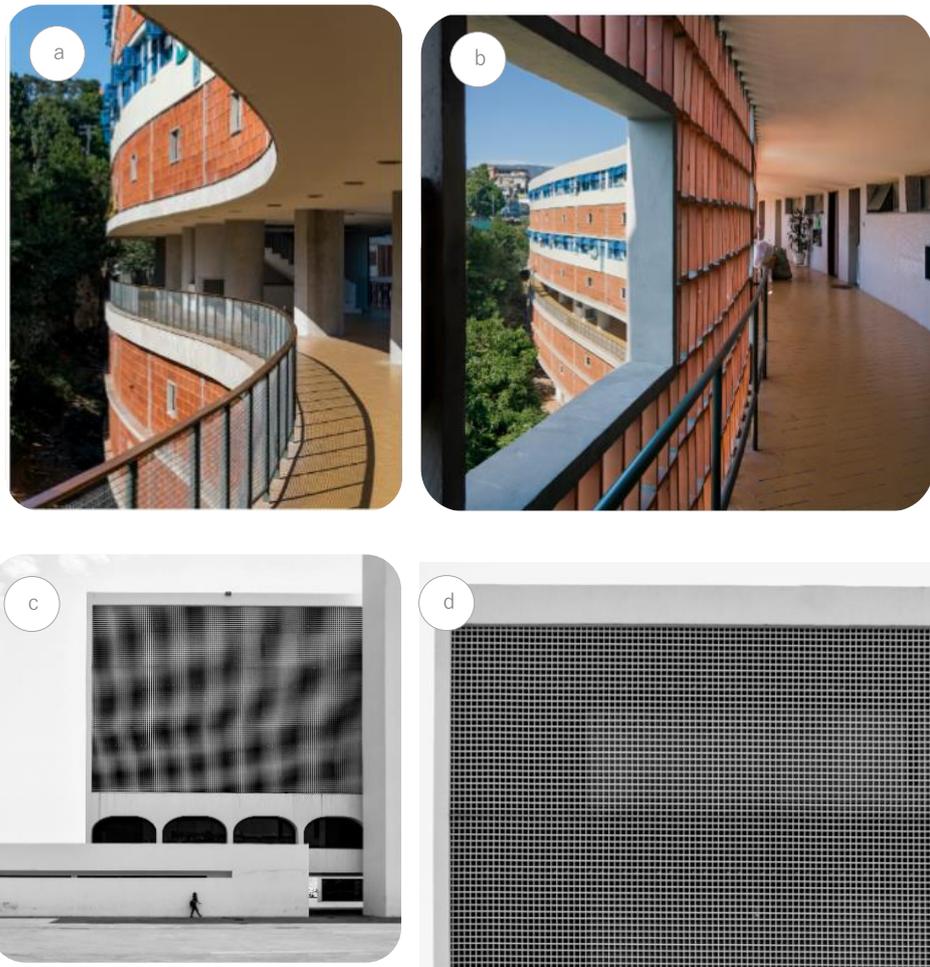
Fonte: a) Via Los Angeles - Own work, CC BY-SA 3.0; b) Mary E Nichols, via Hilton & Hyland (2023).

Semelhantes com os cobogós, o sistema projetado na mesma época, se diferenciava no processo construtivo das paredes e no aspecto que algumas peças do *Textile Block* eram sólidas, sem os vazados. No entanto, para Oliveira e Bauer (2011) mesmo sem ligação direta, os criadores desenvolveram artefatos cimentícios para a construção de fachadas que produzem efeitos plásticos similares.

Em meados dos anos 50, no Brasil, a utilização dos cobogós foi adotada e protagonizada principalmente pelos arquitetos Oscar Niemeyer e Lúcio Costa, dentre outros que também exploraram de maneira criativa o uso dos cobogós, bem como projetaram obras relevantes com o uso deste artefato. Tal adoção se deu pelo fato do cobogó permitir uma ventilação permanente e iluminação natural, a redução de custos de construção, além de contribuir com a plasticidade moderna das edificações.

Tais obras hoje se tornaram ícones da arquitetura moderna brasileira, como o Instituto Moreira Salles (1950) projetado por Olavo Redig de Campos, o Conjunto habitacional Pedregulho – 1952- (Figura 21 – a,b) de Affonso Eduardo Reidy, o Parque Eduardo Guinle (1954) por Lúcio Costa, ambos no Rio de Janeiro; a Escola Estadual Professora Júlia Kubitschek (1951), projeto de Oscar Niemeyer e a residência Morumbi (1951), de Oswaldo Bratke em São Paulo; a Biblioteca Nacional de Brasília Leonel de Moura Brizola (Figura 21 – c,d), de Oscar Niemeyer e alguns dos edifícios residenciais das superquadras em Brasília/DF, são alguns dentre tantos exemplos.

Figura 21: a) Detalhe fachada do Conjunto habitacional Pedregulho – Arquiteto Affonso Eduardo Reidy; b) Corredor Interno de acesso aos apartamentos do Conjunto habitacional Pedregulho; c) Fachada da Biblioteca Nacional de Brasília Leonel de Moura Brizola – Arquiteto Oscar Niemeyer; d) Detalhe dos cobogós da fachada da biblioteca.



Fonte: a)b Leonardo Finotti (2020); c)d Gonzalo Viramonte (2020).

Entre as obras listadas acima, não se pode deixar de citar e descrever o famoso Conjunto Residencial Parque Eduardo Guinle (Figura 22 a,b), projetado por Lúcio Costa na década de 50, no bairro Laranjeiras no Rio de Janeiro. Os três blocos de edifícios que integram o Conjunto Residencial do Parque Guinle são marcados pela mesma linguagem visual: o uso dos cobogós em suas fachadas,

além dos brises soleil⁴ verticais em madeira, ambos posicionados nas fachadas de frente para o parque.

Figura 22: Detalhe da fachada da edificação Parque Eduardo Guinle - Arquiteto Lúcio Costa: a) Vista geral – Brises e cobogós; b) Detalhe dos cobogós.



Fonte: autora.

De acordo com Fracalossi (2011), a modulação da fachada se faz sob uma lógica irregular, pois ora apresentam uma abertura central, ora são planos uniformes, enquanto os de brises são interrompidos com uma abertura no seu quadrante superior direito, e além disto protegem contra o sol e amenizam a temperatura.

Os cobogós são amplamente usados na construção da nova capital federal, podendo ser encontrado em repartições públicas e residências, principalmente nas edificações do plano piloto (Figura 23). Niemeyer usava os cobogós em seus

⁴ Brises Soleil – Dispositivos para sombreamento de aberturas que podem ser fixos ou móveis. (CORBELLÀ; CORNER, 2017, p .68)

projetos para ocultar fachadas de serviço, nos blocos residenciais das superquadras do Plano Piloto de Brasília/DF.

Figura 23: Edificação padrão das superquadras do Plano Piloto Brasília/DF – Oscar Niemeyer.



Fonte: Romullo Baratto- ArchDaily (2023).

Este elemento era de uso obrigatório – exigência legal, de acordo com o Código de 1960, que visava padronizar as construções do Distrito Federal. Este documento descrevia que: "As áreas de serviço deverão ter elementos vazados que as protejam da visibilidade externa e impeçam a colocação de roupas para secar nos peitoris [...]"(SEGAWA, 1988) , ou seja, era sistemático o emprego dos cobogós.

De acordo com Leitão *et al.* (2009) nos primeiros anos de Brasília o uso dos cobogós foi muito além de recobrir as áreas de serviço das edificações, pois foram usados para revestir fachadas dos fundos inteiras, encobrendo inclusive os dormitórios, formando grandes superfícies de elementos vazados. Para se ter ideia

do quanto este elemento foi utilizado, existem dados que apontam que “em 65 % dos edifícios construídos durante as décadas de 60 e 70 há cobogós como elemento de vedação, enquanto apenas 2% dos edifícios do segundo período os possui.” (AMORIM, FLORES, 2005, p. 71)

Outro aspecto relevante da aplicação deste artefato é com relação ao conforto térmico e iluminação, que se demonstrou altamente eficaz, principalmente para locais com clima seco e árido como da capital.

Passada a onda do uso recorrente dos cobogós, nota-se um certo desuso do artefato, visto que a crítica pós-moderna da década de 70 se consolidou e se aproximou dos debates em que a arquitetura deveria se associar ao resgate histórico formal e estético. No entanto, conforme aponta Paulert (2012), cresceu também uma corrente teórica pós-moderna que defendia o diálogo do contexto histórico com o contemporâneo, seja no emprego de elementos arquitetônicos, materiais e técnicas, quanto o contexto cultural da região.

Outro ponto que Amorim e Flores (2005) atribuem a decadência do cobogó é que além de algumas vezes a ventilação ficar inadequada nos meses de inverno, o artefato se tornou abrigo de pombas e insetos, sendo alguns fechados ou substituídos por janelas.

Assim, a partir da década de 70 o uso recorrente do cobogó caiu drasticamente, sendo pouco empregado nas edificações na década de 80/90 e sua aplicação retomada nos anos 2000, conforme demonstram Camacho, Sacht e Vettorazzi (2017) na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Histórico da utilização de elementos vazados em obras relevantes da arquitetura brasileira.

DECADA	AÑOS	NOMBRE DEL PROYECTO	MATERIAL DEL COBOGÓ			USO		ARQUITETO O EMPRESA	LOCALIZACIÓN	
			Concreto	Cerámico	Otros	Público	Privado		Ciudad - Estado	Región
1930	1935	Caixa d'Água de Olinda	X			X		Luiz Nunes	Pernambuco - PE	Nordeste
	1938	Pavilhão coletivo Leprosário da Mirueira	X			X		Luiz Nunes	Pernambuco - PE	Nordeste
	1938	Grande Hotel de Ouro Preto	X				X	Oscar Niemeyer	Ouro Preto - MG	Sudeste
	1940	Instituto Sedes Sapientiae	X			X		Rino Levi	Sao Paulo - SP	Sudeste
	1944	Colônia de Férias da Tijuca	X			X		MMM Roberto Affonso Eduardo Reidy	Rio de Janeiro - RJ	Sudeste
	1947	Residencial Mendes de Moraes (Pedregulho)		X			X		Rio de Janeiro - RJ	Sudeste
1940	1948	Edifícios Parque Eduardo Guinle		X			X	Lúcio Costa	Rio de Janeiro - RJ	Sudeste
	1950	Instituto Moreira Salles	X			X		Olavo Redig de Campos	Rio de Janeiro - RJ	Sudeste
	1951	Residência no Morumbi	X				X	Oswaldo Bratke	Sao Paulo - SP	Sudeste
	1951	Escola Estadual Professora Júlia Kubitschek	X			X		Oscar Niemeyer	Minas Gerais - MG	Sudeste
1950	1951	Hotel Tijuco – Diamantina	X				X	Oscar Niemeyer	Minas Gerais - MG	Sudeste
	1953	Edifício União		X			X	Acacio Gil Borsoi	Recife - PE	Nordeste
	1954	Edifício Eiffel	X				X	Oscar Niemeyer	Sao Paulo - SP	Sudeste
	1953	Instituto de Antibióticos			X	X		Mário Russo	Pernambuco - PE	Nordeste
	1958	Residencia de Isnard Castro e Silva			X	X		Joaquim Guedes	Sao Paulo - SP	Sudeste
	1959	Residencia Castor Delgado Perez		X			X	Rino Levi	Sao Paulo - SP	Sudeste
1960	1962	Edifício do Seminário Reg. do Nordeste			X	X		Fernandes Amorim	Pernambuco - PE	Nordeste
	1963	Edifício Santo Antonio			X		X	Acácio Gil Borsoi	Recife - PE	Nordeste
1970	1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	1981	Casa Guarujá			X		X	Paulo Mendes da Rocha	Sao Paulo - SP	Sudeste
1990	1990	edifício esportivo SESC-Pompéia		X		X		Lina Bo Bardi	Sao Paulo - SP	Sudeste
	2003	Casa Pinheiros	X				X	Isay Weinfeld	Sao Paulo - SP	Sudeste
	2003	Escola de Ensino Fundamental FDE Campinas	X			X		MMBB Arquitetos	Sao Paulo - SP	Sudeste
2000	2006	Casa Iporanga			X		X	Isay Weinfeld	Sao Paulo - SP	Sudeste
	2008	Colégio Prof. Marcos Alexandre Sodré	X			X		FGMF Arquitetos	Sao Paulo - SP	Sudeste
	2008	Instituto de Química da Universidade de Brasília	X			X		Aleixo Furtado e Marcílio Ferreira.	Brasília- DF	Cen- Oeste
	2008	Biblioteca Nacional de Brasília	X			X		Lúcio Costa	Brasília- DF	Cen- Oeste
2010	2011	Casa Cobogó			X		X	Márcio Kogan	Sao Paulo - SP	Sudeste
	2013	Casa Jardins			X		X	CR2 Arquitetura	Sao Paulo - SP	Sudeste
	2017	Edifício Japan House			X	X		Kengo Kuma	Sao Paulo - SP	Sudeste

Fonte: CAMACHO; SACTH; VETTORAZZI, 2017, p. 213

A utilização dos cobogós a partir dos anos 2000 voltou a ser comum, pois o entendimento sobre sua aplicação se deu pelo forte apelo da arquitetura

bioclimática⁵, visando a eficiência energética e o conforto térmico, ou seja, muitas vezes é usado como estratégia para proporcionar soluções a respeito do aproveitamento do vento e filtro da luz natural. Também é preciso apontar que além da função do conforto, tem ligação direta com a privacidade e a estética do ambiente, por meio dos seus desenhos e jogos de luz e sombra.

Além destas questões que circundam a sustentabilidade do ambiente, o que contribuiu com o retorno do uso dos cobogós foi o avanço da tecnologia, pois possibilitou diversos estudos da sua plasticidade em si, de aplicações e materialidade sobre o artefato, obtendo-se materiais com acabamentos mais avançados e resultados formais mais complexos.

Em virtude desta evolução da materialidade e dos aspectos que envolvem a estética do artefato, por conta dos diferentes tipos, tamanhos, cores e texturas de acabamento, os cobogós estão presentes em distintos locais, servindo como divisórias de ambientes internos, em salas, cozinhas, garagens, e não apenas como revestimento de fachadas, além do uso em estabelecimentos comerciais.

Por isto, conhecer a natureza dos materiais, suas aplicações e funções são indispensáveis por parte do projetista e nesta perspectiva, o tópico a seguir discorre concisamente sobre estes pontos relevantes acerca do cobogó.

⁵ A expressão “arquitetura bioclimática” surgiu entre as décadas de 1970 e 1990, quando as questões de sustentabilidade chegaram à agenda internacional da arquitetura e urbanismo de forma definitiva. Seus princípios objetivavam produzir uma edificação que se adequasse ao clima, iluminação e ventilação naturais, adequadamente inserida no contexto sociocultural local, em harmonia com o entorno e que se aproveita de materiais e recursos disponíveis na região. (PAULERT, 2012, p.40-41)

2.4.1 Materiais e aplicações

Conforme descrito anteriormente, os primeiros cobogós eram blocos vazados confeccionados em materiais cimentícios, cujo dimensionamento era variável, em formatos quadrados ou retangulares com padrões geométricos.

Atualmente podem variar no tamanho, formato e desenho, transitando pelos mais distintos materiais como vidro, cerâmica, acrílico, concreto, cerâmica esmaltada, dentre outros. Cada material permite diferentes acabamentos e colorações, sendo obtidos por distintos processos de fabricação, bem como possuem argamassas para união dos blocos com propriedades específicas.

Dentre as inúmeras opções do mercado atual, para fins de exemplificação, no Quadro 2, estão selecionados apenas alguns modelos dos principais materiais utilizados na confecção destes elementos vazados, além das especificações de geometria, dimensionamento e quantidade de peças que podem ser utilizadas por m^2 no processo de instalação. Também é possível notar, no quadro 2, que a variação entre os tamanhos dos cobogós, é em torno de 5 centímetros para mais ou para menos, profundidade de 4,5 a 8 centímetros, todos em formato quadrado e com desenhos simétricos.

Para o empilhamento dos blocos para a construção de paredes o que dita a quantidade é a resistência e o peso do material. De acordo com a empresa que comercializa os modelos acima (Arqplace, 2023), a cerâmica esmaltada e o cimentício comportam em torno de 17 unidades por m^2 , e os blocos de vidro e

cerâmica vermelha 25 unidades por m². Já o cobogó com menor espessura, tolera 44 unidades por m². Para fins de exemplificação do exposto, vide Quadro 2 a seguir.

Quadro 2: Exemplos de modelos de cobogós existentes no mercado.

Geometria					
Dimensão	180x180x70 mm	250x250 x80 mm	240x240x70 mm	200x200x60 mm	150x150x45 mm
Material	Cerâmica vermelha	Cerâmica esmaltada	Cimentício Argamassa	Vidro	Cerâmica
Processo de fabricação	Extrusão	Extrusão - esmalte inorgânico alta temperatura	Argamassa Prensada	Moldagem	Moldagem
Nº de peças por m²	25 unidades	16 unidades	17 unidades	25 unidades	44 unidades

Fonte: autora.

Nem todos os modelos de cobogós possuem formato quadrado e com vazados simétricos, existindo outras variações de formatos e perfurações (Figura 24 a,b,c), ou seja, podem ser irregulares, redondos, hexagonais, tridimensionais, dentre outros formatos inusitados, mas que também merecem atenção especial para as especificações de execução e diagramação, como pode-se visualizar na Figura 24 a,b,c.

Figura 24: Exemplos de variações de formatos de cobogós: a) Cobogó Rama - louça verde; b) Cobogó Rústico Reto Flor – cerâmica vermelha; c) Cobogó Foco – louça vermelha.



Fonte: autora.

Para a construção das paredes/divisórias a união se dá por gesso, cola ou argamassas, como também podem ser usados vergalhões de ferro para garantir a estabilidade da parede. Já para dar acabamento e cobrir imperfeições utilizam-se rejuntas, como os usados para pisos cerâmicos ou porcelanatos.

Como os cobogós são elementos não estruturantes, ou seja, necessitam de vigas e pilares para a construção de paredes com grandes dimensões, os fabricantes devem especificar a quantidade de peças que podem ser colocadas na coordenação modular por metro quadrado, seguindo a normatização da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A ABNT normatiza questões relacionadas aos blocos vazados modulares, desde a especificação de juntas, resistência à compressão até o assentamento. A NBR 5712 de Fev/1982 - Bloco vazado modular de concreto, por exemplo, ditava como deveriam ser padronizados e “empregados na construção coordenada modularmente”. No entanto, de acordo com a ABNT Catálogo, esta norma foi cancelada em outubro de 2006, não sendo mais utilizada pelo setor, pois o mercado

atual conta com diversos formatos e materiais, inviabilizando a implantação de uma norma padrão para todos os tipos de blocos.

Contudo, as empresas do setor tomam como referência as Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR's) correspondentes aos blocos cimentícios e cerâmicos, que são análogos aos cobogós, para proporcionar o desenvolvimento, fabricação e especificações de seus produtos.

Conhecer as NBR's que norteiam todo o processo, de concepção e especificações técnicas, é relevante para que novos produtos sejam lançados no mercado de maneira segura e eficiente. Desta forma, algumas normas são recorrentes para o setor, conforme a atualização exposta na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR's) – Elementos Modulares vazados.

Norma Regulamentadora	Descrição
ABNT NBR 5712: 1982	Esta Norma padroniza os blocos vazados de concreto a serem empregados na construção coordenada modularmente. Cancelada em 23/10/2006.
ABNT NBR 6136:2016 Versão Corrigida: 2016 - Substitui a NBR 7173: 1982	Estabelece os requisitos para produção e aceitação de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural.
ABNT NBR 15270- 2: 2005	Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos

Fonte: autora.

Ainda, complementarmente às NBR's citadas, em um projeto arquitetônico que explora o uso de cobogós, é interessante verificar as normas regulamentadoras que abordam questões sobre iluminância (NBR 8995) e desempenho térmico das edificações (NBR 15220-3), visto que pode ser utilizado como uma estratégia de eficiência bioclimática, permitindo a entrada de luz natural e ventilação.

Sob o viés da relação particular entre os artefatos vazados e questões de ordem climáticas, Lamberts, Dutra e Pereira (2014,p.267), descrevem que ao observar a transmitância térmica do ambiente, o arquiteto tem condições de verificar qual material é mais pertinente para o local, ou seja, ao observar a “transmitância visível do material, propriedade que diz respeito à quantidade de luz que irá atravessar o elemento [...]”, o profissional pode projetar de maneira mais eficaz a incidência de luz natural e por consequência, economia de energia.

Em relação a ventilação, quando empregados na área externa de uma edificação, os elementos vazados contribuem para aumentar o volume e a velocidade do fluxo de ar que entra no ambiente, além de proporcionarem sombreamento (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Por fim, é de suma importância o conhecimento técnico em relação ao artefato, pois conhecer as características do material, sua resistência, tipo de acabamento (fosco, brilhante, texturizado, etc), aplicação e conformidade com o ambiente (externo ou interno), torna-se um diferencial econômico, além de estético.

Utilizar este artefato tipicamente brasileiro resgata o início da arquitetura moderna do país, mas ao mesmo tempo confere uma identidade única ao projeto, pois cada peça possui uma natureza de materialidade e plasticidade ímpar.

Perceber o cobogó, além da questão funcional, da performance energética de iluminação e ventilação, é perceber a permeabilidade que os módulos formam, transformando os cheios e os vazios em superfícies que podem ser exploradas com o design de superfície.

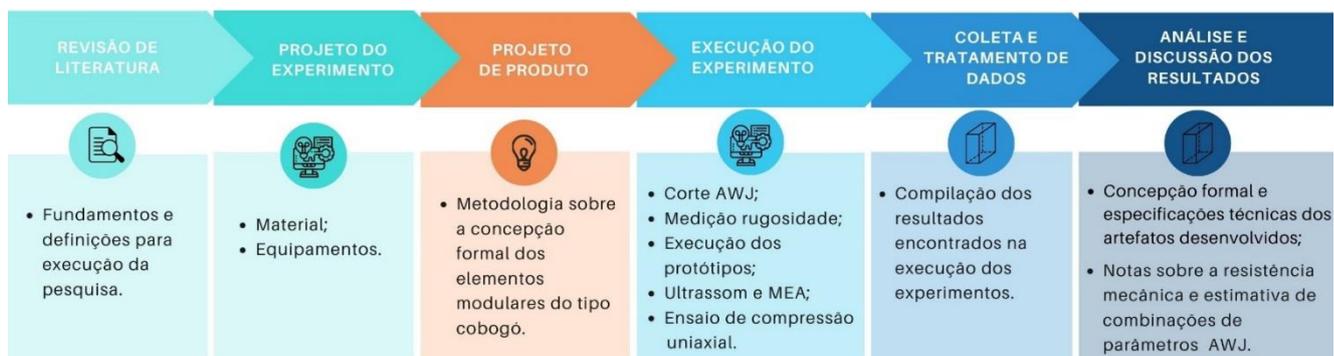
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são descritos os materiais e métodos empregados no desenvolvimento da pesquisa. Os tópicos trazem detalhes acerca o desenvolvimento dos artefatos (elementos modulares do tipo cobogó), equipamentos, ferramentas, métodos e procedimentos realizados, bem como sua contribuição para a concretização dos fins propostos pela pesquisa.

3.1 METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DE TRABALHO

A Figura 25 apresenta um esquema geral com as 6 etapas da metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 25: Desenho geral das etapas metodológicas seguidas.



Fonte: autora.

A primeira etapa referente a **revisão de literatura**, serviu como base para o desenvolvimento desta pesquisa, por meio de fundamentos e definições sobre o material, processos e o artefato em si, conforme descritos no capítulo 2 desta tese.

Para a implementação dos assuntos abordados e proposição do artefato, foram necessários executar alguns passos, como realizar o **projeto de experimentação**, que engloba a identificação do material, máquinas e equipamentos a serem utilizados.

Em seguida, como ilustra o tópico em laranja da sequência acima (Figura 25), foi desenvolvido o **projeto de produto** proposto neste trabalho. Para tanto, descreve-se o caminho abordado para a concepção formal dos elementos modulares do tipo cobogó.

Na fase de **execução do experimento**, foi necessário fazer o planejamento do experimento de corte, para determinar os fatores fixos e variáveis durante o processo AWJ. Ainda nesta etapa também foi determinado um modelo estatístico que definiu a combinação dos parâmetros de corte e o número de experimentos a serem aplicados na pesquisa.

Em sequência foram realizados os cortes AWJ, a medição da rugosidade e então foram produzidos protótipos para a execução de ensaios de ultrassom, verificação da massa específica aparente e resistência à compressão uniaxial.

Após cumpridas todas as etapas, foi possível compilar os dados (**coleta e tratamento de dados**) para enfim estimar as possíveis combinações de parâmetros (de corte AWJ) para a usinagem dos elementos modulares do tipo cobogó em basalto, apontar aspectos que envolvem a resistência mecânica do produto e ainda ilustrar a aplicação do artefato proposto, a partir do design de superfície (**análise e discussão dos resultados**).

3.2 MATERIAL E EQUIPAMENTOS

Nesta seção é apresentado o material utilizado na elaboração dos corpos de prova, o maquinário usado para confecção dos cortes AWJ, os equipamentos para medição da rugosidade da superfície, da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e massa específica aparente, além da máquina empregada para realizar os ensaios de resistência mecânica.

3.2.1 Material

Para a realização do presente estudo, o material selecionado é o basalto, uma rocha ornamental encontrada em abundância no Rio Grande do Sul, cujas características estão descritas na revisão de literatura.

O material utilizado para a confecção dos corpos de prova e posteriormente protótipos, proveniente da jazida Pedreira Paludo (Garibaldi/RS), foi fornecido pela empresa Basaltear situada na cidade de Parai/RS. Além do basalto, a empresa trabalha com diversos produtos oriundos de rochas ornamentais.

O material remanescente não é formalmente contabilizado pela empresa, em questões de dimensões e quantidades. No entanto, além da usabilidade para a produção de brita, em alguns casos a prefeitura local arrecada para utilização em suas obras, para elaboração de postes e cascalhos.

Os regufos são provenientes do corte do beneficiamento primário e em sua maioria possuem as espessuras usualmente comercializadas entre 15 mm a 50 mm (espessura máxima encontrada). Em relação ao dimensionamento, variam de

formatos, sendo recorrentes resíduos quadrados (de 250 x 250 mm, por exemplo), retangulares (com tamanhos médios de 400 x 600 mm) e casqueiros (com tamanho aproximado de 2,90 x 1,80 x 0,05 metros) considerados, portanto, retalhos com grande potencial de reaproveitamento (Figura 26).

Figura 26: Matéria-prima utilizada para execução da pesquisa: Material residual presente no pátio da empresa Basaltear



Fonte: autora.

Para tanto, a matéria-prima cedida (Figura 27) englobou a quantidade de 4 peças com dimensão de 400 x 600 mm nas espessuras de 20 mm e 28 mm, mais 5 unidades de aproximadamente 300 x 400 mm com 44 mm de espessura, algumas com uma face de acabamento polido (que confere uma superfície lisa e com brilho) e outras flameadas (superfícies expostas ao fogo, por meio de maçarico, homogêneas e ásperas), consideradas material residual do processo de beneficiamento executado pela empresa.

Figura 27: Matéria-prima disponibilizada para execução da pesquisa: a) Material usado para a confecção dos corpos de prova.



Fonte: autora.

Cabe enfatizar que a quantidade, dimensão e tipo de acabamentos foram escolhidos de acordo com o material disponibilizado pela empresa. Os acabamentos são os comumente adotados no processo de beneficiamento das chapas comercializadas, sendo possível apenas a escolha das espessuras, que variaram de 50 a 20 mm.

Demais especificações referentes à geometria e dimensionamento dos corpos de prova produzidos encontram-se descritos no item 3.4.2 Execução dos cortes AWJ.

3.2.2 Máquina corte por jato d'água abrasiva

O processo de usinagem do corte por jato d'água abrasiva funciona basicamente por meio da alta pressurização do fluxo de água, que agregada com as partículas finas de abrasivo realizam o corte.

Para a obtenção dos corpos de prova deste estudo, foi manipulado o maquinário pertencente ao Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, situado na cidade de Soledade/RS. O modelo do equipamento é o JJ-II42-1010 (Figura 28 a,b,c,d,e), fabricado pela empresa Shanghai Golden Arrow Automatic Equipment & Technology Development, de origem chinesa. Possui uma mesa de corte com dimensão de 1000 x 1000 mm, limite de pressão máxima de 420 MPa e potência de 40 HP.

Figura 28: Máquina de corte por jato d'água abrasiva utilizada no estudo: a) parte da pressurização; b) local de corte; c) local de comando; d) local de alimentação de abrasivo; e) unidade de refrigeração.



Fonte: autora.

Este maquinário foi utilizado considerando fatores fixos e variáveis para o processo de usinagem, de acordo com as especificações do material e geometrias, sendo possível posteriormente avaliar a influência das combinações dos parâmetros de corte. A definição dos parâmetros, bem como o processamento de usinagem estão explanados nos tópicos 3.4.1; 3.4.1.1 e 3.4.2.

3.2.3 Rugosímetro

O rugosímetro é um equipamento de medição de rugosidade que permite que a inspeção da superfície seja medida de forma precisa e confiável. É comumente utilizado para verificação do padrão de qualidade de diversos materiais, pois a rugosidade influencia na aderência de revestimentos, na dureza, na resistência mecânica e de desgaste, além de possíveis defeitos de acabamento. Por meio da leitura da rugosidade, é possível calcular parâmetros e propriedades importantes, como rugosidade média, erosão localizada, profundidade de trincas e vibrações.

O equipamento possui uma lente óptica que detecta as variações na superfície do material, podendo também ser usado para medir uma variedade de características, como altura, curvatura e ângulos.

O rugosímetro utilizado foi o Mitutoyo SurfTest SJ-201 (Figura 29 a,b), do Laboratório de Tribologia da UFRGS (LATRIB), que é composto por uma ponteira, uma unidade de controle e uma mesa de suporte. A ponteira é responsável pela

medição da rugosidade, enquanto a unidade de controle processa as informações e as exibe no visor.

Figura 29: Rugosímetro utilizado no experimento pertencente ao LATRIB - UFRGS: a) Ponteira de medição da rugosidade b) Unidade de controle dos resultados.



Fonte: autora.

O equipamento faz movimento retilíneo de leitura e fornece dados sobre a elevação de cada trecho da superfície lida, identificando a área em que há elevações e depressões, conforme apontados em 3.4.3 Medição da rugosidade.

3.2.4 Equipamento de Ultrassom

A medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, por meio do equipamento de ultrassom, fornece informações sobre como se comportam as rochas em relação às suas propriedades litológicas e textura, já que o tempo que

a onda leva para percorrer o corpo de prova é determinante para a avaliação de sua coesão e estabilidade.

Assim, para a verificação da homogeneidade do material, pós processo de beneficiamento, foi utilizado o equipamento PROCEQ, modelo PUNDIT LAB (*Portable Ultrasonic Non-destructive Testing*), equipado com dois transdutores de frequência de pulso de 54kHz (Figura 30), pertencente ao Laboratório de Geologia de Engenharia – Departamento de Mineralogia e Petrologia UFRGS.

Figura 30: Equipamento de Ultrassom (Pundit Lab) utilizado no experimento pertencente ao Laboratório de Geologia de Engenharia – UFRGS.



Fonte: autora.

3.2.5 Balança (Massa Específica Aparente)

A determinação do índice físico de massa específica aparente (MEA), tem a intenção de verificar informações sobre a resistência e estabilidade das rochas.

Para a realização desta etapa, foi utilizada a balança de precisão, também do Laboratório de Geologia de Engenharia – UFRGS (Figura 31).

Figura 31: Balança de precisão utilizada no experimento pertencente ao Laboratório de Geologia de Engenharia – UFRGS.



Fonte: autora.

3.2.6 Máquina de Ensaio Universal

A realização da avaliação da resistência mecânica dos materiais, para garantir sua conformidade com os parâmetros aplicáveis, é comumente feita através do ensaio de compressão.

No caso deste estudo, foi utilizada a máquina de ensaios universal, marca EMIC®, com célula de carga de 2000 kN, duas placas paralelas entre si, sendo uma

fixa e outra móvel, onde os corpos de prova são dispostos e submetidos à força uniaxial. Este equipamento (Figura 32) é pertencente ao Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC NORIE) da UFRGS.

Figura 32: Máquina de ensaios universal utilizada no experimento pertencente ao LAMTAC NORIE – UFRGS.



Fonte: autora.

Importante enfatizar que este ensaio consiste em aplicar uma força de compressão uniaxial uniforme ao protótipo para que se possa determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos. Demais especificidades do processo encontram-se no tópico 3.4.6 Ensaio de Compressão Uniaxial.

3.3 PROJETO DE PRODUTO: ELEMENTOS MODULARES DO TIPO COBOGÓ

Este tópico trata sobre o desenvolvimento formal dos elementos modulares do tipo cobogó, cuja abordagem fundamenta-se no conteúdo descrito no item 2.3.1, em que se descreve a relação entre o design de superfície com o design e a arquitetura.

Ao recapitular o propósito do design de superfície, entende-se que, por ser uma especialidade no campo do design, possibilita atribuir características funcionais e estéticas à superfície do objeto, por meio de texturas visuais ou táteis, grafismos, cores e volumes com a intenção de realizar a interface de relação com os usuários (FREITAS, 2011).

Esta definição converge ao entendimento, apontado por Minuzzi e Oliveira (2008), em que o design de superfície é uma atividade híbrida, que pode ser aportado na correlação entre arte, design e tecnologia.

Desta forma, assim como os métodos de design tradicionalmente conhecidos, o design de superfície também explora meios que auxiliam o processo de construção formal do objeto, contribuindo para a resolução de questões que envolvem os materiais e processos, ponto crucial no desenvolvimento de novos produtos.

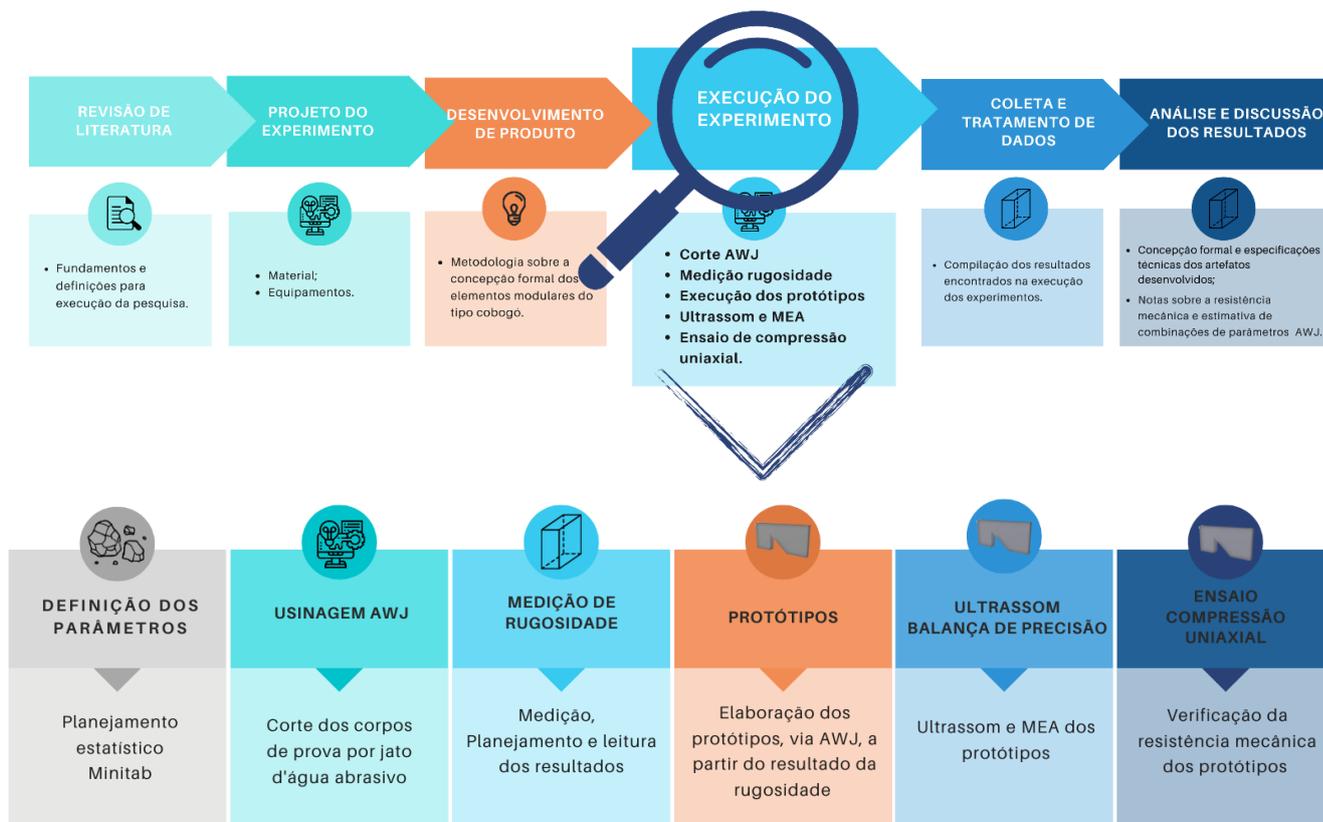
No entanto, conforme aponta Rinaldi (2013, p.17) não existe “um método que seja extremamente infalível ou eficaz. Cada projeto dependerá de um processo único, pautado em fases comuns, mas que guardam em si características peculiares dependendo do produto a ser desenvolvido”.

Sob esta ótica, de um andamento projetual único, foram usados como norte os caminhos projetuais propostos pelas autoras Schwartz, Neves e Rüttschilling (2008) e o autor Rinaldi (2013) em conjunto com algumas adaptações das etapas básicas e tradicionais de metodologias para o desenvolvimento de novos produtos propostas por Bernd Löbach (2001) e Mike Baxter (2000): definição de um problema, conceituação, processo criativo, definição melhor alternativa, detalhamento técnico e, posteriormente, a prototipagem. Estes caminhos projetuais foram usados como um conjunto de orientações que nortearam e organizaram as etapas a serem seguidas, a fim de melhor solucionar a demanda deste estudo.

3.4 EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO

Após a definição metodológica acerca do desenvolvimento de projeto do produto deste estudo, o procedimento adotado para a execução do experimento via processamento por jato d'água abrasiva, deu-se por meio do desenvolvimento de 6 etapas a saber: 1. Definição dos parâmetros de corte por jato d'água abrasiva; 2. Processo de usinagem AWJ; 3. Medição da rugosidade; 4. Execução dos protótipos; 5. Medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e determinação da massa específica aparente e por fim, 6, os ensaios de resistência mecânica, conforme pode-se visualizar na imagem (Figura 33) a seguir.

Figura 33: Metodologia aplicada para a execução do experimento do estudo.



Fonte: autora.

Cada uma das etapas compreende ações que estruturam o desenvolvimento da execução prática deste trabalho. Assim, nas próximas seções encontram-se descritas detalhadamente os passos adotados para a coleta dos resultados.

3.4.1 Definição dos parâmetros do corte AWJ

A determinação dos parâmetros para o corte por jato d'água abrasiva são fundamentais para a produção de peças de qualidade e obtenção de resultados consistentes. De acordo com Ipar (2018), a otimização do processo AWJ é

proveniente da combinação adequada de parâmetros específicos, de acordo com cada material, que reage de maneira diversa em relação às variáveis de resposta.

Sob este viés, o processo de definição de parâmetros envolveu a identificação dos fatores principais para o corte, que foram elencados como variáveis, fixos e não influentes, para este estudo especificamente, tomando como referência o diagrama causa efeito para o processo de corte via AWJ, de Ipar (2018). Desta maneira, o Quadro 3 a seguir demonstra quais são os fatores definidos como variáveis, fixos e não influentes.

Quadro 3: Determinação dos fatores influentes, não influentes e fixos para o corte por jato d'água abrasiva para o estudo.

FATORES VARIÁVEIS	FATORES FIXOS	FATORES NÃO INFLUENTES
Pressão (P)	Material e espessura	Variação da pressão
Velocidade de avanço (V_f)	Abrasivo	Alterações no material
Vazão abrasivo (\dot{m}_A)	Distância de afastamento da tubeira (dS)	Alterações do abrasivo
	Diâmetro do bico do jato e do tudo de mistura	Temperatura e propriedades da água
	Comprimento do tubo de mistura	Desgaste ferramental

Fonte: autora.

Na primeira coluna (Quadro 3), estão os parâmetros nomeados como fatores variáveis, que possuem maior relevância para o processo de corte deste estudo: a pressão do jato d'água abrasiva, a velocidade de avanço do corte, a vazão mássica de abrasivo. Ambos parâmetros foram alterados e combinados propositalmente por

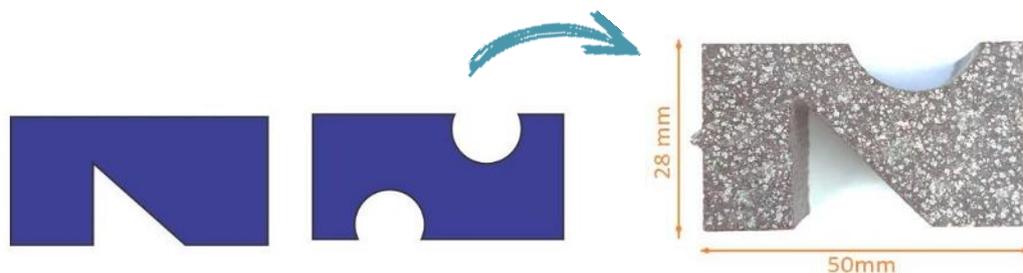
um software estatístico (Minitab), com a intenção de verificar o efeito do corte em três distintas espessuras: 20 mm, 28 mm e 44 mm, da rocha ornamental basalto.

Em relação aos fatores constantes durante o percurso dos testes (fatores fixos), descritos na segunda coluna (Quadro 3), estão as condições que se referem ao ferramental da máquina usada para os experimentos, como o diâmetro do orifício do bico do jato (0,2mm) e do tubo de mistura (0,8mm), além de seu comprimento (60mm). Também permaneceram como fatores fixos a distância de afastamento da tubeira (GAP – 2mm), a granada com partícula média de 80 mesh como abrasivo e a matéria-prima deste estudo, além de suas espessuras.

Os fatores determinados como não influentes são os apontados na terceira coluna (Quadro 3), que são condições inexpressivas para este experimento e também de difícil controle são: a oscilação da pressão, algumas irregularidades do material e do abrasivo utilizado, temperatura e propriedades da água, além do desgaste de ferramentas da máquina.

Importante enfatizar que para cada combinação de parâmetros gerados pelo software Minitab, foram realizados os experimentos (sem regulagens e adaptações) nas três espessuras e todos com a mesma geometria, com dimensão de 28 x 50 mm, recortes triangular e circular, conforme desenhos apresentados na Figura 34. Ainda, como forma de otimizar o processo e o aproveitamento do material, os desenhos das geometrias encontram-se na mesma peça, porém em lados distintos.

Figura 34: Desenhos dos corpos de prova e a junção de formas para aproveitamento de material.



Fonte: autora.

3.4.1.1 Planejamento Estatístico Minitab

O planejamento estatístico para este estudo envolveu os parâmetros denominados como fatores variáveis: pressão (P), velocidade de avanço (Vf) e vazão mássica de abrasivo ($\dot{m}A$). Este arranjo permitiu investigar o comportamento do corte com diferentes combinações de parâmetros em cada uma das espessuras das chapas de rocha.

Para tanto, foi usado como referência Montgomery (2012), que indica o software Minitab como ferramenta para realizar experimentos de planejamento central composto (CCD). O CCD é um método de programação estatística que permite criar experimentos que abordam múltiplas variáveis em um único experimento. Assim, é possível avaliar o efeito de cada variável sobre o resultado do experimento, bem como avaliar as interações entre variáveis.

Logo, foi gerado a partir do software Minitab o planejamento estatístico com ordens experimentais aleatórias, com a intenção de conseguir requisitos ideais para uma boa coleta de dados.

Para cada espessura da rocha estudada (20, 28 e 44 mm), foi realizado um projeto de experimento, que contemplou 11 combinações de parâmetros para a efetivação dos cortes. Para os parâmetros foram determinados valores mínimos, médios e máximos de pressão, velocidade e abertura da válvula do abrasivo. A definição destes valores tomou como base Ipar (2018) e o conhecimento empírico do operador do maquinário.

Deste modo, para a chapa de basalto com espessura de 20 mm os parâmetros variáveis usados para a composição aleatória estão descritos na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Valores obtidos pelo planejamento estatístico Minitab para o processo AWJ em chapa de 20 mm de espessura.

Valores dos parâmetros de corte para chapa de basalto 20 mm				
Parâmetros Variáveis	Unidade	Valores		
		Mínimo	Médio	Máximo
Pressão (P)	MPa	280	300	340
Velocidade de avanço (V_f)	mm/min	35	55	70
Vazão abrasivo (\dot{m}_A)	mm (abertura de válvula)	6	7	8

Fonte: autora.

Os parâmetros variáveis para a chapa de 28 mm contemplam valores diferentes do anterior (chapa de 20mm), pois a espessura do material interfere no

processo de corte, tanto no acabamento quanto no tempo. Logo, podem ser visualizados na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Valores obtidos pelo planejamento estatístico Minitab para o processo AWJ em chapa de 28 mm de espessura.

Valores dos parâmetros de corte para chapa de basalto 28 mm				
Parâmetros Variáveis	Unidade	Valores		
		Mínimo	Médio	Máximo
Pressão (P)	MPa	300	320	340
Velocidade de avanço (V_f)	mm/min	30	50	65
Vazão abrasivo ($m\dot{A}$)	mm (abertura de válvula)	6	7	8

Fonte: autora.

E para o material com espessura de 44 mm, a Tabela 6 também mostra os valores de pressão, velocidade de avanço e vazão de abrasivos, modificados de acordo com a medida a ser recortada.

Tabela 6: Valores obtidos pelo planejamento estatístico Minitab para o processo AWJ em chapa de 44 mm de espessura.

Valores dos parâmetros de corte para chapa de basalto 44 mm				
Parâmetros Variáveis	Unidade	Valores		
		Mínimo	Médio	Máximo
Pressão (P)	MPa	320	340	360
Velocidade de avanço (V_f)	mm/min	20	30	40
Vazão abrasivo ($m\dot{A}$)	mm (abertura de válvula)	6	7	8

Fonte: autora.

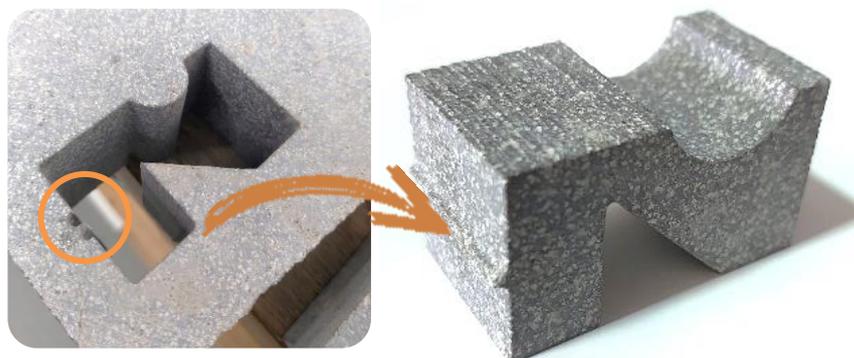
Conforme descrito acima, para cada espessura de chapa foi gerada uma combinação aleatória por meio do software Minitab, com um total de 33 testes de corte realizados. As tabelas com os arranjos de cada espessura são possíveis verificar no Apêndice A, nas Tabelas 14, 15 e 16.

3.4.2 Execução dos cortes AWJ

O processo de execução da usinagem deu-se a partir da definição e planejamento dos parâmetros de corte, conforme descritos nos itens 3.4.1 e 3.4.1.1. A sequência de cortes foi de acordo com o planejamento gerado no software Minitab, segundo as combinações que se encontram nas Tabelas 14, 15 e 16 no Apêndice A.

O desenho DWG de AutoCAD foi submetido à central de controle do BobCAD21. No entanto, ajustes precisaram ser feitos antes da etapa de corte, a fim de evitar que as peças caíssem dentro do tanque de água do maquinário. Estas adaptações resultaram em uma conexão de 2 mm entre a chapa recortada e a peça em si, porém de fácil separação manual de uma parte da outra (Figura 35).

Figura 35: Detalhe da conexão de 2 mm entre a ligação chapa-peça.



Fonte: autora.

Todos os corpos de prova, em ambas espessuras (20, 28 e 44 mm), foram desenvolvidos com a mesma dimensão e desenho, totalizando 33 cortes. Para otimização do processo, as peças foram feitas em tamanho reduzido (sem escala) de 28 x 50 mm, com os dois desenhos (triangular e semicircular) dos módulos cobogó 1 e 2 na mesma peça, porém em faces opostas (Figura 36 a,b,c), com a intenção de verificar o comportamento do corte. Este tamanho permitiu área suficiente para realização da medição da rugosidade.

Figura 36: Dimensão geral dos corpos de prova: a) Mensuração da altura; b) Mensuração do comprimento; c) Vista frontal com dimensão geral.



Fonte: autora.

Montgomery (2012) descreve que a ordem de amostras deveria ser aleatória para garantir precisão na análise, no entanto, devido às demandas do equipamento, a regulagem manual da válvula tornou-se um empecilho, tornando impossível garantir uma pressão de trabalho sempre constante. Assim, o experimento foi realizado em três fases: com pressão baixa, média e em seguida com pressão alta, de acordo com a tabela gerada no planejamento estatístico.

Após algumas tentativas de corte e ajustes no maquinário, o processamento teve início com recorte da chapa de basalto de 20 mm (Figura 37 a,b). Ao total

foram 11 peças usinadas, cada uma de acordo com a combinação de parâmetros definidos. O corte teve início pela lateral, da esquerda pela direita, percorrendo todo perímetro da peça até chegar novamente ao ponto inicial (local onde está a conexão entre a peça recortada e a chapa).

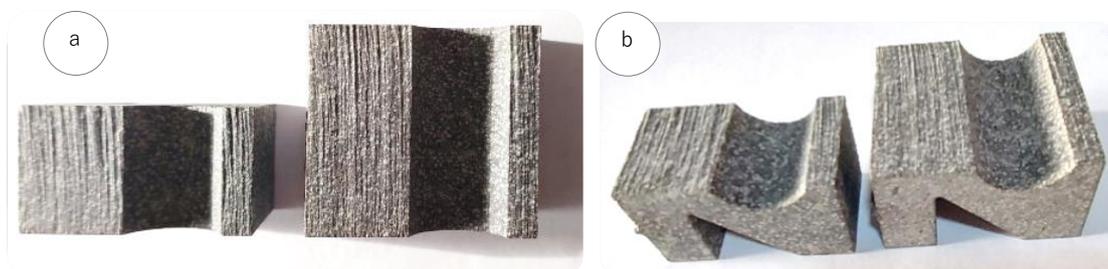
Figura 37: Corpos de prova de 20 mm usinados: a) Dimensão conferida com o paquímetro b) Corpos de prova usinados com o mesmo tamanho e geometria.



Fonte: autora.

Logo, foram realizados os cortes nas chapas de 28 mm e 44 mm (Figura 38 a,b), também com os mesmos procedimentos, somando mais 22 corpos de prova.

Figura 38: Corpos de prova 28 e 44mm: a) Vista superior das peças de 28 e 44 mm b) Geometria igual em ambas espessuras.



Fonte: autora.

Durante o processo de usinagem também foi observado o tempo de corte de cada peça, necessário para verificar a viabilidade econômica de produção de artefatos futuros. Para tanto, o tempo de usinagem da peça foi calculado com base nos valores do perímetro total da peça e pela velocidade de avanço, ou seja, na razão entre a geometria da peça (g) e a velocidade de avanço do corte (V_f).

$$t = \frac{g}{V_f} \quad [1]$$

- t – tempo de corte (min)
- g - perímetro da geometria da peça (mm)
- V_f – Velocidade de avanço (mm/min)

O perímetro do corpo de prova de 195mm foi o mesmo para todos, em ambas espessuras. Mantiveram-se constantes os fatores: Tempo de perfuração, tubo de mistura, material abrasivo, tamanho granular do abrasivo, diâmetro do orifício do tubo e o material usinado (basalto).

A partir da realização dos experimentos de corte foi possível obter os resultados referentes a rugosidade (R_a e R_q). As seções a seguir apresentam os resultados coletados para cada variável de resposta desejada

3.4.3 Medição da Rugosidade

Para a medição da rugosidade foram ajustados alguns parâmetros do equipamento para melhorar a coleta de dados acerca da rugosidade deste estudo. Isto proporcionou visualizar qual combinação de parâmetro de corte ficou mais

adequado à superfície do material, podendo-se obter resultados que estimam o acabamento adequado para a elaboração dos elementos modulares do tipo cobogó.

O rugosímetro utilizado possui um controle de avanço que permite uma velocidade de medição de 0,25mm/s. A mensuração foi feita por meio do filtro de Gaus, a fim de garantir a máxima precisão.

O comprimento de amostragem também foi ajustado para 0,8 mm, pois com 2,5 mm (padrão conforme ISSO 4288⁶) o comprimento obtido na medição era grande (12,5mm) e dava erro durante o processo. Além disso, o comprimento de avaliação também foi configurado para 4,0 mm.

Em todas as amostras (20 e 28 mm) as leituras de rugosidade foram feitas nos trechos A,B e C (Figura 39), no sentido perpendicular às ranhuras feitas pelo corte por jato d'água abrasiva (indicados pelas linhas laranjas da Figura 39).

Figura 39: Pontos de leitura do rugosímetro: A,B e C.



Fonte: autora.

⁶ ISO 4288 (2008) – Norma que define o comprimento de amostragem adequado para uma medição de rugosidade Ra entre 2 a 10 μ m é de 2,5mm.

A distância entre os pontos foi de 10 mm, totalizando 66 medições. As peças foram colocadas sobre a mesa do equipamento (com 2 discos metálicos), permitindo estabilidade durante a aferição.

Importante ressaltar que o local de leitura foi determinado em função da limitação do equipamento, que não realiza a mensuração em áreas curvas ou retas com ângulos, como no caso do outro lado dos corpos de prova.

Este equipamento permitiu obter a média aritmética da rugosidade (R_a), que reflete a média dos valores absolutos de todas as ordenadas do perfil, dentro do comprimento de avaliação e o R_q que mostra os picos e vales da superfície usinada. Os dados obtidos foram trabalhados obtendo-se o perfil de rugosidade dos corpos de prova. A relação completa dos valores coletados pode ser visualizada no tópico dos resultados.

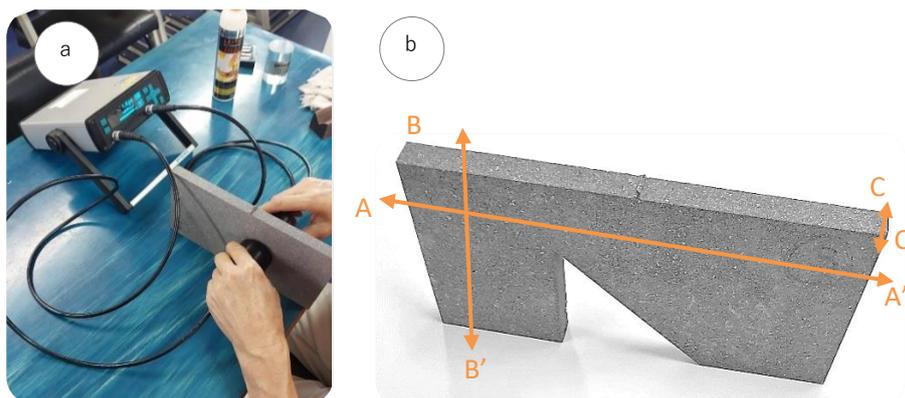
Outros fatores como medição da altura da zona suavizada, largura de fenda e desvio de perpendicularidade e demais parâmetros não foram considerados neste estudo.

3.4.4 Determinação da Velocidade Ultrassônica – Ultrassom

A realização dos ensaios de Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (VP) com o equipamento Pundit, foram efetuados segundo a ASTM D 2845/2008. Esta técnica de medição da velocidade é utilizada como método de ensaio não destrutivo para avaliar a qualidade dos materiais.

A coleta de dados é efetuada através do contato dos transdutores de frequência com o material (Figura 40 a), que posicionados um em cada lado e untados com gel de acoplamento, fazem a leitura do tempo de onda e enviam ao equipamento, sendo possível visualizar no momento da análise. Este procedimento foi realizado em todos protótipos, em 3 direções: comprimento (AA'), altura (BB') e espessura (CC'), representados na Figura 40 b, com a intenção de verificar se havia alguma alteração de feição da rocha.

Figura 40: Determinação da velocidade ultrassônica: a) Realização do ensaio de ultrassom. b) Direções de verificação de VP.



Fonte: autora.

Para obter os resultados da Velocidade Sônica (V_p), foram aplicados os valores da dimensão da peça (realizada com paquímetro) em razão do tempo de percurso (T), conforme a equação [2].

$$V_p = \frac{A}{T} \quad [2]$$

- V_p – Velocidade Sônica (Km/s)
- A – Altura (mm)
- T – Tempo de percurso (μ s)

3.4.5 Determinação da Massa Específica Aparente

De acordo com Albuquerque *et al.* (2016) a massa específica aparente (MEA) é representada pelo quociente entre a massa da rocha seca e seu volume. Esse dado fornece informações a respeito da qualidade mecânica da rocha e, por sua vez, permite calcular o peso individual de cada peça em uma edificação. Assim, quanto maior a MEA, maior será a coesão entre os grãos e melhor resistência terá a peça.

Desta forma, para a auferir os dados referentes a densidade dos protótipos, para averiguação da rocha pós beneficiamento, foi necessário o uso da balança de precisão, sendo pesadas todas as peças secas ao ar. Para a determinação do volume de cada protótipo foi multiplicado o valor da área pela espessura, verificados individualmente com o paquímetro.

Posteriormente, a massa específica aparente natural foi calculada com base na equação a seguir:

$$MEA = 1000 \times \frac{Ma}{V} \quad [3]$$

- MEA – Massa específica aparente (g/cm³)
- Ma – Massa ao ar (g)
- V – Volume (mm³)

A partir da determinação destes dados, foi possível verificar o comportamento do material após o processo de AWJ e comparar as informações já documentadas a respeito do basalto em seu estado não beneficiado, conforme descrito nos resultados.

3.4.6 Ensaio de Compressão Uniaxial

O procedimento do ensaio de compressão uniaxial tem como propósito verificar a resistência à tensão de ruptura das rochas quando submetidas à aplicação de forças físicas. A área a ser rompida determina diretamente a tensão de ruptura, que pode variar dependendo das características da rocha, como a porosidade, a textura, a composição mineralógica, o grau de alteração e a granulometria (Ribeiro *et al.*, 2008).

Para a realização dos ensaios de compressão axial na máquina de ensaios universal EMIC®, foi necessário utilizar como norte duas normas brasileiras regulamentadoras: a ABNT NBR 15844-5: 2015, que trata sobre a determinação da resistência à compressão uniaxial para rochas ornamentais, e a ABNT NBR **6136: 2016** Versão Corrigida: 2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos, que versa sobre blocos vazados de concreto simples, destinado à execução de alvenaria com ou sem função estrutural (no caso do artefato deste estudo).

Ambas NBR's foram usadas como guias em função de não haver em uso uma norma específica para cobogós em rocha, desta forma as normas regulamentadoras orientaram o processo de execução dos ensaios (NBR 15845-5: 2015), bem como serviram como base de verificação de resultados (NBR **6136: 2016** Versão Corrigida: 2016).

Para estes ensaios foram usados 9 protótipos, 1 peça retangular inteira e uma peça teste, beneficiados com o corte por jato d'água abrasiva com dimensão

de 12,5 x 25 cm. O procedimento foi realizado com os corpos de prova na forma seca, na posição horizontal, conforme a modulação do design de superfície proposto.

Para obter o resultado da resistência à compressão uniaxial, aplicou-se o valor obtido no ensaio na Equação 4.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad [4]$$

- σ_c – Tensão de ruptura (MPa)
- P – Força de ruptura (kN)
- A – Área da face do corpo de prova submetida a carregamento (m²).

Esta análise possibilita uma estimativa das propriedades da rocha após o processo de beneficiamento através do corte por jato d'água abrasiva. O resultado desta avaliação será usado para efetuar um estudo indicativo da integridade física da rocha com o objetivo de viabilizar o seu emprego na produção de elementos modulares do tipo cobogó.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e ponderados os resultados alcançados durante o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, expõem-se os projetos de produto, dos elementos modulares do tipo cobogós, sua concepção formal, especificações técnicas e aplicações, seguidos dos dados obtidos a partir dos experimentos, que permitiram estimar a influência de cada parâmetro dos processos sobre as variáveis de resposta com vistas à produção a partir do processo de corte a jato de alta pressão abrasiva e ainda verificar a resistência mecânica do artefato pós procedimento de usinagem. Em seguida, são comparadas e avaliadas as respostas obtidas ao longo desta pesquisa.

4.1 CONCEPÇÃO FORMAL DOS ELEMENTOS MODULARES

Nesta etapa as informações sobre o histórico, materialidade, dimensionamento e composição formal descritos no item 2.4, serviram como base para o desenvolvimento do artefato proposto, em que foram correlacionados pontos cruciais que definem o artefato como um cobogó: elemento modular único, com formas visuais vazadas e /ou recortadas, normalmente geométricas, que ao se agruparem formam superfícies (paredes ou divisórias) cujas funções básicas são de proteção, ventilação e iluminação.

Como referencial estético e de configuração, os murais de azulejaria do artista Athos Bulcão serviram como subsídio visual, pela sua plasticidade e

simplicidade formal. A convite de Oscar Niemeyer, Athos Bulcão, participou do corpo oficial da equipe responsável pela construção da Capital Federal em 1957, Brasília (IPHAN⁷, 2018), local onde encontra-se grande parte de seu trabalho.

O vasto repertório de soluções formais foi concebido com a intenção de integrar sua obra com a arquitetura, por meio de processos colaborativos entre o artista e o arquiteto. Suas obras fazem parte da estrutura arquitetônica e não inseridas posteriormente, pois eram pensadas como seus elementos visuais poderiam resolver questões funcionais dos espaços, para além do caráter estético. (IPHAN, 2018).

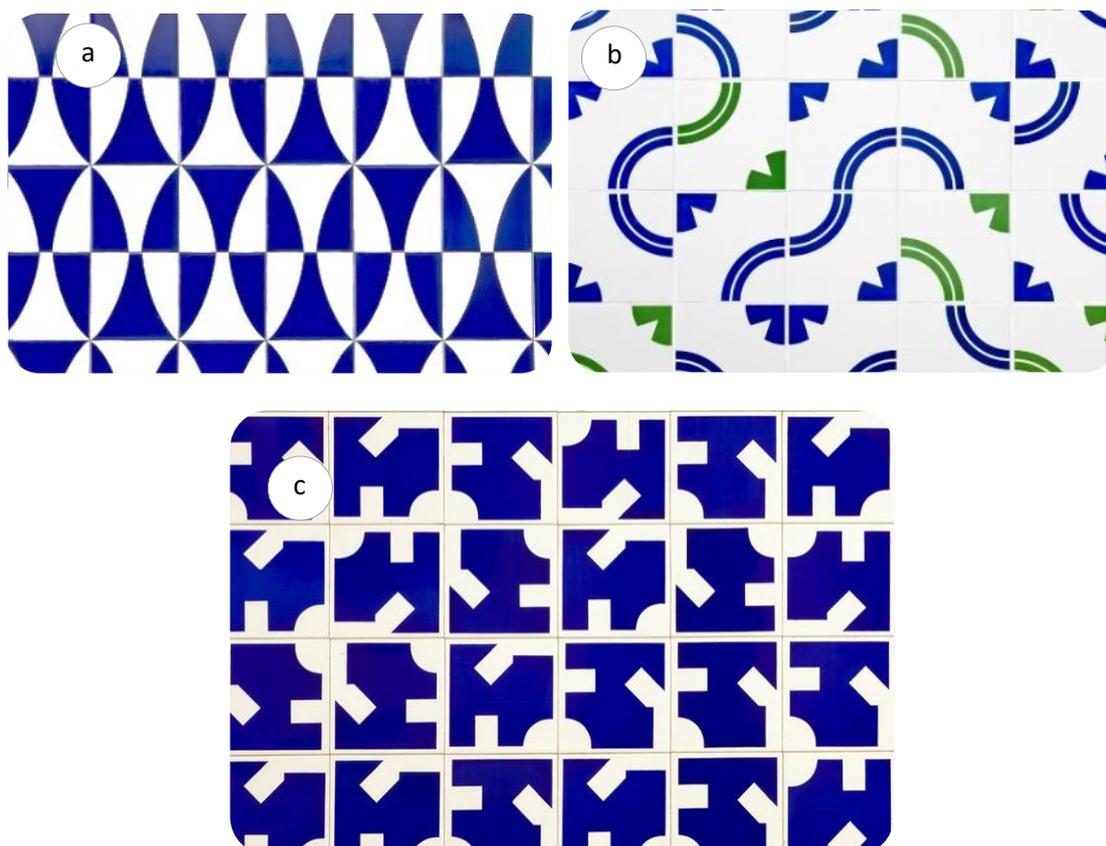
Dentre sua produção artística/arquitetônica estão os grandes painéis abstrato-geométricos em azulejaria, divisórias, portas, muros, biombos e murais em relevo, caracterizando o modernismo de Brasília (IPHAN, 2018).

Os elementos que definem sua obra, basicamente constituem-se no plano bidimensional, formas geométricas, simples e abstratas, repetição ordenada e/ou não ordenada dos módulos que constituem a superfície, causando uma alternância rítmica e o uso recorrente das cores azul e branco (Figura 41 a).

Uma curiosidade interessante sobre a construção dos murais do artista, e uma das principais características de seu trabalho, é que há a configuração de um ritmo não uniforme e a participação do operário em sua constituição (Alves, 2011), ou seja, o operário participa de forma efetiva montando as superfícies de forma aleatória, sem um projeto a ser seguido, a exemplo visto nas Figuras 41 b, c

⁷ IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Brasil).

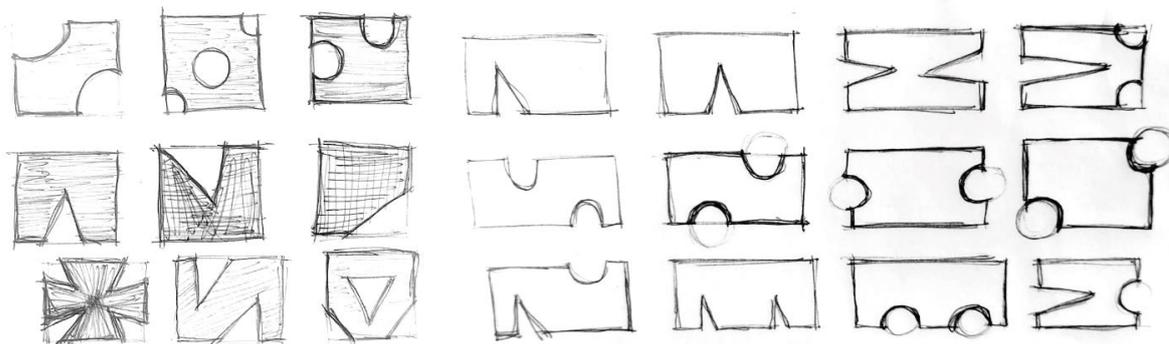
Figura 41: Exemplos combinações modulares dos murais de azulejaria de Athos Bulcão: a) Detalhe painel de azulejos do Palace Hotel, Brasília, 1958 (Foto: Edgard César); b) Detalhe painel de azulejos do Centro Cultural Missionário da CNBB, Brasília, 1995 (Foto: Edgard César); c) Detalhe painel de azulejos do Posto de Saúde - Câmara dos Deputados, Brasília, 1972 (Foto: Edgar César).



Fonte: Fundação Athos Bulcão (2022).

Assim, a partir da análise e aglutinação de informações, deu-se início a etapa de desenvolvimento de alternativas. O ponto inicial foi a criação de distintos cenários para o mesmo conceito, de maneira simultânea. De posse ao apanhado visual do trabalho do artista, foram elaborados diversos esboços, à mão livre, que juntamente com os demais dados coletados deram origem as possibilidades formais dos módulos, demonstradas na Figura 42.

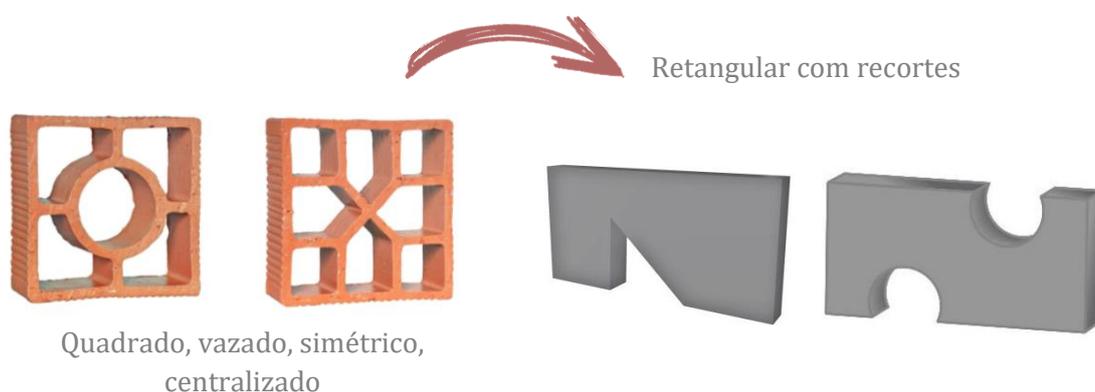
Figura 42: Geração de alternativa dos módulos.



Fonte: autora.

A contar deste momento, foram definidas novas soluções para os elementos modulares do tipo cobogó: o formato e o desenho (Figura 43). O formato, por explorar a forma retangular (pois, via de regra, são quadrados) e o desenho, que frequentemente apresenta-se vazado, centralizado e simétrico. Assim, propõe-se recortes no material, que ao unirem-se para compor a superfície, formam os elementos vazados, permitindo a circulação de luz e vento, mantendo suas características funcionais e plásticas.

Figura 43: Elementos modulares: do quadrado ao retangular.



Fonte: autora.

O critério de seleção sobre o uso de formas geométricas, triângulo e círculo, foi de verificar o comportamento do corte por jato d'água abrasiva em distintos

desenhos (retas e curvas), além de viabilizar o beneficiamento de maneira mais eficiente.

A etapa seguinte envolveu, como recurso de otimização de tempo e facilitação para o desenvolvimento de testes de variados desenhos de superfície, o auxílio de um software vetorial bidimensional, cujas especificações técnicas encontram-se no tópico a seguir.

4.1.1 Especificações Técnicas

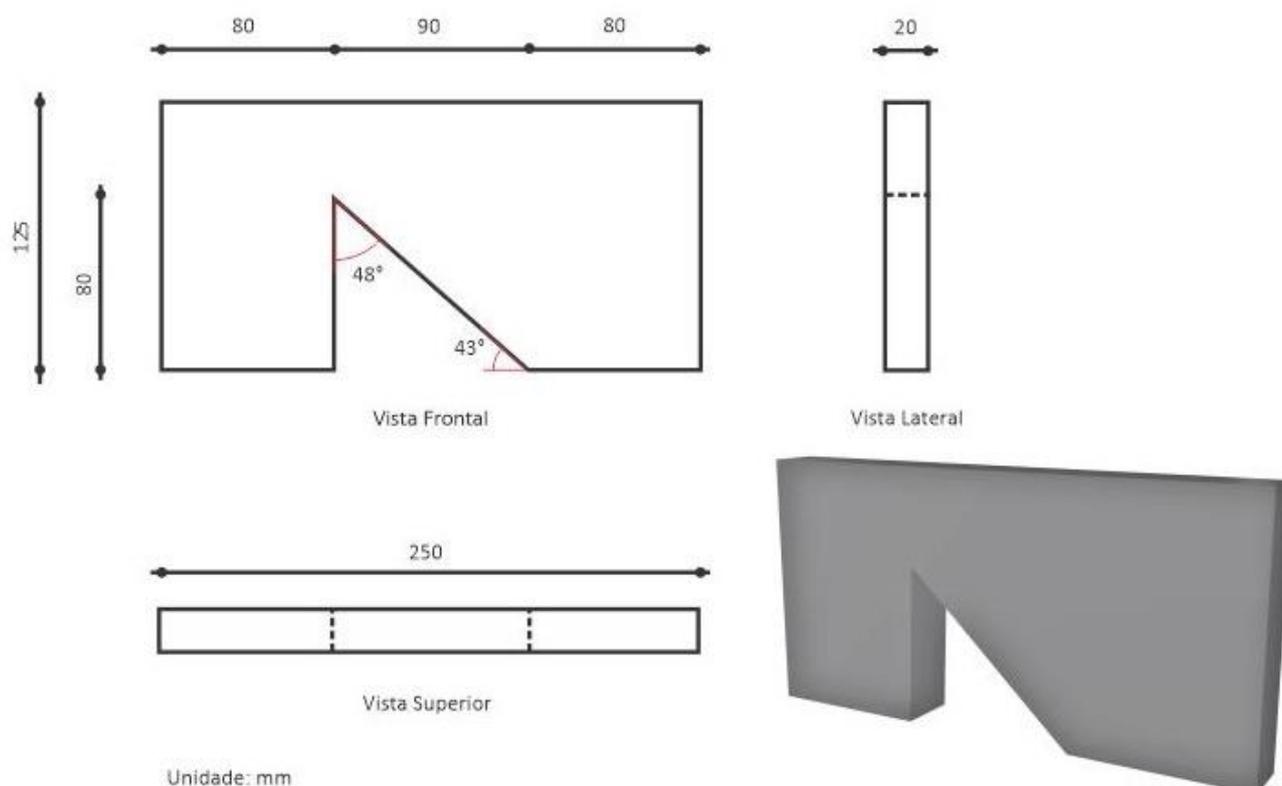
A especificação técnica de um produto é a espinha dorsal no desenvolvimento de um projeto de produto ou de uma superfície. É por meio do desenho técnico, suas especificidades e modelagem tridimensional que é possível viabilizar um processo produtivo eficaz.

Quanto às especificações técnicas, ambas proposições de complexidade formal simples, possuem o mesmo dimensionamento, em um formato retangular de 250 x 125 milímetros, porém com configuração dos desenhos recortados distintos: um triangular (módulo cobogó 1), cujo triângulo se caracteriza por ser um triângulo retângulo, e o outro com dois elementos semi - circulares (módulo cobogó 2), localizados em lados opostos, cada um com suas especificidades gerais detalhadas nos desenhos a seguir (Figura 44 e 45).

É possível notar que na vista frontal do módulo cobogó 1 há um recorte triangular, cujo triângulo retângulo possui tamanho de 80 x 90 mm com ângulos internos de 48 e 43 graus. Já as vistas superior e frontal mostram as dimensões

gerais do artefato: 250 mm de comprimento e 125 mm de altura e na lateral a espessura de 20 mm. Ao lado, o desenho tridimensional da peça para facilitar a visualização do artefato.

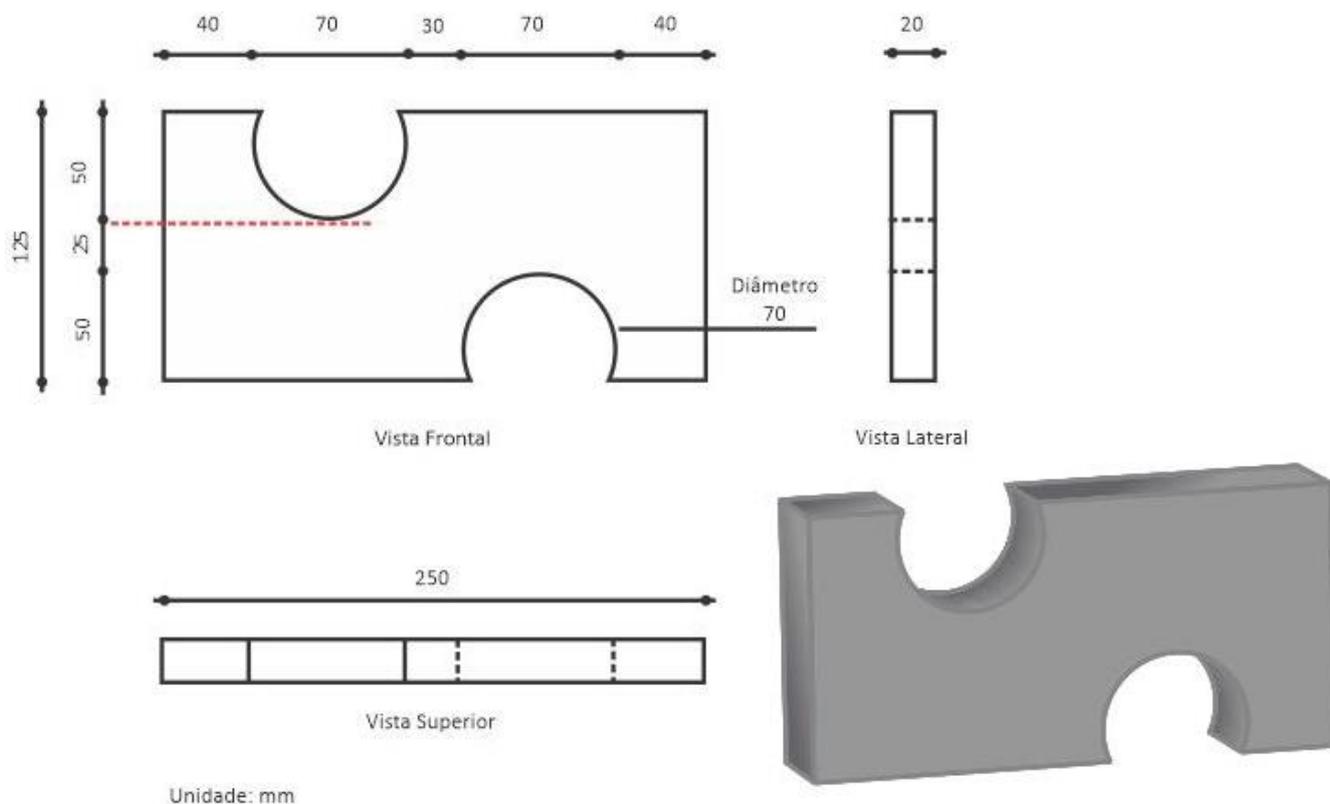
Figura 44: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo cobogó 1.



Fonte: autora.

O módulo cobogó 2, na imagem (Figura 45), mostra outro arranjo estético. Na vista frontal, pode-se observar uma peça com dois recortes simétricos de elementos semi-circulares de diâmetro de 70 mm, e suas respectivas distâncias das laterais de 40 mm. Ainda na vista frontal, cogitando-se uma linha paralela tangente ao círculo (linha pontilhadas em vermelho), nota-se o dimensionamento de 50 mm. A visão superior mostra o comprimento da peça de 250 mm e a lateral com a mesma espessura do módulo cobogó 1, de 20 mm.

Figura 45: Desenho técnico com as dimensões gerais do módulo cobogó 2



Fonte: autora.

Após o desenvolvimento projetual técnico, os desenhos foram submetidos ao processo de Registro de Desenho Industrial via Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico – UFRGS (SEDETEC⁸), denominado *Configuração aplicada a/em cobogó*, e aprovados e registrados conforme documento em anexo.

4.1.2 Módulos e Padrões

Para Rüttschilling (2009), a diversidade de ferramentas que podem ser

⁸ Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico – UFRGS.

adotadas para a construção da superfície, principalmente os meios digitais, permitem a liberdade artística e criativa do designer.

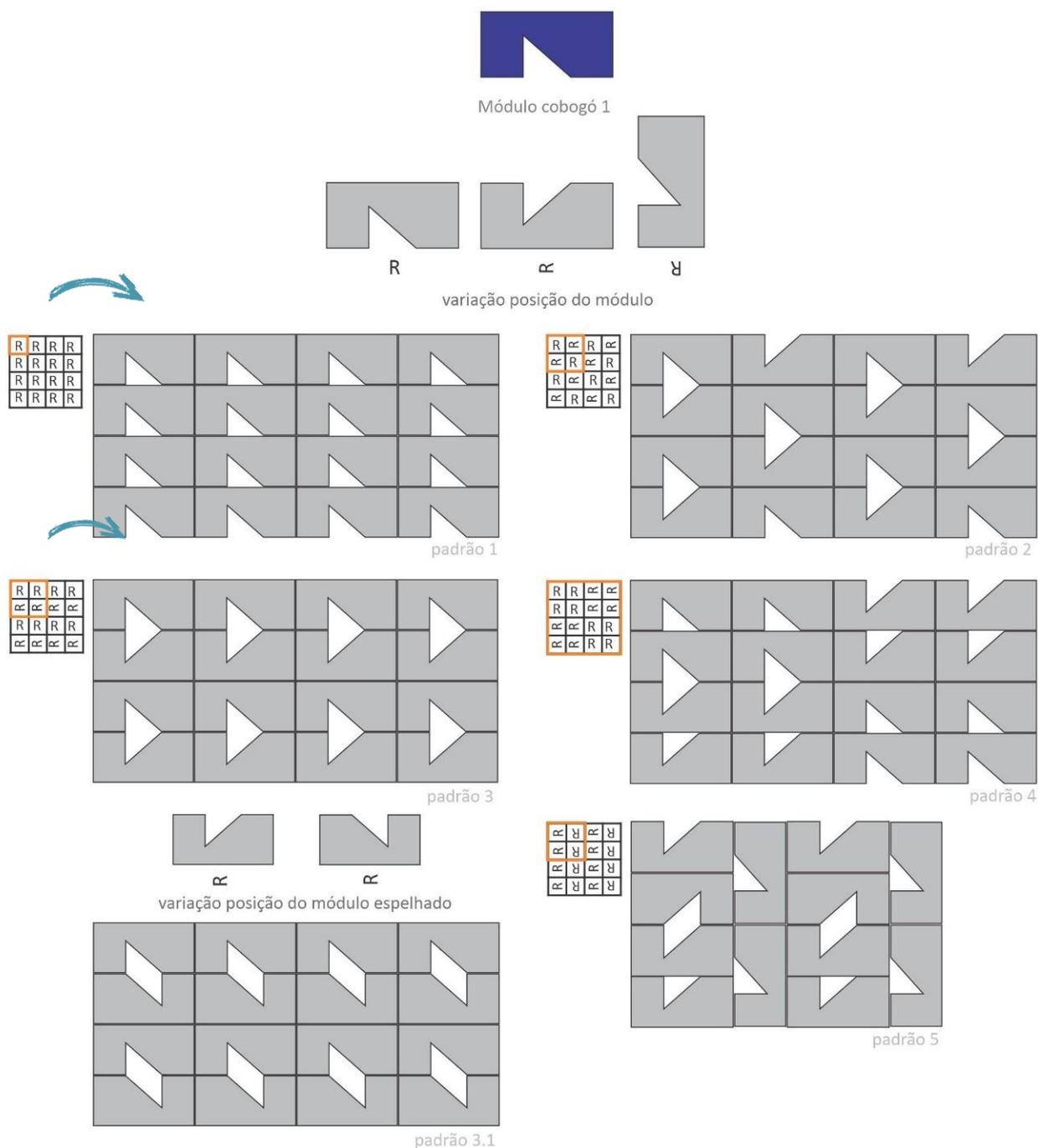
No entanto, para o desenvolvimento criativo de superfícies, é importante ter conhecimento sobre aspectos inerentes à superfície: módulo, repetição, encaixes e sistemas de repetição, para serem usados como recurso construtivo.

Todo processo ocorre a partir da definição do desenho do módulo, que é a unidade mínima, ou seja, a menor área que constitui a padronagem, por meio de sua repetição (RÜTHSCHILLING, 2009). De acordo com Schwartz (2008), o módulo possui em sua constituição a carga informacional mínima do conteúdo expressivo (motivos) e, ao mesmo tempo, detém limites geométricos, a dimensão, a organização e a estrutura em relação à superfície.

A construção da padronagem depende da “articulação entre os módulos, gerando o padrão, de acordo com a estrutura preestabelecida de repetição, ou Rapport” (RÜTHSCHILLING, 2009, p.64). Existem dois sistemas básicos de repetição modular: o sistema alinhado e não alinhado. Rüttschilling (2009), descreve o sistema alinhado quando os módulos são posicionados lado a lado, seguindo uma grade com linhas verticais e horizontais, sobrepostas (Figura 46).

Dentre os 10 exemplos de combinações formulados por Rüttschilling (2009), aqui estão representadas 6 opções do módulo cobogó 1, cabendo o arranjo de outros posicionamentos possíveis.

Figura 46: Exemplos de combinações possíveis dos cobogós: Representação do sistema alinhado – Módulo cobogó 1.

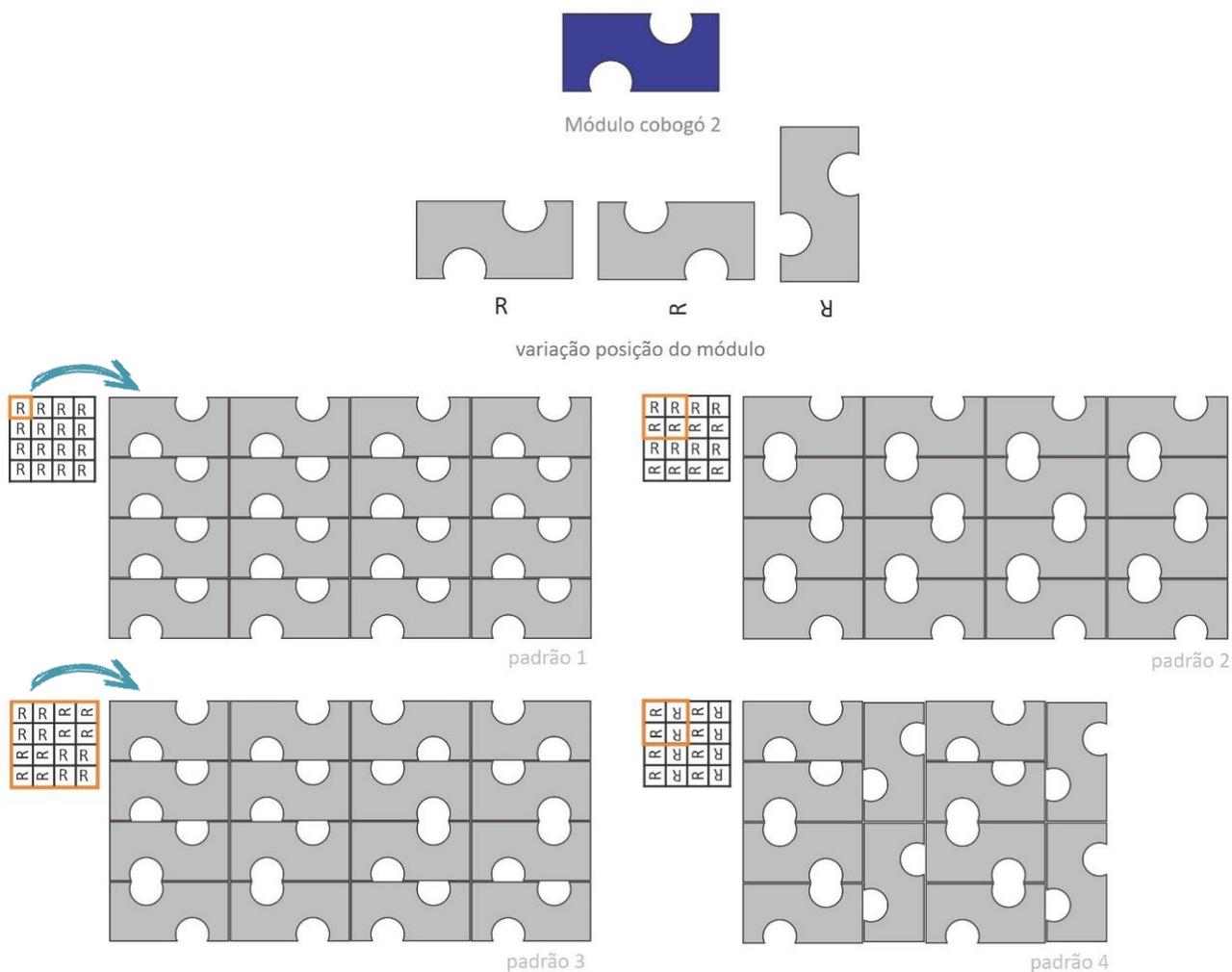


Fonte: Adaptado de Rüttschilling (2009)

Para o módulo cobogó 2, algumas posições das unidades propostas pelo sistema alinhado, se repetem, visto que o desenho é simétrico, ocasionando uma

quantidade menor de possibilidades de construção de diferentes padronagens, vide imagem (Figura 47) a seguir.

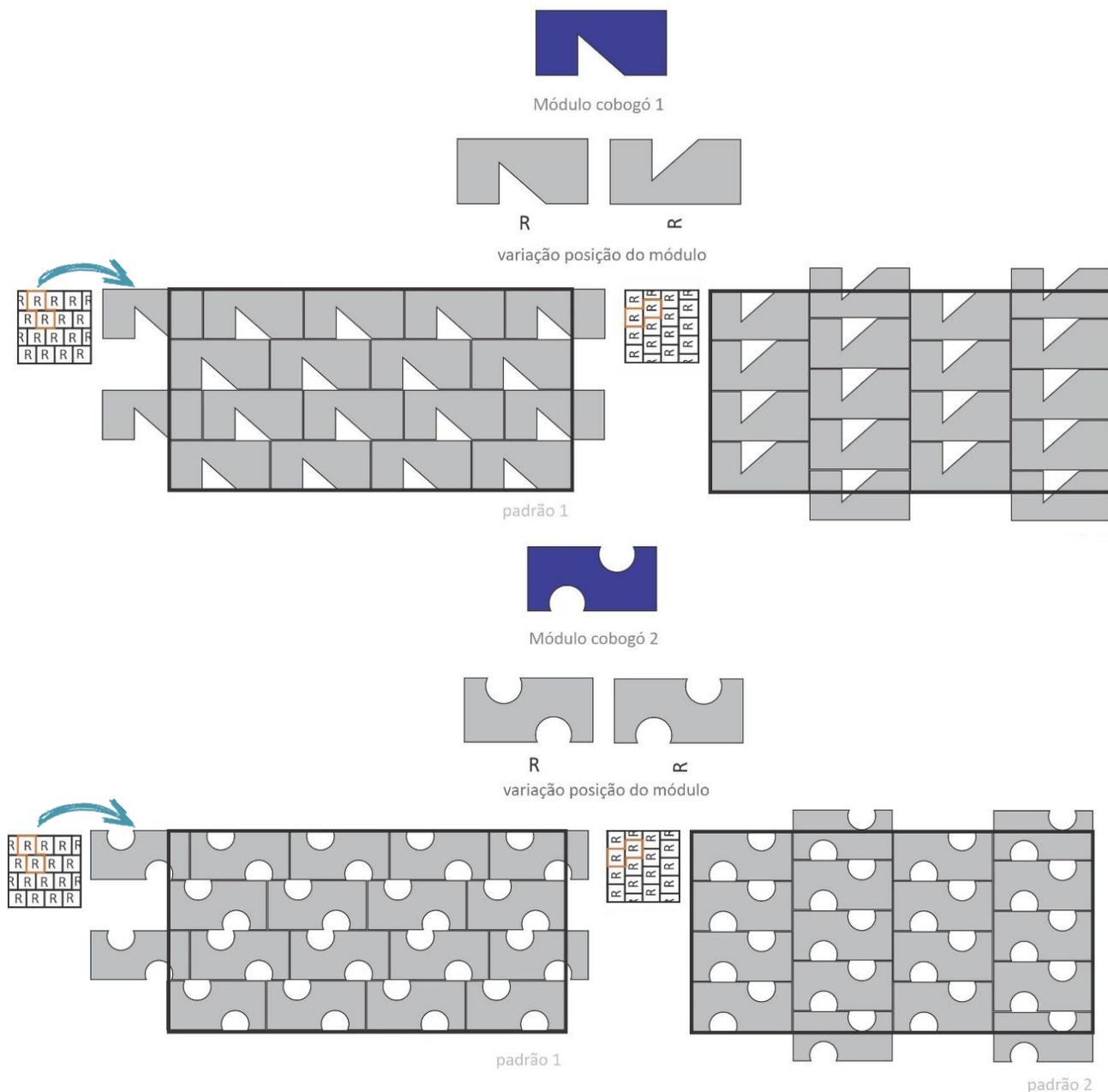
Figura 47: Exemplos de combinações possíveis dos cobogós: Representação do sistema alinhado – Módulo cobogó 2.



Fonte: Adaptado de Rüttschilling (2009).

O sistema não alinhado, para o desenvolvimento de padrões, ocorre quando uma fileira de módulos, vertical ou horizontal, é fixa, deslocando-se apenas a outra, modificando-se o espaçamento ou o ângulo (Figura 48).

Figura 48: Exemplos de combinações possíveis dos cobogós: Representação do sistema não alinhado – Módulo cobogó 1 e 2.



Fonte: Adaptado de Rüttschilling (2009).

No caso da aplicação deste sistema (não alinhado), verifica-se que os módulos ficam desordenados, com partes dos módulos para fora dos limites demonstrados pela linha preta mais espessa (Figura 48). No entanto, como esses elementos modulares são do tipo cobogós, usados para a construção de divisórias

e paredes, o padrão final fica comprometido, pois é necessário recortar algumas das peças para obter o resultado ideal.

Cabe frisar, que as ferramentas propostas pelo design de superfície não são estanques, podendo a partir de 1 único módulo gerar múltiplas possibilidades, alternâncias e combinações, podendo ser explorados tanto horizontalmente quanto verticalmente, formando diversos desenhos de superfícies.

4.1.3 Aplicações

Para melhor visualização da aplicação dos elementos modulares do tipo cobogó, utilizou-se a modelagem tridimensional e a renderização das imagens com o intuito de demonstrar os artefatos em situação de uso, bem como para exibir a materialidade da rocha ornamental (basalto) utilizada, sua cor e textura. Embora o basalto possua uma micro-textura, com pequenos pontos esbranquiçados, a cor predominante é o cinza, coloração denominada neutra, que possibilita a combinação com distintos materiais e ambientes.

A primeira imagem representa a aplicação do módulo cobogó 1 (Figura 44), padrão 1 do sistema alinhado (Figura 46). A proposta é para aplicação em espaço interno, como forma de divisória em ambientes pequenos, promovendo, por exemplo, a separação entre cozinha e lavanderia, sem deixar de lado questões de iluminação natural e ventilação (Figura 49).

Figura 49: Aplicação do módulo cobogó 1 – padrão 1 do sistema alinhado – Divisória cozinha/lavanderia.



Fonte: autora.

Observa-se na Figura 49 que as disposições dos elementos modulares se conformam com o posicionamento das peças para o mesmo lado, formando uma superfície de triângulos retângulos dispostos em 3 colunas.

O mesmo elemento modular também pode ser empregado em outras situações de uso interno, como divisórias de ambientes, porém usado como uma barreira visual em um hall de entrada.

Para ilustrar, os mesmos módulos estão combinados de maneira diferente, com o padrão 3 do sistema alinhado (Figura 50), formando triângulos equiláteros dispostos de maneira não ordenada como pode-se visualizar na proposição acima.

Figura 50: Aplicação do módulo cobogó 1 – padrão 3 do sistema alinhado – Hall de entrada.



Fonte: autora.

Já para o módulo cobogó 2 (Figura 51), propõe-se a aplicação em um ambiente externo, como um detalhe de fachada residencial, que além de influenciar o aspecto estético, permite a circulação de ar e iluminação.

Nota-se que na proposição utilizada, a configuração dos módulos no padrão 1 do sistema alinhado, traz à superfície uma ideia de movimento ondular (Figura 51), em que os semicírculos das peças coordenam-se entre si na posição horizontal, trazendo este efeito visual.

Figura 51: Aplicação do módulo cobogó 2 – padrão 1 do sistema alinhado – Fachada residencial.



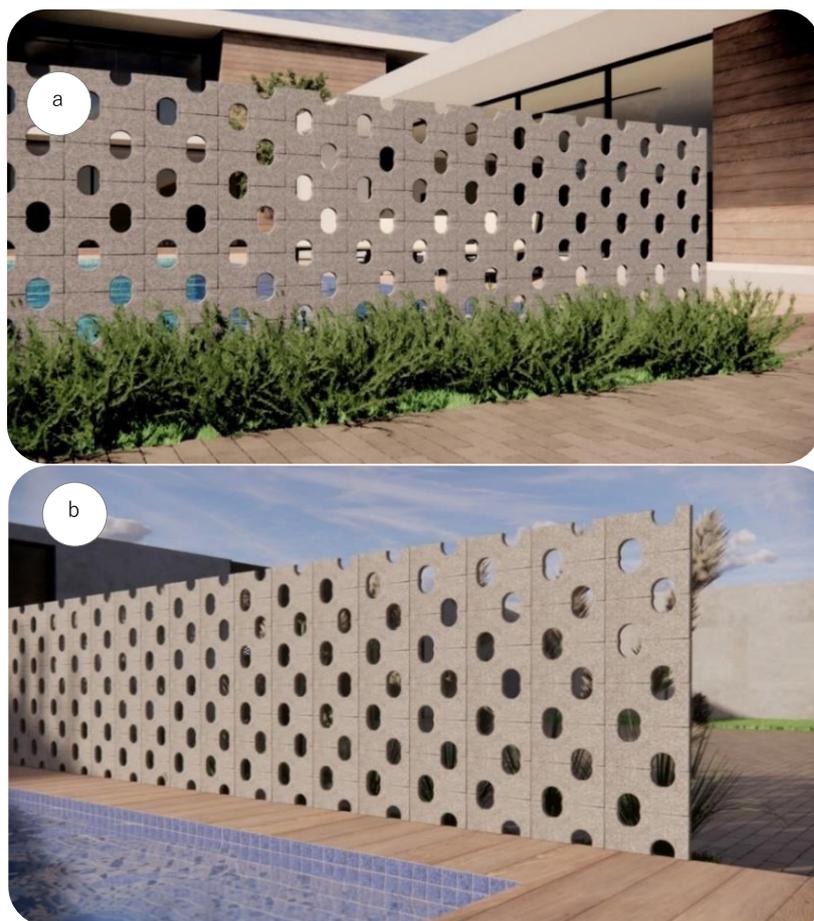
Fonte: autora.

Para outra aplicação, também em área externa, a proposta é com a combinação modular do padrão 2 do sistema alinhado (Figura 52), configurando as peças em desenhos geométricos visualmente maiores, através da combinação dos semicírculos alinhados, formando elementos oblongos distribuídos de forma ordenada pela superfície.

Como pode-se visualizar na Figura 52, o espaço externo com área de piscina, é dividido por um painel com os elementos modulares do tipo cobogó, permitindo a permeabilidade visual e ao mesmo tempo, privacidade. Também é possível reparar que um mesmo módulo do artefato do tipo cobogó, de acordo com sua

configuração e combinação, é capaz de produzir uma leitura visual completamente diferente da outra.

Figura 52: Aplicação do módulo cobogó 2 – padrão 1 do sistema alinhado – Divisória área externa a) Vista externa da área de piscina b) Vista privativa da piscina.



Fonte: autora.

A aplicação em locais previamente projetados possibilita a passagem de luz natural e ventilação, além do uso como recurso estético. Outra particularidade relevante, é sobre o material proposto para a execução: a rocha ornamental basalto, que por suas propriedades promove resistência e durabilidade ao artefato.

Para o assentamento dos elementos modulares do tipo cobogó, sugere-se a utilizar a mesma argamassa usada para assentar pisos e revestimentos em

granitos, a argamassa ACIII com espaçadores de poliestireno medindo 1,0 mm de espessura, conforme descrito por Alencar (2013). Este tópico apenas ilustra algumas possibilidades de emprego dos elementos modulares do tipo cobogó, demonstrando sua viabilidade e um possível nicho potencial: explorar maneiras diversas de uso para as rochas ornamentais.

4.2 EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE CORTE

O conjunto de experimentos de corte possibilitou o levantamento das variáveis de resposta investigadas neste trabalho. Por meio do planejamento estatístico descrito (item 3.4.1.1), foram realizadas rodadas de corte com as diferentes combinações de parâmetros, sendo cada corpo de prova com valores diferentes um do outro.

Para a usinagem dos corpos de prova de 44mm, foi necessário realizar um novo formato de parâmetros (Apêndice A – Tabela 16), bem como trocar a vedação do maquinário para assegurar a manutenção da pressão em 360 MPa. Isso se mostrou ineficiente, pois a pressão oscilava e ocasionava falhas no recorte. O tempo de preparação e ajustes para esse processo também foi superior às demais etapas, elevando conseqüentemente o tempo de perfuração e recorte.

4.2.1 Tempo de corte

No decorrer dos processos de usinagem percebeu-se que o tempo estimado de corte tem papel relevante devido a sua relação direta com a viabilidade econômica do estudo. A Tabela 7 com o tempo de produção de cada espessura das peças pode-se visualizar a seguir.

Tabela 7: Tempo de duração do processo de usinagem dos corpos de prova.

Corpo de prova 20 mm		Corpo de prova 28 mm		Corpo de prova 44 mm	
Velocidade Avanço	Tempo	Velocidade Avanço	Tempo	Velocidade Avanço	Tempo
35 mm/min	5,6 min	30 mm/min	6,5 min	20 mm/min	9,75 min
55 mm/min	3,5 min	50 mm/min	3,9 min	30 mm/min	6,5 min
70 mm/min	2,7 min	65 mm/min	3 min	40 mm/min	4,9 min

Fonte: autora.

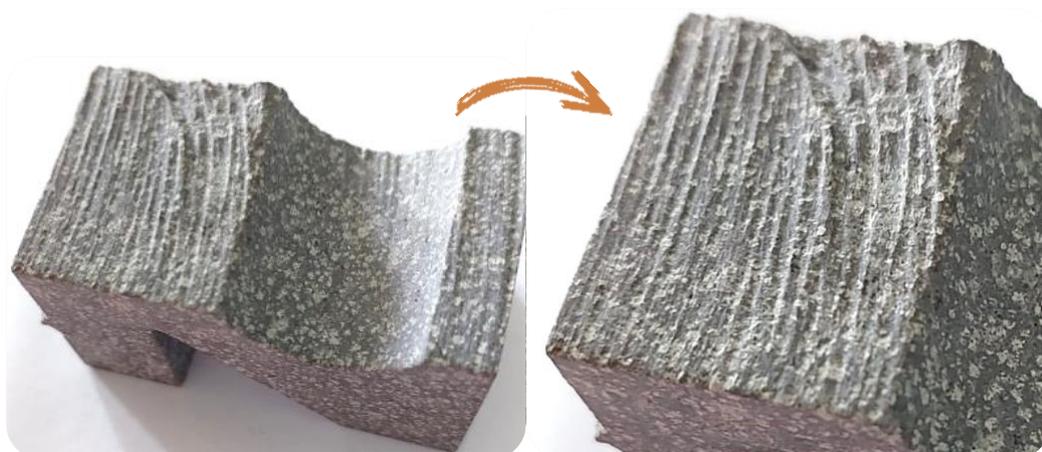
Ainda, soma-se ao final do corte das peças de 20 e 28 mm, 8 segundos, que equivale ao tempo médio de perfuração das peças. Para os corpos de prova de 44 mm acrescenta-se 10 segundos.

Como pode-se perceber na Tabela 7, a velocidade de avanço é proporcional ao tempo de corte, pois medida que a velocidade aumenta o tempo diminui. Os corpos de prova de 20 mm cuja velocidade de avanço foi de 70 mm/min, levaram 2,7 minutos (mais o tempo de perfuração) para serem usinados, ou seja, uma produção mais eficiente no quesito tempo dentre todos os corpos de prova de todas espessuras. Também é possível verificar que nas espessuras de 28 mm e 44 mm cuja velocidade de avanço é de 30 mm/min o tempo de beneficiamento é o mesmo, o que difere é o acabamento de cada peça.

Outro ponto relevante após o cálculo do tempo de beneficiamento, foi identificar que a usinagem para as chapas de espessura 44 mm, com velocidade de avanço em 20 mm/min o tempo de corte é de 9,75 min (Tabela 7). Este dado permitiu excluir os corpos de prova com esta espessura para as demais análises e experimentos pelo fato de ser muito onerosa para fins de fabricação e gestão de custos. Outro aspecto que corrobora para a tomada de decisão é que, segundo Ipar (2018), quanto maior for a espessura da peça, maior será o tempo necessário para perfuração para chapas de ágata pela tecnologia AWJ, fato também verificado no processo de corte do basalto em estudo.

Os tempos referentes as outras duas velocidades são menores, porém também foram desconsiderados pelo nível de rugosidade alto pós usinagem ser muito desparelho (Figura 53), não atendendo as expectativas demandadas neste estudo.

Figura 53: Textura da superfície da rocha pós AWJ – Corpo de prova 44 mm – Vf: 40 mm/min.



Fonte: autora.

Cabe salientar que o elemento tempo não é fundamental para as análises de rugosidade propostas neste trabalho, pois as texturas das superfícies oriundas do processo AWJ envolvem uma série de combinação de parâmetros que estão apontados no tópico a seguir.

4.3 RUGOSIDADE

Todos os corpos de prova de 20 e 28 mm foram submetidas à medição da rugosidade, de acordo com o procedimento apresentado na seção 3.4.3. O equipamento utilizado permitiu obter os valores de rugosidade no parâmetro Ra (rugosidade média), que é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de medição, e Rq (raiz quadrada do desvio do perfil avaliado, mostra os picos e vales presentes na superfície) da superfície para cada medição, aferidos em três pontos: A, B e C (Figura 39), com distanciamento de 10 mm.

Convém lembrar que cada corpo de prova foi executado de acordo com uma combinação de parâmetros distintos para o corte AWJ, gerados pelo software Minitab, dispostos no Apêndice A.

A Tabela 8 apresenta os valores de Ra e Rq encontrados nas medições para cada corpo de prova com espessura de 20mm.

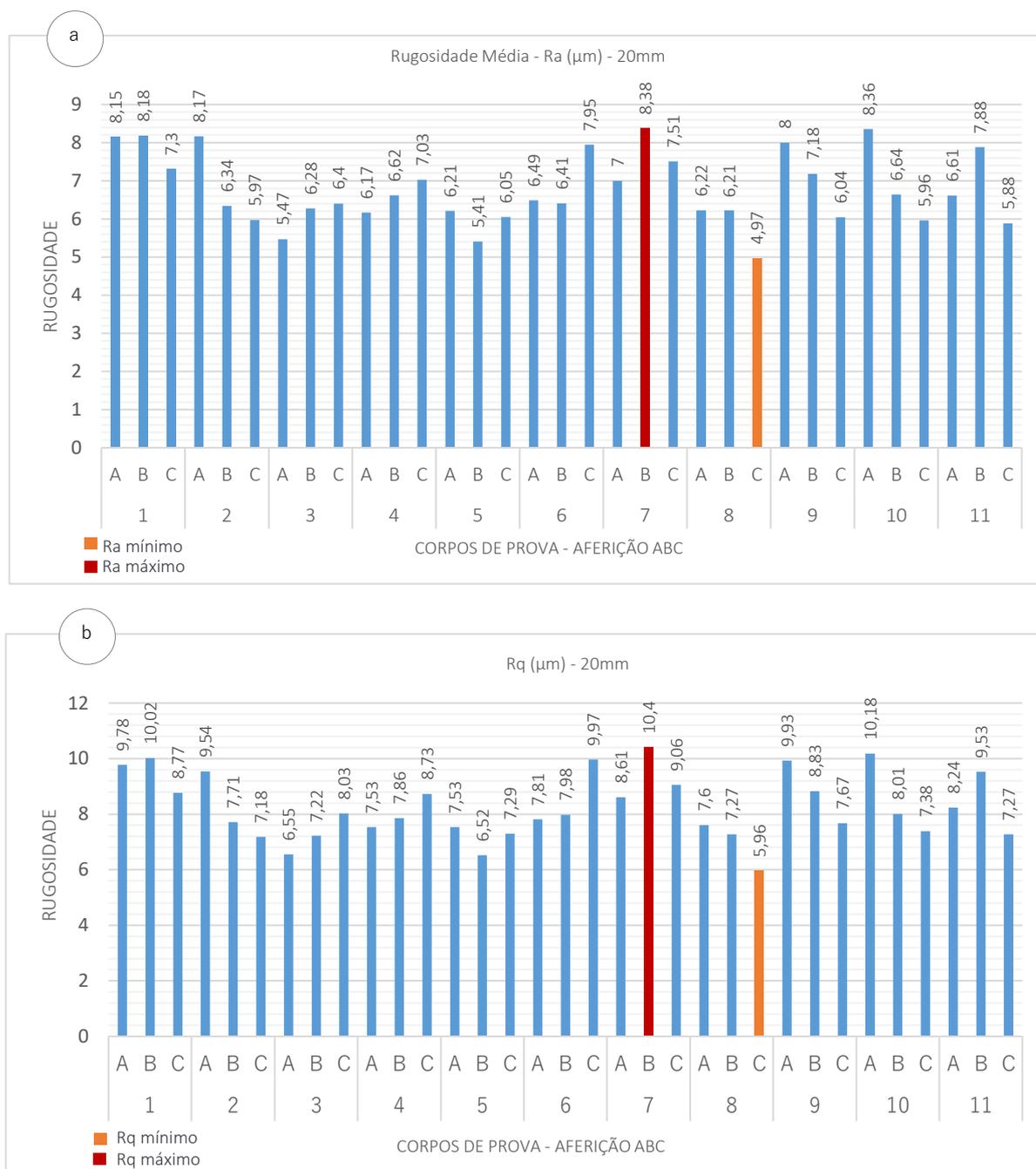
Tabela 8: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 20mm - Aferições A, B e C.

CORPOS DE PROVA	RUGOSIDADE – Ra (μm)			RUGOSIDADE – Rq (μm)		
	A	B	C	A	B	C
1	8,15	8,18	7,3	9,78	10,02	8,77
2	8,17	6,34	5,97	9,54	7,71	7,18
3	5,47	6,28	6,4	6,55	7,22	8,03
4	6,17	6,62	7,03	7,53	7,86	8,73
5	6,21	5,41	6,05	7,53	6,52	7,29
6	6,49	6,41	7,95	7,81	7,98	9,97
7	7	8,38	7,51	8,61	10,4	9,06
8	6,22	6,21	4,97	7,6	7,27	5,96
9	8	7,18	6,04	9,93	8,83	7,67
10	8,36	6,64	5,96	10,18	8,01	7,38
11	6,61	7,88	5,88	8,24	9,53	7,27

Fonte: autora.

A partir dos dados apresentados na Tabela 8, foi possível construir os gráficos de colunas da Figura 54 a, que mostram de maneira resumida a comparação dos valores da rugosidade média (Ra) para cada corpo de prova. As medidas de rugosidade estão dispostas no eixo das ordenadas e a disposição dos corpos de prova e as leituras A, B e C correspondentes no eixo das abscissas. Da mesma forma estão ilustrados os valores obtidos para Rq (Figura 54 b).

Figura 54: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 20 mm: a) Ra; b) Rq.



Fonte: autora.

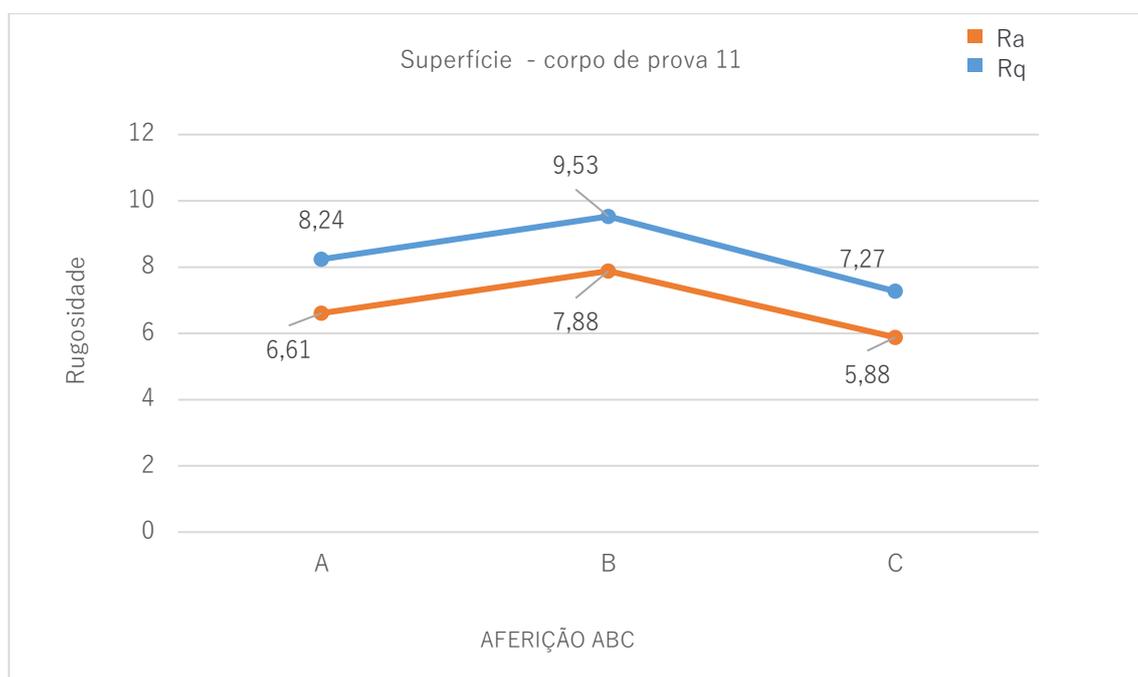
Ao analisar a Figura 54 a, percebe-se que a alternância de valores de rugosidade é uma constância em todos corpos de prova. Os valores de Ra permeiam entre 4,97 μm (corpo de prova 8 – C) e 8,38 μm (corpo de prova 7 – B).

O mesmo acontece com o Rq (Figura 54 b), porém com índices mais altos, variando entre 5,96 (corpo de prova 8 – C) e 10,4 (corpo de prova 7 – B).

Comparando as leituras feitas em diferentes partes do mesmo corpo de prova, notam-se variações de rugosidade - Ra e Rq, reflexos das estrias da superfície resultantes do corte por jato d'água abrasiva.

Por exemplo, o corpo de prova 11 (Figura 55), no gráfico de Ra teve os seguintes valores: A = 6,61 μm ; B = 7,88 μm ; C = 5,88 μm , e Rq A = 8,24 μm ; B = 9,53 μm ; C = 7,27 μm , evidenciando sua irregularidade.

Figura 55: Exemplificação da variação de rugosidade - Comparação Ra e Rq do corpo de prova 11.

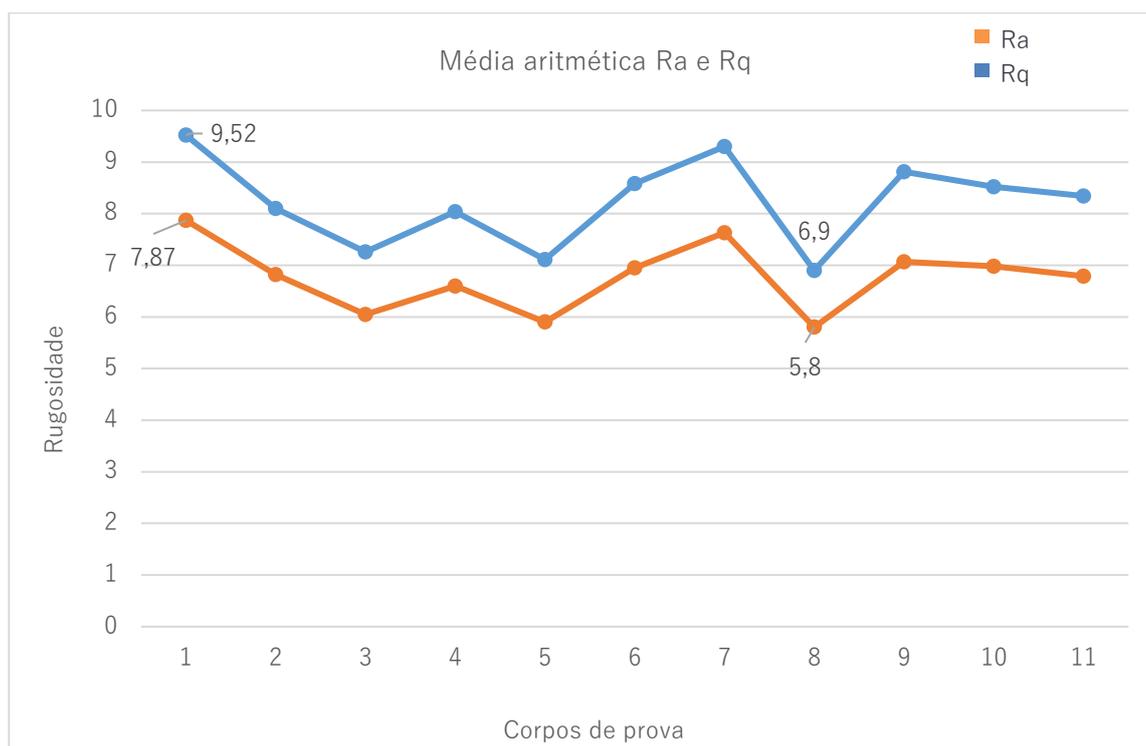


Fonte: autora.

Para comparação da rugosidade, entre todos corpos de prova de 20 mm, foi realizada uma média aritmética entre as medições A,B e C, para Ra e Rq. Também foi realizado um ranking por média e desvio padrão (Apêndice B- Tabela 17 e 18).

Assim, é possível identificar pelo gráfico (Figura 56) que o corpo de prova 8 possui a menor rugosidade média Ra, com 5,8 μm e Rq 6,9 μm . E o corpo de prova 1, a maior rugosidade em que Ra = 7,87 μm e Rq = 9,52 μm .

Figura 56: Ra e Rq – mínimo e máximo dos corpos de prova 20mm.



Fonte: autora.

Para análise dos corpos de prova de 28mm também foi realizado o mesmo procedimento, com aferições de rugosidade Ra e Rq, em três pontos, nos 11 corpos de prova. Após tabelados os resultados, a Tabela 9 serviu como referência para a construção dos gráficos comparativos das aferições de rugosidade realizadas, conforme imagens (Figura 57 a,b) constantes na sequência.

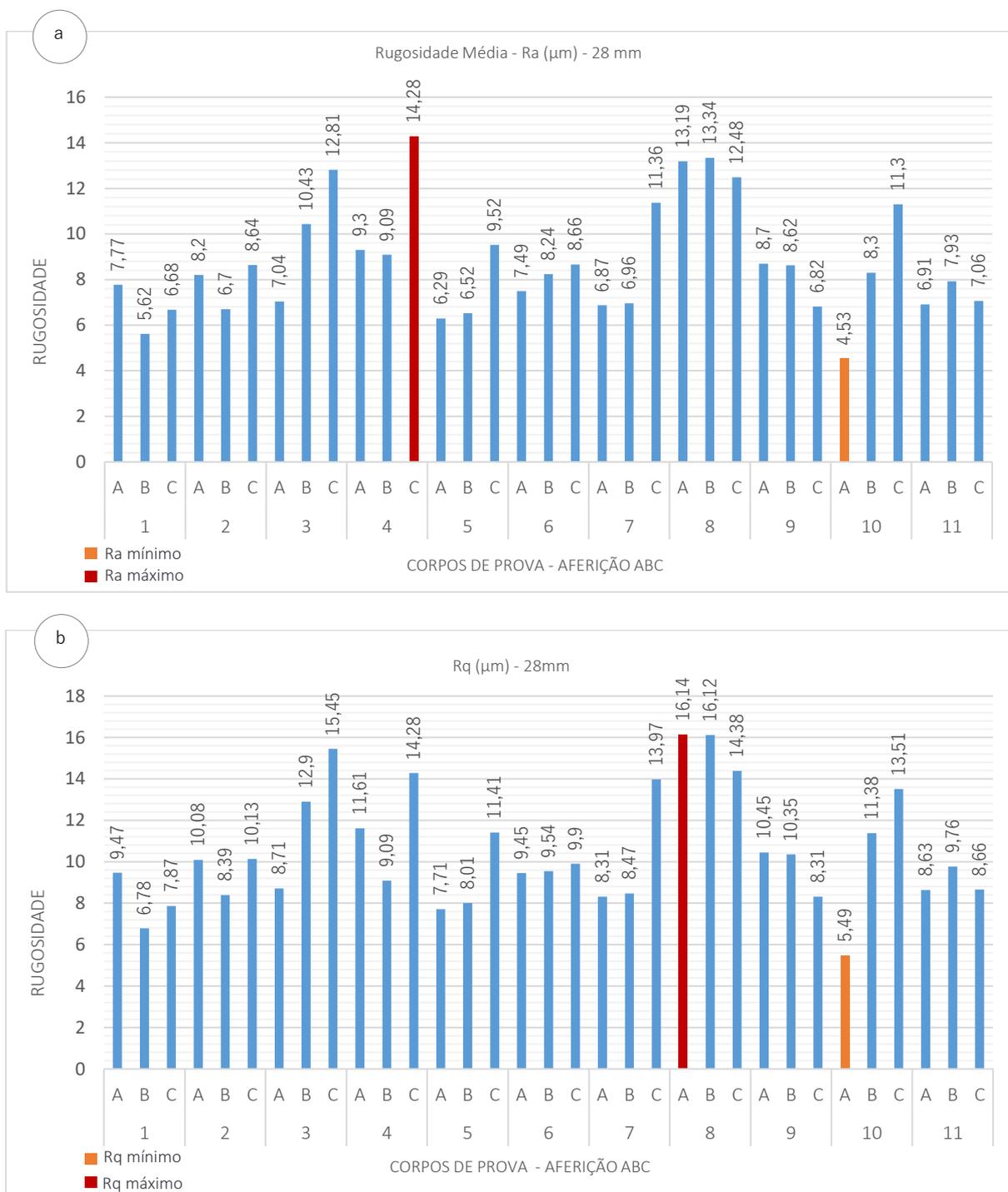
Tabela 9: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 28mm - Aferições A, B e C.

CORPOS DE PROVA	RUGOSIDADE – Ra (μm)			RUGOSIDADE – Rq (μm)		
	A	B	C	A	B	C
1	7,77	5,62	6,68	9,47	6,78	7,87
2	8,2	6,7	8,64	10,08	8,39	10,13
3	7,04	10,43	12,81	8,71	12,9	15,45
4	9,3	9,09	14,28	11,61	7,52	11,76
5	6,29	6,52	9,52	7,71	8,01	11,41
6	7,49	8,24	8,66	9,45	9,54	9,9
7	6,87	6,96	11,36	8,31	8,47	13,97
8	13,19	13,34	12,48	16,14	16,12	14,38
9	8,7	8,62	6,82	10,45	10,35	8,31
10	4,53	8,3	11,3	5,49	11,38	13,51
11	6,91	7,93	7,06	8,63	9,76	8,66

Fonte: autora.

Para os corpos de prova de espessura de 28mm o valor máximo de Ra é 14,28 μm (corpo de prova 4 – C) e mínimo de 4,53 μm (corpo de prova 10 – A), com diferença de 9,75 μm . Já em Rq a diferença encontrada é de 10,65 μm , com máximo em 14,16 μm (corpo de prova 8 – A) e mínimo (corpo de prova 10 – A). Observa-se também que o valor máximo de Rq não corresponde ao mesmo corpo de prova que em Ra (Figura 57 a,b).

Figura 57: Resultados das aferições da rugosidade dos corpos de prova 28 mm: a) Ra; b) Rq.

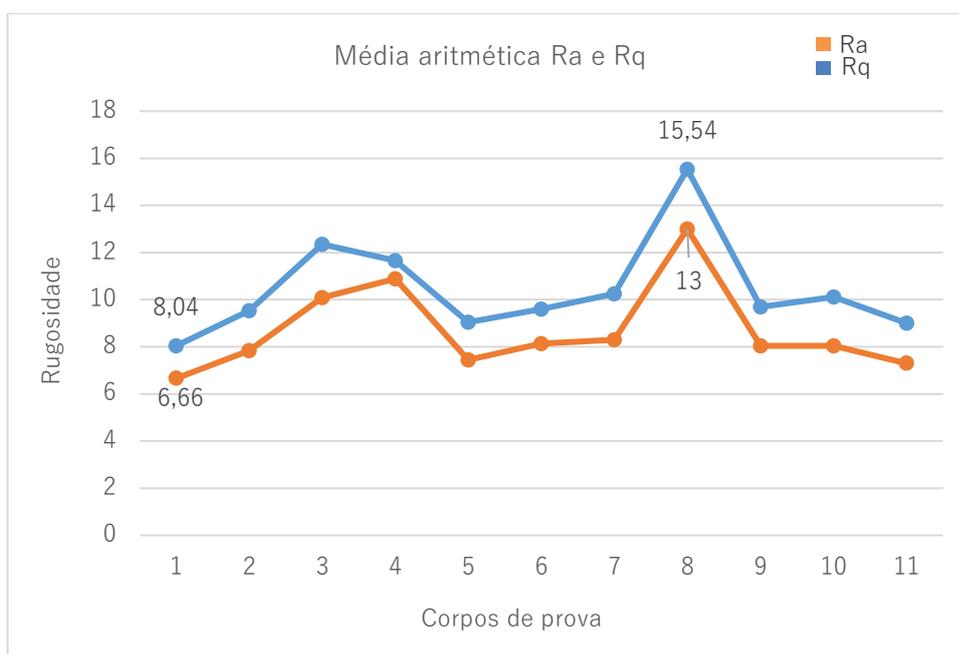


Fonte: autora.

Em relação às superfícies com maior e menor ondulações (Figura 58), adotou-se a mesma métrica de média aritmética entre os valores A,B e C de cada

corpo de prova. Estes dados permitiram identificar que o corpo de prova com maiores elevações é o 8, com média de 15,54 μm para Ra e 13 μm para Rq. Já as menores ondulações foram encontradas no corpo de prova 1, com Ra 6,66 μm e Rq 8,04 μm .

Figura 58: Ra e Rq – mínimo e máximo dos corpos de prova 28mm.

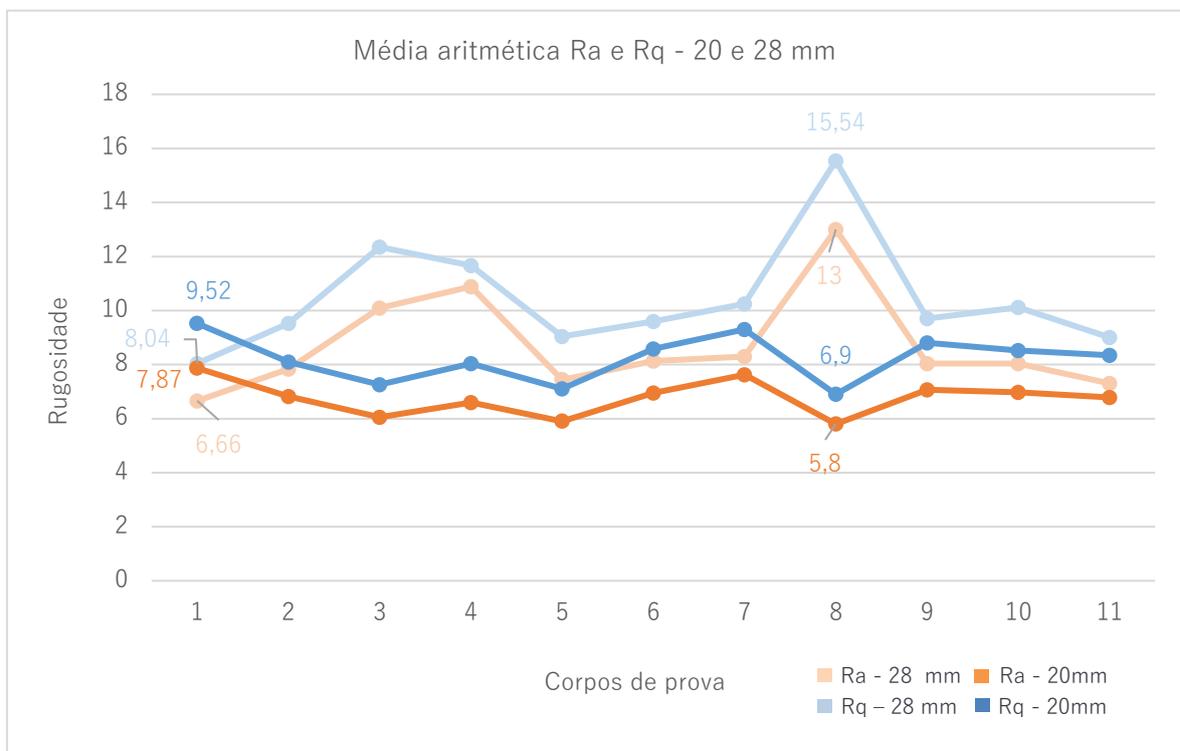


Fonte: autora.

Também é perceptível que, embora o corpo de prova 10 possua os menores picos de Ra e Rq na medição A os valores médios do Índice de Ra e Rq foram os mais baixos no corpo de prova 1.

Para uma visão geral, de ambas espessuras, a imagem a seguir (Figura 59) elucidada de forma sucinta os resultados encontrados a partir da leitura do rugosímetro sobre a superfície de basalto dos corpos de prova. As linhas em laranja e azul mais fortes, indicam o Ra e Rq das peças de espessura de 20mm, e as linhas em tons mais claros, Ra e Rq dos corpos de prova de 28mm.

Figura 59: Síntese dos resultados de Ra e Rq (mínimo e máximo) dos corpos de prova de 20 e 28mm.



Fonte: autora.

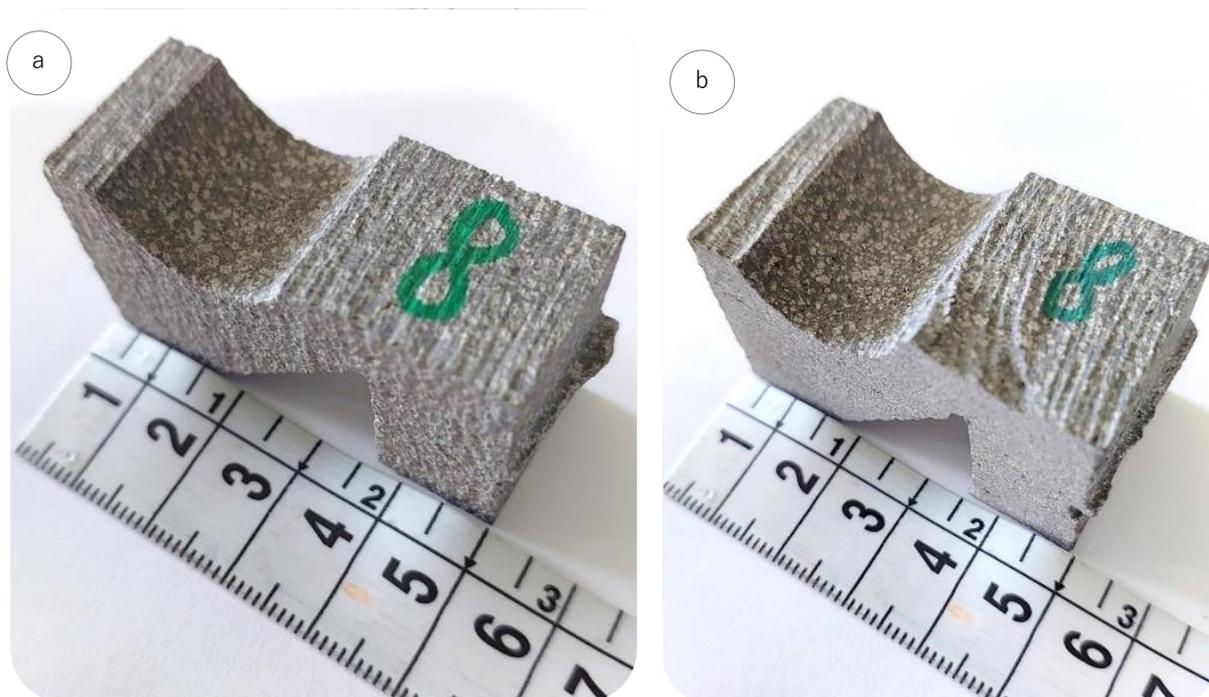
Os dados apontam que a menor superfície rugosa dentre todos experimentos é o corpo de prova 8, na espessura de 20mm, tanto para Ra (5,8 μm) quanto para Rq (6,9 μm), possuindo leves ranhuras. Já para os corpos de prova com espessura de 28 mm, os valores mínimos se encontram no corpo de prova 1, com Ra 6,66 μm e Rq 8,04 μm .

Outro ponto interessante é que a superfície com maior rugosidade na espessura de 20mm tem valores aproximados da superfície menos rugosa da espessura de 28 mm, ambos no corpo de prova 1. Ou seja, para 20 mm o Ra é 7,87 μm e Rq 9,52 μm e para 28 mm o Ra é 6,66 μm e Rq 8,04 μm .

Sobre o índice de maior rugosidade, para a espessura de 28 mm, nota-se o corpo de prova 8, com Ra 13 μm e Rq 15,54 μm , gerando um pico de rugosidade mais acentuado que os demais.

Em relação à superfície mais e menos estriada, os resultados mostram que o corpo de prova 8, de 28 mm é o que apresenta maior irregularidade superficial, e o corpo de prova 8 de 20 mm o mais regular. As imagens abaixo (Figura 60 a,b) ilustram e exemplificam as texturas obtidas, com menor e maior estriamento da superfície.

Figura 60: Diferença da rugosidade das superfícies pós AWJ: a) Corpo de prova 20mm; b) Corpo de prova 28 mm.



Fonte: autora.

Ante o exposto, a Tabela 10 mostra os parâmetros de corte AWJ para os corpos de prova de 20 mm e 28 mm que foram os seguintes:

Tabela 10: Parâmetros utilizados no processo de AWJ – corpos de prova 20 e 28 mm.

Variáveis - Parâmetros de corte			
Corpos de prova	Pressão (MPa)	Velocidade de avanço (mm/min)	Vazão abrasivo (mm)
1 (20mm)*	280	70	6
8 (20mm)*	340	70	8
1 (28mm)*	340	30	6
8 (28 mm)*	300	65	6

*parâmetros dos corpos de prova com mínimos e máximos de irregularidades

Fonte: autora.

A visualização dos parâmetros usados durante o processo de usinagem permite fazer um paralelo entre os dados encontrados e algumas referências estudadas, visto que se justificam por meio da redundância das informações. No entanto, é importante frisar que apesar dos vários modelos empíricos existentes em relação a variação dos parâmetros variáveis no processo AWJ, não há um consenso entre os pesquisadores sobre qual parâmetro tem maior influência na rugosidade da superfície cortada (IPAR, 2018).

Frente a isto, de acordo os parâmetros utilizados e expostos acima, é possível afirmar que a mudança das variáveis de corte influencia significativamente o acabamento da superfície cortada, especialmente quando se trata de componentes com espessura maior (corpo de prova 8 – 28 mm), conforme também apontam os resultados apresentados por Zhang *et al.* (2011).

Para Aydin *et al.*(2011), em seus estudos sobre a rugosidade superficial dos granitos, a rugosidade é determinada principalmente pelos fatores da pressão da

água e pela vazão mássica de abrasivo, além da velocidade de deslocamento do jato e a distância de afastamento da tubeira. Fato também identificado neste trabalho, pois além do parâmetro de pressão estar em 340 Mpa, a vazão mássica de abrasivo 8 mm é maior que nos demais, ocasionando uma superfície de corte mais regular (Figura 60 a), porém não completamente lisa.

Hajdarevic, *et al.* (2015) afirmam que rugosidade da superfície é proporcional ao avanço da velocidade: quanto mais alto for o parâmetro, mais frequentes serão as irregularidades. No entanto, o resultado deste estudo mostra que, mesmo com a diminuição da velocidade de avanço nos corpos de prova de 28mm, em combinação com a pressão e vazão mássica do abrasivo menores, as faces de cortes são mais irregulares que nos corpos de prova de 20mm, o que comprova a relação direta da espessura com a combinação dos parâmetros de corte.

Desta forma, é válido afirmar que em razão das particularidades de cada material, das combinações de parâmetros e do tipo de maquinário empregado, o processo de beneficiamento AWJ terá um resultado único para cada caso.

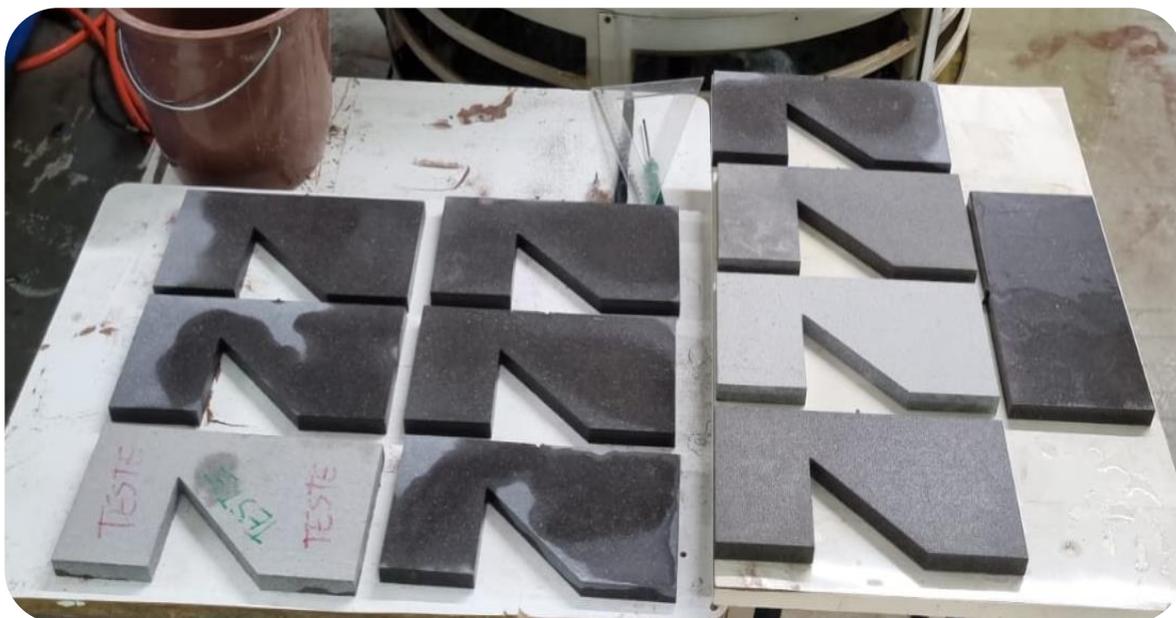
Este estudo visou identificar parâmetros de corte AWJ adequados para o beneficiamento do basalto, sem abordar a qualidade superficial. Os valores obtidos pelo rugosímetro ajudaram a identificar os parâmetros de corte que forneceriam melhores resultados para a produção de protótipos destinados aos demais experimentos. No Apêndice B, encontram-se as tabelas com todos valores e ranqueados de acordo com a maior e menor rugosidade.

4.4 PROTÓTIPOS

Os protótipos beneficiados via processo de AWJ, com parâmetros de corte definidos com base na análise da rugosidade da superfície, foram empregados na determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica, na identificação da massa específica aparente e na análise da resistência mecânica.

Desta forma, os parâmetros adotados foram os seguintes: Pressão: 340 MPa, Velocidade de avanço: 70 mm/min e Vazão mássica de abrasivo: 8 mm, referentes ao corpo de prova 8 em chapas de 20mm. Ao total foram confeccionados 10 protótipos, sendo 9 com a geometria Módulo Cobogó 1 e um em formato retangular com a mesma dimensão (125 x 250 mm) e ainda um teste sem a configuração de parâmetros adequados (Figura 61).

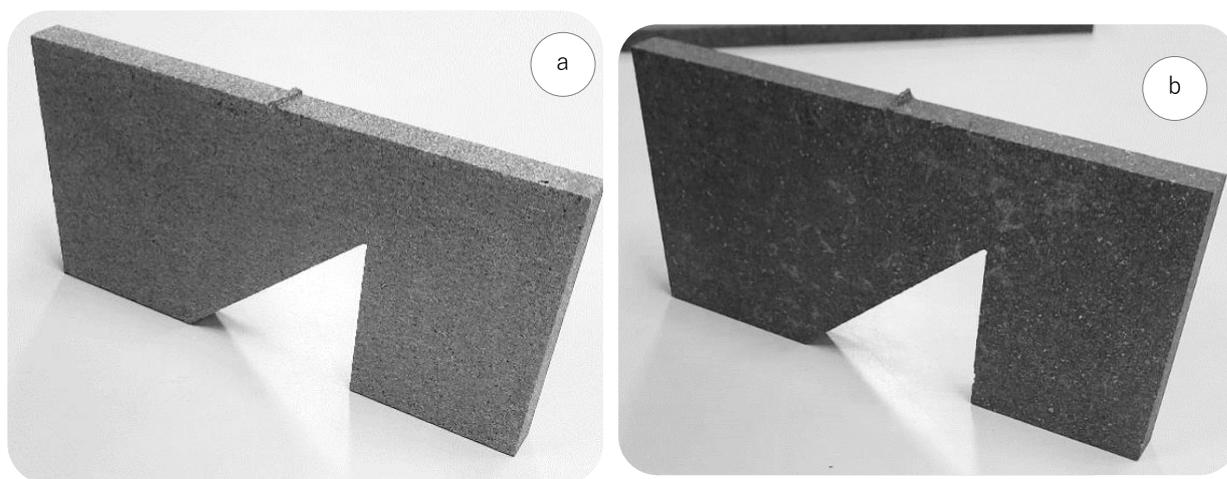
Figura 61: Protótipos usinados via AWJ.



Fonte: autora.

Em relação ao acabamento, 7 são com faces polidas (mais lisas e escuras) e 3 com a textura flameada (mais clara e mais áspera), de acordo com a matéria-prima disponível para a realização dos cortes (Figura 62 a,b). As espessuras variam de 16,5 mm a 18,65 mm.

Figura 62: Acabamentos dos protótipos: a) Flameado; b) Polido.



Fonte: autora.

O tempo de corte foi aproximadamente de 12 minutos e 8 segundos (tempo de perfuração), calculados pela razão entre o perímetro da peça (835mm) e a velocidade de avanço. Cabe enfatizar, que devido ao limitado acesso à matéria-prima, somente um modelo de desenho foi utilizado para prototipagem.

4.5 VELOCIDADE ULTRASSÔNICA – ULTRASSOM

O objetivo do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas foi avaliar o grau de alteração, coesão e eventuais influências das características texturais do basalto após beneficiamento AWJ. Além disto, foi usado o mesmo

material para também realizar a verificação da massa específica e resistência mecânica do artefato.

A verificação da velocidade ultrassônica foi realizada em três direções de cada protótipo, nomeados em AA', BB' e CC', enumerados na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11: Resultados das Velocidades de Propagação de Ondas Ultrassônicas.

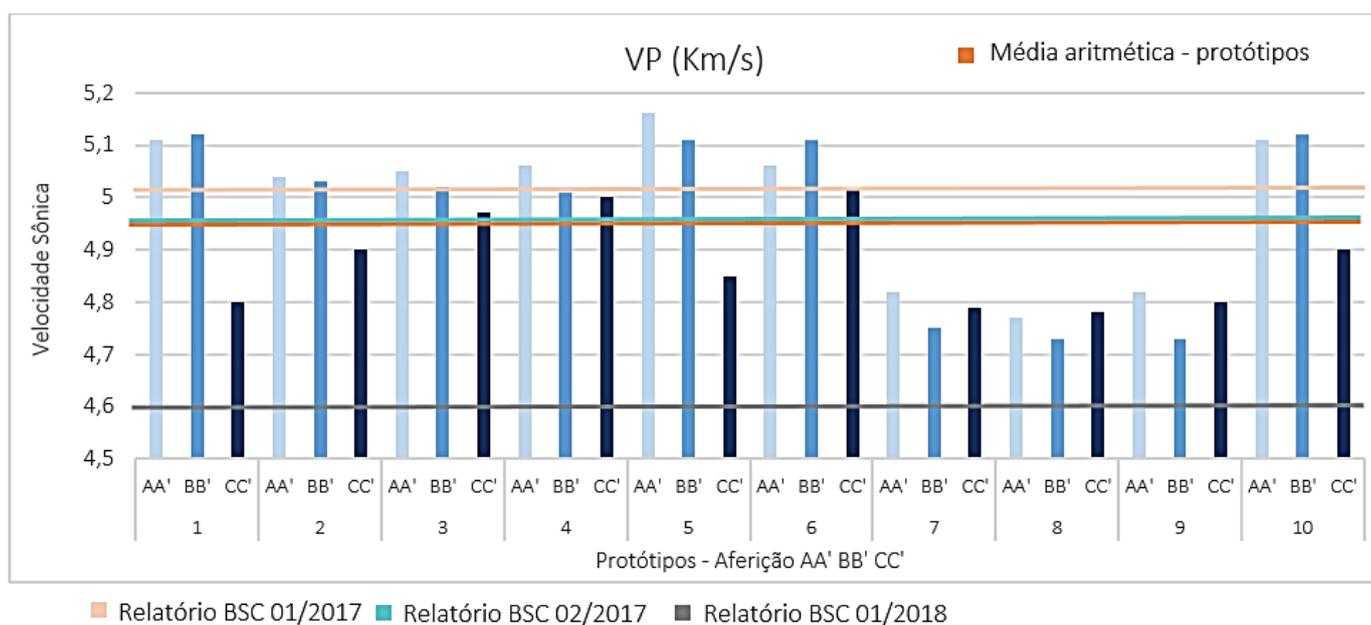
PROTÓTIPO	TEMPO (μ/s)	VP (Km/s)	PROTÓTIPO	TEMPO (μ/s)	VP (Km/s)
1	AA'	48,9	6	AA'	49,4
	BB'	24,4		BB'	24,4
	CC'	3,4		CC'	3,4
2	AA'	49,5	7	AA'	51,6
	BB'	24,9		BB'	26,4
	CC'	3,4		CC'	3,9
3	AA'	49,4	8	AA'	52,3
	BB'	24,9		BB'	25,8
	CC'	3,4		CC'	3,9
4	AA'	49,4	9	AA'	51,8
	BB'	24,9		BB'	26,4
	CC'	3,4		CC'	3,9
5	AA'	48,4	10	AA'	48,9
	BB'	24,4		BB'	24,4
	CC'	3,4		CC'	3,4

Fonte: autora.

Para melhor visualização dos resultados foi elaborado um gráfico (Figura 63) que compreende as aferições gerais de todos os protótipos. Também estão representados em linhas horizontais a média aritmética da velocidade sônica dos protótipos (em laranja), bem como as médias apontadas pelos Relatórios BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018 do DEMIPE-Departamento de Mineralogia e Petrologia, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Todos os protótipos nos 3 pontos (AA', BB' e CC'), assim como as médias descritas pelos relatórios BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018, apresentaram valores de velocidade de onda ultrassônica acima do limite definido pela ABNT NBR 15844: 2015 (≥ 4 Km/s), como pode ser observado no gráfico (Figura 63). Esta norma estabelece as características físicas e mecânicas típicas das rochas silicáticas, comercialmente chamadas de granitos, a serem utilizadas como revestimento e material ornamental.

Figura 63: Resultados da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (barras verticais) x Médias BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018 (barras horizontais).



Fonte: autora.

As velocidades obtidas na medição AA' (azul claro - Figura 63), no sentido vertical resultou para ambos a maior velocidade, com uma média de 5,0 Km/s, exceto no protótipo 8, cuja velocidade ficou em 4,77 Km/s.

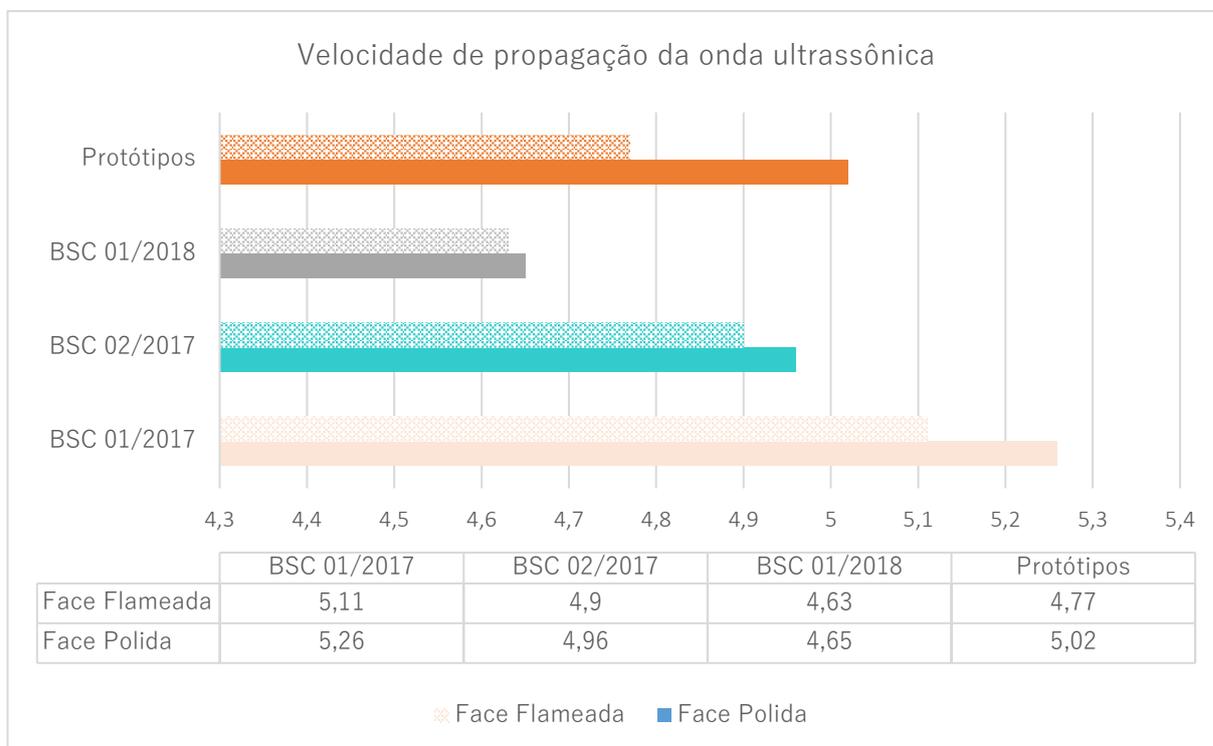
Em relação aos valores coletados na altura - eixo BB' (azul - Figura 63), a média se estabeleceu em 4,97 Km/s, um pouco abaixo de AA'. E para espessura - CC' (azul escuro - Figura 63) a leitura foi de 4,88 Km/s, a menor média no geral.

No entanto, é perceptível nos protótipos 7, 8 e 9 uma redução significativa de velocidade em todos os pontos, resultando um valor mediano para AA' de 4,8 Km/s, BB' e CC' de 4,7 Km/s, com velocidade ultrassônica geral de 4,77 Km/s. Importante apontar que estes 3 artefatos, especificamente, possuíam textura flameada e uma diferença de espessura de 1,8 mm a mais que os outros.

Este dado vem ao encontro das informações contidas no Relatório BSC 02/2017, em que as amostras com acabamento flameado indicam uma Velocidade de Propagação da Onda Ultrassônica menor que as com a face polida, com média de 4,9 Km/s.

Outro aspecto identificado, foi que no geral as velocidades ultrassônicas dos protótipos analisados conferem maiores resultados do que os encontrados nos Relatórios BSC 02/2017 e BSC 01/2018, conforme indica a figura 64 a seguir.

Figura 64: Síntese comparativa das médias de velocidade de propagação ultrassônica.



Fonte: autora.

Com uma média geral de propagação de velocidade ultrassônica de 4,9 Km/s, pode-se supor que mesmo após o processo de beneficiamento AWJ dos protótipos, existe uma boa coesão textural da rocha, pois de acordo com Frascá (2002), os valores maiores em um determinado grupo de corpos de prova com características petrográficas similares, significam pouca alteração e maior integridade entre seus minerais constituintes.

Os dados verificados nos relatórios são referentes a amostras na condição natural, sem tratamento com congelamento e degelo. Estas amostras, que estão citadas nos relatórios, são da mesma procedência da rocha usada neste estudo.

4.6 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Na Tabela 12, estão os resultados encontrados a partir da verificação da massa ao ar (seca) dos protótipos, da identificação do volume exato de cada peça e o cálculo da Massa Específica Aparente (MEA) em si. A avaliação dos resultados obtidos nos ensaios foi realizada de acordo com os parâmetros normativos da ABNT- NBR 15844: 2015, ASTM C-615 e nos Relatórios BSC 01/2017 e BSC 01/2018.

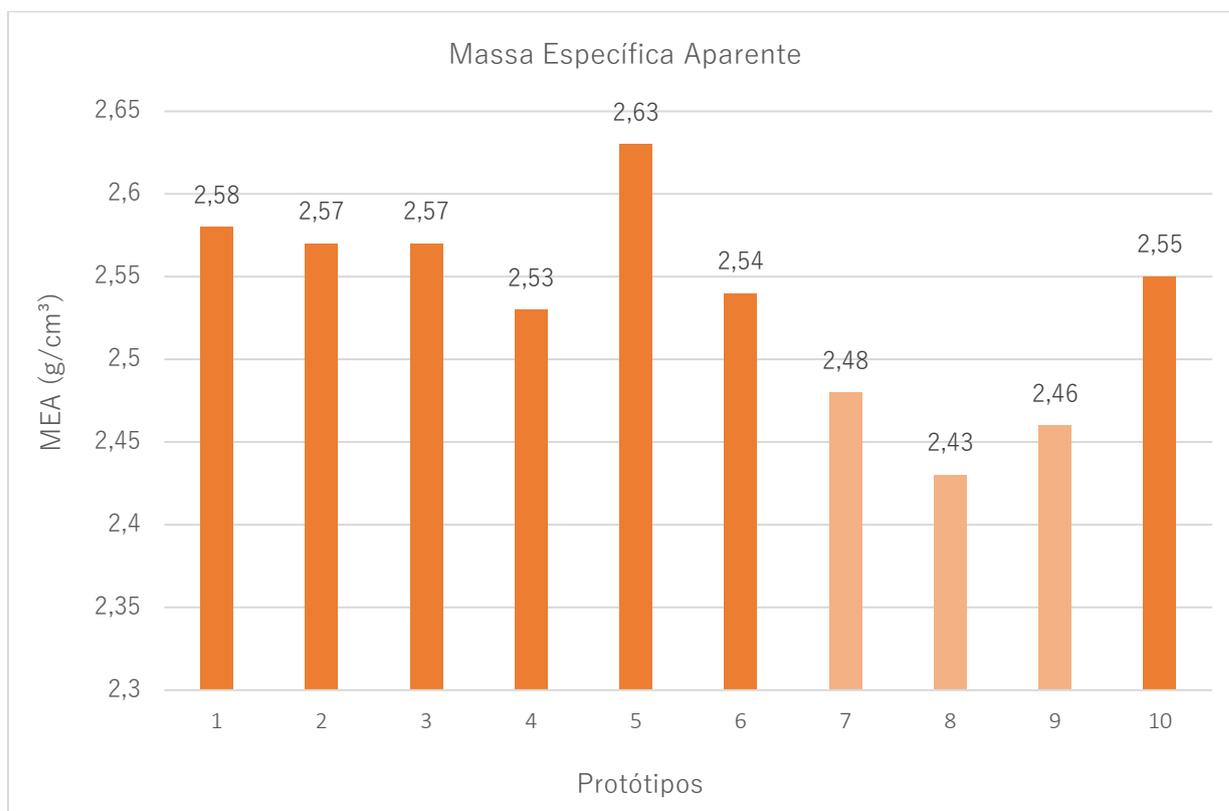
Tabela 12: Resultados da Massa Específica Aparente dos protótipos.

Protótipos	Volume (mm³)	Massa Ao ar (g)	MEA (g/cm³)
1	515,625	1330,5	2,58
2	467,285	1203,9	2,57
3	467,285	1205,2	2,57
4	475,58	1203,9	2,53
5	456,225	1202,3	2,63
6	472,815	1202	2,54
7	517,055	1284,7	2,48
8	514,843	1251,6	2,43
9	515,672	1272,3	2,46
10	466,732	1192,7	2,55
Média	486,91	1234,9	2,53

Fonte: autora.

Os dados apontam uma variação de massa específica entre os protótipos (Figura 65). Assim como nos resultados da propagação de velocidade ultrassônica, os protótipos 7,8 e 9 possuem menor valor, com $2,48 \text{ g/cm}^3$, $2,43 \text{ g/cm}^3$ e $2,46 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Estes dados indicam que a MEA destes protótipos, assim como do protótipo 4 ($2,53 \text{ g/cm}^3$), estão abaixo das recomendações indicadas na ABNT 15844: 2015, que é $> 2,55 \text{ g/cm}^3$; pela ASTM C-615, cujo valor é $\geq 2,56 \text{ g/cm}^3$, ambos com requisitos para granito, e também inferiores aos valores descritos nos Relatórios BSC 01/2017 e BSC 01/2018, especificamente para o basalto, que é de $2,56 \text{ g/cm}^3$ e $2,54 \text{ g/cm}^3$.

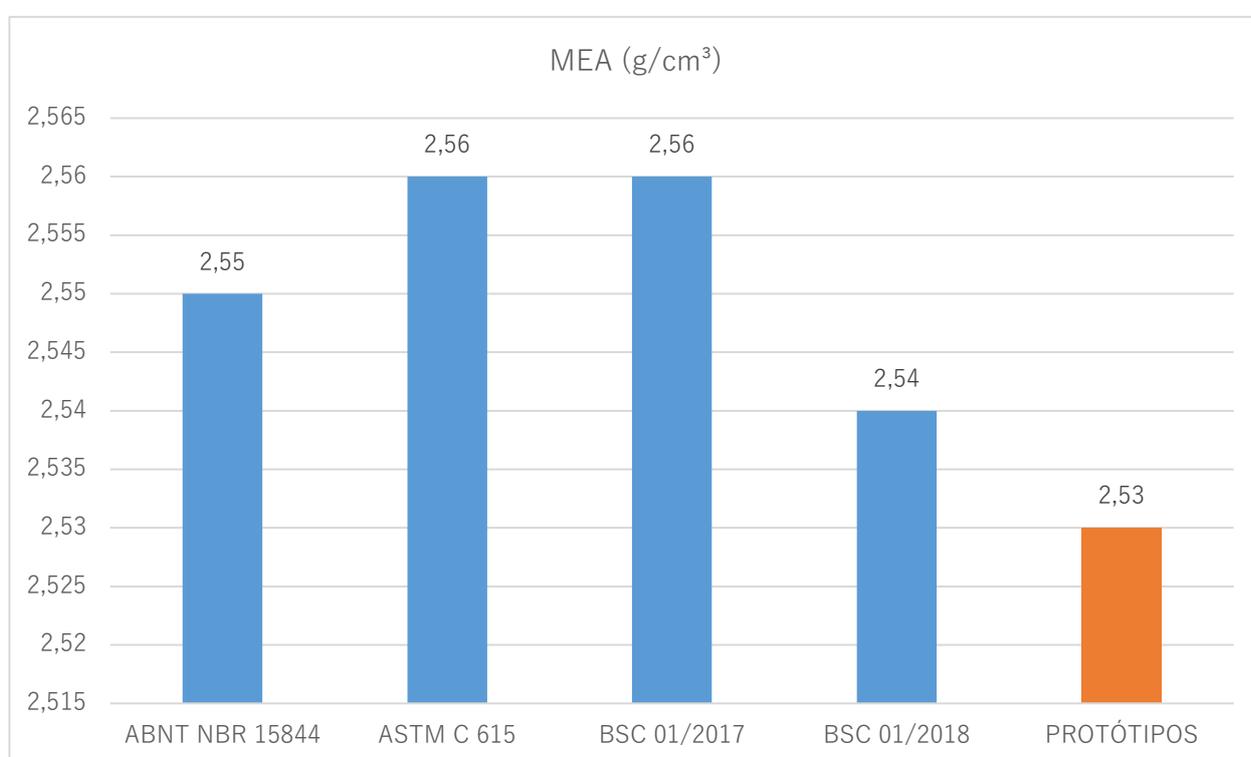
Figura 65: Variação dos valores individuais da MEA.



Fonte: autora.

A Figura 66 abaixo mostra o valor médio da densidade aparente encontrado nos protótipos em estudo, em comparação com os valores mínimos de densidade aparente para rochas graníticas citados nas normas ABNT- NBR 15844: 2015 e ASTM C-615 e para o basalto, em BSC 01/2017 e BSC 01/2018.

Figura 66: Comparação da MEA dos protótipos e as respectivas densidades aparentes das normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615 e dos Relatórios BSC 01/2017 e BSC 01/2018.



Fonte: autora.

A análise comparativa dos valores de massa específica aparente mostra que o valor médio encontrado nos protótipos é de 2,53 g/cm³, com uma pequena diferença aos dados apontados no Relatório BSC 01/2018. Também é possível visualizar que em relação ao demais a diferença não ultrapassa 0,03 g/cm³, o que permite entender que não representa mudanças significativas de alteração na rocha.

4.7 RESISTÊNCIA MECÂNICA – COMPRESSÃO UNIAXIAL

Para a verificação da resistência mecânica, os protótipos foram alocados de maneira que seu eixo longitudinal ficasse paralela à placa de compressão (Figura 67), na prensa universal do Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC).

Figura 67: Protótipo posicionado na prensa universal para determinação da resistência à compressão uniaxial.

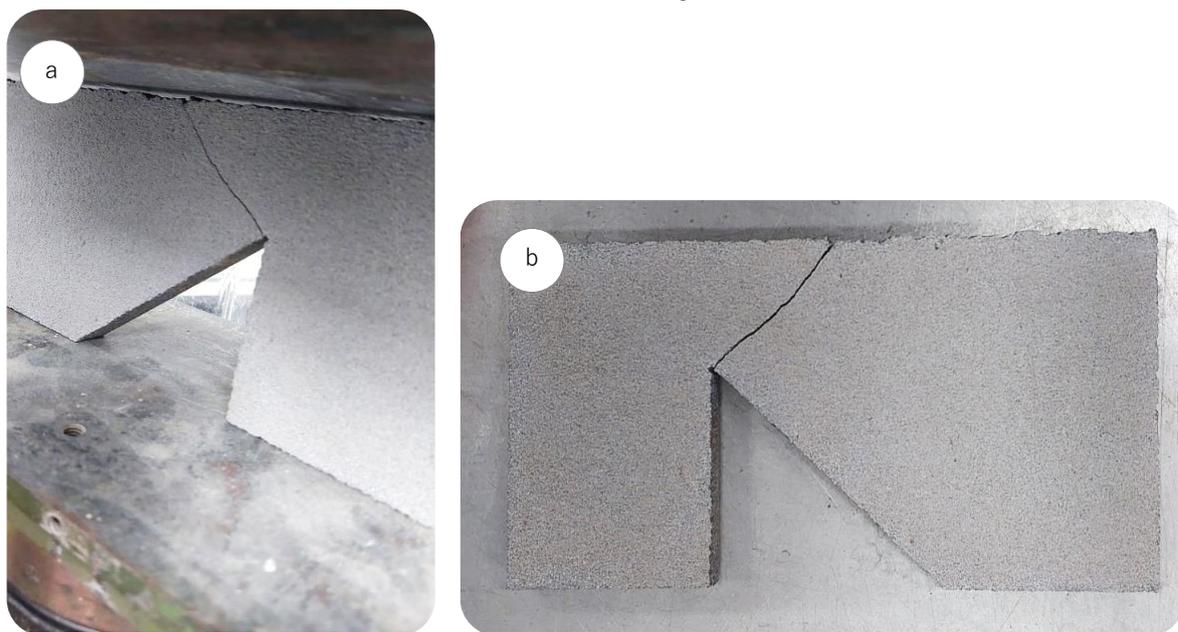


Fonte: autora.

Para dar início aos ensaios, foi utilizada uma peça teste com acabamento flameado, com bastante nervuras nas superfícies de corte, cujos parâmetros de

AWJ foram aleatórios. Neste processo, observou-se que a força máxima empregada foi de 10.8 kN e resistência à compressão de 1,37 MPa, rompendo facilmente a peça, sem cisalhamento, na parte mais fina do recorte (Figura 68).

Figura 68: Compressão uniaxial da peça teste: a) Ruptura na prensa; b) Local da ruptura da peça.



Fonte: autora.

Em seguida, foram realizados os testes com os protótipos oficiais, cuja usinagem foi proveniente do processo AWJ com os parâmetros adotados como satisfatórios. A partir dos resultados, foram gerados gráficos e tabelas onde são apresentados os valores de força máxima e a resistência de compressão uniaxial de cada protótipo.

A Tabela 13 contém a média aritmética, cuja compressão uniaxial ficou em 41,59 MPa e a Força Máxima aplicada em 317,66 kN, além dos resultados individuais.

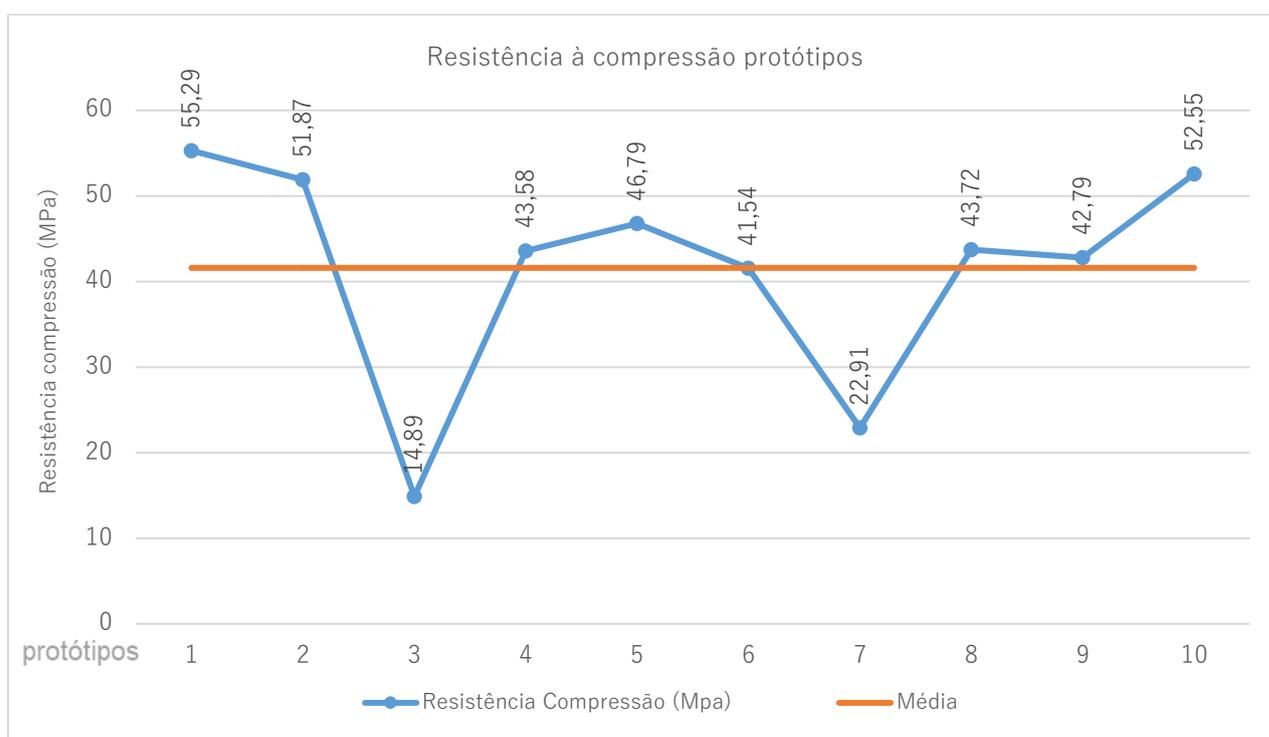
Tabela 13: Resultados da compressão uniaxial de cada protótipo.

Protótipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Compressão uniaxial (MPa)	55,29	51,87	14,89	43,58	46,79	41,54	22,91	43,72	42,79	52,55	41,59
Força Máxima (kN)	343,4	407,4	116,9	342,2	367,50	326,20	179,90	343,4	336	412,7	317,66

Fonte: autora.

Para melhor demonstrar as variações de resistência à compressão uniaxial, foi gerado um gráfico em que são comparados os valores obtidos (Figura 69).

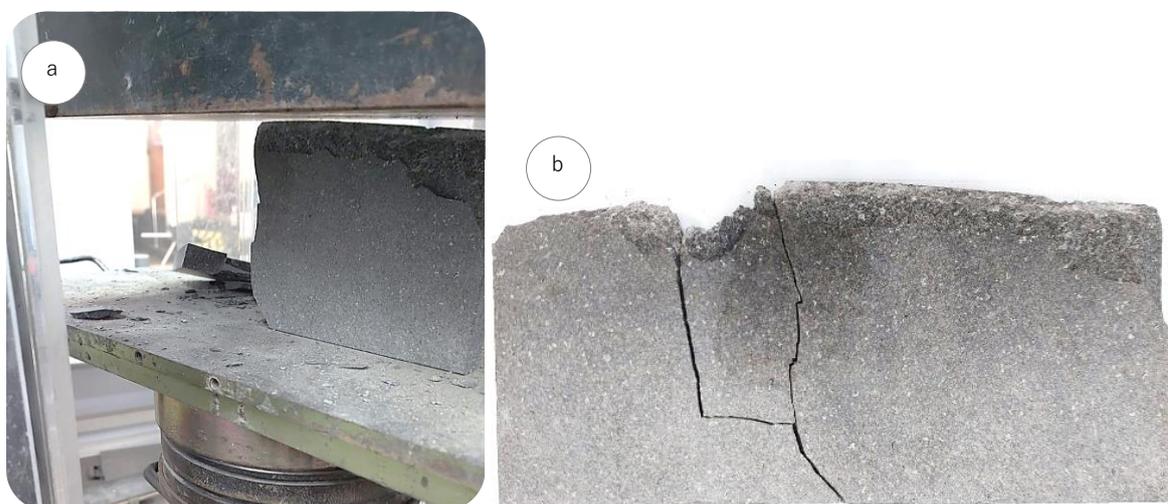
Figura 69: Gráfico comparativo: Valores de resistência à compressão uniaxial de cada protótipo.



Fonte: autora.

É possível notar que o maior valor auferido foi do protótipo 1, que possui o formato retangular sem o recorte. Neste processo verificou-se um aumento considerável em relação peça teste, com força máxima (343,4 kN) exercida e resistência à compressão (55,29 MPa). Outro ponto observado foi o rompimento, que começou pelo cisalhamento da parte superior da peça (Figura 70 a,b).

Figura 70: Compressão uniaxial do protótipo 1: a) Ruptura na prensa; b) Local de ruptura da peça.



Fonte: autora.

Os protótipos 2, 4, 5 e 6, também tiveram o início do rompimento por cisalhamento superior, e em seguida se partiram em muitos pedaços, porém todos no mesmo local (Figura 71 a,b,c,d). Os valores da resistência à compressão uniaxial foram de: 51,87 MPa; 43,82 MPa; 46,79 MPa e 41,54 MPa, respectivamente. A força máxima aplicada ultrapassou os limites de 320 kN.

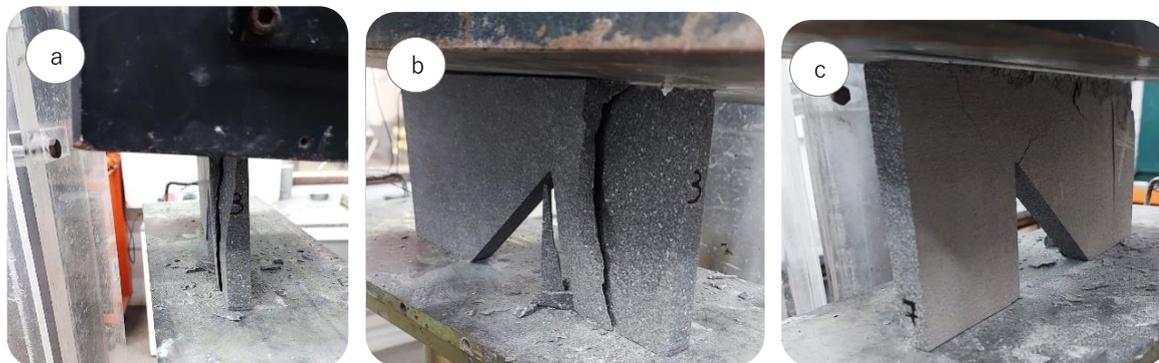
Figura 71: Compressão uniaxial: a) Ruptura do protótipo 2; b) Ruptura do protótipo 4; c) Ruptura do protótipo 5; d) Ruptura do protótipo 6.



Fonte: autora.

Existem 2 valores abaixo de 40 MPa de resistência mecânica, que reportam aos protótipos 3 e 7, com 14,89 MPa e 22,91 MPa. O número 3 resultou neste dado em decorrência de mal posicionamento da prensa, no sentido oblíquo (Figura 72 a,b,c) e força máxima de 116,90 kN, fazendo com que a rocha tivesse uma ruptura no sentido vertical. O protótipo 7, com força máxima aplicada de 179,90 kN, teve o início de sua ruptura por cisalhamento, igual aos demais, contudo, no estágio final de pressão, a peça se desintegrou em pequenos pedaços, tornando impossível a reconstrução para identificar os pontos de rompimento.

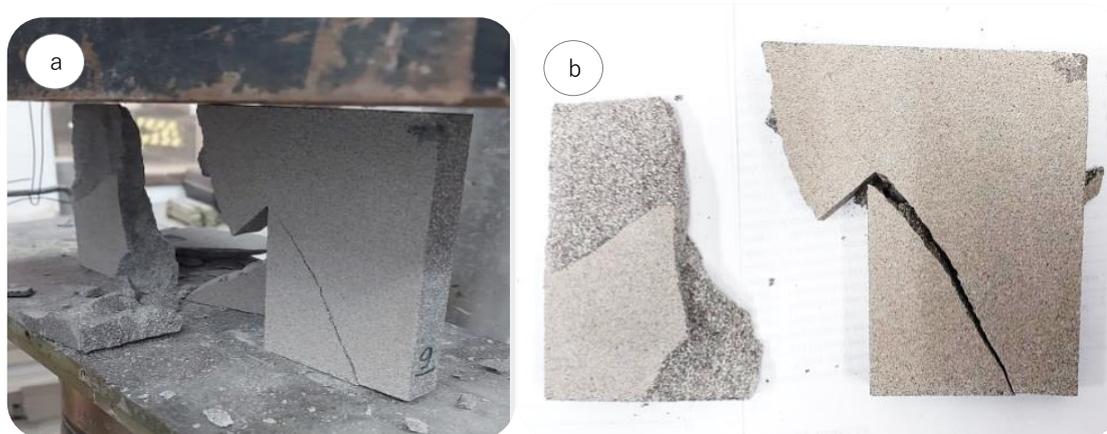
Figura 72: Compressão uniaxial: a) Ruptura do protótipo 3 – Prensa mal posicionada (obliqua); b) Ruptura do protótipo 3 - vertical; c) Início ruptura do protótipo 7.



Fonte: autora.

Através da leitura dos dados da Tabela 13, também pode-se notar que os protótipos 8, 9 e 10 possuem uma média de resistência acima de 40 MPa, sendo o número 10 com o segundo melhor valor obtido dentre todos, com 52,55 MPa. O processo de quebra foi o mesmo, porém com o local de ruptura principal distinto, conforme ilustram as imagens 73 a,b a seguir.

Figura 73: Ruptura do protótipo 9: a) Pós imediato aos esforços compressivos - carga de 52,55 Mpa; b) Local de ruptura principal.



Fonte: autora.

Como não há normas técnicas específicas para blocos vazados (cobogós), quanto menos em rochas ornamentais, para análise dos resultados encontrados utilizaram-se a NBR 15844: 2015, ASTM C – 615, além de referências sobre a temática de caracterização tecnológica de rochas ornamentais e a NBR 6136: 2016 e NBR 15270-2: 2005, que fazem referência aos blocos cerâmicos e de concreto, cujas finalidades se assemelham ao do artefato deste estudo. Os Relatórios BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018, usados nas análises anteriores, não faziam menção ao índice de resistência à compressão uniaxial, por isto não foram utilizados.

De acordo com a NBR 15844: 2015, a capacidade de uma rocha resistir a esforços de compressão deve ser > 100 MPa de tensão máxima que conduz à ruptura. A norma ASTM C – 615 estipula que este valor deverá ser ≥ 131 MPa. Observa-se que os valores determinados para a resistência à compressão do basalto deste estudo, são inferiores aqueles preconizados pela ABNT (NBR 15844) e pela ASTM C – 615, com uma média de 41,59 MPa.

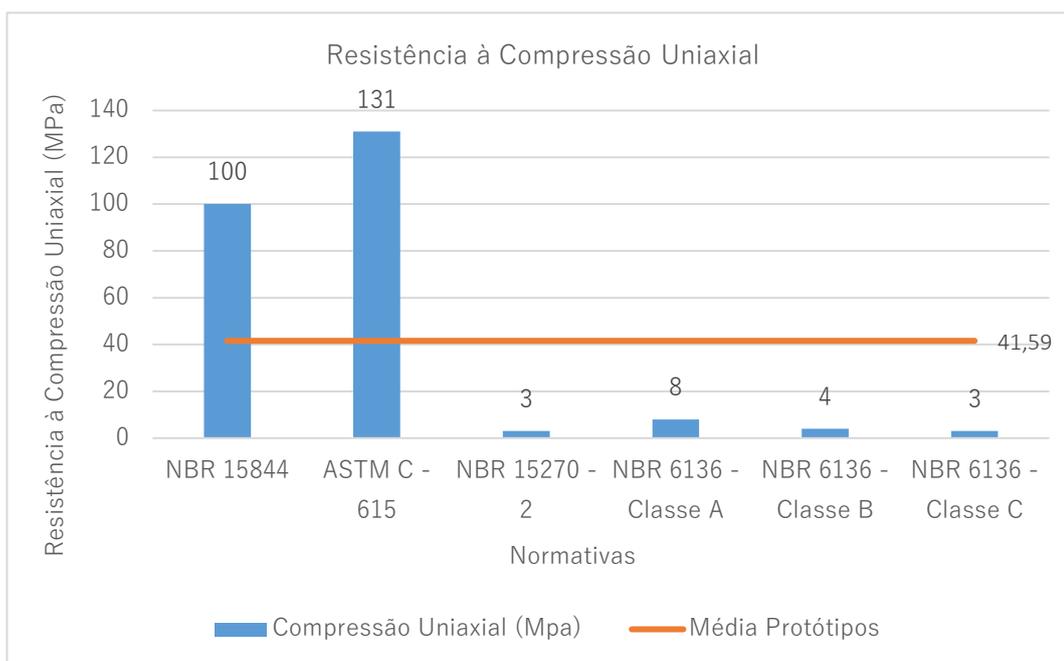
Vidal (2002) afirma que, a característica físico-mecânica é extremamente importante como índice qualitativo dos materiais usados para ornamento e revestimento, interligada a outras propriedades dependentes tecnológicas, como o estado estrutural, textural, microfissural e o grau de alteração das rochas. Contudo, Santos e Barroso (2002) afirmam que o efeito escala tem um impacto significativo sobre as propriedades mecânicas das rochas, devido à redução de resistência causada por micro-descontinuidades, ou seja, quanto maior o volume ensaiado, maior será a influência destas micro-descontinuidades na resistência.

Fato que também apontado por Barbosa (2004), que cita que os valores de resistência à compressão podem variar de acordo com diferentes dimensões e relações altura x espessura, além da geometria dos elementos.

No entanto, ao levar em consideração os parâmetros de referência dos blocos cerâmicos estruturais (NBR 15270 – 2: 2005), cujo valor se enquadra em $\geq 3,0$ MPa e blocos vazados de concreto (NBR 6136: 2016), com $\geq 8,0$ MPa para blocos estruturais classe A, $\geq 4 < 8,0$ para blocos estruturais – classe B e classe C, com ou sem função estrutural ≥ 3 MPa, todos os protótipos apresentam valores consideravelmente mais altos e adequados, de acordo com a sua funcionalidade.

A Figura 74 a seguir mostra os valores mínimos de resistência à compressão uniaxial ditadas pelas normativas e a média dos valores encontrados na execução dos ensaios dos protótipos.

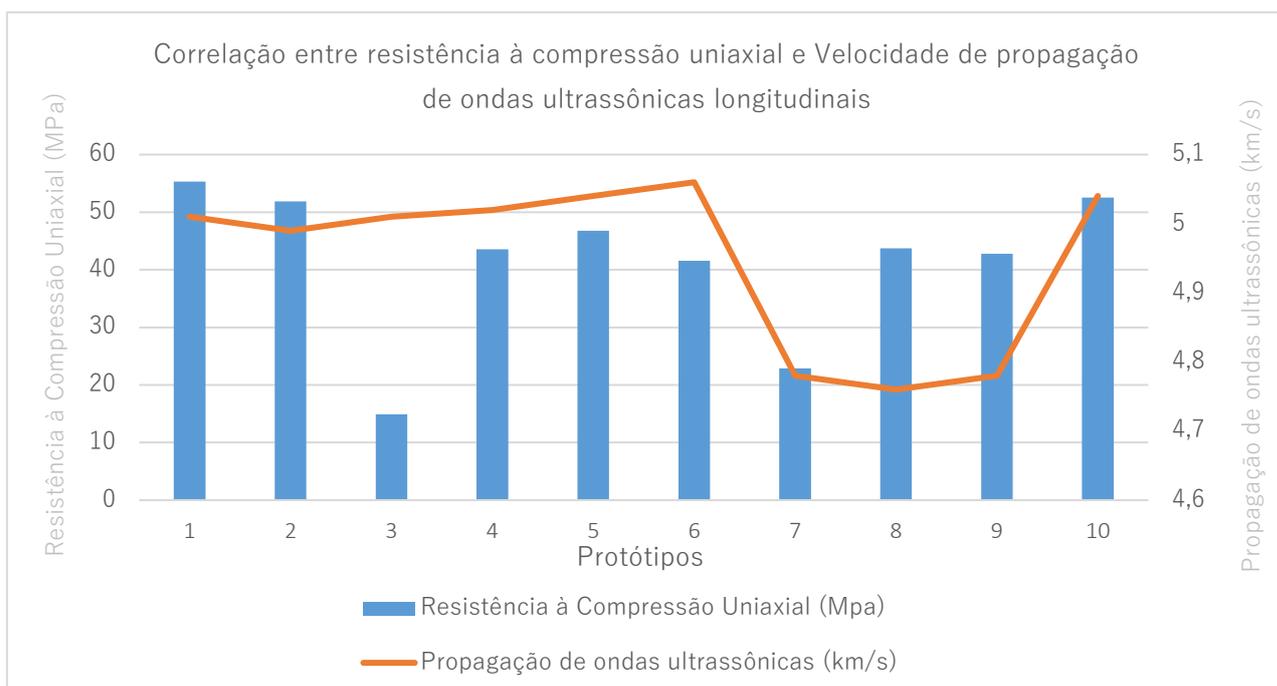
Figura 74: Resistência à Compressão Uniaxial: Correlação de dados das normativas (blocos verticais) e da média dos protótipos (linha horizontal).



Fonte: autora.

Diante dos resultados descritos, a tensão de ruptura dos protótipos mostra-se significativamente inferior aos valores normalizados para rochas graníticas do tipo ornamentais. Apesar da média geral de propagação de velocidade ultrassônica ser 4,9 Km/s e indicar uma boa coesão textural da rocha, assim como a massa específica aparente ($2,53 \text{ g/cm}^3$) ser minimamente menor que o referencial usado, os protótipos não apresentaram a tensão de ruptura esperada de acordo com as normas referentes às rochas ornamentais (Figura 75).

Figura 75: Correlação entre resistência à compressão uniaxial (blocos verticais) e a propagação de ondas ultrassônicas (linha irregular laranja)



Fonte: autora.

Como pode-se observar na Figura 75, os únicos protótipos cuja velocidade ultrassônica mais alta corresponde com o valor de resistência à compressão uniaxial são os números 7 (22,91 MPa e 4,78 km/s) e 10 (52,55 MPa e 5,04 km/s). Para os protótipos 1 e 2, ambos parâmetros se aproximam, porém em 4, 5 e 6 a Vp

ultrapassa os valores de resistência. Já nos protótipos 8 e 9 a resistência de compressão uniaxial foi significativamente mais alta em relação a V_p identificada.

Embora o índice de resistência à compressão uniaxial seja usado para avaliar a qualidade tecnológica da rocha ornamental, é pouco provável que ela seja submetida a tais esforços sob condições normais de uso. Por isso os valores obtidos frente a este requisito, cuja média é 41,29 MPa, são considerados satisfatórios (Figura 74), atendendo a funcionalidade: um elemento modular do tipo cobogó sem a função estrutural, com uso apenas estético e para divisão de espaços.

Este fator é confirmado por Maia e Melo (2018), no estudo sobre um novo bloco vazado, cimentício, fabricado a partir da reciclagem de resíduos (EVA) da indústria de calçados. Em suas verificações sobre a qualidade mecânica, em comparação com cobogós cerâmicos, conclui-se que o artefato atendeu adequadamente aos requisitos estabelecidos, com resistência à compressão maior do que 1,2 MPa. E também comprovado por Costa *et.al* (2022), cuja investigação sobre a substituição do agregado graúdo do concreto pela matéria-prima advinda do resíduo de PET para fabricação de cobogós, alcançou o índice de resistência à compressão uniaxial de 4,07 MPa, equivalente aos encontrados pela norma para blocos vazados de concreto simples para alvenaria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações relacionadas com o contexto do estudo e em comparativo com os objetivos propostos. Em seguida, são apontadas investigações futuras sobre a mesma temática.

A revisão de literatura auxiliou de modo preciso a construção teórica desta pesquisa, abarcando tópicos que permearam o universo das rochas ornamentais, em específico o basalto, o reaproveitamento de materiais residuais de origem rochosa, o processo de beneficiamento AWJ e ainda aspectos do design e arquitetura que envolvem o artefato cobogó.

Este percurso serviu como uma base sólida para o desenvolvimento projetual do elemento modular do tipo cobogó, para a elaboração dos corpos de prova e, posteriormente, dos protótipos. Neste processo observou-se que a íntima relação entre o design de produto, superfície e a arquitetura, pode servir como vetor de valorização para o desenvolvimento de novos produtos.

Contudo, ainda há um desafio em relação à criação de novos artefatos a partir do reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais, visto que a maioria desses materiais possui outra destinação. No entanto, o design pode promover novas formas de produção, aumentando a oferta de artefatos e contribuindo para a inovação no setor.

Em relação aos objetivos propostos, foram satisfatoriamente atingidos, destacando-se os seguintes pontos:

- Como meio de valorizar o material residual rochoso, foram

desenvolvidas duas proposições de elementos modulares do tipo cobogó, com sugestões de design de superfície e aplicações. Os desenhos intitulados “Configuração aplicada a/em cobogó” possuem registro de Desenho Industrial via Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico – UFRGS (SEDETEC).

- Foi realizado um estudo sobre os fundamentos que envolvem o processo produtivo de rochas ornamentais e de revestimento, assim como as especificidades da rocha em estudo, o basalto, possibilitando uma clara compreensão sobre aspectos que envolvem características físicas e mecânicas das rochas.
- Para a averiguação dos melhores parâmetros de usinagem via AWJ, além do uso de referências, primeiramente foram realizados 33 experimentos com distintos parâmetros e espessuras, em corpos de prova na rocha basalto. Um resumo com os parâmetros utilizados consta nas Tabela 14, 15 e 16.
- A apuração dos índices de rugosidade foi realizada seguidamente ao corte AWJ. A identificação do corpo de prova com menor rugosidade foi usada como parâmetro de corte AWJ ideal para rocha ornamental basalto, que posteriormente foram replicados para a confecção dos protótipos. Estima-se que os valores ideais são referentes ao corpo de prova 8, de 20 mm: Pressão: 340 MPa, Velocidade de avanço: 70 mm/min e Vazão mássica de abrasivo: 8 mm.
- A rugosidade da superfície, após o corte com os parâmetros citados

acima, é levemente nervurada, porém sem danos estéticos, pois se confundem com a textura da rocha que tem feições esferulíticas.

- Ao total foram executados 11 protótipos que foram utilizados para a realização dos demais experimentos. Por conta da limitação da disponibilidade de matéria-prima e do período para usar a máquina de corte por jato d'água abrasiva, optou-se por utilizar apenas uma geometria formal (módulo de cobogó 1) e uniformidade na espessura do material.
- Para aferição do material após processo de beneficiamento via AWJ, foi realizada a conferência da Massa Específica Aparente e Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas. Os índices demonstram uma leve queda na qualidade do material, se comparadas aos Relatórios BSC 01/2017, BSC 02/2017 e BSC 01/2018, mas compatíveis com a finalidade proposta.
- Não existem normas técnicas específicas que apontam experimentos e requisitos para blocos vazados (cobogós), de qualquer material, quanto menos em rochas ornamentais.
- Então, a resistência mecânica dos elementos modulares do tipo cobogós, foi avaliada sob duas vertentes: uma que se refere o uso de rocha ornamental do tipo granítica para revestimentos e outra que engloba blocos cerâmicos e cimentícios para alvenaria. Na primeira, cuja análise foi centrada nas normativas NBR 15844: 2015 e ASTM C – 615, os índices encontrados são significativamente menores do que

os citados pelas normas. No entanto, ao que se refere às normas sobre blocos cerâmicos e cimentícios, NBR 15270 – 2: 2005 e NBR 6136: 2016, os valores encontrados estão substancialmente acima do requerido.

- Considera-se que, a partir de todo o procedimento desenvolvido, é possível a produção efetiva de elementos modulares do tipo cobogó com resíduos de basalto, beneficiados via AWJ, agregando valor estético e comercial aos rejeitos da rocha.

Sobre os ensaios mecânicos realizados, é importante considerar que diversas variáveis interferiram no resultado, principalmente a geometria espacial da peça e o índice físico (densidade aparente) da rocha. No entanto, os valores encontrados ultrapassam os padrões estabelecidos pelas Normas Brasileiras Regulamentadoras vigentes, que tratam de blocos cerâmicos e cimentícios, o que permite afirmar que os experimentos obtiveram resultados satisfatórios, visto que o artefato do estudo tem a funcionalidade básica de dividir espaços, garantindo a permeabilidade de luz e ventilação, além do quesito estético.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho foi possível identificar um leque de oportunidade de pesquisas complementares à temática. Neste sentido, destacam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento projetual de revestimentos com o material residual do

corte por jato d'água abrasiva dos elementos modulares do tipo cobogó propostos neste estudo.

- Verificação da resistência à compressão uniaxial após adesão mecânica dos módulos.

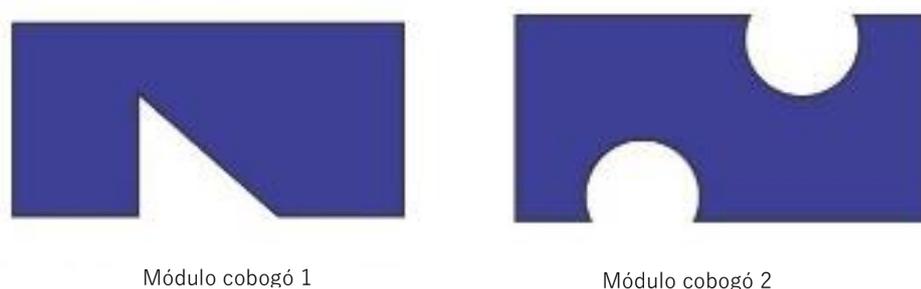
5.1.1 Variações modulares e percentuais de retirada de material

Outro tópico para a implementação de estudos futuros, é realizar experimentações de resistência físico/mecânica, com variações dos módulos desenvolvidos, no software Ábaqus ou Ansys.

A simulação de variabilidade de geometrias, com um percentual de retirada de material maior, permite apurar o comportamento e resistência do basalto em situações de elementos modulares com formas mais vazadas.

Para a elaboração dos desenhos e verificação das áreas e volumes foi usado como recurso gráfico o software livre Sketchup, próprio para a criação de modelos em 3D no computador. Desta forma, utilizou-se como guia os desenhos dos módulos cobogó 1 e 2 (Figura 76). A partir destas geometrias foi possível criar outros elementos modulares, porém com menor volume, mais leves e com mais recortes. Foram geradas 2 alternativas a partir do módulo cobogó 1, e 1 alternativa para o módulo cobogó 2.

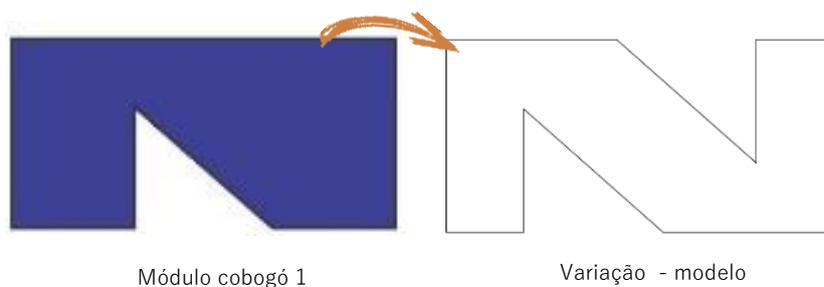
Figura 76: Geometrias dos Módulos cobogó 1 e 2.



Fonte: autora.

Logo, a área total do bloco com o recorte primário (Figura 76 – Módulo cobogó 1) corresponde a 88,48% do volume total, sendo uma área total de 27.650 mm². Para a variação de volume – Modelo 1, foi replicado o desenho triangular no lado oposto do modulo (Figura 77), resultando em um percentual de 76,96%, em comparação com o módulo cobogó 1, e uma área total de 24.050 mm².

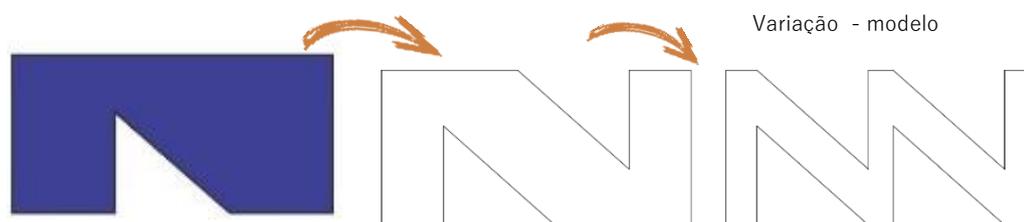
Figura 77: Variação modular 1 – Módulo Cobogó 1.



Fonte: autora.

Para a variação – modelo 2 (Figura 78), o elemento triangular foi replicado mais duas vezes, tornando-se uma forma visivelmente com menor volume, um percentual de 53,92 %, com uma área total de 16.850 mm².

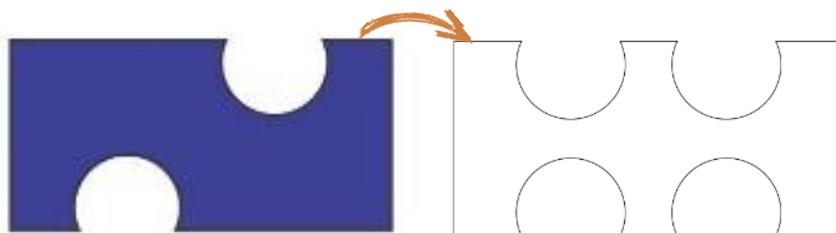
Figura 78: Variação modular 2 –Módulo Cobogó 1.



Fonte: autora.

Para o módulo cobogó 2 foi realizada apenas uma variação, visto que o elemento modular já possui em ambos lados recortes simétricos, assim o modelo proposto ficou com 46,35% de volume e uma área total de 14.485,55 mm² (Figura 79).

Figura 79: Variação Modular - Módulo cobogó 2.



Fonte: autora.

Cabe ressaltar que os valores dos percentuais foram determinados a partir dos desenhos base (módulos cobogós 1 e 2), da repetição da forma, sem alteração da dimensão total do módulo e dos desenhos recortados.

Após a concretização destes desenhos de variação de desenhos dos módulos, sugere-se realizar as simulações no software Ábaqus ou Ansys para verificação de dados sobre a resistência mecânica do artefato com uma quantidade menor de material.

As simulações compreenderiam a construção de uma parede/divisória de aproximadamente 2,70 x 1,00 m (2,70 pois é a altura padrão de pé direito das

edificações). Para esta parede propõem-se o assentamento dos módulos do tipo cobogós em basalto através do uso de cimento – cola ou argamassa do tipo ACII (ambientes internos) ou para espaços externos com incidência direta e constante de luz solar e/ou ambientes mais úmidos, a argamassa do tipo ACIII, ambos com espaçadores em formato de “L” ou “T”.

As espessuras propostas são as disponibilizadas comercialmente: 15 mm; 20 mm, 28 mm e 44 mm. Ressalva-se ainda, que muitas peças nestas espessuras são resíduos, o que possibilita em uma oportunidade de agregar valor e aproveitar o material residual.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-615**: Standard Specification for Granite Dimension Stone. West Conshohocken, 2003.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270-2**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5712**: Blocos vazados modular de concreto. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8995**: Iluminação de ambiente de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.844**: Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.845**: Rochas para revestimento - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.012**: Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2020**. São Paulo: ABIROCHAS, 2020. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-01_2021-Balanc%CC%A7o-2020-1.pdf>. Acesso em: 27. ago.2020.

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Indicadores de tendências no setor de rochas ornamentais**. São Paulo: ABIROCHAS, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/Ardala/Downloads/Indicadores-Tendencias-Setoriais-2021.pdf> Acesso em: 19 abr.2023.

AGUIAR, V.M.; COSTA MASCARENHAS, P.H.; MASCARENHAS, P.S. M. Reaproveitamento de rejeito de corte de granito com adição de concreto para confecção de cobogós e pisos táteis. *In*: IX

CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL EM SÃO BERNARDO DO CAMPO, 9., 2018, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: IBEAS, 2018.

ALBUQUERQUE, J. A. R.; MEDEIROS, L. A.; CHAVES, L. E. M.; MACÊDO, A. J. B.; SANTOS, L. C. M. L. Caracterização Tecnológica para o setor de rochas ornamentais. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 9 ed., 2016, João Pessoa. **Anais** [...]. RJ: CETEM, 2016. p. 456-465.

ALENCAR, C. R. A. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo**: rochas ornamentais. Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim: IEL, 2013.

ALLGAYER, R. **Formas naturais e estruturação de superfícies mínimas em arquitetura**. 2009. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ALVES, L. L. Athos Bulcão em Brasília – do azulejo, do espaço. *In*: SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL -INTERDISCIPLINARIDADE E EXPERIÊNCIAS EM DOCUMENTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO RECENTE, 9, 2011, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: UNB, 2011. Disponível em: <https://www.fundathos.org.br/pdf/124_PB_RA-AthosBulcaoEmBrasilia-ART_Leandro_alves.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.

AMORIM, C. N.; FLORES, A. L. **Edifícios Residenciais das Superquadras do Plano Piloto, Brasília**: Aspectos de Preservação e Conforto Ambiental. Maceió: ENCAC-ELACAC, 2005.

ANM, Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul** – ano base 2017 (2018). Brasília: ANM, 2019.

ÁRAB, P.B.; CELESTINO, T.B. A microscopic study on kerfs in rocks subjected to abrasive waterjet cutting. **Wear**, v. 448-449, p. 1-8, 2020.

AYDIN, G.; KAYA, S.; KARAKURT, I. Utilization of solid-cutting waste of granite as an alternative abrasive in abrasive waterjet cutting of marble. **Journal of Cleaner Production**, v.159, p. 241-247, 2017.

AYDIN, G.; KARAKURT, I.; AYDINER, K. An investigation on surface roughness of granite machined by abrasive waterjet. **Bulletin of Materials Science**, v. 34, p. 985-992, 2011.

BARACHINI, T. Design de Superfície: uma experiência tridimensional. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 5., CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA, 1., 2002, Brasília. **Anais** [...]. DF: [s.n.], 2002. 1CD-ROM.

BARATTO, R. Projeto baseado em economia circular transforma cascas de sururu em cobogó em Alagoas. **ArchDaily**, 2021. Notícias de Arquitetura. ISSN 0719-8906. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/957572/projeto-baseado-em-economia-circular-transforma-cascas-de-sururu-em-cobogo-em-alagoas>> Acesso em: 02 mar.2021.

BARP, D.; NEIS, P. D.; FERREIRA, N. F. Contribuição ao Estudo do Processo de Corte de Água por Jato d'Água em Formas Complexas. **Design e Tecnologia**, Porto Alegre, v.1, p. 102-112, 2010.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**: Guia prático para o design de novos produtos. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2000.

CAMACHO, D. O. J.; SACTH, H. M.; VETTORAZZI, E. De los elementos perforados al cobogó: histórico de uso en la arquitectura brasileira y consideraciones sobre su adaptación al clima. Campinas: **Pesquisa em Arquitetura e Construção (PARC)**, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650237>>. Acesso em: 15 Mai. 2020.

CAMPOS, A.R.; CASTRO, N.F. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA (ENTMME) E VII MEETING OF THE SOUTHERN HEMISPHERE ON MINERAL TECHNOLOGY (MSHMT), 22., 2007, Ouro Preto. **Anais** [...]. Minas Gerais: CETEM, 2007. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2007/CAC00900007.pdf>> Acesso em: 02 mar. 2021.

CHIODI FILHO, C., CHIODI, D. k. **As rochas ornamentais e de revestimento**. Brasília: ABIROCHAS, 2019.

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. k. Tipologia das rochas ornamentais e de revestimento. *In*: CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P. (Org.). **Guia de aplicação de rochas em revestimentos**. 2 ed. rev. atualizada e ampliada. Brasília: ABIROCHAS, 2020. p.36. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Layout-Bula-2020-Final-1.pdf>> Acesso em: 15 out. 2020.

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

COMUNELLO, C. **O Basalto Gaúcho: Das Suas Origens À Economia Regional**. Porto Alegre: EJMINAS, 2016. Disponível em: <<https://www.ejminas.com/basalto-gaucha>>. Acesso em: 24 Ago. 2020.

CORONA, E.; LEMOS, C. A. C. **Dicionário da arquitetura brasileira**. 2ed. SP: Romano Guerra, 2017. DE ABREU, E. P. **Pesquisa geológica e caracterização tecnológica da jazida de riodacito para uso em rocha ornamental e de revestimento em Garibaldi- RS**. 2019. Monografia (Bacharel em

Geologia) - Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ENGIN, I. C. A correlation for predicting the abrasive water jet cutting depth for natural stones. **South African Journal Science**, v. 108, p. 9 -10, 2012.

ETCHEPARE, H. D. **Contribuição ao estudo de seleção de materiais, caracterização e processamento por fresamento em altas velocidades (HSM) no beneficiamento do riocacito (basalto carijó)**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blücher, 1970. 16a reimpressão 2013.

FLOW WATER JET. **O Guia Definitivo sobre Jato de Água**. 2015. Disponível em: <<https://www.flowwaterjet.com.br/Forms/O-Guia-Definitivo>>. Acesso em: 10 set. 2020.

FRACALOSSI, I. Clássicos da Arquitetura: Parque Eduardo Guinle / Lucio Costa. **ArchDaily**, 2011. ISSN 0719-8906. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-14549/classicos-da-arquitetura-parque-eduardo-guinle-lucio-costa>> Acesso em: 17 Jul.2020.

FRASCÁ, M.H.B.O. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento**. 2003. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FRASCÁ, M.H.B.O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1; SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2., 2001, Salvador. **Anais [...]**. R J: CETEM/MCT, 2002. p.148-154.

FRASCÁ, M.H.B.O. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. *In*: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N.F. (Eds.). **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p.153 -257. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1960>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

FRASCÁ, M.H.B.O; RODRIGUES, E.P; PLADÊS, R.J.A. **Orientações para especificação de rochas ornamentais**. Brasília: ABIROCHAS, 2019.

FREITAS, R. O. T. **Design de superfície**: ações comunicacionais táteis nos processos de criação. São Paulo: Blucher, 2011.

GONZATTI, C. **Relatório de Ensaios - BSC 01/2017**. Porto Alegre: UFRGS, 2017. Relatório realizado no Departamento de Mineralogia e Petrologia/UFRGS.

GONZATTI, C. **Relatório de Ensaios - BSC 02/2017**. Porto Alegre: UFRGS, 2017. Relatório realizado no Departamento de Mineralogia e Petrologia/UFRGS.

GONZATTI, C. **Relatório de Ensaios - BSC 01/2018**. Porto Alegre: UFRGS, 2017. Relatório realizado no Departamento de Mineralogia e Petrologia/UFRGS.

GOODWIN, P. **Brazil Builds: Architecture new and old 1652-1942**. New York: The Museum of Modern Art, 1943.

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2014.

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

HAJDAREVIC, D. B. et al. Experimental Study on Surface Roughness in Abrasive Water Jet Cutting. **Procedia Engineering**, vol. 100, p. 394-399, 2015.

HENRIQUES, T.V.L.D. **Corte de rochas com jactos de água de alta pressão**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

IPAR, C. E. A. L. **Critério de avaliação e predição da qualidade de corte de ágata por jato abrasivo de água**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

IPAR, C.E.A.L.; LÉBRON, R.; SOUZA, A.J.; FERREIRA, N.F.; NEIS, P.D. Study of influence of traverse speed and abrasive mass flowrate in abrasive water jet machining of gemstones. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.83, p. 77-87, 2015.

IPHAN, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Inventário da obra de Athos Bulcão em Brasília**. Brasília: IPHAN, 2018.

KARAKURT, I.; AYDIN, G.; AYDINER, K. An Experimental Study on the Depth of Cut of Granite in Abrasive Waterjet Cutting. **Materials and Manufacturing Processes**, v.27, p. 538-544, 2012.

KLÜPPEL, G. P. **A Casa e o Clima: (Trans) Formações da Arquitetura Habitacional no Brasil (Século XVII – Século XIX)**. 2009 Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-

Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LEFTERI, C. **Como se faz**: 92 técnicas de fabricação para design de produtos. São Paulo: Blücher, 2013.

LEITÃO, Francisco (Org.). **Brasília 1960-2010**: passado, presente e futuro. Brasília: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2009.

LESKO, J. **Design Industrial**: Materiais e Processos de Fabricação. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LÖBACH, B. **Design industrial**: bases para a configuração de produtos industriais. São Paulo: E. Blücher, 2001.

MAIA, R.D.A; MELO, A.B. Processo de concepção de componente construtivo: estudo para os blocos vazados cimentícios com resíduos de EVA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.10, n.3, p.08 -22, 2018.

MELLO, I.S.C., CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K. **Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira**. São Paulo: CPRM, 2011.

MENEZES, S. O. **Rochas**: manual fácil de estudo e classificação. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MINUZZI, R.; OLIVEIRA, M. A. A. de. Design de superfície: caminhos e possibilidades entre a arte, a tecnologia e o design. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 8., São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: SENAC, 2008.

MOMBER, A. W.; KOVACEVIC, R. **Principles of Abrasive Water Jet Machining**. 1. ed. London: Springer-Verlag, 1998.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

MOTOKI, A; ZUCCO, L. L; VARGAS,T.; NEVES, J.L.P. Basalto da Serra Gaúcha e sua Relação com o Desenvolvimento Regional. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2., 2004, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Belo Horizonte: UFRRJ, 2004.

NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B., OLIVEIRA, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímicas- estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 38, n.1, p.178- 195, 2008.

NEJELISKI, Danieli; DUARTE, Lauren da Cunha. Valorização das propriedades sensoriais de

materiais de origem vegetal no design de superfície. **Educação Gráfica**, Bauru, v.24, n.1, p. 396-411, 2020.

OLIVEIRA, Adriana Freire de; BAUER, Caroline. Cobogós, textile-block ou módulo? Experimentações de novas estéticas. /n: SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL -INTERDISCIPLINARIDADE E EXPERIÊNCIAS EM DOCUMENTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO RECENTE, 9., Brasília. DF, 2011. Brasília. **Anais** [...]. Brasília: UNB, 2011. Disponível em: <http://www.docomomo.org.br/seminario%209%20pdfs/147_M16_RM-CobogosTextile-ART_adriana_oliveira.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.

OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1998.

PALDÊS, R. J. A. Aproveitamento de rejeitos do processo industrial de rochas ornamentais na arquitetura. /n: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS. 2007, Natal. **Anais** [...]. RJ: CETEM/MCTI, 2008. p.42-53. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1299>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

PALDÊS, R. J. A.; ZAMPIROLI, L.M. **Acabamentos para produtos e ambientes**. Brasília: ABIROCHAS, 2019.

PAULERT, Renata. **Uso de elementos vazados na arquitetura**: Estudo de três obras educacionais contemporâneas. 2012. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PATEL, J.; SHAIKH, A.A. The influence of abrasive water jet machining parameters on various responses - a review. **Internacional Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research (IJMERR)**, Gurjarat, v.4, n.1, 2015.

PRASAD, K. S.; CHAYTANIA, G. A review on current research trends in abrasive water jet machining. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 4, n. 6, jun. 3264-3270, 2017.

REQUENA, G. **Habitar híbrido**: subjetividades e a arquitetura do lar na era digital. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2019.

RIBEIRO, R.C.C.; CORREIA, J.C.G.; MORAES, J.M.; CARANASSIOS, A. **Estudo de Alterabilidade de Rochas Silicáticas para Aplicação Ornamental**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

RINALDI, R. M. **A intervenção do design nas superfícies projetadas**: processos multifacetados e estudos de caso. 2013 Tese (Doutorado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, FAPESP, São Paulo, 2013.

RÜTSCHILLING, E. A. **Design de superfície**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SANTOS, J.B; BARROSO, E.V. Resistência de rochas ornamentais: uma discussão sobre o efeito da

geometria e das dimensões dos corpos-de-prova. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS E SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 1., 2002, Salvador. **Anais [...]**. RJ: CETEM/MCT, 2002.

SCHWARTZ, A. R. D.; NEVES, A. F.; RUTSCHILLING, E. Design de superfície: por uma abordagem geométrica e tridimensional. **Educação Gráfica**, Edição Especial, 2008.

SEGAWA, Hugo (Org.). **Arquiteturas no Brasil**: anos 80. São Paulo: Projeto, 1988.

SILVA, K.R. **Design e tecnologia**: Fabricação de anéis em ágata por corte de jato d'água. 2013 Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SILVEIRA, F.L.; KINDLEIN JR., W.; DUARTE, L.C. Uso de corte por jato d'água no desenvolvimento de superfície tátil em ágata a partir de padrão modular. **Blucher Design Proceedings**, São Paulo, v.1, n.4, p.1830 - 1842, 2014.

SZCZEPANIAK, F.F.; DANCKWARDT, F.; DUARTE, L.C.; ROLDO, L. Desenvolvimento de grids bioinspirados aplicados ao design de gemas e rochas. **Educação Gráfica**, Bauru, v. 23, n.1, p. 248-268, 2019.

TOSCAN, L.; KAUTZMANN, R.M.; SABEDOT, S. O rejeito da mineração de basalto no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul: diagnóstico do problema. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 4, p. 657-662, 2007.

VETORAZZI, E.; SACHT, H.M.; PUNHAGUI, K.R.G.; TEIXEIRA, P.S. Contribuições da arquitetura árabe para os elementos de controle solar da arquitetura brasileira. **Arquitextos**, ano 23. ISSN 1809-6298. 2022. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/23.271/8681>> Acesso em 11 Abr. 2023.

VIDAL, F. W. H. Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimentos. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2003, Fortaleza. **Anais [...]**. RJ: CETEM/SBG, 2003. p.221-229.

VIDAL, F. W. H. Avaliação de granitos ornamentais do Nordeste através de suas características tecnológicas. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. **Anais [...]**. RJ: CETEM/MCT, 2002. p.67-74.

VIDAL F. W. H.; BESSA, M.F.; LIMA, A.B. Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. **Série Tecnologia Mineral**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999.

VIEIRA, A.; BORBA, C.; RODRIGUES, J. **Cobogó de Pernambuco**. 1ª ed. Recife: Josivan Rodrigues, 2012.

VIEIRA, A.Z.; DUARTE, L.C. Reaproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas

ornamentais: o design como ferramenta de valorização. *In*: ENSUS – ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 9., 2021, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: UFSC, 2021. p. 71-82.

VIEIRA, A.Z; DUARTE, L.C. Economia circular: o design como fomento para o reaproveitamento de resíduos de marmorarias. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL E X WORKSHOP: DESIGN & MATERIAIS, 4., 2021, Natal. **Anais** [...]. Natal: 4users, 2022. Disponível em: <http://www.extremooriente.4users.com.br/artigo_vieira_duarte.pdf>. Acesso em: 15 out.2022.

VIDAL, F.W.H.; PINHEIRO, R.P.; CASTRO, N.F; CARNASSIOS, A. Lavra de rochas ornamentais. *In*: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (Eds.). **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. RJ: CETEM/MCTI, 2014. p.153 -257. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1960>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

WILDNER, W. Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná- Conceitos Básicos e divisão faciológica. *In*: REUNIÃO ABERTA DA COMISSÃO BRASILEIRA DE ESTRATIGRAFIA. 2004, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: SBG, 2004. p. 62-77.

YUVARAJ, N.; MURUGESAN, P.K.; MOHAN, M.; KHAN, S. A. L. A. Abrasive Water Jet Machining process: A state of art of review. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 49, p. 271-322, 2020.

ZHANG, S.; YUQIANG, W.; YANLI, W. An Investigation of Surface Quality Cut by Abrasive Water Jet. **The Open Mechanical Engineering Journal**, v. 5, p. 166-177, 2

APÊNDICES

APÊNDICE A: Tabelas com os dados dos ensaios para a execução dos cortes AWJ.

Tabela 14: Combinação de parâmetros de corte – corpos de prova de 20 mm.

CORPOS DE PROVA	PARÂMETROS VARIÁVEIS		
	Pressão (P)	Velocidade de avanço (Vf)	Vazão abrasivo (mA)
1	280	70	6
2	280	70	8
3	280	35	8
4	300	55	7
5	340	35	8
6	340	35	6
7	300	55	7
8	340	70	8
9	300	55	7
10	280	70	6
11	340	70	6

Fonte: autora.

Tabela 15: Combinação de parâmetros de corte – corpos de prova de 28 mm.

CORPOS DE PROVA	PARÂMETROS VARIÁVEIS		
	Pressão (P)	Velocidade de avanço (Vf)	Vazão abrasivo (mA)
1	340	30	6
2	340	65	8
3	300	50	6
4	340	65	6
5	300	30	8
6	320	50	7
7	300	65	8
8	300	65	6
9	320	50	7
10	340	30	8
11	320	50	7

Fonte: autora.

Tabela 16: Combinação de parâmetros de corte – corpos de prova de 44 mm.

CORPOS DE PROVA	PARÂMETROS VARIÁVEIS		
	Pressão (P)	Velocidade de avanço (Vf)	Vazão abrasivo (m³A)
1	320	20	8
2	360	20	6
3	340	30	7
4	320	40	6
5	360	40	6
6	340	30	7
7	320	40	8
8	320	20	6
9	360	40	8
10	340	30	7
11	360	20	8

Fonte: autora.

APÊNDICE B: Tabelas com dados sobre a Rugosidade.

Tabela 17: Dados da rugosidade dos corpos de prova de 20 mm – Ranking por média – do maior ao menor.

Ra				Rq			
Corpo de Prova	Média	Desvio Padrão	Ranking por média	Corpo de Prova	Média	Desvio Padrão	Ranking por média
1	7,88	0,50	1	1	9,52	0,66	1
2	6,83	1,18	6	2	8,14	1,24	7
3	6,05	0,51	9	3	7,27	0,74	9
4	6,61	0,43	8	4	8,04	0,62	8
5	5,89	0,42	10	5	7,11	0,53	10
6	6,95	0,87	5	6	8,59	1,20	4
7	7,63	0,70	2	7	9,36	0,93	2
8	5,80	0,72	11	8	6,94	0,87	11
9	7,07	0,98	3	9	8,81	1,13	3
10	6,99	1,24	4	10	8,52	1,47	5
11	6,79	1,01	7	11	8,35	1,13	6

Fonte: autora.

Tabela 18: Dados da rugosidade dos corpos de prova de 28 mm – Ranking por média – do maior ao menor.

Ra				Rq			
Corpo de Prova	Média	Desvio Padrão	Ranking por média	Corpo de Prova	Média	Desvio Padrão	Ranking por média
1	6,69	1,08	11	1	6,69	1,08	11
2	7,85	1,02	8	2	7,85	1,02	8
3	10,09	2,90	3	3	10,09	2,90	3
4	10,89	2,94	2	4	10,89	2,94	2
5	7,44	1,80	9	5	7,44	1,80	9
6	8,13	0,59	5	6	8,13	0,59	5
7	8,40	2,57	4	7	8,40	2,57	4
8	13,00	0,46	1	8	13,00	0,46	1
9	8,05	1,06	6	9	8,05	1,06	6
10	8,04	3,39	7	10	8,04	3,39	7
11	7,30	0,55	10	11	7,30	0,55	10

Fonte: autora.

APÊNDICE C: Tabelas com aferições de Velocidade de Propagação Ultrassônica e Massa Específica Aparente (MEA)

Tabela 19: Dados Velocidade Ultrassônica dos protótipos.

PROTÓTIPOS	TEMPO (μ /s)	VP (Km/s)	PROTÓTIPOS	TEMPO (μ /s)	VP (Km/s)
1	AA'	48,9	6	AA'	49,4
	BB'	24,4		BB'	24,4
	CC'	3,4		CC'	3,4
2	AA'	49,5	7	AA'	51,6
	BB'	24,9		BB'	26,4
	CC'	3,4		CC'	3,9
3	AA'	49,4	8	AA'	52,3
	BB'	24,9		BB'	25,8
	CC'	3,4		CC'	3,9
4	AA'	49,4	9	AA'	51,8
	BB'	24,9		BB'	26,4
	CC'	3,4		CC'	3,9
5	AA'	48,4	10	AA'	48,9
	BB'	24,4		BB'	24,4

Fonte: autora.

Tabela 20: Tabela com aferições de Massa Específica Aparente dos protótipos

PROTÓTIPOS	VOLUME	MEA (g/cm^3)
1	515,625	2,58
2	467,285	2,57
3	467,285	2,57
4	475,58	2,53
5	456,225	2,63
6	472,815	2,54
7	517,055	2,48
8	514,843	2,43
9	515,672	2,46
10	466,732	2,55

Fonte: autora

ANEXOS



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE MARCAS, DESENHOS INDUSTRIAIS E INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS

CERTIFICADO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL
BR 302022005093-8

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.

(21) Número do Depósito: BR 302022005093-8

(22) Data do Depósito: 19/09/2022

(45) Data de Concessão: 08/11/2022

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

(30) Prioridade Unionista:

(54) Título: CONFIGURAÇÃO APLICADA A/EM COBOGÓ

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

(72) Autor: ARDALLA ZIEMBOVICZ VIEIRA; LAUREN DA CUNHA DUARTE.

Prazo de Validade: 10(dez) anos contados a partir de 19/09/2022, mediante o recolhimento da taxa quinquenal de manutenção (Artigos 119 e 120 da LPI) e observadas as demais condições legais.

Registro Concedido em: 08/11/2022

Expedido em: 08 de Novembro de 2022

Assinado digitalmente por:
Denise Thiengo Santos
Chefe de Seção - Portaria Nº 800/2016

RELATÓRIO DESCRITIVO

Configuração aplicada em cobogó

O presente relatório descritivo faz referência às fotografias, anexas, assim indicadas:

Figura 1.1 – Perspectiva

Figura 1.2 – Vista anterior

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



Figura 1.1 – Perspectiva



Figura 1.2 - Vista anterior



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 ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE MARCAS, DESENHOS INDUSTRIAIS E INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS

CERTIFICADO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL
BR 302022005095-4

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.

(21) Número do Depósito: BR 302022005095-4

(22) Data do Depósito: 19/09/2022

(45) Data de Concessão: 08/11/2022

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

(30) Prioridade Unionista:

(54) Título: CONFIGURAÇÃO APLICADA A/EM COBOGÓ

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

(72) Autor: ARDALLA ZIEMBOVICZ VIEIRA; LAUREN DA CUNHA DUARTE.

Prazo de Validade: 10(dez) anos contados a partir de 19/09/2022, mediante o recolhimento da taxa quinquenal de manutenção (Artigos 119 e 120 da LPI) e observadas as demais condições legais.

Registro Concedido em: 08/11/2022

Expedido em: 08 de Novembro de 2022

Assinado digitalmente por:
Denise Thiengo Santos
Chefe de Seção - Portaria Nº 800/2016

RELATÓRIO DESCRITIVO

Configuração aplicada em cobogó

O presente relatório descritivo faz referência às fotografias, anexas, assim indicadas:

Figura 1.1 – Perspectiva

Figura 1.2 – Vista anterior

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



Figura 1.1 – Perspectiva



Figura 1.2 - Vista anterior



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