UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ESTUDO COMPARATIVO DOS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA EM ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTOS RESINADAS E NÃO RESINADAS

Fernando Antonio Castelo Branco Sales

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO

Tese de Doutorado junto ao Programa
de Pós-Graduação em Geologia Linha
de Pesquisa em Geodinâmica e
Recursos Minerais

Fortaleza –CE
2012

Estudo Comparativo dos Parâmetros de Caracterização Tecnológica em Rochas Ornamentais e de Revestimentos Resinadas e não Resinadas

Fernando Antonio Castelo Branco Sales

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação
em Geologia da Universidade Federal do Ceará-
UFC Centro de Ciências Departamento de
Geologia Linha de Pesquisa em Geodinâmica e
Recursos Minerais

Área de Concentração: Geologia
Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Fortaleza
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S155e Sales, Fernando Antonio Castelo Branco.
Estudo comparativo dos parâmetros de caracterização tecnológica em rochas ornamentais e de revestimentos resinadas e não resinadas / Fernando Antonio Castelo Branco Sales. – 2012.
174 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2012.
Orientação: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.

1. Rochas ornamentais. 2. Resina. 3. Caracterização tecnológica. I. Título.
CDD 551

FERNANDO ANTONIO CASTELO BRANCO SALES

Estudo Comparativo dos Parâmetros de Caracterização Tecnológica em Rochas Ornamentais e de Revestimentos Resinadas e não Resinadas

Tese submetida à coordenação do programa de Pós- Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de doutor em Geologia. Linha de pesquisa: Geodinâmica e Recursos minerais.

Aprovado em _______/___________/_________

BANCA EXAMINADORA

Dr. José de Araujo Nogueira Neto

Dra. Irani Clezar Mattos

DR. Antonio Carlos Arthur

Dra. Maria Angélica Batista de Lima

Dra. Maria de Fátima Bessa Torquarto

Aos trabalhadores do setor mineral que, mesmo detentores do conhecimento que orienta suas práticas, continuam à margem do usufruto das riquezas que produzem.

AGRADECIMENTOS

Em mais um momento importante de minha qualificação profissional, gostaria de compartilhá-lo com todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para sua realização.

Inicialmente, agradeço a minha família, fonte onde sempre busco inspirações e forças para vencer os desafios a que me proponho.

Ao orientador Professor Dr. José Nogueira Neto pelas orientações, críticas e sugestões sempre pertinentes que enriqueceram esta pesquisa.

Ao professor Dr. Antonio Carlos Artur, pela importante colaboração técnica, pelos debates relacionados ao tema da pesquisa e por sua amizade.

Ao professor Dr. Joaquim Raul Torquarto, por seu apoio nos ensaios realizados no NUTEC, e sugestões com relação ao desenvolvimento da pesquisa.

A Dra. Maria de Fátima Bessa, que colaborou tecnicamente para o aprimoramento desta tese.

Ao Doutorando e amigo Geólogo Francisco Diones Oliveira Silva, por sua valiosa contribuição na realização do ensaio de análise colorimétrica e tabulação dos dados desta tese.

Ao graduando em Geologia Agnaldo por sua contribuição na formatação do texto da tese.

Aos Colegas de turma do doutorado, pelo convívio e amizade que mantivemos durante todo este tempo de estudo e pesquisa.

A Universidade Estadual do Ceará- UECE, que dentro de suas ações de qualificação do seu corpo técnico, não mediu esforços para minha liberação para dedicação exclusiva ao doutorado.

A Universidade Federal do Ceará- UFC, que através do seu programa de pós-graduação, tem, cada vez mais, atendido aos anseios da sociedade.

Aos que fazem o Núcleo de Tecnologia do Ceará- NUTEC, por todo apoio laboratorial na realização dos ensaios e análises.

Ao projeto PROCAD-NF 2008 da Universidade Federal do Ceará- UFC, por ter dado suporte financeiro ao desenvolvimento das analises tecnológicas e radiométricas na Universidade Estadual Paulista em Rio Claro-SP.

Aos profissionais do laboratório de Rochas ornamentais do DPM/IGCE – UNESP de Rio Claro pelo apoio no ensaio da taxa de exalação do gás radônio.

Ao Sr. Francisco de Assis Gonçalves Silveira, Diretor Executivo da Granitos do Nordeste S.A- GRANOS empresa que esteve sempre de portas abertas, nos fornecendo todo o material de pesquisa (amostras, resina), além de disponibilizar funcionários para nos atender no que fosse necessário, visando o bom desenvolvimento dos trabalhos.

Ao Sr. Fernando Gurgel diretor da empresa Okita Mineração Ltda, que gentilmente disponibilizou seu laboratório de química para a realização do ensaio de análise colorimétrica.

RESUMO

Por intermédio de análises e ensaios de caracterização tecnológica realizados em amostras resinadas e não resinadas de rochas ornamentais, com características geológicas e estruturais distintas, buscou-se verificar a eficácia da resina no tocante a resistência física e mecânica dessas rochas, bem como avaliar a redução dos efeitos dos agentes que produzem alterações e patologias nas mesmas, e na exalação do gás radônio. A investigação desta pesquisa foi focada em três tipos de rochas: a primeira representada por um granito comercialmente denominado Branco Nevasca, que constitui uma rocha isotrópica com pouco grau de fraturamento, textura equigranular e granulação de média a fina; a segunda um granada-biotita-musvovita grosseiramente gnaissificado, granulação grosseira,apresentando lineações e foliações com elevada presença de minerais micáceos, denominado Casa Blanca; e, a terceira uma rocha vulcânica, com nome comercial *Wood Stone*, material considerado exótico em função de sua heterogeneidade textural, com alto grau de fissuramento, possuindo granulação muito fina. Após os resultados dos ensaios e análise, os mesmos foram correlacionados e avaliada a eficácia da resina, sendo constatado que a mesma produz melhoras significativas na resistência física e mecânica dessas rochas, especialmente no tocante aos índices de porosidade e de absorção d'água, que são a porta de entrada dos agentes causadores de alterações e gerações de patologias, nas rochas ornamentais e de revestimento. Também demonstrou eficiência na redução da exalação do gás radônio A pesquisa mostrou que materiais com uso restrito, ou mesmo inadequado a certos ambientes, em função de sua resistência física e mecânica, com o uso da resina os mesmos poderiam ser utilizados sem restrições. A importância de se realizar ensaios nos materiais cuja comercialização é feita com uso de resina, ficou evidenciada devido às alterações, muitas vezes significativas, nos parâmetros dos resultados de caracterização tecnológica, os quais servem de referência na especificação adequada de uso dos materiais utilizados como revestimento ou ornamental nas obras de construção civil. A porosidade aparente e a absorção d'água foram reduzidas em 90,7% e 91,46%, respectivamente, após os materiais serem resinados.

Palavras-chaves: Rochas ornamentais e de revestimentos. Resina. Caracterização tecnológica

ABSTRACT

For intermediate analysis and technological characterization tests conducted on samples of resinated and non-resinated rocks with distinct structural and geological characteristics, we sought to verify the effectiveness of the resin with respect to physical and mechanical resistance of these rocks, as well as evaluating the reduction of agents that produce the same changes and pathology. The investigation of this research has focused on three types of rocks: the first refers to a commercially called White granite Blizzard, which is an isotropic rock with some degree of fracture, equigranular texture and average grain size of the fine and the second was represented petrographically for a garnet-biotite-musvovita roughly gnaissificado, commercially known as Casa Blanca, having a coarse-grained, with lineations and foliations with a high presence of micaceous minerals, and the third is a volcanic rock, trade name Wood Stone, material considered exotic because of their textural heterogeneity, with a high degree of fissuring, having very fine grain. After the results of tests and analysis, they were correlated and evaluated the effectiveness of the resin, being featured in that it produces significant improvements in physical and mechanical resistance of these rocks, especially regarding the levels of porosity and water absorption, which are the gateway of the causative agents of change and generations of pathologies in ornamental and coating. Research has shown that materials with restricted use, or even inappropriate to certain environments, due to its physical and mechanical resistance, using the resin, the same could be used without restrictions. The importance of testing materials whose marketing is made using resin was evident due to changes often significant parameters of the results of characterization of technology, which serve as reference in the specification suitable for use as coating materials or ornamental, the construction works.The apparent porosity and water absorption were reduced by 9, 7% and 91.46% respectively after the material is resin.

Keywords: Ornamental and coatings. Resin. Technological characterization

SUMÁRIO

Ìndice.. ii
Índice de Figuras.. v
Índice de Fotos... vi
Índice de Gráficos... viii
Índice de Tabelas.. ix
Índice de Pranchas... x
Resumo...
Abstract...
1. INTRODUÇÃO... 01
2. ROCHAS ORNAMENTAIS: CADEIA PRODUTIVA.................................... 05
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A RESINA EPÓXI.. 29
4. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.. 42
5. MATERIAL E MÉTODOS... 57
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.. 73
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.. 128
REFERÊNCIA
ANEXOS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.. 01

1.1 Abordagem da Tese... 01

1.2 Justificativa... 02

1.3Objetivo... 04

2.ROCHAS ORNAMENTAIS: CADEIA PRODUTIVA.................................. 05

2.1Considerações Iniciais.. 05

2.2Lavra.. 07

2.2.1Métodos de Lavra.. 08

2.2.1.1Lavra em Flanco de Encosta... 08

2.2.1.2Lavra em Fossa.. 09

2.2.1.3Lavra em Poço... 09

2.2.1.4Lavras em Bancadas.. 10

2.2.1.4.1Bancadas Baixas.. 10

2.2.1.4.2Bancadas Altas.. 11

2.2.1.5Lavra Subterrânea.. 12

2.2.1.6Lavra por Desmoronamento.. 12

2.2.2Tecnologia de Corte... 13

2.2.2.1Fio Helicoidal... 14

2.2.2.2*Jet Flame*.. 15

2.2.2.3Cortadora a Corrente Diamantada... 15

2.2.2.4Jato d'Água.. 16

2.2.2.5Fio Diamantado.. 16

2.2Serragem.. 20

2.3Polimento... 23

2.4Acabamento.. 24

2.5Mercado de Rochas Ornamentais.. 25

3.CONSIDERAÇÕES SOBRE A RESINA EPÓXI.. 29

3.1Introdução.. 29
3.2Características da Resina Epóxi.. 34
3.3Métodos de Aplicação da Resina.. 37
    3.3.1Limpeza as Superfície da Chapa.. 37
    3.3.2Aquecimento das Chapas.. 38
    3.3.3Concentração da Solução... 38
4.CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.. 42
4.1Considerações Iniciais.. 42
4.2Análise Petrográfica.. 45
4.3Índices Físicos (Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'Água..................... 45
4.4Resistência à Compressão Uniaxial.. 47
4.5Módulo de Ruptura (Flexão por Carregamento em Três Pontos e Quatro Pontos)....................... 48
4.6Resistência ao Impacto de Corpo Duro... 49
4.7Resistência ao Desgaste Amsler... 49
4.8Resistência ao Congelamento e ao Degelo... 50
4.9Coeficiente de Dilatação Térmica Linear.. 50
4.10Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas.. 51
4.11Medição da Intensidade deBrilho.. 51
4.12Análise Colorimétrica.. 52
4.13Taxa de Emanação de Radônio.. 53
5.MATERIAL E MÉTODOS.. 57
5.1Revisão Bibliográfica... 60
5.2Trabalho de Campo- Coleta de Amostras.. 60
5.3Trabalho de laboratório.. 60
    5.3.1Preparação dos corpos de Prova... 60
    5.3.2Ensaios e Análises Realizadas... 61
5.4Resultados e Discussões.. 72
5.6Conclusões e Sugestões... 72

6.RESULTADOS E DISCUSSÕES.. 73

6.1Análise Petrográfica.. 73

6.1.1*Wood Stone*.. 73

6.1.2Branco Nevasca... 76

6.1.3Casa Blanca.. 79

6.2Velocidade de propagação de Ondas Longitudinais... 82

6.3Índices Físicos.. 83

6.3.1Densidade Aparente.. 84

6.3.2Porosidade Aparente... 85

6.3.3Absorção d'Água.. 87

6.4Resistência ao Impacto de Corpo Duro... 88

6.5Resistência ao Desgaste Amsler.. 91

6.6Resistência à Compressão Uniaxial... 95

6.7Módulo de Ruptura (Flexão por Três Pontos).. 98

6.8Coeficiente de Dilatação Térmica Linear... 99

6.9Determinação da intensidade de Brilho.. 100

6.10Análise Colorimétrica.. 105

6.11Taxa de Emanação de Radônio.. 117

7.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.. 128

REFERÊNCIAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Peça de fio diamantado e detalhe das pérolas Fonte:DIAMANT BOAT,2005	17
Figura 2.2	Demanda da produção do mercado brasileiro 2000-2011 (Fonte: ABIROCHAS 2011)	26
Figura 2.3	Produção 2011 e participação de cada tipo de rocha (Fonte: ABIROCHAS)	27
Figura 5.1	Coordenadas no sistema CIELAB L*, a*, b*. Fonte: BYGardner	71
Figura 6.1	mostra a micração do radônio numa rocha após a desintegração do rádio (fonte: TANNER 1980; In: MOURA 2005)	122

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 2.1	Ilustração de uma frente de lavrado granito *Wood Stone,* em flanco de encosta com declividade em torno de 45º (Fonte:Autor)	08
Foto 2.2	Pedreira do granito Branco Nevasca, mostrando cava com rampas ascendentes para escoamento dos blocos (Fonte:Autor)	09
Foto 2.3	Pedreira granito Kashimir, com abertura de frente de lavra por meio de bancadas baixas (Fonte: Autor)	10
Foto 2.4	Lavra em bancadas alta em degrau único pedreira Branco Ceará (Fonte: Autor)	11
Foto 2.5	Lavra bancada alta em múltiplos degraus pedreira Branco Ceará (Fonte :Autor)	11
Foto 2.6	Pedreira granito Red Dragon, mostrando o tombamento do volume primário na "cama ou colchão" lavra de bancada a alta (Fonte: Autor)	12
Foto 2.7	Ilustração da perfuração do furo horizontal com fundo furo, pedreira *Wood Stone* (Fonte: Autor)	17
Foto 2.8	Ilustra colocação de polias-guia de acordo com a direção do corte, pedreira granito Branco Ceará (Fonte: Autor)	18
Foto 2.9	Máquina de fio montada no trilho, pedreira granito Branco Ceará(Fonte: Autor)	19
Foto 2.10	Tear à base de Lâminas de aço, usado para serrar blocos de rochas ornamentais, utilizando blocos menores para compor a carga da serragem, foto tirada Na GRANOS- Granitos do Nordeste (Fonte:Autor)	21
Foto 2.11	Tear multifio alta tecnologia de corte de rocha	23
Foto 2.12	Polidora multicabeças da GRANOS, para polimento de chapas de rochas ornamentais (Fonte: Autor)	24
Foto 2.13	Peças produzidas na Marmoraria, JB Mármores e granitos, após o corte das chapas (Fonte: Autor)	25
Foto 3.1	Extração a fio diamantado de um material exótico altamente fraturado. Pedreira do granito *Wood Stone* (Fonte: Autor)	29
Foto 3.2	Resinagem do bloco em virtude da intensidade de fraturamento, para suportar esforço provocado na serragem. À direita bloco não resinado; à esquerda, bloco do mesmo material resinado	30

Foto 3.3	Linha de resinagem de chapa sistema a vácuo, Empresa GRANOS (Fonte: Autor).	40
Foto 3.4	Forno utilizado pela Granos para apressar a cura, que é a secagem da mistura resina e catalizador. (Fonte: Autor)	41
Foto 5.1	Granito Branco Nevasca, mostrando textura isotrópica (Fonte: Autor).	57
Foto 5.2	Granito Casa Blanca, mostrando textura gnáissica (Fonte: Autor).	58
Foto 5.3	Granito *Wood Stone*, com seu padrão exótico (Fonte: Autor).	58
Foto 5.4	Equipamento do NUTEC, utilizado para determinar a resistência ao impacto de corpo duro (Fonte: autor)	64
Foto 5.5	Equipamento do NUTEC, utilizado para calcular a aferição da espessura das amostra antes e após o ensaio de desgaste Amsler (Fonte: Autor).	66
Foto 5.6	Máquina do NUTEC,utilizada para calculo do Desgaste AMSLER em amostras de rochas ornamentais(Fonte: Autor).	67
Foto 5.7	Aparelho utilizado para medição do índice de cor (Fonte: Autor)	71
Foto 6.1	Amostras do *Wood Stone* exibindo faixas alteradas em virtude da percolação de água com óxido de ferro. Margem esquerda, material resinado; margem direita material em estado natural (Foto: Autor	73
Foto 6.2	Imagem mostrando a granulação equigranular do Branco Nevasca. Margem esquerda ,material sem resina; margem direita, material resinado.(Fonte:Autor)	76
Foto 6.3	Imagem mostrando textura inequigranular com variação de coloração de branco a castanho- claro. Margem esquerda, sem resina; margem direita, material resinado(Fonte: Autor).	79
Foto 6.4	Granito *Wood Stone* não resinado, rompendo ao longo das fraturas (Fonte: Autor).	90
Foto 6.5	O rompimento do corpo de prova resinado ocorreu em direção Perpendicular ao plano de maior fraqueza da rocha (Fonte: Autor).	91
Foto 6.6	Medição de brilho da resina antes e após ataque com os ácidos	105
Foto 6.7	Efeito do ácido cítrico na variação total de cor do granito *Wood Stone* em seu estado natural	108
Foto 6.8	Casa Blanca natural à esquerda e resinado à direita (fonte:Autor)	109
Foto 6.9	Wood Stone natural à esquerda e resinado à direita (Fonte :Autor)	109

ÍNDICES DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 Correlação densidade aparente X porosidade aparente e absorção d'água (Fonte: Autor). 84

Gráfico 6.2 Correlação entre densidade aparente e microfisuras (Fonte : Autor). 85

Gráfico 6.3 Correlação entre porosidade aparente e microfissuras (Fonte: Autor). 86

Gráfico 6.4 Correlação entre porosidade aparente e velocidade de ondas ultrassônicas (Fonte:Autor). 87

Gráfico 6.5 Absorção d’água correlacionada com as microfissuras (Fonte: Autor). 88

Gráfico 6.6 Correlação entre a resistência ao impacto de corpo duro com as microfissuras (Fonte: Autor). 89

Gráfico 6.7 Correlação entre resistência ao Impacto de corpo duro e porosidade aparente (Fonte: Autor). 89

Gráfico 6.8 Correlação entre desgaste Amler e composição mineralógica (Fonte: Autor). 92

Gráfico 6.9 Correlação entre desgaste Amsler e microfissuras. (Fonte: Autor). 92

Gráfico 6.10 Correlação entre desgaste Amsler e porosidade aparente (Fonte: Autor). 93

Gráfico 6.11 Correlação entre densidade e tipos de contatos entre os minerais. (Fonte: Autor). 93

Gráfico 6.12 Correlação da resistência á compressão uniaxial com a orosidade aparente (Fonte: Autor). 96

Gráfico 6.13 Correlação da resistência à compressão uniaxial com a velocidade de propagação de ondas.(Fonte: Autor). 97

Gráfico 6.14 Correlação entre módulo de ruptura com microfissuras(Fonte: Autor). 98

Gráfico 6.15 Módulo de ruptura com porosidade aparente (Fonte: Autor). 98

Gráfico 6.16 Módulo de ruptura correlacionado com a velocidade de ondas(Fonte:Autor). 99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Alguns agentes de cura para resina Epóxi (KOTASEK 2003) 35

Tabela 3.2 Proporção de resina X agente de cura. 39

Tabela 4.1 Normas e Ensaios de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais 44

Tabela 4.2 Requisitos para “granitos”. Norma ABNT NBR 15844 44

Tabela 4.3 (A) ISTM (1977) (B) ISTM (1978) 48

Tabela 5.1 Reagente e produtos usados no cotidiano 72

Tabela 6.1 Sintese das principais propriedades petrgráficas dos materiais estudados (Fonte:Autor) 82

Tabela 6.2 Resultados da velocidade de propagação de ondas longitudinais nas amostras resinadas e não resinadas (Fonte: Autor) 83

Tabela 6.3 Comparação dos resultados dos valores obtidos no ensaiode o desgaste Amsler nas amostras resinadas e não resinadas (Fonte: Autor). 95

Tabela 6.4 Valores medidos em relação ao brilho das placas polidas antes e após ataque químico 101

Tabela 6.5 Percentual de Perda de Brilho do Granito Branco Nevasca Natural e Resinado após Ataque Químico dos Ácidos 102

Tabela 6.6 Percentual de Perda de Brilho do granito Casa Blanca natural e Resinado após Ataque Químico dos Ácidos 103

Tabela 6.7 Percentual de Perda de Brilho do Granito *Wood Stone* Natural e Resinado após Ataque Químico dos Àcidos 103

Tabela 6.8 Valores da intensidade de brilho da resina antes e após ataque com os ácidos 105

Tbela 6.9 Dados do espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) 107

Tabela 6.10 Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido clorídrico (HCl) 110

Tabela 6.11 Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido cloreto de amônia (NH_4Cl) 112

Tabela 6.12 Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido hidróxido de potássio (KOH) 114

Tabela 6.13 Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido hipoclorito de sódio (NaClO) 116

Tabela 6.14 Dados da taxa de exalação de radônio 118

Tabela 6.15 Concentração de Urânio Tório e Potássio 119

Tabela 6.16 Relação entre o ^{222}Rn gerado e o efetivamente exalado da rocha 123

Tabela 6.17 Simulação da quantidade de ^{222}Rn exalado pelas rochas utilizadas como revestimento em um ambiente padrão fechado (tipo salão) 125

Tabela 6.18 Resumo dos resultados dos ensaios e análises realizadas nas amostras resinadas e não resinadas dos materiais pesquisados e a comparação entre esses resultados (Fonte: Autor) 127

ÍNDICES DE PRANCHAS

Prancha 6.1 A)(B)(E) Fotomicrografia exibindo textura traquitica, sendo evidenciada uma pequena orientação dos cristais de feldspato potássico. Mostra, ainda, a alta concentração de microfissuras presente na rocha . (C)(D)(F) Fotomicrografia mostrando cristais de opacos entre as microfissuras. (G)(H) Fotomicrografia exibindo interação dos cristais opacos com os feldspatos potássicos, alterando os cristais e suas bordas.(Fonte: Autor). 75

Prancha 6.2 A)(B)(C)(D) Fotomicrografia mostrando relação de contatos serrilhados, côncavo-convexos e planos entre os grão minerais. (C)(E)(F)(G)(H) fotomicrografia mostrando a ocorrência de grau de alteração mais alto entre os cristais de feldspato e plagioclásio. (E) Ocorrência do muscovita primaria e secundária (Fonte:Autor). 78

Prancha 6.3 (A)(B)(F) Fotomicrografia mostrando contatos do tipo serrilhado e côncavo-convexos com preenchidas por alteração dos minerais de biotita. (C)(D) Ocorrência de plagioclásio, mostrando grau de alteração incipiente destes e em (E) exibe cristais de muscovita e biotita mostrando alteração mais alta do que os demais minerais. (G)(H) Apresentam uma composição de minerais com grande variação de tamanhos e forma (Fonte: Autor). 81

1. INTRODUÇÃO

1.1. Abordagem da Tese

O enfoque desta pesquisa é a realização de um conjunto de ensaios e análises laboratoriais de três litotipos, em amostras resinadas e não resinadas, visando estabelecer comparação entre os resultados obtidos, com o intuito de avaliar a eficiência da resina na proteção com relação à resistência físico-mecânica e deterioração sofrida por essas rochas, mediante ação de forças externas e do ambiente a que serão expostas.

Nesta pesquisa é feito um histórico sobre o uso da resina sintética que possui diversos tipos de aplicações, porém enfatizou-se a sua utilização nas rochas ornamentais. Tal histórico inclui algumas considerações sobre o tipo e característica da resina utilizada, ressaltando-se sua importância para o setor de rochas ornamentais, uma vez que nos últimos anos é cada vez mais utilizada em sua cadeia produtiva, tanto na extração, mediante a resinagem de blocos, como na etapa de polimento das chapas após a serragem, sendo esta última de modo mais intenso.

Apresenta-se, também, uma consideração geral sobre o conceito de rocha ornamental e descreve-se as etapas que esses materiais rochosos passam desde a extração até suas aplicações nas obras, mostrando as técnicas e métodos utilizados no processo produtivo, enfatizando-se os avanços tecnológicos, especialmente a utilização do fio diamantado e da resina.

Ressalta-se, ainda, a importância da caracterização tecnológica para especificação de uso adequado nas obras, permitindo que materiais, desta natureza, quando aplicados em ambientes propícios, possam exercer suas funções por maior tempo, sem perda de suas qualidades. Para tanto, se faz um relato sobre os principais ensaios e análises de caracterização, realizados em materiais utilizados como rochas ornamentais e de revestimento.

Como conclusão da pesquisa, são expressos os resultados dos ensaios realizados nas amostras resinadas e não resinadas, estabelecendo uma comparação entre eles, e quando possível quantificando a eficácia da resina nos resultados.

1.2. Justificativa

As inúmeras mudanças de profundidades, pressões, tensões térmicas, e de oxidações, dentre outras variações, que estão ocorrendo ao longo do tempo geológico sobre os materiais rochosos, proporcionam as associações e orientações das mais diversas espécies minerais, sendo responsáveis pela origem e formação da grande variedade das rochas sedimentares, metamórficas e ígneas, as quais são utilizadas ao longo dos anos nos setores da Engenharia Civil e Arquitetura como rochas ornamentais e de revestimento, em função de sua estética, consistência, resistência e durabilidade.

Todas essas variações, produzidas por via de fenômenos físicos, químicos e biológicos, vão sendo registradas nas rochas, desde o período de sua formação até os dias atuais, possibilitando que cada rocha exprima propriedades e características próprias, que interferem diretamente no comportamento de sua resistência aos desgastes e degradações que lhes são impostas.

Sendo assim, as rochas, com o passar do tempo, tendem a seguir um processo de alteração, degradação ou decomposição cuja intensidade está diretamente relacionada à sua composição mineralógica, à estrutura e ao ambiente sob o qual está submetida, sendo estes percebidos de modo mais intenso quando expostos à ambientes externos, são as chamadas patologias.

A perda de brilho e alteração da cor original são formas de deterioração que afetam a estética da rocha, porém, processos de alteração mais intensos ensejam redução da sua resistência mecânica e durabilidade, ocasionando prejuízos e riscos acidentais. As degradações ocorrem por processos naturais, em função do próprio material, ou podem ser geradas e intensificadas por intervenções do homem, especialmente quando são aplicadas de forma inadequada.

Nos últimos anos, várias fachadas e pisos de prédios revestidos com rochas passaram a apresentar patologias, geradas em função da especificação inadequada dos materiais rochosos, que apresentavam características, físicas e mecânicas não compatíveis com o ambiente ao qual foram expostas; ambientes estes que geralmente estão sujeitos à ação dos agentes de intempéries e, portanto, submetidos à ação de chuvas, vento, variações de temperatura, contaminações atmosféricas, dentre outros fatores que acarretam a degradação e decomposição dos materiais rochosos.

Desta forma, torna-se um fator indispensável para o uso e aplicabilidade de rochas ornamentais definir bem os parâmetros de caracterização tecnológica, pois só assim é possível retardar, por um período mais longo, as alterações e degradações, que são inevitáveis, possibilitando que a rocha mantenha sua qualidade, justificando o custo e a viabilidade econômica do empreendimento.

Diferente de produtos industrializados, nos quais a ação humana pode interferir e direcionar a formação do produto de acordo com suas necessidades e interesses, a formação de uma rocha não recebe interferência nem ingerência da ação humana, sendo um processo totalmente natural. O que ocorre nos materiais pétreos é o uso e aplicação de determinados produtos, visando melhorar as suas qualidades estéticas ou físico-mecânicas para torná-los cada vez mais atraentes na disputa comercial com produtos semelhantes, especialmente os cerâmicos. Com efeito, o uso de polímeros (resina) mostra-se bastante eficaz para proteger, reforçar e torná-las mais belas, além de não exigir tecnologia complexa na sua aplicação, e exibir uma relação custo/ benefício vantajosa.

Na comercialização de chapas de rochas ornamentais para exportação, o uso de resina está se tornando cada vez mais indispensável, sendo utilizada para corrigir os altos índices de porosidade e absorção d’água, aumentando a resistência mecânica e melhorando suas qualidades estéticas, enaltecendo o brilho e a cor dos materiais.

As empresas que atuam com serragem de blocos e polimentos de chapa, hoje em dia, fazem uso da resina nesses processos, em função do benefício final que traz aos produtos, e as que atuam na extração de materiais exóticos, materiais com alto concentração de fraturamentos, especialmente os quartzitos, a resinagem de blocos está sendo realizada já no local da lavra.

Muitos dos materiais rochosos, que têm grande aceitação no mercado consumidor, não poderiam ser aproveitados se não fosse a utilização da resina em seu processo de produção. Tal processo gera aumento de sua resistência física e mecânica, principalmente naqueles classificados como exóticos, rochas com elevado índice de porosidade, microfissuras e trincas, que possibilitam a percolação de fluidos, gerando reações que formaram padrões texturais, singulares, de grande valorização comercial.

O que se constata no entanto, é que, mesmo nos materiais em que a comercialização só é aceita se eles estiverem resinados, uma exigência do comprador, em função do alto grau de fissuramento, porosidade, cavidade, que fragilizam e quebram as chapas, no manuseio ou na produção de peças; os ensaios e análises de caracterização tecnológica não são efetuados em amostras resinadas.

Pouco se conhece sobre a eficácia do uso da resina na proteção à deterioração e no aumento da resistência físico-mecânica das rochas ornamentais, em virtude da falta de ensaios e análises que comprovem sua eficácia. Desta forma, foi de suma importância um estudo comparativo entre os parâmetros de caracterização tecnológica de um mesmo material resinado e não resinado, mostrando que materiais com uso restrito a certos ambientes, resinados podem ser uso sem nenhuma restrição.

Por fim, espera-se que esta pesquisa venha contribuir de forma positiva para aqueles que trabalham com rochas ornamentais e de revestimento, especialmente os institutos de pesquisa, os laboratórios credenciados, e o setor empresarial, percebam a importância de se realizar ensaios de caracterização tecnológica em amostras resinadas.

1.3. Objetivo

.

Avaliar a eficiência da resina no aumento da resistência aos desgastes físicos, mecânicos e químicos por que passam os materiais rochosos, através da comparação dos valores obtidos no ensaio de caracterização tecnológica em amostras resinadas e não resinadas de mesmo material rochosos.

2. ROCHAS ORNAMENTAIS: CADEIA PRODUTIVA

2.1. Considerações Iniciais

As rochas são sólidos naturais encontrados na crosta terrestre, compostas por espécies minerais que podem estar sozinhas ou, geralmente, associadas de acordo com suas compatibilidades, relacionadas, sobretudo com a pressão e a temperatura.

As rochas se formam tanto no interior da crosta como no exterior e são classificadas em três grupos: ígneas, formadas pela consolidação do magma, podendo ser plutônicas ou vulcânicas, quando a consolidação deste material ocorre no interior da crosta ou no exterior, respectivamente; metamórficas por meio do metamorfismo (variações de pressão e temperatura no ambiente onde as rochas foram formadas anteriormente) e sedimentares, pelo processo de intemperísmo de rochas pré existentes e sua posterior diagênese. Nas rochas, são registrados todos os fenômenos que ocorreram no tempo e no espaço, desde sua formação até os dias atuais.

As rochas são utilizadas pelo homem há mais de 2,5 milhões de anos, na criação de ferramentas para caça, produção de fogo e utilizadas como moradia e esconderijos, nas grutas e cavernas naturais.

O ambiente geológico de formação das rochas, os fenômenos tectônicos ocorridos desde o período de suas formações, e o intemperísmo, disponibilizam, na natureza, uma grande variedade de rochas com características químicas, físicas e texturais distintas, gerando resistência, durabilidade, composição, cor e padrão dos mais diversos. Tais características despertam no homem o interesse em aplicar esses materiais na construção civil como rocha ornamental e de revestimento, para exercerem funções das mais diversas, que vão desde elementos estruturais, revestimentos e pisos (destino da maior parte da produção), como bancadas, peitoris, soleiras, arte funerária, peças decorativas, adornos entre tantas outras funções.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 15844) define rochas ornamentais como material rochoso natural submetido a diferentes graus e tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. Já rocha de revestimento já é definida como rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil.

Para facilitar a linguagem comercial, as rochas utilizadas na construção civil, para fins ornamental e de revestimento, são comercializadas sem levar em conta a sua definição petrográfica, sendo basicamente resumida a dois grandes grupos “mármores” (rochas carbonáticas) e “granitos” (demais tipos de rochas).

Atualmente, constata-se que quaisquer tipos de rocha sejam elas ígneas, metamórficas ou sedimentares, que apresentem dureza, suficiente para serem serradas e polidas, são utilizadas como rochas ornamentais.

O setor de rocha ornamental é bastante dinâmico em toda a sua cadeia produtiva. Materiais que anteriormente nem se pensava em aproveitá-los, por não serem isotrópicos ou por apresentarem um grau de fissuramento relativamente intenso, hoje são perfeitamente explorados e comercializados graças aos avanços tecnológicos ocorridos nos processos de extração (corte de rocha com fio diamantado), serragem (teares à base de lâminas diamantadas e de multifios) e polimento (com o advento do uso da resina). Somando-se a isto, tem-se a participação, cada vez maior, de arquitetos na especificação desses materiais, os quais buscam sempre rochas com texturas e padrões diferenciados, classificados comercialmente como “exóticos”.

A estética (cor, padrão textural, brilho) e o modismo são os fatores preponderantes na determinação do preço e escolha das rochas, em detrimento das características tecnológicas (resistências física e mecânica), que irão definir a durabilidade e especificar o uso adequado. Isso ocorre por que os especificadores formadores de opinião, na grande maioria, não conhecem ou não dispõem de informações sobre as características tecnológicas das rochas na hora de determinar o uso.

Para uma rocha ser empregada como ornamental, ela deve possuir algumas características. Dentre outras, pode-se destacar:

Ser esteticamente agradável; possuir boa resistência física e mecânica; reserva que garanta uma produção contínua; uniformidade do padrão; e jazidas que apresentem boas condições de mobilidade de máquinas e equipamentos de produção.

Com relação à jazida, é importante que esta exprima as seguintes condições: localização próxima aos grandes centros consumidores e ao porto, para baratear o custo de transporte; boas condições de acesso e de escoamento da produção; pequena espessura de capeamento. A natureza do capeamento também é importante, pois irá interferir no custo de sua retirada; relevo não muito acidentando para facilitar as operações que envolvem o processo de lavra; e condições de infraestrutura favorável (água, energia, meios de comunicação, oficinas).

Até a rocha chegar aos canteiros das obras de Engenharia e ser utilizada como material ornamental e de revestimento, ela passa, anteriormente, por um longo caminho que compreende quatro etapas:

lavra,
serragem,
polimento e
corte e acabamento

2.2.Lavra

Após uma pesquisa detalhada da jazida de rochas ornamentais e constatada sua viabilidade com abertura de frentes-piloto e diversos estudos preliminares (serragem, polimento, mercado e estudos de caracterização tecnológica) é que se pode realizar o projeto de explotação.

Mediante este estudo prévio, será possível melhor dimensionar a produção, a quantidade de pessoas envolvidas no processo produtivo, escolher corretamente as técnicas e métodos de exploração, as melhores máquinas e equipamentos a serem utilizados nas frentes de lavra, levando-se em consideração, também, as condições topográficas e de infraestrutura de cada área.

O objetivo da lavra é transformar o material rochoso, encontrado na jazida, em blocos de rochas ornamentais na forma de paralelepípedos com dimensões de acordo com as especificadas pelos compradores, as quais estão condicionadas aos tamanhos dos teares, as máquinas que serram os blocos. Geralmente, essas dimensões variam de 2,70 m a 3,10 m de comprimento, larguras de 1,10 m a 2,3 m (maior intervalo de variação, pois serve para complementar a carga) e altura de 1,70 m a 2,10 m.

O constante avanço tecnológico na serragem e o alto valor de comercialização de determinadas rochas no mercado conduzem ao aproveitamento de blocos com dimensões bem inferiores às que foram mencionadas acima.

2.2.1. Métodos de lavras

A lavra pode ser desenvolvida a céu aberto (em maciços rochosos e matacões) ou subterrânea (maciços rochosos).

A lavra em maciço rochoso é a mais empregada na confecção dos blocos, uma vez que a maior dimensão dos afloramentos possibilita a abertura de mais de uma frente, obtendo-se, assim, maior produção e uma constância no padrão e qualidade do material obtido.

A escolha deste método e técnica de lavra é mais flexível, uma vez que possibilita maior movimentação de máquinas e equipamentos, melhor planejamento no desenvolvimento e avanço das frentes de lavra, além de expressar um custo/benefício bem superior relativamente às desenvolvidas em matacões.

Dependendo da localização em relação à topografia do maciço, os métodos de lavra são classificados em:

lavra em flancos de encosta,
lavra em fossa e poço,
lavras em bancadas,
lavra subterrâneas, e
lavra por desmoronamento.

2.2.1.1. Lavra em Flancos de Encosta

Dependendo da topografia do relevo, os afloramentos do maciço rochoso podem apresentar vertentes pouco ou fortemente inclinadas, (Foto 2.1).

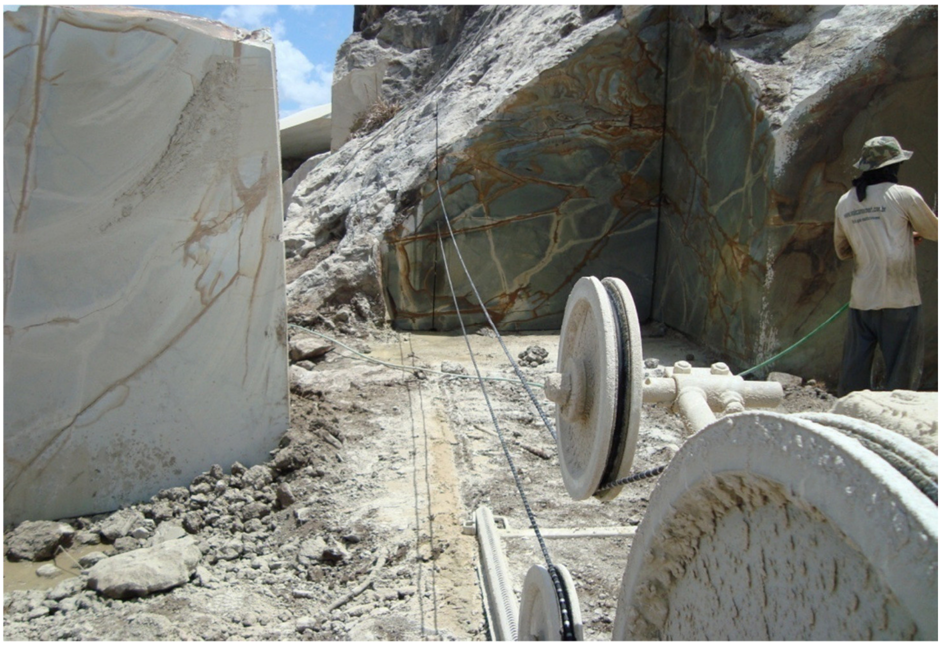


Foto 2.1 – Ilustração de uma frente de lavra de granito, em flanco de encosta com declividade em torno de 45º (Fonte: Autor).

Um afloramento exposto no flanco de uma encosta, principalmente se o relevo apresentar uma declividade suave é o local ideal para implantação e avanço de uma frente de lavra. Essas condições favorecem, além da ampliação da área da frente e, consequentemente, maior produção, maior mobilidade das máquinas e equipamentos de corte. O escoamento dos blocos produzidos é feito ao nível do terreno, por meio de rampas descendentes, evitando maior esforço e desgaste das máquinas. A implantação do local de estocagem e embarque dos blocos também é facilitada, em função da declividade baixa.

2.2.1.2. Lavra em Fossa

Segundo Menezes, (2005) as frentes de lavra em fossa situam-se imediatamente abaixo do nível de base do terreno, com escoamento dos blocos mediante utilização de rampas ascendentes. Este tipo de extração tem como inconveniente a interferência do lençol freático, que pode limitar o aprofundamento da cava (Foto 2.2).

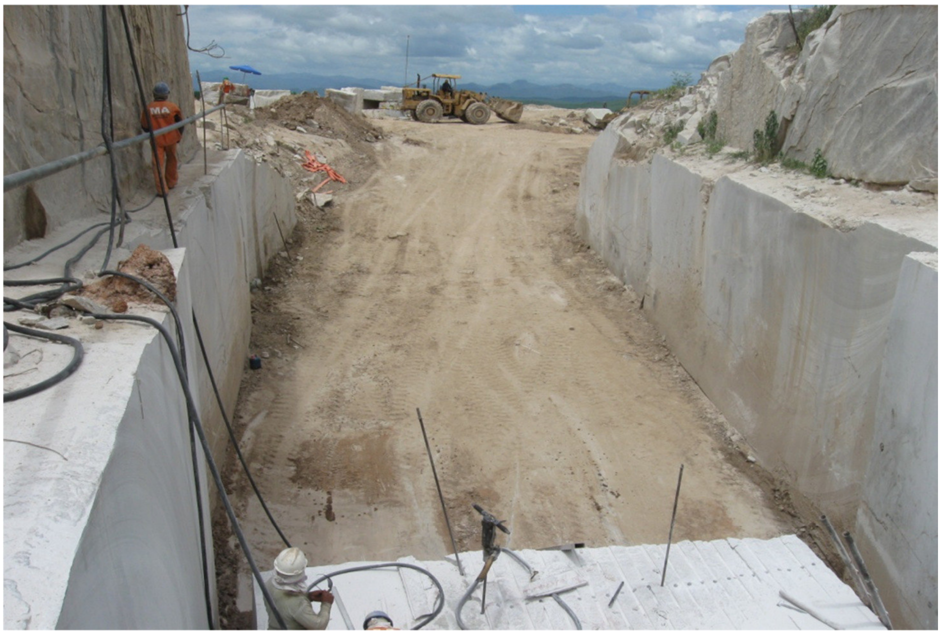


Foto 2.2 Pedreira do granito Branco Nevasca, mostrando cava com rampas ascendentes para escoamento dos blocos (Fonte: Autor)

2.2.1.3 Lavra em Poço

É um tipo de extração desenvolvida em profundidade, ocorrendo um rebaixamento sistemático de cota, onde a frente de lavra fica confinada por taludes laterais verticais ou subverticais. A profundidade da lavra fica condicionada ao lençol freático e à retirada dos blocos e rejeitos, assim como a subida e descida de equipamentos é feita por meio de guindastes. O pessoal envolvido sobe e desce por escadas. É um tipo de lavra que requer atenção redobrada no tocante ao controle de segurança em função dos altos riscos de acidentes.

2.2.1.4 Lavras em Bancadas

Pode ser desenvolvida em associação aos métodos anteriormente citados. A extração ocorre por meio de um só ou mais pavimentos, subparalelos, horizontais ou com baixa inclinação, suportados por faces verticais uniformes, os quais constituem as frentes de lavra, que evoluem lateralmente em forma de "L".

A altura (espessura) das bancadas é função direta das características da jazida e, neste sentido, podem ser subdivididas em: bancadas baixas e bancadas altas.

2.2.1.4.1 Bancadas Baixas

A altura das bancadas não ultrapassa uma das dimensões do bloco comerciável, permitindo, assim, a obtenção de blocos diretamente no próprio maciço (Foto 2.3). Possui boa flexibilidade com facilidade de mudança na orientação da frente de lavra, caso seja preciso.

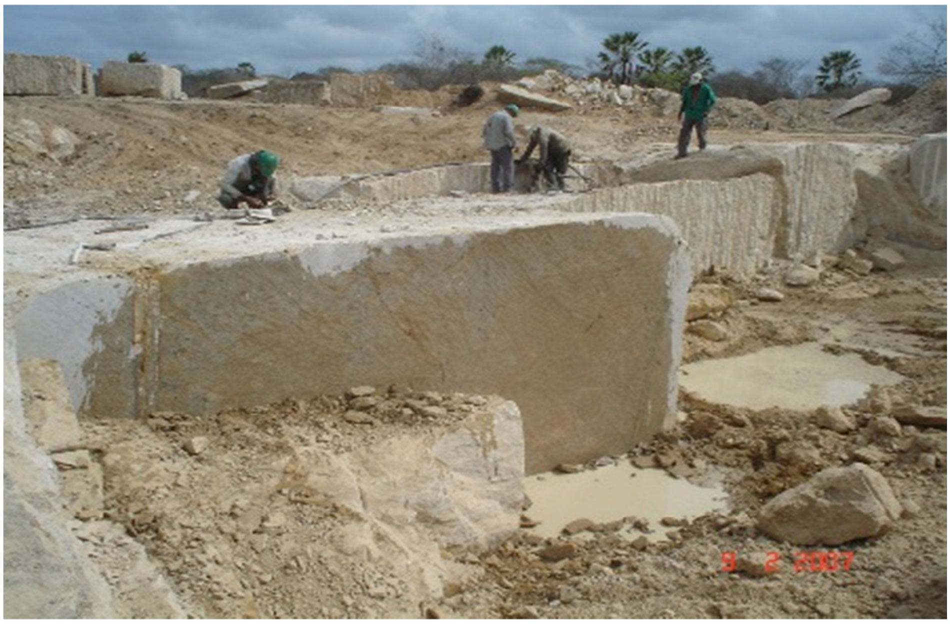


Foto 2.3 – Pedreira granito Kashimir, com abertura de frente de lavra por meio de bancadas baixas (Fonte: Autor).

Esse tipo de lavra em bancadas é pouco seletivo sendo mais adequado para maciços homogêneos, com pouca presença de descontinuidades.

É aplicável, imperativamente, quando o maciço traz grande incidência de fraturas sub-horizontais pouco espaçadas, as quais delimitam a altura das bancadas.

2.2.1.4.2 Bancadas Altas

O método de extração por bancadas altas pode se dar em um só degrau (Foto 2.4) ou em degraus múltiplos (Foto 2.5), curtos ou largos, os quais são norteados pela configuração morfológica do relevo.

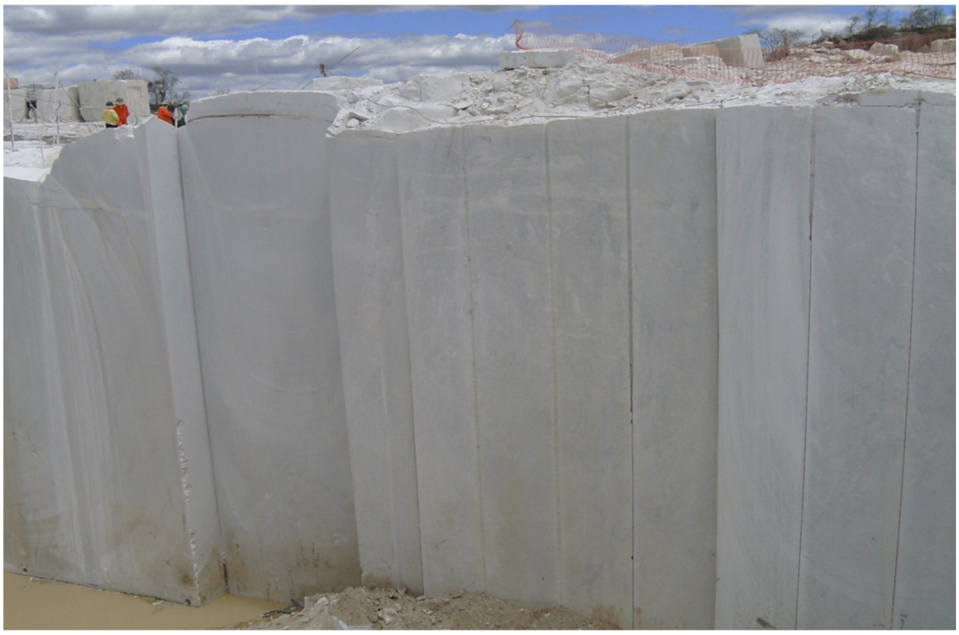


Foto 2.4 – Lavra em bancada alta em degrau único Pedreira Branco Ceará (Fonte: Autor).

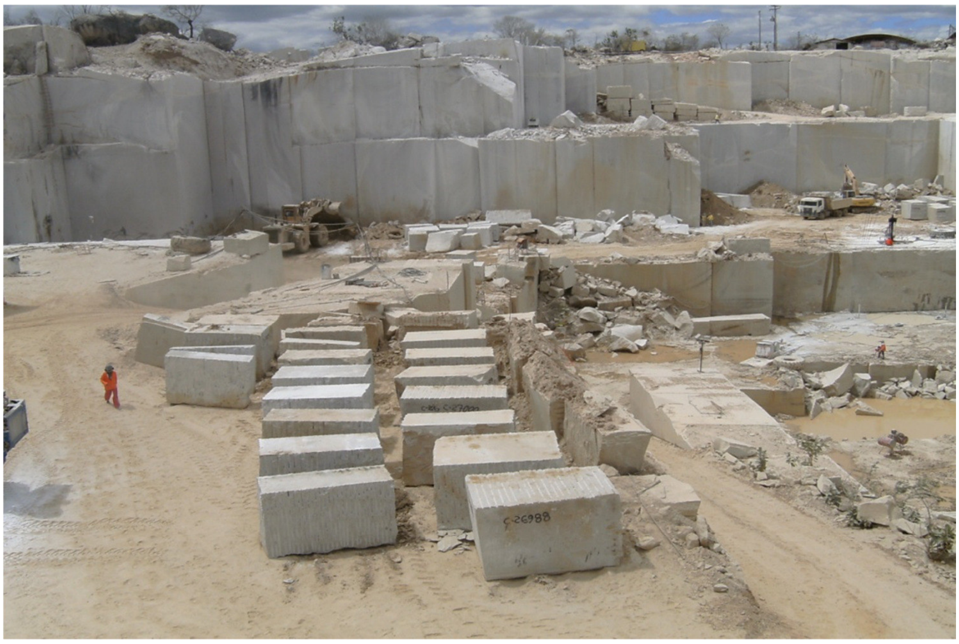


Foto 2.5 – Lavra bancada alta em múltiplos degraus pedreira Branco Ceará (Fonte: Autor).

Comparativamente às bancadas baixas, este método traz desvantagens do ponto de vista do meio-físico em razão do seu maior impacto visual e das dificuldades de recuperação de áreas degradadas, em função da sua grande superfície exposta. A cama (ou colchão) que amortece a queda da bancada (volume primário) tem que ser mais cuidadosamente preparada para evitar que a bancada se quebre quando for tombada. Esse cuidado tem que ser reforçado, especialmente nos materiais mais vulneráveis à partição, em virtude do grau de fraturamento (Foto 2.6).

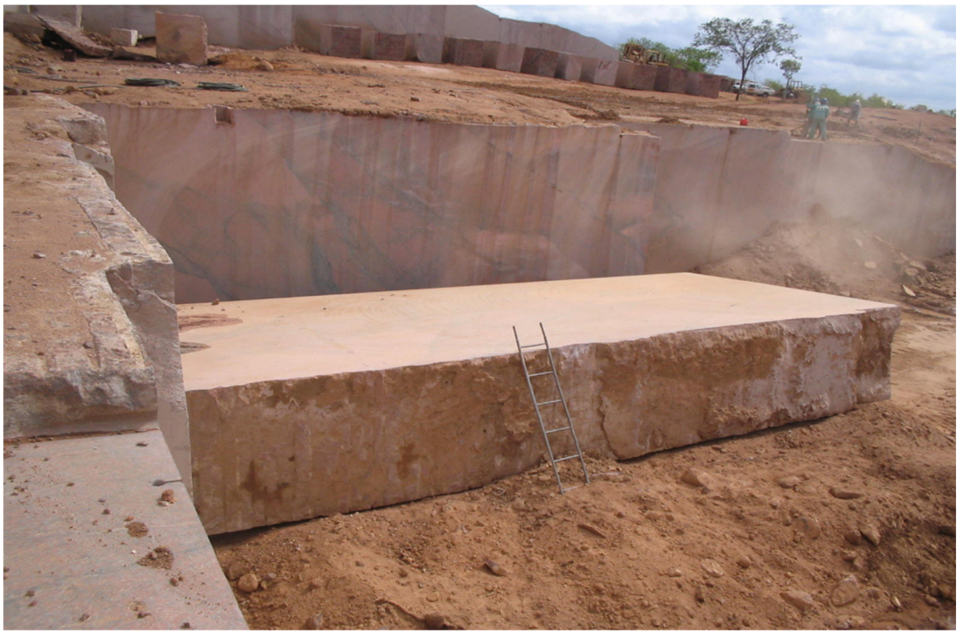


Foto 2.6 – Pedreira granito Red Dragon, mostrando o tombamento do volume primário na "cama ou colchão" em uma lavra de bancada alta (Fonte: Autor).

2.2.1.5 Lavra Subterrânea

A opção por este tipo de lavra só deve ser decidida quando existir cobertura estéril muito grande (espessa) com elevado custo de limpeza e quando a área registre um valor ambiental bastante significativo para o local, onde uma lavra a céu aberto traria danos irreparáveis ao meio ambiente.

A exploração ocorre no interior da massa rochosa, por via da abertura de salões preservados por pilares de sustentação deixados nas zonas de baixa qualidade comercial do maciço.

2.2.1.6 Lavra por Desmoronamento

Este tipo de lavra é importante, quando se constata a existência da estrutura cebolar no maciço uma vez que permite o seu aproveitamento. Lateralmente, esses volumes (capas) são delimitados pela presença de planos de fratura verticais ou pela superfície do maciço e, normalmente, a topografia é acidentada, tornando imperativa a lavra por desabamento (gravidade) para desmonte de volumes primários com uso de explosivos (pólvora negra).

As fases das lavras apresentam os passos a seguir descritos.

1 – Passo

Realização dos trabalhos preparatórios

detalhamento da metodologia de extração;

dimensionamento e aquisição de máquinas e equipamentos de produção, que são escolhidos em virtude da produção da eficácia destes e das condições geológicas e topográficas do jazimento;

construção de infraestrutura civil (estradas, alojamento, paióis e rampas de acesso); e

remoção da cobertura estéril, preparação da praça e local de estoque.

2 – Passo:

Execução dos primeiros cortes com alturas definidas, de onde a pedreira evoluirá lateralmente e será progressivamente rebaixada.

3 – Passo

Evolução lateral e rebaixamento da pedreira mediante o desdobramento dos volumes primários cujas dimensões foram previamente definidas. Por fim, esquadrejamento dos blocos, movimentação e carregamento destes nos caminhões.

2.2.2 Tecnologia de Corte

Das diferentes tecnologias de lavra empregadas na produção de blocos de rochas ornamentais, raramente usa-se apenas um tipo, sendo habitual a coexistência de pelo menos duas delas.

Muitas vezes, as condições geológico-estruturais, modo de ocorrência, condições topográficas, preço pelo qual o material pode ser comercializado no mercado e disponibilidade de recursos financeiros, são os fatores que podem condicionar e estabelecer a tecnologia a ser empregada.

Dependendo de certos fatores limitantes da produção da jazida e do preço de mercado alcançado pelo material, é comum se observar nas frentes de lavra o uso combinado de equipamentos de alta tecnologia com aqueles considerados rudimentares, para se tentar obter uma produção cujo custo operacional seja viável.

A escolha da técnica de produção dos blocos visa incrementar de forma econômica e eficaz a capacidade de produção sem perda da qualidade do produto final.

As tecnologias podem ser divididas em dois grupos principais:

- cíclicas e
- corte contínuo.

A tecnologia cíclica é realizada por meio de várias operações, algumas totalmente sobrepostas, e baseia-se principalmente na técnica de perfuração de furos na rocha (maciço ou matacão) e, posteriormente, utilizam-se guilhos, argamassa ou explosivos com uma carga deveras baixa, visando a provocar a ruptura da rocha ao longo das sequências destes. Após o tombamento do bloco primário, as operações ora descritas são repetidas para obtenção dos blocos secundários, esquadrejamento e desbaste do bloco final.

As tecnologias contínuas são baseadas nas operações de corte sem o uso predominante da perfuração e explosivo e elas são desenvolvidas por meio de cortes com os seguintes equipamentos:

fio helicoidal,
jet-flame (maçarico),
cortadora a corrente diamantada,
jato d'água e
fio diamantado

2.2.2.1 Fio Helicoidal

É composto de três cabos de aço torcidos em forma de hélice que corre por cima de roldanas em circuito fechado, tensionado contra a superfície rochosa a ser cortada.

O fio, cujo comprimento pode variar de 500 a 3.000 metros, arrasta material abrasivo, como quartzo, utilizado para os mármores, ou esmeril para rochas silicatadas. É uma técnica que hoje está caindo em desuso e sendo substituída pelo fio diamantado.

2.2.2.2 Jet- Flame

O equipamento consiste de uma lança de comprimento variável de acordo com a dimensão do corte a se realizar, por cujo interior correm duas canalizações: de combustível e oxidantes, que desembarcam numa câmara onde se produz a combustão. As ondas de coque geradas pela combustão são conduzidas ao exterior através de um orifício a velocidades supersônicas, produzindo-se o processo de fraturamento e expulsão de componentes do granito.

Esta técnica é destinada à rochas silicatadas e, preferencialmente, homogêneas. O corte é realizado por meio de uma lança contendo, na sua extremidade, um maçarico que provoca uma chama de temperatura da ordem de 1.500º C, o que enseja dilatação diferencial dos minerais (principalmente quartzo) que vão se soltando e são soprados sob forma de areia, abrindo uma fenda de 0,10 m a 0,20 m de largura, podendo atingir até 6 m de profundidade, atingindo uma velocidade média de corte é de 1,5 m^2/h. Esta tecnologia não é mais utilizada em razão do alto nível de ruído (140 decibéis), que fica acima do permitido para exposição de seres humanos e por causar danos no material rochoso, especialmente nas rochas com estruturas foliadas, presença de micas e fraturas.

2.2.2.3 Cortadora a Corrente Diamantada

Essa técnica permite o corte dos blocos, tanto no sentido horizontal quanto vertical, diretamente sobre as bancadas, e pode ser utilizada tanto em mineração a céu aberto quanto em extração subterrânea. A cortadora consiste de um braço móvel sobre o qual desliza uma correia provida de pontas de metal duro. O sistema de acionamento é elétrico-hidráulico e todo o conjunto desliza sobre trilhos na direção do corte. O conjunto dos braços oscila entre 1,5 a 3,0 m. As pontas são feitas de carbureto de tungstênio ou compostos diamantados e se situam a intervalos de 40 mm. As velocidades perimetrais destas variam de 0,4 a 1,4 m/s e largura de corte é 4 cm.

Segundo Regadas (2006), na maioria dos casos, a técnica representa um recurso integrado ou de preparação para uso de outras técnicas, como, por exemplo, fio diamantado. É executada com serra de braço, cuja profundidade de corte fica limitada ao comprimento da serra.

2.2.2.4 Jato d'água

Trata-se de tecnologia desenvolvida com base nos novos equipamentos hidráulicos de alta potência, maior robustez e confiabilidade.

Basicamente, consiste de uma central hidráulica acionada por um motor elétrico e acoplado a uma bomba hidráulica de alta pressão, que, por sua uma vez, é acionada por um multiplicador de pressão constituído de um pistão de efeito duplo e movimento alternativo capaz de realizar entre 60 e 80 ciclos por minuto. O efeito multiplicador se consegue pela diferença relativa de superfícies ativas do pistão, que impulsiona a água por intermédio de uma bomba de injeção, feita de safira sintética, e com diâmetro entre 0,1 e 1 mm.

A ruptura da rocha acontece por choque do jato de água e pelas microfraturas criadas, consequentemente. Para uma velocidade de 300 m/s, a pressão do fluido é de 150 MPa, superior à resistência da maioria dos materiais rochosos.

Os rendimentos de corte alcançados em alguns ensaios superam os 2 m/min, que equivalem a avanços em profundidade de 2 cm por passada, ou 4,4 m²/h. O uso deste equipamento faz diminuir as perdas, o custo, o barulho, a poeira e as detonações.

2.2.2.5Fio Diamantado

Hoje, dentre as tecnologias de corte, é a mais moderna e é mais utilizada para confecção dos blocos de rochas ornamentais. Por isso detalhou-se mais o método empregado nesta tecnologia.

A extração da rocha se processa com origem no isolamento de grandes volumes primários em forma de paralelepípedos (monoblocos, blocos primários). A partir destes, por intermédio de cortes secundários, obtêm-se as pranchas ou blocos secundários. Do esquadrejamento das pranchas é que são produzidos os blocos comerciais.

O fio diamantado é composto por um cabo de aço inoxidável flexível, formado de fios torcidos com diâmetro interno de 5 mm sobre o qual são colocadas pérolas diamantadas de 11 mm de diâmetro, separadas por anéis de borracha ou plástico DIAMANT- BOART, 2005 (Figura 2.1).

O fio pode executar cortes verticais e horizontais em bancadas ou no esquadrejamento após o desmonte.

Normalmente, a montagem do fio diamantado obedece a uma frequência de 39 a 41 pérolas por metro para granito, e o comprimento do cabo pode variar de 50 a 70 metros.

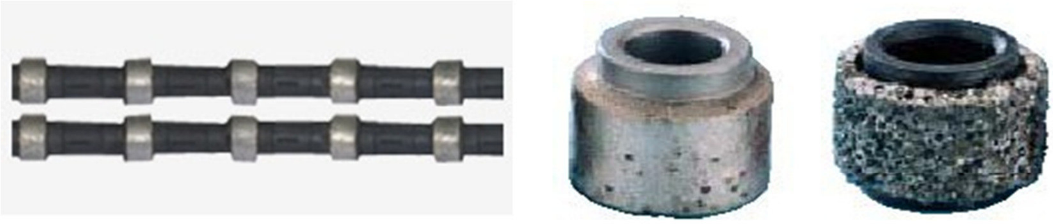


Figura. 2.1 – Peça de fio diamantado e detalhe das perolas Fonte: DIAMANT. BOART, 2005

A pérola sintetizada, figura 2.1 (direita), é a mais recomendada para rochas duras, onde a longevidade do fio diamantado com pérolas sintetizadas é o dobro da eletrodepositadas com custo pouco mais elevado. A pérola eletrodepositada, situada ao meio, é usada para corte de rochas mais brandas.

Segundo Regadas 2006, Para realização do corte com fio diamantado, faz-se necessário efetuar um conjunto de passos, visando ao seu bom funcionamento, os quais são descritos a seguir.

1. Realização de furos- na realização de cortes com fio diamantado, executam-se furos coplanares que irão determinar a superfície a ser cortada. Para tanto, se utiliza uma perfuratriz denominada de *down-the-hole* ou fundo-furo, destinada à realização dos furos horizontais e verticais com diâmetro da ordem de 90 mm a 105 mm. (Foto 2.7 ilustra esta etapa).

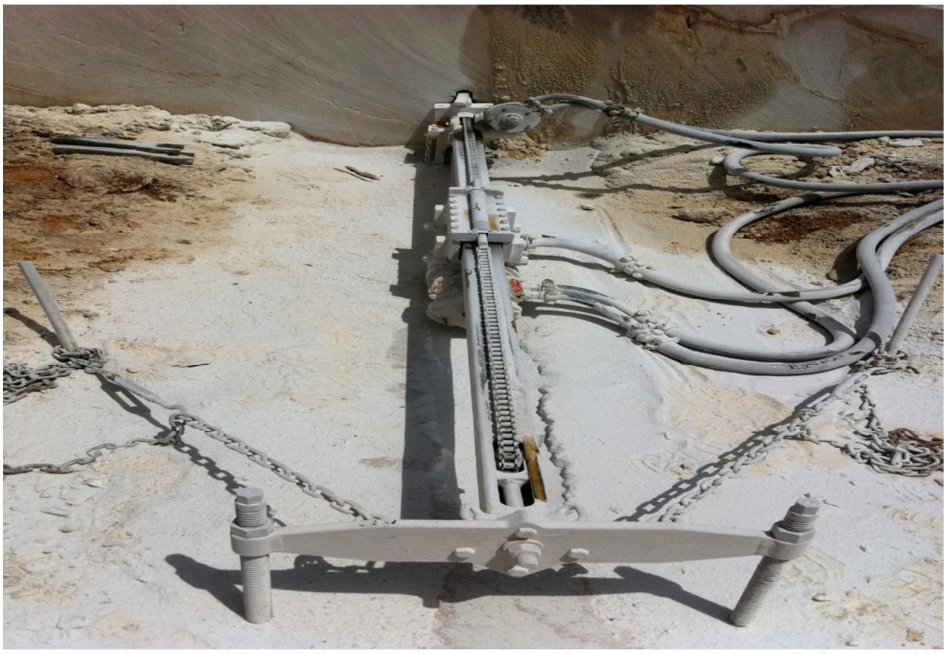


Foto 2.7 – Ilustração da perfuração do furo horizontal com fundo-furo, pedreira *Wood Stone* (Foto: Autor).

2. Instalações das polias- após a execução dos furos horizontais e verticais com o fundo furo, são instaladas e alinhadas as polias-guias em função do corte a ser realizado. (Foto 2.8).

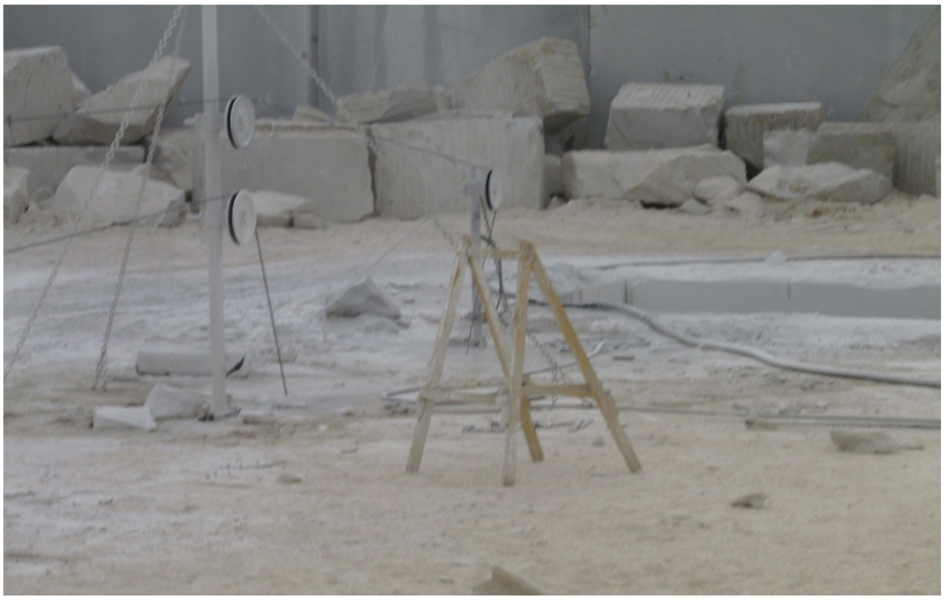


Foto 2.8 – Ilustra colocação de polias-guias de acordo com a direção do corte, pedreira granito Branco Ceará (Foto: Autor).

3. Instalação do fio diamantado nos furos- neste caso, se usa fio de *nylon* que é transportado por ar comprimido até a saída do furo. Amarra-se, então, o fio diamantado no cordão, que é puxado até a sua passagem pelos furos.

4. Montagem da máquina nos trilhos: Após a execução de dois furos, um vertical e outro horizontal, passa-se o fio sobre eles, monta-se a máquina de fio diamantado sobre carris nos quais ocorre o deslocamento deste, que pode executar cortes horizontais, verticais e inclinados (Foto 2.9).

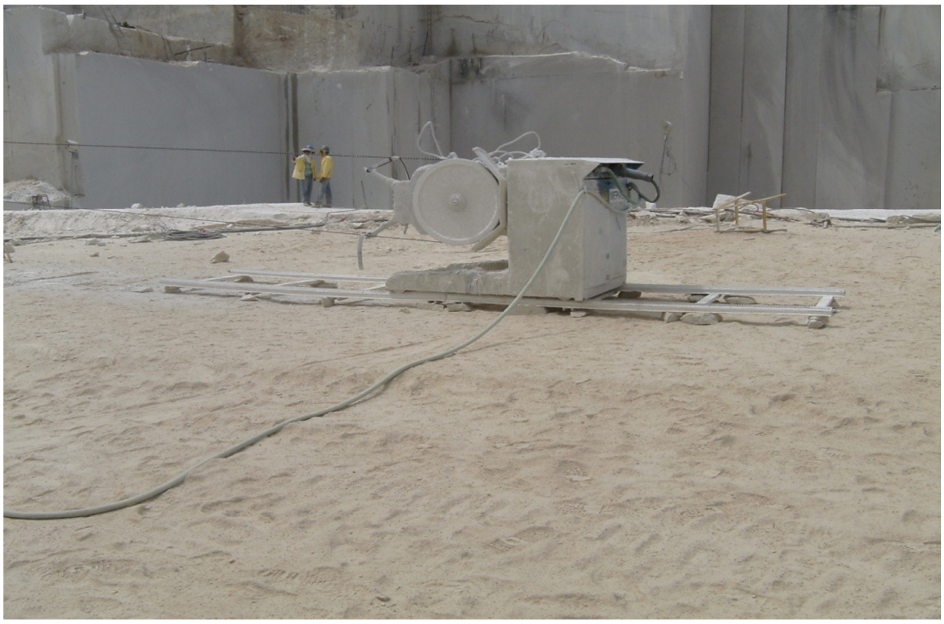


Foto 2.9 – Máquina de fio montada no trilho, pedreira granito Branco Ceará (Foto Autor).

5. Aplicação da torção- uma vez montada a máquina de fio e introduzido o fio diamantado nos furos, o procedimento seguinte constará da aplicação das torções que poderão variar de 1,5 a 2,0 voltas por metro de fio. Esta operação é realizada para se obter um desgaste homogêneo das pérolas. As voltas são dadas nas duas pontas do fio e no mesmo sentido do traçado do cabo de aço.

6. Emenda do fio- para "fechar" o fio diamantado, engata-se nas suas extremidades tubos ou elementos de aço com rosca.

7. Circulação preliminar do fio- após o circuito do fio diamantado estar "fechado" e pronto para o corte, ele é puxado no sentido em que irá circular, permitindo verificar se ele está preso na rocha ou nas polias, evitando, assim,sua possível ruptura.

8. Início do corte- para iniciar o corte, utiliza-se uma velocidade periférica baixa, que é aumentada gradativamente, à medida que se obtenha o arredondamento das quinas do corte. Nesta fase é estabelecido um fluxo maior de água.

9. Paralisações- executam-se paralisações periódicas para checagem dos desgastes das pérolas, principalmente aquelas próximas às emendas, evitando assim o rompimento do circuito e prevenindo possíveis acidentes.

10. Finalização do corte- na fase de término do corte, diminui-se a velocidade de avanço da máquina para reduzir o desgaste das pérolas, que é acentuado em face da diminuição do raio de curvatura do fio.

Para que não ocorram grandes alterações nas propriedades físicas dos materiais, é importante a escolha correta da tecnologia de lavra, pois ela pode aumentar o grau de fissuramento e porosidade, tornando o material mais frágil, contribuindo para incrementar os efeitos da degradação e alteração destes materiais provocadas tanto pelos agentes intempéricos como pela ação antrópica na utilização inadequada de produtos de limpeza, manutenção e conservação destes produtos.

2.3 Serragem

A serragem constitui a primeira etapa de beneficiamento das rochas ornamentais, feita, na maioria das vezes, independentemente do tipo de material, em teares (Foto 2.10).

O tear é um equipamento robusto formado por quatro colunas que sustentam um quadro porta-lâminas que realiza movimento pendular. Neste quadro, são postas as lâminas de aço-carbono de alta dureza, do tipo barra chata, de composição especial, no sentido longitudinal e paralelos entre si. Depois de colocado sob o quadro do tear, o bloco é constantemente banhado por uma mistura abrasiva, composta por água, granalha de aço ou ferro e cal ou carbureto e pó de rocha. Essa lama abrasiva é distribuída por gotejamento intenso por meio de um chuveiro posicionado sobre o bloco, movimentando-se perpendicularmente ao seu comprimento. Essa lama é recolhida por um escoadouro posicionado sob o tear e reutilizada por bombeamento contínuo em circuito fechado.

A carga pode ser composta por bloco único ou, na maioria, por blocos casados. É comum também se fazer uso de blocos de pequena largura acoplados ao bloco maior para complemento de carga em algumas serradas.

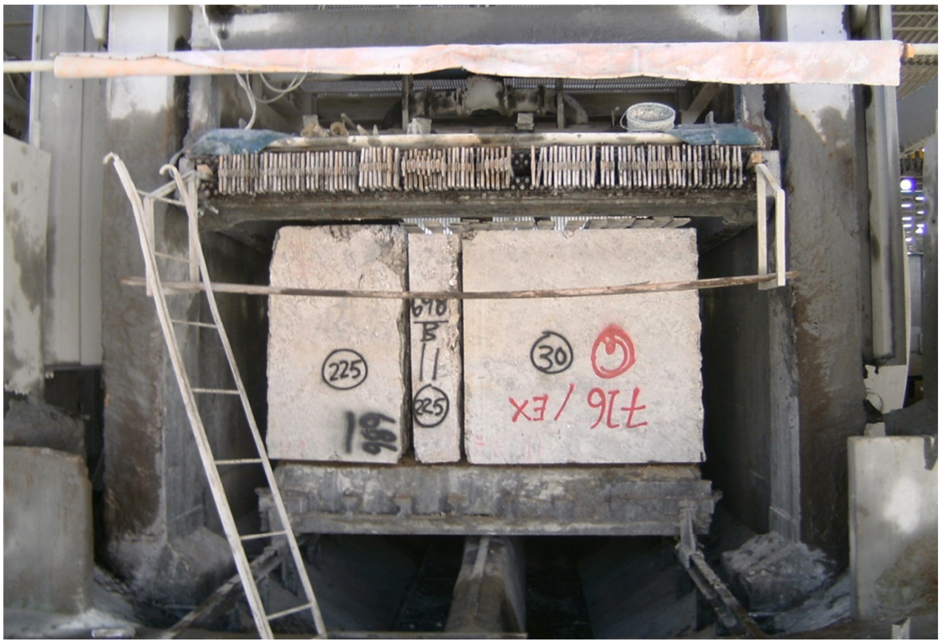


Foto 2.10 – Tear à base de lâminas de aço, usado para serrar blocos de rochas ornamentais, utilizando blocos menores para compor a carga da serragem. Foto tirada na GRANOS - Granitos do Nordeste (Foto: Autor).

Não se deve serrar, na mesma carga, blocos com alturas diferentes, materiais com diferentes durezas e chapas com variadas espessuras, pois esta ação provoca desgaste diferencial das lâminas, vibração do equipamento, má planicidade das chapas e até fragmentação do material.

Ainda nas pedreiras, sempre que possível, se deve efetuar o esquadrejamento preliminar dos blocos, por meio de equipamentos monolâmina ou com fios, visando evitar o desperdício de transportar volume que não será aproveitado possibilitando, assim, uma padronização nas dimensões dos blocos, um melhor acoplamento ou rejuntamento (chumbamento) dos blocos no tear, obtendo maior produtividade por m^3 e menor produção de rejeitos (cascões) derivados da serragem.

A carga total do tear permite a colocação de dois blocos de volume unitário médio de 6,0 m^3, sendo posicionados embaixo do quadro de lâminas, iniciando-se, então, a montagem e a armação das lâminas de aço para corte, de conformidade com a programação de produção de chapas com 1,5, 2 ou 3 cm de espessura (as duas últimas medidas são as mais utilizadas). Em seguida, é processada no poço a mistura de água, cal e granalha. A granalha é dosada pelo alimentador automático e a homogeneização da mistura através da bomba de polpa. Nos teares modelo G/2, a carga útil colocada pode ter as dimensões máximas de 3,10 m de comprimento, por 2,80 m de largura e 2,0 m de altura.

O processo de corte faz-se por meio do movimento pendular do tear, o qual faz com que as lâminas de aço e a mistura abrasiva imprimam uma ação de corte na rocha, executada pelo atrito e impacto do choque das lâminas contra o bloco. Tal movimento é acionado por motor elétrico, mediante sistema biela-manivela, com o auxílio de um volante inicial. A alimentação da mistura abrasiva é mantida por um circuito hidráulico, permanente, movimentado por bomba de polpa. O desempenho observado na serragem de materiais de dureza média é de 2,4 cm/h.

O fio diamantado trouxe uma nova perspectiva para a indústria de rochas. Blocos de 7 m^3 serrados em um tear convencional, que antes levavam dez dias para serem serrados, em função da sua dureza, agora saem da máquina em apenas 32 horas, se submetidos a um tear de 20 fios.

O tear a multifio possui também importante diferencial em relação ao sistema de corte tradicional. O investimento para sua base de instalação é bastante inferior ao dos teares convencionais, uma vez que necessita de menos obras de fundação.

O valor do investimento cai quatro vezes, ou seja, para cada real gasto na instalação de um tear convencional, no sistema diamantado, a despesa não passaria dos 25 centavos. A mesma matemática vale para o tempo gasto com a instalação das máquinas. Em média, apenas sete dias são necessários para se colocar o tear a fio diamantado em condições de funcionamento.

A disponibilidade de área ocupada por um tear multifio pode chegar a um quarto da utilizada pelo convencional, em relação à capacidade de produção instalada.

O trabalho é totalmente automatizado, sendo que o sistema computadorizado acompanha todo o processo de corte.

Por não utilizar qualquer outro produto (granalha, lama, cal etc), além do fio diamantado e água, a operação é bastante simples, prática e ecológica.

A foto 2.11 mostra um tear a fio diamantado para corte de blocos de rochas ornamentais, bastante usado para produção de chapas de materiais exóticos, haja vista que reduz em muito o impacto nos blocos que, na maioria, se apresentam fissurados.

Foto 2.11 – Tear multifio alta tecnologia de corte de rocha.

2.4 Polimento

As chapas, quando saem dos teares, principalmente os convencionais que utilizam lâminas de aço, apresentam certa rugosidade, que pode ser maior ou menor dependendo da qualidade da serragem. No polimento, o passo inicial é fazer o levigamento da chapa, ou seja, torná-la totalmente plana, eliminando os defeitos da serragem. Empresas que trabalham com materiais exóticos e rochas que apresentam alta porosidade e fissuramento fazem uso de resina no processo de polimento.

Os equipamentos mais utilizados para polimento de chapas de rochas ornamentais são polidoras de um cabeçote (ultrapassada), polidoras de ponte de dois cabeçotes, e polidoras multicabeçotes cinco a vinte cabeçotes (Foto 2.12).

Foto 2.12 – Polidora multicabeçotes da GRANOS, para polimento de chapas de rochas ornamentais (Fonte: Autor).

O levigamento, polimento e lustro são obtidos por meio de rebolos abrasivos, à base de carbureto de silício e diamante, em diferentes granulometrias (mais grossos para o levigamento e cada vez mais finos para o polimento e lustro final). Os rebolos, fixados em cabeçotes rotativos, circulam sobre a superfície da chapa, utilizando-se um fluxo constante de água para eliminação de resíduos e refrigeração da face tratada.

Os resultados do polimento e lustro são definidos pelo brilho, fechamento e espelhamento das chapas, podendo essas características ser aferidas mediante acuidade visual ou com uso de aparelhos apropriados (*glossmeter*). Os medidores de brilho, apesar de terem sido desenvolvidos para superfícies metálicas homogêneas, são, também, muito utilizados no setor de rochas ornamentais.

Quanto maior a heterogeneidade das feições estéticas (movimentos) de uma rocha, maior o número de medidas necessário para a representatividade desta característica.

Depois de polidas, as chapas estão prontas para serem comercializadas para os depósitos de chapas ou para as marmorarias.

2.5 Acabamento

A última etapa da industrialização constitui-se no acabamento, que é executado nas marmorarias, onde as chapas recebem cortes e tratamentos especiais por meio da utilização de equipamentos específicos, passando a adquirir formas diversas conforme o destino de uso de cada peça (peitoris, soleiras, balcões, tampos (de mesa, móveis), bancadas de pia, peças decorativas e etc (Foto 2.13).

Foto 2.13 – Peças produzidas na marmoraria, JB Mármores e Granitos, após o corte das chapas (Fonte: Autor).

2.6 Mercado de Rochas Ornamentais

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, no ano de 2011, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US$ 99,65 milhões e um volume físico comercializado de 2.188.929,59 t, ou, em números redondos, US$ 1 bilhão e 2,2 milhões de toneladas. As rochas processadas compuseram 74,6% do faturamento e 45,3% do volume físico dessas exportações, tendo as rochas brutas alcançado, respectivamente, 25,4% e 54,7%.

Relativamente ao ano de 2010, registrou-se variação positiva de 4,22% no faturamento, com recuo de 2,26% no volume físico das exportações. A variação positiva decorre do incremento do preço médio dos principais produtos exportados.

As exportações continuaram muito polarizadas em chapas de granito para os EUA, e em blocos de granito para a China, que, conjuntamente, responderam por mais de 60% do faturamento brasileiro. Se somado aos demais países da América do Norte (Canadá e México), além de Taiwan e Hong Kong, na Ásia, essa participação eleva-se a quase 75% do total do faturamento.

A figura 2.2 mostra a produção brasileira de rochas ornamentais e a evolução do consumo dos mercados interno e externo, no período de 2000 – 2011.

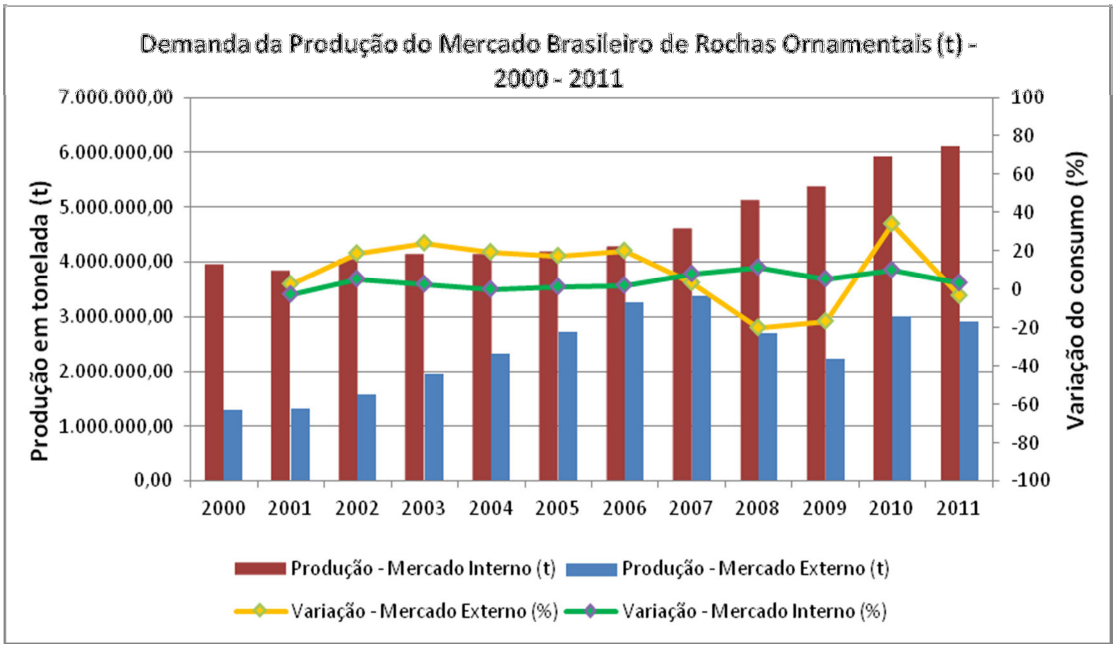


Figura 2.2 – Demanda da produção do mercado brasileiro 2000-2011(Fonte: ABIROCHAS 2011).

Fazendo uma análise desta ilustração, nota-se que de 2000 a 2006, a produção brasileira vinha, ano a ano, destinando mais a sua produção para o mercado externo e diminuindo o consumo interno.

O ano de 2007 marcou a desaceleração da economia nos EUA, com a crise da construção civil, a qual foi mais sentida nos dois anos seguintes, havendo grande redução no volume exportado. O ano de 2007 marcou o início da retomada do crescimento interno, possibilitando que boa parte do volume produzido, e que era exportado, fosse absorvido aqui mesmo no Brasil. Os anos de 2008 e 2009 foram os que marcaram as maiores quedas no volume das exportações e tornaram o mercado interno atrativo para os produtores de rochas ornamentais, havendo uma retomada do crescimento do consumo, pois 70,5% de tudo o que foi produzido no Brasil se destinou ao mercado interno. Em 2008, mesmo com uma queda de 20% das exportações, o Brasil registrou um crescimento de 6% no volume produzido, graças ao consumo interno que absorveu a maior parte da produção.

O ano de 2010 marcou a retomada das exportações, havendo um acréscimo de 34% ao volume exportado em 2009, e o consumo interno, também, expressou crescimento. Em 2011, não ocorreram variações marcantes com relação ao ano de 2010 e, o que se espera para 2012 é que as exportações venha volta a crescer em função das economias da China e dos EUA estarem controladas e de continuarem sendo os principais países consumidores das rochas brasileiras, sejam elas brutas ou processadas. O mercado interno incrementa o consumo desses materiais com as grandes obras previstas para a Copa do Mundo de 2014, gerando uma expectativa de desenvolvimento e crescimento das principais cidades do País.

Segundo a ABIROCHAS, levando-se em conta a produção de rochas no Brasil, suas exportações e importações, estima-se que o consumo interno tenha totalizado 69,7 milhões m^2 equivalentes a chapas de 2 cm de espessura, no ano de 2011. Desse total, estima-se que 1,8 milhões de m^2, tenham sido importados e que 33,3 milhões de m^2 (46%) correspondam a granitos e similares.

A figura 2.3 mostra o perfil da produção brasileira em 2011, por tipo de rocha.

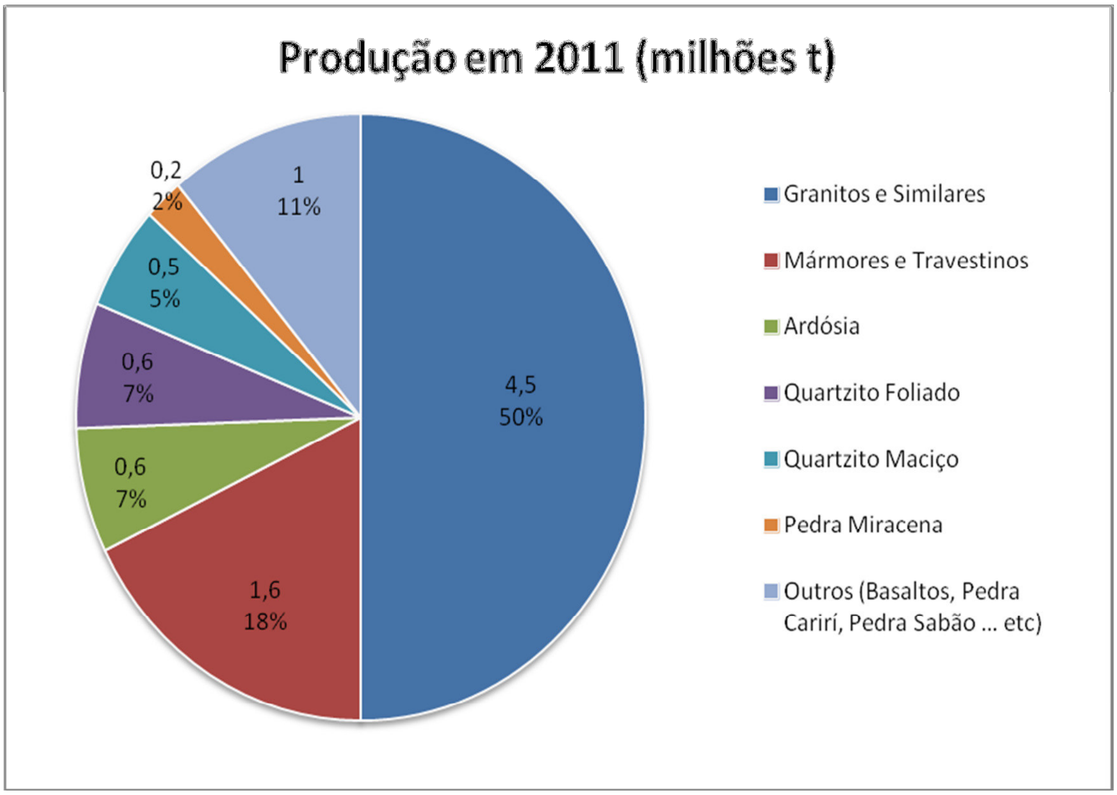


Figura 2.3 – Produção 2011e participação de cada tipo de rocha (Fonte: ABIROCHAS 2011).

As rochas silicatadas, envolvendo granitos e materiais similares, representam 50% do total da produção brasileira, seguindo-se os mármores e travertinos com quase 18%, os quartzitos foliados, 7%, ardósias, 7%, e os demais tipos 15%.

Mais de 60% da produção concentram-se na região Sudeste, destacando-se Espírito Santo e Minas Gerais. Em seguida, vem a região Nordeste, com quase 25% e demais regiões brasileiras com 11%.

O Estado de São Paulo ainda responde por cerca de 45% do total do consumo brasileiro de rochas ornamentais e de revestimento.

Com relação à região Nordeste, nota-se, que o parque industrial de beneficiamento de rochas ornamentais pouco evoluiu. Já o setor extrativo avançou muito nos últimos anos, especialmente na produção de rochas exóticas, em virtude da diversidade de ambientes geológicos favoráveis à ocorrência desses materiais. Com a crescente descoberta de novas jazidas, cada vez mais, grandes empresas do Estado do Espírito Santo abrem frentes de lavra no Nordeste. Existe uma perspectiva de que, com isso, nos próximos anos, ocorra um crescimento também no parque industrial de beneficiamento nesta região, a exemplo do que sucede no Ceará, onde, em 2012, empresas adquiriram e colocaram em funcionamento dois teares a multifio, existindo a possibilidade de que novos sejam implantados em função da alta produção de materiais exóticos e quartzitos.

Segundo Chiodi Filho (2012), em comparação a igual período de 2011, as exportações brasileiras de rochas ornamentais do 1º bimestre de 2012 tiveram variação positiva no faturamento (+12,47 %) e negativa no volume físico (1,70 %), somando respectivamente, U$ 124,59 milhões e 269.177,74 t.

A participação de rochas processadas, no total do faturamento, evoluiu de 72,16% no 1º bimestre de 2011 para 78,80% no mesmo período de 2012. Da mesma forma, no volume físico essa participação evoluiu de 41,64% para 50,31%, o que representa um indicador excelente.

As importações brasileiras de materiais rochosos naturais somaram U$ 9,03 milhões e 14.342,42 de toneladas no 1º bimestre de 2012, com variação negativa de respectivamente, 12,60% e 17,84%, em comparação ao mesmo período de 2011. As importações de materiais rochosos artificiais somaram, por sua vez, U$ 6,47 milhões e 7.959,60 t, com variação positiva de 55,57% em valor e 66,51% em peso.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A RESINA EPÓXI

3.1 Introdução

Dentro da cadeia produtiva de rochas ornamentais, as marmorarias foram as primeiras a fazerem uso de resina. A função da resina, neste caso, é para colagem das peças de mármores e granitos que irão compor as bancadas, peitoris, bases de mesa dentre outros objetos.

Nos últimos vinte anos a etapa de polimento também passou a fazer uso da resina, porém com outra finalidade a de enaltecer o brilho das chapas e ressaltar a intensidade de certas cores, principalmente os tons amarelos, incorporando, assim, maior valor as materiais.

Nos últimos 10 anos o mercado de rochas ornamentais apresentou uma tendência para os materiais considerados exóticos (rochas que apresentam padrões texturais e estruturais bem diversificados). A grande dificuldade na produção desses materiais reside no elevado grau de fratumento e microfissuras, o que os tornam frágeis a quebramento.

A foto 3.1 mostra a frente de lavra do granito *Wood Stone*, material classificado como exótico, exibindo paredes da frente de lavra, intensamente fraturada, cuja extração só é possível devido a utilização do corte com fio diamantado e a incorporação da resina nas superfícies das chapas na hora do polimento.

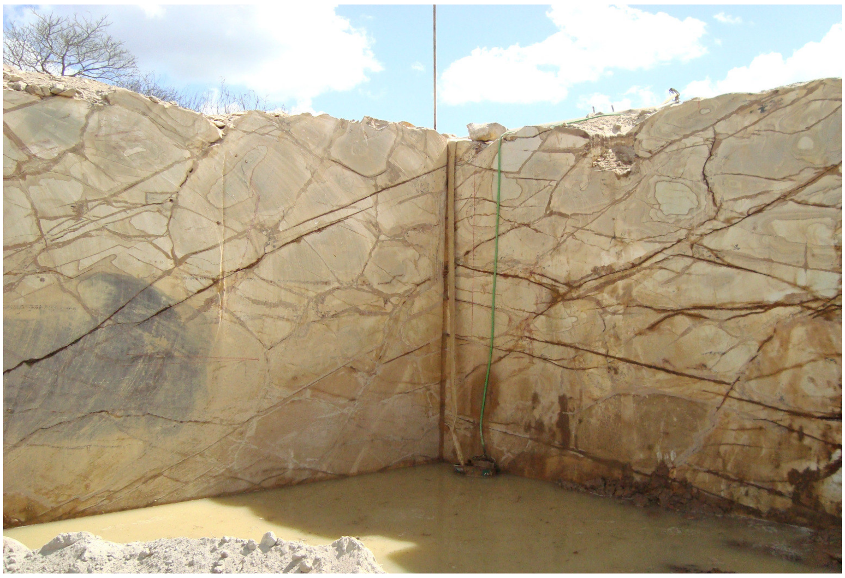


Foto 3.1 – Extração a fio diamantado de um material exótico altamente fraturado. Pedreira do granito *Wood Stone* (Fonte: Autor).

Varias tem sido as tentativas de se chegar a uma resina que fosse compatível com as diversidades das características texturais, estruturais e composicionais dos diversos tipos de rocha que são comercializadas, visando obter um resultado que melhore a qualidade dos produtos, elimine imperfeições, preencha trincas, e rachaduras, aumente a impermeabilização e o brilho. Essas diversidades dos materiais, exige maior ou menor penetração da resina que depende de sua viscosidade, por isso são observados comportamentos diferenciados no que concerne à adesão ou ancoragem da resina em diferentes superfícies de rochas.

Dentre as diversas matrizes poliméricas, a resina epóxi passou a ser a mais utilizada. A foto 3.2 mostra dois blocos do granito *Wood Stone*, um já resinado e pronto para ser serrado e outro no estado natural, onde se observa o intenso fraturamento dessa rocha.

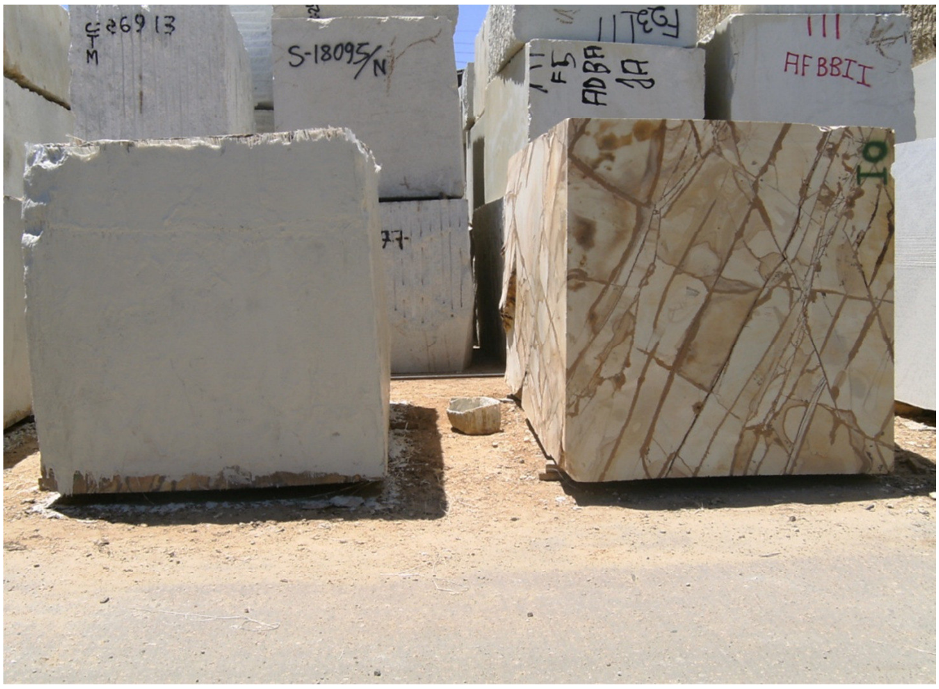


Foto 3.2 – Resinagem do bloco em virtude da intensidade de fraturamento, para suportar esforço provocado na serragem. À direita, bloco não resinado; à esquerda, bloco do mesmo material resinado (Fonte: Autor).

Para Mariano (2006), as resinas epóxi são materiais que em determinadas condições (calor, radiação ultravioleta, presença de agentes de cura) são objeto de polimerização, dando lugar a materiais termoestáveis de notável resistência, que podem se moldar pela ação do calor. A resina epóxi é capaz de reagir com o endurecedor (ou simplesmente agente de cura), originando polímeros formados por redes tridimensionais de cadeias amplamente intercruzadas. A polimerização também recebe o nome de curado.

Após ser adicionado o agente de cura (catalizador), a resina torna-se, então, um consolidante, que é passado sobre a superfície das chapas. Considera-se como método de consolidação todo material líquido (consolidante) que, após penetrar a rocha, melhora sua coesão, fecha os poros e as trincas.

A finalidade da resinagem e, consequentemente, da consolidação é:

melhorar as características mecânicas da rocha, aumentando sua resistência aos esforços impostos ao material;

reduzir a porosidade do material, diminuindo sua susceptibilidade ao ataque químico da água e demais substâncias químicas agressivas; e

enaltecer cores e brilho da superfície da rocha, realçando a sua qualidade estética, proporcionando a elevação do seu preço final.

O êxito da aplicação da resina nas chapas das rochas depende da penetração e da proporção entre o conteúdo da resina e do agente de cura que, por sua vez, depende de muitos fatores, dentre os quais se pode mencionar: composição química da rocha; tamanho dos grãos; porosidade; características estruturais da rocha (foliações, estado microfissural), características da resina (viscosidade do líquido); outro fator importante para uma boa penetração da resina é o método de aplicação deste líquido sobre a superfície da rocha.

PREDEBÓN (2005), a palavra polímero vem do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Polímero, quimicamente, pode ser definido como uma macromolécula formada pela união, mediante ligações químicas covalentes, de muitas unidades repetitivas, que geralmente são monômeros, dos quais se obtêm o polímero sintético (resina).

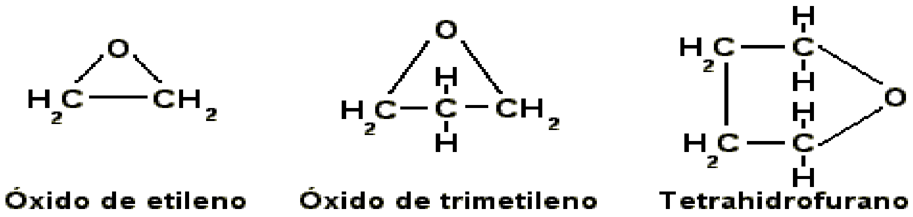
Os polímeros formados por unidades monoméricas idênticas se chamam homopolímeros, enquanto os formados por duas ou mais cadeias são chamados de copolímeros.

As resinas sintéticas, como todos os plásticos, são produtos derivados da química do carbono. Seu elemento principal é o carbono, acompanhado, sempre, de hidrogênio e em certas ocasiões do oxigênio ou nitrogênio.

A palavra epóxi vem do grego EP (sobre ou entre) e do inglês OXI (oxigênio), por isso o termo epóxi significa oxigênio entre carbonos. Em um sentido geral, o termo refere-se a um grupo constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono.

Como ensina Kotasek (2003), resina ou polímeros epóxi são produzidos por meio da reação química de condensação de bisfenol A com epicloridrina na presença de hidróxido de sódio. O bisfenol é produto da reação entre o fenol e a acetona. São conhecidos como epóxi por causa do anel que contem oxigênio, também chamado anel oxirane.

O grupo epóxi mais simples é aquele formado por um anel de três elementos, que é o óxido de etileno.



Fonte: Silaex, 2011.

Em 1927, Mr Schade, nos Estados Unidos, foi quem primeiro tentou preparar a resina epóxi por meio da epicloridrina, porem, apenas em 1936, o Dr. Pierre Castan, pesquisador suiço, produziu a primeira resina epóxi destinada ao uso odontológico (dentaduras e próteses dentárias).

Quando Pierre Castan descobriu o primeiro composto termo-rígido derivado da resina epóxi, para aplicação dentária, não se sabia, exatamente, qual a utilidade deste material para a indústria da construção civil, em razão, principalmente, dos problemas de secagem apresentados pelo epóxi. Com a descoberta de substâncias (endurecedoras ou catalizadores) denominadas agentes de cura, os quais, quando em contato com a resina, produziam reações que a endureciam, transformando-a em polímeros termorrígidos, esta substância passou, então, a ser aplicada na construção civil.

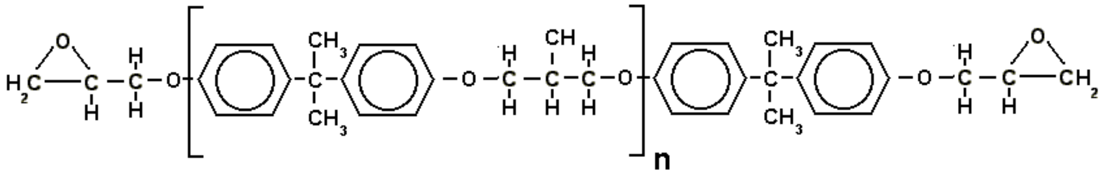
Para Kotasek (2003), os sistemas epóxi apresentam uma grande variedade de aplicações, por causa de suas excelentes propriedades técnicas e versatilidade, destacando-se: revestimentos (pinturas de navios, plataformas marítimas, pisos de concreto, pinturas de autopeças, chassis de caminhões); adesivos (pode-se mencionar os adesivos estruturais); no mercado eletroeletrônico (formulação de vernizes eletroisolantes e encapsulamento eletrônico). Como rejuntamento de pisos e revestimento cerâmico, juntas de dilatação, reparo de trincas e fissuras em estruturas de concreto dentre outras funções de destaque.

A resina epóxi comercial é obtida, basicamente, mediante a reação do bisfenol e da epicloridrina, de três formas:

1. De-hidrohalogenação da cloridrina obtida pela reação da epicloridrina com adequado di ou poli-hidroxi ou qualquer outra molécula contendo hidrogênios ativos;
2. pela reação de olefinas com compostos contendo oxigênio, tais como peróxidos e perácidos; e
3. Por hidro-halogenação de cloridrinas obtidas por outros mecanismos diferentes dos dois anteriores.

De acordo com Almeida (2005), os três principais tipos de resinas epóxi encontradas comercialmente são:

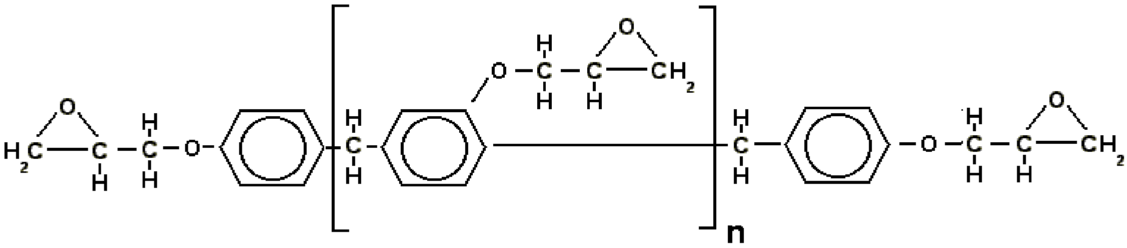
a) Resina epóxi à base de Bisfenol-A, originada da reação de epicloridrina e bisfenol–A, podendo ser encontrada no estado líquido, semissólido ou sólido. Cerca de 90% da resina epóxi comercial são preparados a partir da reação abaixo apresentada.



Fonte: Silaex 2011.

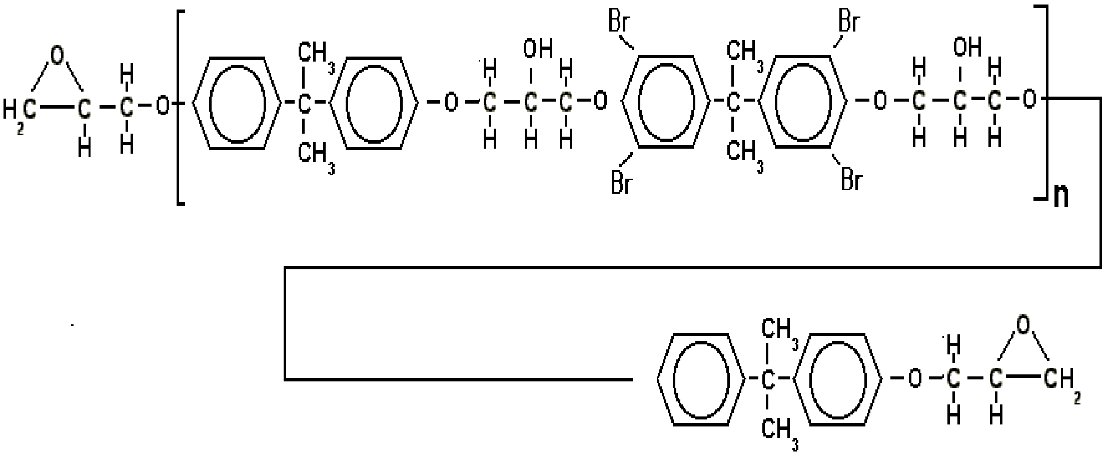
Essas resinas são produzidas por intermédio da reação química de condensação de bisfenol A com epicloridrina, na presença de hidróxido de sódio. O bisfenol A é um produto da reação entre fenol e acetona. São conhecidos como epóxi por causa do anel que contêm oxigênio, também conhecido como o anel oxirane. A resina obtida por esse processo é comumente conhecida como “resina epóxi líquida” ou diglicídil éter do bisfenol A (DGEBA), que é a resina utilizada com maior sucesso na indústria de rochas ornamentais. O valor do grau de polimerização “n” é determinado pela razão dos reagentes. Se o valor de “n” situa-se entre 0 e 1, a resina epóxi é líquida e quando “n” for superior a 2, a resina é sólida;

b) resina epóxi à base de Bisfenol-F e/ou Novolac onde ocorre a troca do Bisfenol-A pelo Bisfenol-F que proporciona o aumento do *cross-link* (ligação cruzada) melhorando as propriedades mecânicas, químicas e térmicas;



Fonte: Silaex 2011.

c) Resina epóxi bromada, feita à base de epicloridrina, bisfenol-A com adição de quatro moléculas adicionais de bromo (tetrabromobisfenol-A), cujo tipo é altamente inflamável e tóxico.



Fonte: Silaex 2011.

3.2 Características da Resina Epóxi

A resina sem estar misturada com o endurecedor, que é o agente de cura, torna-se estável, não possuindo nenhuma aplicação prática. Os agentes de cura são produtos químicos que, na presença de resina epóxi, reagem, formando polímero com características próprias.

López (2001), considera como propriedade mais valiosa da resina epóxi a sua capacidade de se transformar de um líquido em um sólido termoestável, mediante reação química.

O excelente desempenho e propriedades dos sistemas epóxi são obtidos pela transformação da resina epóxi em sistemas tridimensionais insolúveis e efusíveis por meio da formação de ligações cruzadas durante a cura. Essa transformação ocorre por intermédio de reações químicas que causam mudanças no estado físico da resina, passando de um líquido viscoso para um gel e chegando a um material vitrificado. Após a cura, a resina apresenta alta tensão de ruptura, resistência térmica, química e estabilidade dimensional.

Segundo López (*op cit*), o método é baseado fundamentalmente em impregnar a pedra com polímeros, tendo como objetivo cimentar os grãos, fechar os poros, impermeabilizar e proteger a rocha de posteriores ataques por agentes externos. Alem de elevar sua resistência aos esforços de compressão, flexão e abrasão.

Atualmente é conhecida uma infinidade de agentes de cura, podendo-se destacar as seguintes famílias: poliamidas, aminas alifáticas, cicloalifáticas, amido aminas, aminas aromáticas, dicianodiamidas, dentre outras. A escolha do agente de cura varia com as características finais que se tenciona, como, por exemplo, ter um produto que apresente maior tolerância à temperatura e à umidade, ter alta ou baixa força de aderência, ter curto ou longo tempo de cura, ter alta ou baixa viscosidade (KOTASEK, 2003).

Somente após se misturar em proporções devidamente adequadas, da resina e do agente de cura, é que se obtém o produto final para ser aplicado nas chapas das rochas ornamentais. Nessa mistura, em alguns casos, se faz necessária a adição de determinados corantes para que o produto apresente cor semelhante à rocha a ser resinada. Nas cavidades maiores, também se aplica pó de pedra ou fragmentos de rocha para preenchimento destas.

A tabela 3.1 mostra as características próprias de cada agente de cura e, aquele que é mais utilizado na indústria de rochas ornamentais é a cicloalifática, pois é menos tóxico do que as alifáticas ou aromáticas e é menos viscoso do que as poliamidas.

Tabela 3.1 – Alguns agentes de cura para resina Epóxi. (KOTASEK, 2003).

Tipo	Viscos. cps	Vel. cura	Tolerância Umidade	Resist. Química	Resist. a água	Reist. ao calor	Resist. ao impacto	Adesão	Tóxidade
Alifática	5-10	MR	M	B	B	B	M	B	Alta
Cicloalifática	50-500	R	B	MB	MB	MB	MB	MB	Moderada
Aromática	250-500	R	MB	MB	MB	MB	MB	MB	Alta

MR- muito rápido; R- rápido; B= bom; M- moderado; M-moderado; MB- moderado/bom.

Para Kotasek (op cit), embora existam vários mecanismos de cura, hoje o mais utilizado é a poliadição (polimerização com aminas primárias e secundárias). A reação entre resina e amina é exotérmica e a temperatura de cura é diretamente proporcional à temperatura da chapa. Uma aproximação é que, para cada 100ºC de aumento na temperatura, o tempo de cura diminuirá pela metade. As resinas utilizadas na indústria de rochas ornamentais estarão aproximadamente curadas em 70% - 80% depois de alguns dias e para estar 100% curadas, isto pode levar meses.

Geralmente as reações de cura dos polímeros são complexas e se desenvolvem em várias etapas. Inicialmente, os monômeros polifuncionais formam cadeias lineares, que na segunda etapa ramificam e reticulam. Em cada uma dessas etapas, o peso molecular aumenta rapidamente e o líquido viscoso se transforma num gel elástico (processo de "gelatificação"). A "gelatificação" tem lugar quando o grau de reticulação da resina alcança um determinado valor crítico, independentemente da temperatura do curado, uma vez que depende unicamente da funcionalidade e reatividade dos monômeros e da estequiometria dos reativos. O processo de "gelitificação" não inibe o processo de cura de um polímero, pois desde o momento de seu início, a reação é irreversível e a polimerização já não pode ser detida.

Para Mateus (2009), a quantidade de endurecedor influi no tempo de "gelitificação" da resina e na temperatura da reação. Quanto maior for o conteúdo de catalizador, mais rápida e mais exotérmica é a reação. No interior do material pétreo, a resina "gelitifica" com maior velocidade do que em sua superfície.

Dentre as características das resinas epóxi segundo rótulo impresso nas embalagens do fabricante TENAX, estão as seguintes:

forte adesão, praticamente a todos os materiais;

pequena retração durante o endurecimento;

estabilidade dimensional depois do endurecimento;

excelentes resistências mecânicas (tração, compressão, corte, choque, abrasão etc.);

elevada resistência aos produtos químicos e à água;

impermeabilidade; e

isolamento térmico.

Tomando por base as informações da Tenax empresa que comercializa a resinamepóxi, verifica-se que estas apresentam as seguintes características:

a) **resistência mecânica**- varia muito em função do tipo de formulação. A resistência à tração poderá oscilar entre 30 e 95 MPa e a resistência à compressão entre 120 e 210 MPa;

b) **viscosidade**- varia muito, segundo o tipo de utilização.

c) **aderência aos suportes**- é muito elevada, podendo ser superior à sua resistência à tração. Para se obter condições ótimas de aderência e, portanto, se tirar o melhor partido desta característica, é necessário fazer uma limpeza rigorosa nas superfícies a serem resinadas.

d) **retração**- é muito baixa, dependendo muito dos aditivos que possam ter sido utilizados;

e) **resistência ao choque**- é muito elevada, pelo que os revestimentos epoxi são indicados para os casos em que se prevejam fortes solicitações deste tipo;

f) **módulo de elasticidade**- as resinas epoxi têm um comportamento não elástico, porém em cada caso será necessário saber qual é o valor do módulo de elasticidade e quais os seus limites de variação. Depende muito da formulação e pode variar desde 1,5 GPa e 35 GPa;

g) **tenacidade**: muito elevada;

h) **resistência à abrasão e ao desgaste**- é muito grande e geralmente muito superior à da argamassa de reboco; no entanto, varia com o tipo de resina utilizada e com a qualidade dos inertes;

i) **coeficiente de dilatação térmica**: em torno de 4 mm/m°C X 10^{-3}; e

j) **estabilidade térmica**: a temperatura influencia muito as características mecânicas das formulações epóxi endurecidas. Para formulações normais, a partir de 60ºC, há uma queda brusca de resistência e um aumento muito grande de deformabilidade. Formulações especiais manterão as suas características até 100 ou 120ºC.

3.3 Métodos de Aplicação da Resina

O processo de resinagem da pedra consiste em aplicar a resina, na superfície da chapa, de tal forma que ela penetre profundamente, fechando os poros e demais descontinuidades (fissuras, trincas etc.) para reforçar mecanicamente a rocha. A penetração não é um processo homogêneo e depende da composição, tamanho e conexão dos poros bem como da textura das rochas. O método consiste das etapas delineadas à frente.

3.3.1 Limpeza da Superfície da Chapa

O passo inicial para uma boa aplicação da resina é a limpeza da superfície do material que irá ser resinado. Isso possibilita melhor penetração e evita o contato da resina com outras substâncias.

3.3.2 Aquecimento das Chapas

Para uma boa penetração da resina, é importante que a chapa esteja aquecida, pois o calor dilata os poros e fissuras, aumentando as cavidades, para que a resina possa penetrar. O aquecimento das chapas, pode ser a vácuo ou diretamente no forno a uma temperatura de pelos menos 40º C, durante pelo menos três minutos. Assim que a chapa sai do forno, deve-se logo aplicar a resina.

3.3.3 Concentração da Solução

Para aperfeiçoar as propriedades do epóxi curado e assegurar o máximo de "crosslinks" (rede tridimensional supermolécula com múltiplas ligações), é necessário que a proporção agente de cura e resina ou estequiométrica seja controlada. Trabalhando fora deste ideal, serão afetadas as características finas dos produtos que, em alguns casos pode até ser desejada. Por exemplo, aumentando o nível de agente de cura, reduzirá a densidade do "*crosslinks*" proporcionando mais flexibilidade, mas, ao mesmo tempo, outra característica pode ser alvo, por exemplo, de resistência química. Se o nível de resina é aumentado mais do que a proporção ideal, o sistema não vai curar e, neste caso, será necessário aplicar calor.

Estequiométricas proporções entre resina e endurecedor são calculadas utilizando o peso equivalente do epóxi (o peso de resina epóxi que contém um grupo epóxi) e peso equivalente da amina hidrogênio (o peso da amina que contém um hidrogênio ativo). Isso significa que:

EEW (*equivalent epoxy weight*) seu peso equivalente em epóxi = o peso equivalente da amina hidrogênio (AHEW).

phr (partes de agente de cura por 100 partes de resina) = AHEW/ EEW x 100.

A resina básica líquida é a de EEW = 190. O calculo do EEW é simplesmente a massa molar da resina dividida pelo número de anéis "epoxidicos".

Sendo assim, a mistura dos dois componentes (resina e agente de cura) é feita segundo uma proporção estequiométrica, assegurando um balanço, de modo que a reação entre ambos seja completa (Tabela 3.2). Logo após a mistura, dá-se início à reação, que pode levar de dez a vinte minutos (tempo de indução), podendo então ser aplicada sobre a superfície da chapa. O tipo de resina utilizada nas amostras estudadas foi a 6020 e o catalizador o BX35, em função de apresentar mais baixa viscosidade, possibilitando uma penetração maior nos espaços vazios (poros, trincas fissuras, foliações) que as rochas possam apresentar.

Tabela 3.2 – Proporção de resina X agente de cura.

Unid Peso	Tipo de material							
(g)	**Resina 6020**	**Catalizador BX35**	Resina 1010	Catalizador Ma25H	Resina 6020	Catalizador 3735	Resina 5010	Catalizador 123/30
	100	**35**	100	25	100	35	100	30
	150	**63**	150	38	150	63	150	45
	200	**70**	200	50	200	70	200	60
	250	**88**	250	63	250	88	250	75
	300	**105**	300	75	300	105	300	90
	350	**122**	350	88	350	122	350	105
	400	**140**	400	100	400	140	400	120
	450	**158**	450	113	450	158	450	135
	500	**175**	500	125	500	175	500	150
	550	**193**	550	138	550	193	550	165
	600	**210**	600	150	600	210	600	180
	650	**228**	650	163	650	228	650	195
	700	**245**	700	175	700	245	700	210
	750	**263**	750	188	750	263	750	225
	800	**280**	800	200	800	280	800	240
	850	**298**	850	213	850	298	850	255
	900	**315**	900	222	900	315	900	270
	950	**333**	950	238	950	333	950	285
	1000	**350**	1000	250	1000	350	1000	300

Fonte: Fabricante TENAX.

Sistemas epóxi são formulados para destacar características particulares, por exemplo, aderência, dureza, flexibilidade, resistência mecânica e ao calor, tempo de cura etc.

Consoante exprime Kotasek (Op.Cit), para o setor de rochas ornamentais, é importante que o sistema apresente as seguintes propriedades:

1. penetre profundamente para fortalecer a rocha e selar a superfície, dando proteção e destacando a cor e o brilho da pedra;

2. o produto final deve ter dureza suficiente, para que, ao processar o polimento, a resina epóxi seja consumida e não seja mecanicamente arrancada ou removida em pedaços;
3. o tempo de cura deve ser suficientemente rápido, para que a resina epóxi desenvolva a dureza necessária a fim de ser polida dentro dos parâmetros do processo de produção;
4. o agente de cura e outros componentes devem exibir uma estrutura molecular que seja compatível para a formação de ligações fortes com o substrato;
5. deve ter flexibilidade suficiente que possa suportar fadiga durante o transporte sem permitir o rompimento do substrato, por exemplo, nas microtrincas que contenham resina epóxi;
6. o agente de cura e os outros componentes devem ser compatíveis com as condições de baixa umidade;
7. o tempo para começar a formar um gel deve ser suficientemente curto para que a penetração não seja prejudicada;
8. o manuseio não deve apresentar para os operários severos riscos para a saúde.

A foto 3.3 ilustra o sistema de resinagem de chapas pelo sistema a vácuo.

Foto 3.3 – Linha de resinagem de chapa sistema a vácuo, Empresa GRANOS (Fonte: Autor).

O processo industrial funciona da seguinte forma: após a serragem, as chapas são aquecidas em um forno para remover toda a umidade do material. Tal processo permite o máximo de eficiência e fixação da resina. Em seguida, a resina é aplicada nas chapas colocadas numa câmara de vácuo, a qual se encarrega de retirar o oxigênio que fica entre os poros. Como dois corpos não ocupam o mesmo lugar no espaço, sem ar nas chapas, a resina penetra completamente e preenche os poros naturais.

Prosseguindo o processo, a chapa resinada entra no segundo forno, para acelerar o processo de cura da resina (Foto 3.4).

Foto 3.4 – Forno utilizado pela Granos para apressar a cura, que é a secagem da mistura resina e catalizador. (Fonte: Autor)

Finalmente, após a cura a chapa, vai para a máquina de polimento onde ocorre a finalização do processo.

As chapas resinadas a vácuo ganham melhor polimento e mesmo os poros mais estreitos são preenchidos pela resina, tornando a superfície lisa e resistente.

4. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

4.1 Considerações Iniciais

Após a produção dos blocos, eles são encaminhados para as serrarias onde são desdobradas em chapas de 2 e 3 cm as quais, posteriormente, passam pelo processo de polimento, corte e acabamento, de modo a ficarem aptas para serem utilizadas na construção civil.

Os principais usos destinados às rochas ornamentais na construção civil são: pavimentação (pisos interiores e exteriores); revestimento de fachadas (interiores e exteriores); pias; tampos; balcões; peitoris; soleiras; divisórias; colunas; pilares; peças decorativas e de mobília; arte funerária, dentre outras funções.

Todo tipo de rocha pode ser usado na construção civil, porém o uso correto e adequado desses materiais requer o conhecimento prévio de propriedades físicas, mecânicas, químicas e mineralógicas, bem como da função que esta rocha exercerá na obra e das condições ambientais sob as quais o material será exposto. Os ensaios e análise de caracterização tecnológica assemelham-se às diversas solicitações as quais as rochas estarão expostas.

A escolha do material a ser empregado nas obras de construção civil leva em conta, mais fortemente, os parâmetros relacionados à sua beleza a (cor e textura) do que aos parâmetros tecnológicos. Essa escolha, levando-se em conta a estética, em detrimento dos ensaios de caracterização tecnológica, conduz à ocorrência das mais diversas patologias geradas em função da deterioração das rochas que não estão adequadas às condições ambientais e aos esforços aos quais são submetidas e que, na maioria das vezes, são de soluções difíceis.

Os principais fatores extrínsecos que podem originar a degradação e variações nas propriedades das rochas são contaminação atmosférica, variações climáticas, colonização de vegetais e animais e a ação de vândalos. A destruição ou deterioração das rochas são manifestadas pelas variações de cor, desintegração de grãos, perda de coesão e resistência, dentre outras manifestações.

Essas alterações, de que as rochas são alvo, estão relacionadas à ação física, química e biológica. Na degradação física, destacam-se os esforços de contração e expansão, os repetidos ciclos de congelamento e degelo, os sais que, ao se hidratarem, se expandem contra a parede dos poros e os efeitos da dilatação térmica sobre os diversos minerais que compõem a rocha, cujos fatores culminam com a fadiga da rocha.

Na degradação química, a temperatura e a água provocam a decomposição e variações mineralógicas mediante de reações de hidrólise dos silicatos e aluminosilicatos (principalmente, os feldspatos). Na degradação biológica a ação de vegetais e animais é favorecida pela ação física e química já mencionada, que facilita e abre caminho para a impregnação destes nas paredes dos materiais rochosos.

Segundo Fandos (2009), a interpretação das relações entre a mineralogia e a textura dos materiais com as propriedades físicas e seu comportamento mecânico, permite prever o comportamento que apresentarão os materiais quando aplicados nas obras tendo, assim, uma utilização mais correta.

As propriedades das rochas ornamentais servem para se poder diferenciar umas das outras, permitindo que se possa dar a cada uma a utilização mais adequada. Desta forma, o processo de amostragem deve ser um critério rigoroso, para que possa melhor representar a rocha que está sendo explorada e comercializada. Vale salientar que os resultados obtidos nos ensaios e análises dizem respeito à situação atual do local onde o material foi amostrado, podendo este variar em função das variações geológico-estruturais, como ocorrência de descontinuidades estratigráficas, variações de fácies, maior ou menor fraturamento, presença de dobramentos, dentre outros fatores que interferem nos resultados dos ensaios realizados em laboratório.

Assim, o fato de terem sido obtidos os parâmetros dos ensaios de caracterização tecnológica de uma rocha, não significa que estes valores serão constantes com o avanço da frente de lavra. Por tal razão, sempre que houver variações significativas, como mudança de fácies, variações texturais e estruturais da jazida, deve-se coletar novas amostras e caracterizá-las novamente, adquirindo-se, assim, os conhecimentos necessários, à adequabilidade do material ao uso destinado.

Os métodos e equipamentos, para realização destes ensaios, são regulamentados rigorosamente por normas emitidas por entidades nacionais e internacionais, que estabelecem padrões-limites relativamente à utilização desses materiais. Os resultados podem e devem ser comparados com aqueles obtidos em laboratórios diferentes, para que se possa verificar a sua eficácia. Dentre as principais entidades destacam-se: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); American Society for Testing and Materiais (ASTM); European Commission Normalization (CEN). Membros do CEN: Deutsche Institut Fur Normung (DIN); Associatión Française du Normalisation (AFNOR); Nacionali in unificazion e normazione di Italia (UNI) e Associatión Española de Normalizatión (AENOR), dentre outros. Os ensaios e análises realizadas nesta pesquisa sempre que possível seguiram as normas da ABNT tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Normas adotadas nos ensaios de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais

ENSAIO	ABNT/NBR(2010)	ASTM
Análise Petrográfica	15845- Anexo A	
Índices Físicos (Densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água).	15845- Anexo B	
Módulo de Ruptura(Flexão por carregamento em três e quatro pontos	15845- Anexos F e G	
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	15845- Anexo H	
Resistência à Compressão uniaxial	15845-Anexo E	
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	15845- Anexo C	
Resistência ao Congelamento e Degelo	15845- Anexo D	
Desgaste Amsler	12042	
Velocidade de Propagação de ondas ultrassônicas longitudinais	-	C-241

A tabela 4.2 mostra os valores propostos pela ABNT para que os "granitos" sejam especificados para uso como pisos e revestimentos.

Tabela 4.2- Requisitos para "granitos". Norma ABNT NBR 15844

Propriedades	Requisitos (Valores)
Densidade Aparente (Kg/m^3)	≥2.550
Porosidade Aparente (%)	≤1,0
Absorção D'água (%)	≤0,4
Módulo de Ruptura (flexão por três pontos) (MPa)	≥10,0
Resistência à Flexão por Quatro Pontos (MPa)	≥8,0
Resistência ao Desgaste Amsler (mm/1.000 m)	≤1,0
Resistência ao Impacto de Corpo Duro (m)	≥0,3
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear [10-3 mm/(m x °C)]	≥100

Os ensaios e análises realizados para caracterização tecnológica das amostras resinadas e não resinadas pesquisadas seguiram, sempre que possível, as normas da ABNT. As finalidades de cada ensaio serão descritas a seguir, juntamente com os demais estudos realizados nas amostras.

4.2. Análise Petrográfica

Esta análise além de fornecer a identificação mineralógica, evidencia uma série de características importantes, como a existência de poros, descontinuidades, estado microfissural dos cristais, grau de alteração, forma dos minerais, sua granulação, grau de imbricação dos cristais, texturas, estruturas, presença de minerais deletérios, friáveis e solúveis, estruturas sob a forma de foliações de fluxo, xistosidades, gnaissificação, que representam descontinuidades físicas interferentes em especial, na percolação de fluidos, que irão influenciar o grau de alteração dos minerais, gerando em consequência o comprometimento do brilho, a durabilidade estética e, portanto, a sua resistência mecânica e química.

Estas características controlam em grande escala o comportamento químico, físico e mecânico das rochas, cujo conhecimento permite sua correta classificação.

Cabañas (2002) considera de fundamental importância o conhecimento das características petrográficas, para uma rocha que será exposta à ação de agentes intempéries, tais como chuva, vento e variações de temperatura. Ainda segundo o referido autor, por esse método, é possível prever mudanças nas propriedades físico-mecânicas das rochas ante variações das condições ambientais e de solicitações tais como umidade, atrito, impacto, líquidos corrosivos, entre outros, que possam comprometer a qualidade do polimento e da durabilidade da rocha.

Segundo Rodrigues de Paula, *et al.* (1997), o grau de porosidade, o estado microfissural, o tamanho e forma dos cristais, o estado de alteração, dentre outros fatores, que são a porta de entrada desses agentes, induzem ou facilitam o grau de alteração da rocha. O conhecimento destes parâmetros permite prever a durabilidade da rocha quando submetida ao contato com a água, a solicitações de atrito, esforços fletores e compressores.

4.3 Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'água

Essas determinações, obtidas dos mesmos corpos de prova, fornecem indicações relacionadas à existência e comportamento de fissuras e poros, permitindo a avaliação indireta do estado de alteração e de coesão das rochas. Esses ensaios são importantes, pois a alterabilidade, a durabilidade e o comportamento físico e mecânico das rochas ornamentais estão, de certa forma, condicionados com os espaços vazios, fissuras e propriedades hídricas, relacionadas ao movimento dos fluídos dentro do material rochoso.

A massa específica depende essencialmente da composição mineralógica da rocha, de sua porosidade e das descontinuidades presentes, sobretudo do grau de fissuramento da rocha.

Os principais parâmetros necessários para se caracterizar o sistema poroso de uma rocha são o seu volume, distribuição, tamanho e morfologia dos poros, bem como a conexão das diferentes famílias porométricas entre si.

Segundo Aires-Barros (1993), a porosidade e a permeabilidade das rochas, representam os espaços vazios e a intercomunicação desses espaços, que, quanto maiores forem, mais permitem a penetração e circulação de substâncias líquidas e /ou gasosas que irão provocar reações químicas inter e intracristalinas, diminuindo sua estabilidade.

Dullien (1992) estabelece que na porosidade aberta existe um certo grau de interconexão dos poros da rocha com o exterior, de tal forma que um fluído pode ser transportado através dela. Já na porosidade fechada, os poros não estão em comunicação com o exterior.

A porosidade aberta está relacionada à tectônica e à estrutura da rocha, enquanto a porosidade fechada está mais relacionada a tamanho, forma e grau de imbricação e cimentação dos cristais constituintes da rocha.

Como leciona Benavente (2006), as descontinuidades contribuem muito pouco no índice de porosidade, uma vez que o volume da descontinuidade é muito pouco com relação ao volume da rocha.

O tamanho dos poros é um fator determinante na permeabilidade, capilaridade e durabilidade do material rochoso, uma vez que irá condicionar a entrada, mobilidade e o tempo de permanência dos agentes contaminantes no interior das rochas. Assim, rochas porosas com valores altos de permeabilidade são mais duráveis ante os processos de cristalização de sais e aos ciclos de gelo e degelo e aos ambientes onde estejam constantemente sendo molhadas e secas.

O conhecimento do coeficiente de absorção d'água é de suma importância para materiais colocados sob a ação direta de agentes intempéries, sobretudo em contato com a água e a umidade do ar. A água é um dos elementos de grande importância na alteração das rochas, pois ela participa na maioria dos processos de degradação química (dissolução, redução, oxidação etc.), física (pressão de cristalização de sais e do gelo), e biológica, que afetam os materiais pétreos, além de reduzir as propriedades mecânicas quando presentes no interior desses materiais. O peso específico aparente é necessário para o cálculo do peso próprio dos elementos que constituem a obra.

Para um mesmo tipo de rocha, quanto maior for seu peso específico aparente, menor é a porosidade e menor será o coeficiente de absorção d'água. Isto mostra uma grande relação entre os índices físicos.

Cada índice físico influencia de várias maneiras os demais parâmetros. Por exemplo, a alta porosidade (baixa densidade) e a alta absorção refletirão em baixa resistência mecânica e em menor durabilidade do material.

4.4 Resistência à Compressão Uniaxial

Entende-se como resistência à "Compressão Uniaxial" a tensão de ruptura (MPa) suportada por um material rochoso quando submetido a esforços de compressão, ou seja, a determinação da capacidade que uma rocha pode apresentar para suportar forças compressivas. Os resultados referentes a este parâmetro são valiosos para a realização de cálculos geotécnicos e de dimensionamento, e estão condicionados a vários fatores intrínsecos à rocha, dos quais se pode destacar: dimensões dos minerais e porosidade; estado fissural; estado de alteração do corpo rochoso; direção do esforço de compressão em relação às estruturas da rocha. Valores elevados de resistência à compressão implicam, de maneira geral, em rochas de baixa porosidade e de alta resistência mecânica.

Segundo Benavente (2006), os materiais de alta porosidade, grau de alteração elevado e densidade de fraturamento intensa implicam uma resistência mecânica baixa.

Os resultados do ensaio de compressão dependem fortemente da forma e volume da amostra, da preparação e corte da rocha (planicidade e paralelismo), da direção de aplicação da carga e da realização do ensaio em amostras secas ou saturadas.

Em materiais que apresentam orientações de foliações e lineações, deve-se executar o ensaio de compressão, tanto paralelo como perpendicular à direção dessas orientações. Outro fator importante no ensaio é o paralelismo das bases superior e inferior de cada amostra, para que a distribuição da carga seja uniforme.

Este tipo de ensaio é também realizado após congelamento e degelo das amostras, uma vez que esses materiais podem ser utilizados em países cujos invernos são muito rigorosos e de variações de temperatura muito intensa. A comparação dos resultados serve para definir o grau dos efeitos que o gelo causa na desagregação dos contatos intercristalinos e, por conseqüência, no enfraquecimento gradual dos materiais.

De acordo com Sugested Methods for the Quantitative Description of Descontinuites in Rock Masses- International Society of Rock Mechanics-ISRM (1979), as rochas podem ser classificadas com base na sua resistência à compressão simples de acordo com as tabelas (4.3A e 4.3B).

Tabela- 4.3 (A) ISRM (1979)

Classificação	σ_c (MPa)
Extremamente Branda (solo)	<1
Muito Branda	1-5
Branda	5-25
Resistência Média	25-50
Resistente	50-100
Muito Resistente	100-250
Extremamente Resistente	>250

Tabela- 4.3 (B) ISRM (1978)

Intervalos Mpa (Kgcm^2)	Símbolo	Designações	Resistência a compressão
>200 (> 2.000)	S1	S1-2	Muito Elevada
60-200 (600-2.000)	S2		Elevada
20-60 (200-600)	S3	Média	Média
6- 20 (60- 200)	S4	S4-5	Baixa
< 6 (< 60)	S5		Muito Baixa

4.5 Módulo de Ruptura (Flexão por Carregamento em Três Pontos e Quatro Pontos)

São ensaios relevantes no caso de revestimentos exteriores, especialmente em regiões de fortes ventos. O ensaio de flexão visa determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores. Quanto maiores a porosidade e o grau de fissuramento (e outras descontinuidades), menor a resistência da rocha a esforços fletores.

Para a execução deste ensaio, o corpo de prova é apoiado num dispositivo apropriado, o qual possui dois cutelos inferiores (de ação) e um superior (de reação).

A medida da resistência à flexão pode ser obtida a partir de dois tipos de ensaios: três pontos ou carga concentrada e quatro pontos ou momento constante. Em razão do ensaio de três pontos concentrar o esforço que ocasiona a ruptura em um ponto e o de quatro pontos numa seção linear, os valores obtidos de ruptura à flexão por carregamento em três pontos são maiores e mais dispersos do que os obtidos por flexão por carregamento quatro pontos.

Esses ensaios são importantes para definir o dimensionamento (comprimento, largura e espessura) das placas a serem usadas em revestimento de fachadas de prédios, especialmente em regiões onde ocorra a presença de fortes ventos.

4.6 Resistência ao Impacto de Corpo Duro

O ensaio de resistência ao choque dá informações acerca da capacidade do material absorver e dissipar energia. Este ensaio é importante para os materiais que são utilizados como revestimento de pisos.

A capacidade de um determinado material absorver energia do impacto está ligada à sua tenacidade que, por sua vez, está relacionada à sua resistência e ductilidade, propriedades dependentes do grau de imbricação dos cristais, estado microfissural e porosidade da rocha.

Como resultado deste ensaio obtém-se a energia absorvida pelo material até sua fratura, caracterizando assim o seu comportamento dúctil-frágil.

4.7 Resistência ao Desgaste Amsler

O ensaio consiste em verificar a redução de altura em mm, nos corpos de prova de rocha, com dimensões de 70 mm x 70 mm por 30 mm, após um percurso de 500 m e 1.000 m, em circuito circular. A abrasão ocorre pela ação de areia seca, de granulação fina quartzosa, que é colocada em funis de armazenamento, sendo liberada a uma vazão de 72 $cm^3.min^{-1}$.

Esse ensaio permite mensurar o comportamento de uma determinada rocha para ser utilizada em revestimento de pisos.

A medida do desgaste é particularmente importante para materiais que se destinam a revestimentos, tanto interiores como exteriores, pisos e degraus de escadas, uma vez que procura simular em laboratório a solicitação por abrasão, em razão do tráfego de pessoas ou veículos. O valor obtido tem significado relativo, permitindo apenas comparar os diversos materiais ensaiados.

O resultado deste ensaio está relacionado com a dureza dos minerais constituintes das rochas, com a porosidade, tamanho e forma dos cristais e seu grau de imbricação e cimentação.

4.8 Resistência ao Congelamento e ao Degelo

Este é um dos ensaios que integra o grupo dos ensaios de durabilidade, tendo como objetivo avaliar as alterações na aparência visual e/ou nas suas características físico-mecânicas, submetidas a ciclos sucessivos de congelamento e degelo.

Consiste em submeter a amostra a 25 ciclos de congelamento e de degelo. Nesse período, a água, que penetrou as fissuras e poros abertos, irá congelar, aumentando de volume, fenômeno que com o decurso dos ciclos, poderá provocar alteração estrutural da rocha (fissuração, desagregação) e, consequentemente, inaptidão para seu uso em determinadas obras. Verifica-se a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural antes e após os ensaios de congelamento e degelo. Calcula-se, então, o coeficiente de enfraquecimento (K), pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural.

É um ensaio recomendado para as rochas ornamentais que se destinam à exportação para países de clima com períodos regulares de temperatura negativa, principalmente se forem utilizadas em ambientes externos.

4.9 Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

Ambientes onde ocorrem grandes variações de temperatura provocam a dilatação dos minerais constituintes das rochas, que em alguns casos podem produzir problemas de deslocamento e empenamento de placa, bem como desagregação de grãos cristalinos. O ensaio de dilatação térmica linear é importante para as rochas que serão submetidas a grandes variações de temperatura

O coeficiente de dilatação térmica linear é determinado ao se submeter às rochas a variações de temperatura num intervalo que varia entre 0°C e 50° C. É importante, também, para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos.

A composição mineralógica, a porosidade, a estrutura e textura dos materiais rochosos fazem com que estes sejam objeto de maior ou menor dilatação térmica, bem como a posição onde estão assentados esses materiais na obra com relação à direção do agente que produz o calor. Vale salientar que, como as rochas são compostas, em sua maioria, por associações de minerais, cada mineral tem coeficiente de dilatação que difere dos demais, além do que o mesmo mineral pode apresentar coeficiente de dilatação diferente em suas faces, dependendo da incidência maior do calor ao longo da direção daquela face. Esses fatores mostram o quanto é importante definir a dilatação térmica da rocha, para evitar desplacamento de materiais assentados.

4.10 Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas

Segundo Cassio (2005), as rochas possuem características que as fazem diferentes dos sólidos ideais. Sendo assim, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nelas está na dependência de vários fatores inerentes aos materiais rochosos, onde se destacam a textura, a estrutura (fraturas, fissuras etc.), a mineralogia, o grau de cimentação, a porosidade, a massa volumétrica (densidade), a anisotropia, o grau de sanidade,e o teor de minerais máficos. Algumas propriedades extrínsecas, como, por exemplo, o seu conteúdo em água, também influenciam a propagação de ondas nestes materiais.

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas. Sendo assim, os resultados dos valores obtidos nos ensaios dessa natureza permitem prever o comportamento físico e mecânico da rocha, pois revelam as descontinuidades (microfissuras, porosidade e aspectos texturais, dentre outras).

É uma técnica não destrutiva utilizada para determinar a qualidade e estado de conservação das rochas ornamentais. Sua aplicação não produz nenhuma variação permanente nas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais do material.

4.11 Medição da Intensidade de Brilho

Meeten (1986) define o brilho como uma propriedade óptica, que se baseia na interação da luz com as características físicas de uma superfície, sendo, na verdade, a capacidade de uma superfície refletir a luz na direção especular. Segundo o referido autor, os fatores que afetam o brilho são o índice de refração do material, o ângulo da luz incidente e a topografia da superfície, sendo esta última de suma importância.

Ao efetuar-se o polimento da rocha, fecham-se mais os poros, tornando sua superfície mais lisa, aumentando a capacidade de reflexão da luz incidente e proporcionando maior brilho do material.

Este tipo de ensaio é importante, pois a perda de brilho dos materiais pétreos usados como revestimento, compromete sua beleza e valorização.

4.12 Análise Colorimétrica

Segundo Klein & Hurlbut (1993), a cor é a resposta do olho para a faixa de luz visível no espectro eletromagnético, a qual representa uma série de comprimentos de onda de cerca de 350 a 750 nanômetros (nm, 1nm = 10 angstrons). Esta faixa espectral é, portanto, definida em termos de energia, comprimento de onda e escala do número de onda que é diretamente proporcional à energia.

De acordo com Esbert *et al*. (1997) a cor pode ser expressa sob três formas:

1- Qualitativa – com base nas observações visuais, sendo este caso bastante subjetivo;
2- Semiquantitativa – a partir de uma escala alfanumérica estabelecida para a comparação de padrões, “carta de cores”;
3- Quantitativa – com base nos parâmetros numéricos que são obtidos através de técnicas instrumentais como colorimétricas e espectrofotométricas. Este constitui, portanto, o processo menos subjetivo apesar da possibilidade de erro associado às condições de medidas.

O valor de uma rocha usada para piso ou revestimento de edificações, muitas vezes, está relacionado à sua cor. Variações na coloração em virtude de alterações provocadas pela exposição das rochas a ambientes agressivos podem influenciar de maneira decisiva a sua valorização estética, seu brilho e, consequentemente, seu valor econômico. Por esta razão, a análise colorimétrica faz parte dos ensaios realizados nos materiais rochosos, para fins de revestimento, onde destacam-se como sendo de relevante importância especialmente pela sua contribuição para evidenciar as alterações por que passam esses materiais ao longo do tempo, tanto em condições ambientais normais como agressivas.

Segundo Bessa (2002), este tipo de ensaio simula, em laboratório, os efeitos isolados de alguns agentes naturais e antropogênicos de degradação que atuam sobre os revestimentos internos e externos das edificações, especialmente os resultantes da ação das águas pluviais e dos materiais utilizados na sua limpeza.

4.13 Taxa de Exalação de Radônio

O estudo de concentrações de radioelementos em rochas ornamentais é importante, pois, quando detectadas concentrações acima das permitidas, poderá proporcionar um aumento dos níveis de radiações presentes nos ambientes, onde eles estão aplicados, especialmente nos interiores das construções de imóveis situados em climas bastante frios, por serem ambientes fechados, com pouca circulação de ar, permitindo, assim, maior concentração deste elemento radioativo.

De acordo com o Guia de Segurança da Agência Internacional de Energia Atômica (SAFETY STANDARDS SERIES No. RS-G-1.7), é de 1Bq/g para as séries do ^{238}U e ^{232}Th, sendo que o valor referido ao precursor (“pai”) de cada série é de 4 Bq/g para o ^{40}K, valores estes determinados com base na distribuição global das concentrações de atividades desses radioisótopos em solos.

Este ensaio é importante para se verificar a eficácia da resina no bloqueio à emanação de gases radioativos, diminuindo, assim, a contaminação.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para melhor análise comparativa dos resultados a investigação desta pesquisa foi focada em três tipos de rochas: a primeira amostra é o granito, comercialmente denominado Branco Nevasca (foto 5.1), que constitui uma rocha isotrópica com pouco grau de fraturamento, textura equigranular e granulação de média a fina; a segunda amostra é representada petrograficamente por um granada-biotita-musvovita, grosseiramente gnaissificado, comercialmente denominado de Casa Blanca (foto 5.2), possuindo uma granulação grosseira, apresentando lineações e foliações com uma elevada presença de minerais micáceos; e a terceira amostra é uma rocha vulcânica, de nome comercial *Wood Stone* (foto 5.3), um material considerado exótico em função de sua heterogeneidade textural, com alto grau de fissuramento, possuindo granulação muito fina.

Foto 5.1 Granito Branco Nevasca, mostrando textura isotrópica (Fonte: Autor).

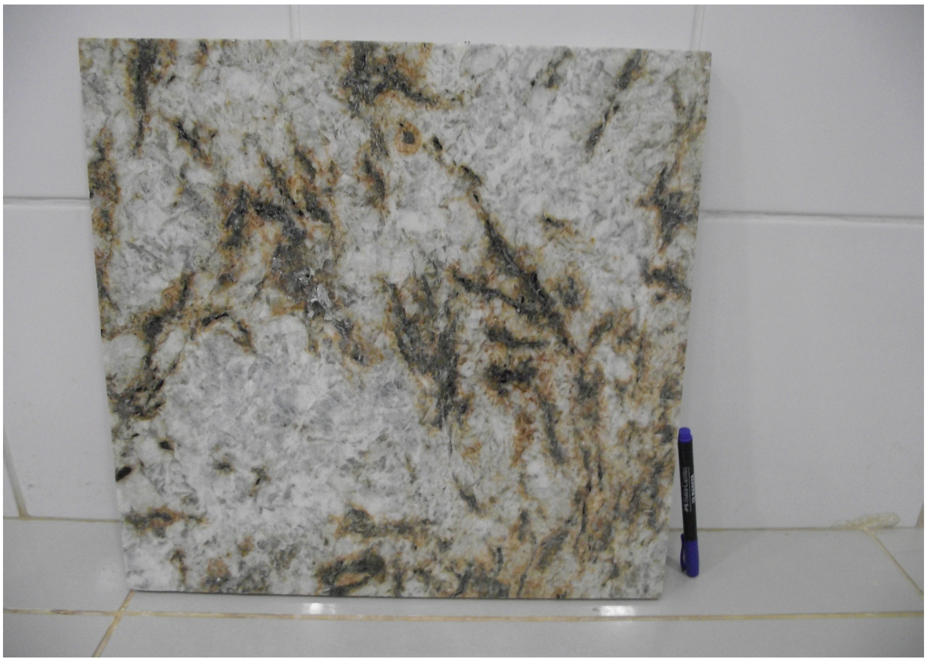


Foto 5.2- Granito Casa Blanca, mostrando textura gnáissica (Fonte: Autor).

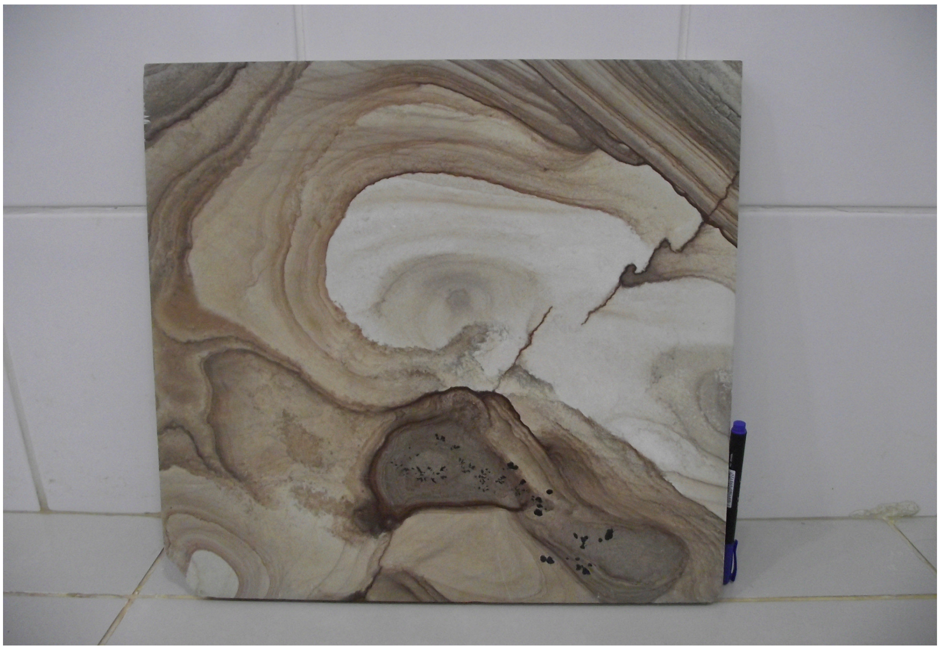
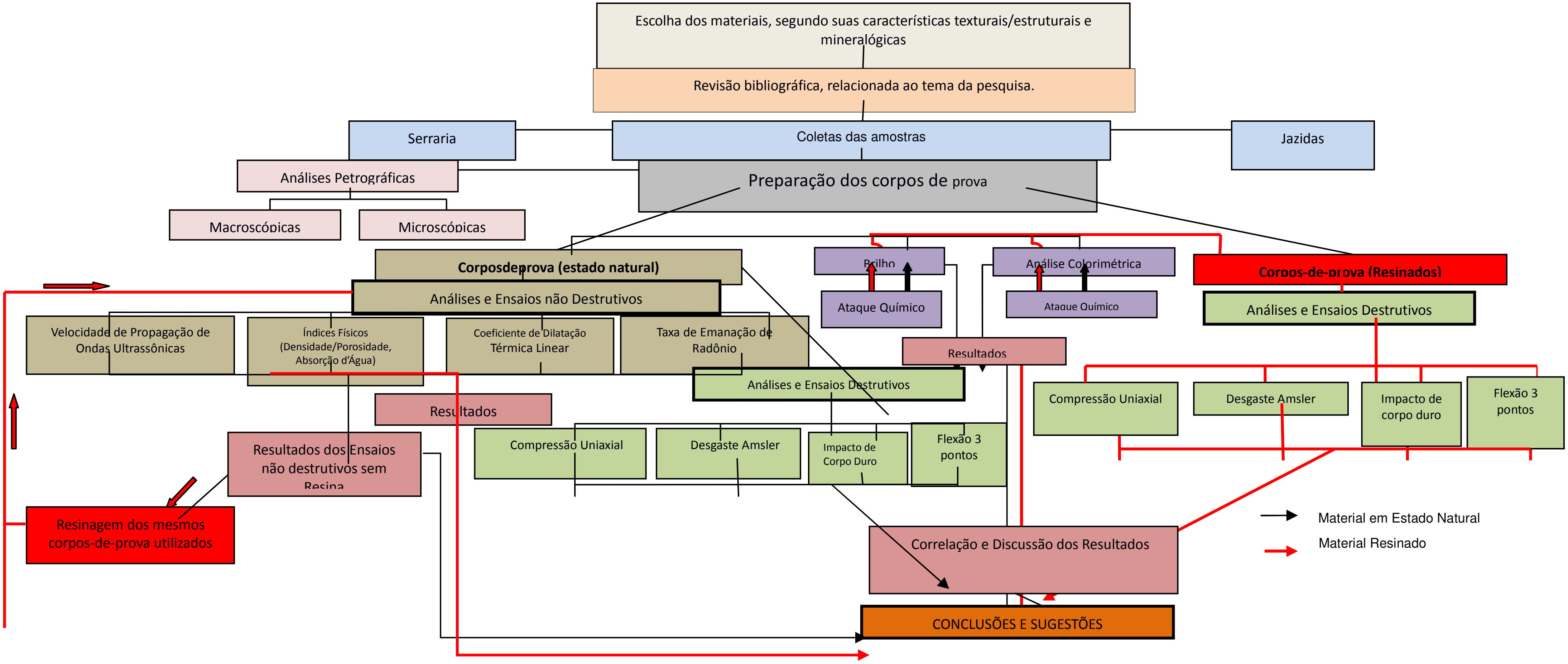


Foto5.3- Granito *Wood Stone*, com seu padrão exótico (Fonte: Autor).

Na escolha desses materiais, foram buscados tipos petrográficos cujas características geológicas e estruturais representassem a grande maioria dos tipos de rochas ornamentais "graníticas" que são comercializadas, a fim de melhor verificar o comportamento da resina com relação as diversidades dos materiais.

A pesquisa desenvolvida envolveu as seguintes atividades básicas, que estão contidas no fluxograma a seguir:

FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DA PESQUISA APLICADA


Escolha dos materiais, segundo suas características texturais/estruturais e mineralógicas
Revisão bibliográfica, relacionada ao tema da pesquisa.
Serraria
Coletas das amostras
Jazidas
Análises Petrográficas
Preparação dos corpos de prova
Macroscópicas
Microscópicas
Corposdeprova (estado natural)
Brilho
Análise Colorimétrica
Corpos-de-prova (Resinados)
Análises e Ensaios não Destrutivos
Ataque Químico
Ataque Químico
Análises e Ensaios Destrutivos
Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas
Índices Físicos (Densidade/Porosidade, Absorção d'Água)
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear
Taxa de Emanação de Radônio
Resultados
Análises e Ensaios Destrutivos
Compressão Uniaxial
Desgaste Amsler
Impacto de corpo duro
Flexão 3 pontos
Resultados
Resultados dos Ensaios não destrutivos sem Resina
Compressão Uniaxial
Desgaste Amsler
Impacto de Corpo Duro
Flexão 3 pontos
Resinagem dos mesmos corpos-de-prova utilizados
Material em Estado Natural
Material Resinado
Correlação e Discussão dos Resultados
CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Revisão Bibliográfica

Antes de iniciar os trabalhos de pesquisa, propriamente dito, buscou-se fazer um amplo levantamento da bibliografia. Para tanto, foram pesquisadas teses, dissertações, revistas científicas, publicações em anais de simpósios e congressos, que abordassem o tema da pesquisa, com o intuito de nortear as atividades a serem desenvolvidas, visando a obter com isso melhor eficácia e confiabilidade nos resultados.

Uma das dificuldades encontradas foi a falta de informações de dados relacionados aos parâmetros de caracterização tecnológica de materiais rochosos resinados, uma vez que este é um assunto que ainda não foi estudado.

5.2 Trabalho de Campo - Coleta de Amostras

Para que as amostras fossem bem representativas, procedeu-se à coleta destas tanto ao longo das frentes de lavras, onde são produzidos os blocos, como ladrilhos polidos no estado natural e resinados cuja quantidade será mencionada de acordo com o ensaio realizado. Esses ladrilhos foram obtidos na Granitos do Nordeste S.A-GRANOS, indústria que produz e serra os blocos.

Em função da quantidade de análises e dos ensaios de caracterização tecnológica, foram retirados três blocos de cada material, nas jazidas, com dimensões aproximadas de 30 X 30 X 30 cm, por meio do uso de marteletes pneumáticos e cunhas, evitando-se, assim, que houvesse o mínimo de influência de esforços nas peças.

5.3Trabalho de Laboratório

5.3.1 Preparação dos Corpos de Prova

Os trabalhos de laboratório tiveram início com a preparação dos corpos de prova, com as dimensões indicadas nos procedimentos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15845 de 2010 Rochas para Revestimento- Métodos de Ensaios. Quando algum tipo de ensaio ou análise não encontrava regulamentação nesta entidade, executou-se obedecendo às normas e regulamentos de entidades internacionais.

Os corpos de prova foram elaborados na empresa Granitos do Nordeste S.A-GRANOS, e para cada material a ser analisado foram feitas amostras duplicadas, visando caracterizar um conjunto com resina e outro no seu estado natural. Os corpos de prova que foram analisados resinados foram antes submetidos ao aquecimento num forno de resinagem a gás numa máquina com temperatura a 40º C durante três minutos.

O aquecimento permite a dilatação dos poros e fissuras proporcionando melhor penetração da resina.

Após o aquecimento, os corpos de prova foram resinados com a resina Epóxi 6020, produzida pela Tenax, escolhida em função de sua baixa viscosidade, que facilita a penetração nas fissuras e poros. Como agente de cura, fez-se uso do catalisador BX 35H, numa proporção de mistura de acordo com a fornecida pelo fabricante, conforme tabela mostrada na figura 3.2, ficando em contato com a superfície da rocha, durante 72 horas até a sua consolidação final.

Após a preparação dos corpos de prova, estes foram encaminhados para o Laboratório de Rochas Ornamentais – LRO da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC e para o laboratório do Departamento de Petrologia e Metalogenia da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, visando à realização de ensaios e análises de caracterização tecnológica.

Os ensaios não destrutivos foram realizados, inicialmente, com os corpos de prova não resinados, posteriormente os mesmos corpos de prova foram resinados e realizados os mesmos ensaios nas amostras resinadas. Este procedimento foi utilizado tentando excluir a interferência da anisotropia dos corpos de prova nos resultados das análises.

5.3.2 Ensaios e Análises Realizadas

Com o desenrolar da pesquisa e alguns resultados apresentados, sobretudo naqueles cuja norma da ABNT 15845 determinava uma espessura dos corpos de prova bem acima das que são praticadas na comercialização dessas rochas, verificou-se que a penetração da resina era pequena com relação à espessura das amostras, o que diminuía o efeito de sua eficácia. Optou-se, assim, por não realizar o ensaio de congelamento e degelo.

Nos ensaios de caracterização tecnológica, foram realizadas análises petrográficas, índices físicos (determinação da densidade aparente, absorção d’água, porosidade aparente), ensaios mecânicos (resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura - flexão por carregamento em três pontos, desgaste abrasivo Amsler, resistência ao impacto de corpo duro, coeficiente de dilatação térmica linear, velocidade de propagação de ondas), medição de brilho, análise colorimétrica, ensaios de envelhecimento (ataques químicos com ácidos) e determinação da taxa de exalação de radônio.

Os métodos do ensaio seguiram, sempre que possível, os procedimentos definidos pela ABNT NBR 15845 de 2010.

Análise Petrográfica

Na avaliação macroscópica da rocha, utilizou-se os seguintes materiais: lupas, canivetes e vidros, para testes da dureza.

O exame microscópico foi realizado em microscópico óptico de luz polarizada, usando-se lâminas de rochas (03 de cada material), coladas em lâminas delgadas de vidros expostas em áreas de aproximadamente 4,0 x 2,5 mm, com espessura da ordem de 0,03 mm.

Dentre as várias informações que uma análise macroscópica e microscópica pode fornecer de uma rocha, buscou-se enfatizar aquelas que mais interferem diretamente nos resultados dos parâmetros físico - mecânicos, e na degradação das mesmas.

Sendo assim, a metodologia para análise petrográfica deu mais ênfase aos seguintes parâmetros: composição mineralógica, aspectos texturais, estruturais, e grau de alteração dos minerais.

Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Coeficiente de Absorção d'Água.

Para realização destes ensaios, fez-se uso de dez corpos de prova, cúbicos de dimensões de 5,0 cm de cada material, uma estufa ventilada, uma balança com resolução de 0,01 g, uma bandeja de plástico, água, e um dessecador.

Para realizar os ensaios segui-se os procedimentos abaixo descritos:

Lavou-se os corpos de prova em água corrente e escovou-os para retirar qualquer tipo de sujeira que pudesse interferir nos resultados.

Depois os corpos de prova foram colocados em uma estufa à temperatura de 70±5 ºC até massa constante. Em seguida retirou-os da estufa e deixou-os esfriar, sendo então feita a pesagem individual ao ar, na balança de precisão de 0,01g, obtendo-se a massa seca.

Dando sequência os corpos de prova foram colocados numa bandeja e adicionada água destilada até alcançar 1/3 de sua altura e após 4 h até 2/3 da altura dos mesmos. Após mais 4 h completou-se a submersão, deixando-os por mais 40 h para ser feita a pesagem da massa submersa. Finalizando o procedimento cada corpo de prova foi enxugado com pano levemente úmido e pesado obtendo-se a massa saturada. Para o calculo da densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água utilizou-se as seguintes formulas:

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{\text{Massa Seca}}{(\text{M.Sat.} - \text{M.Sub.})} \times 1000$$

$$\text{Porosidade} = \frac{(\text{M.Sat.} - \text{M.Seca})}{(\text{M.Sat.} - \text{M.Sub.})} \times 100$$

$$\text{Absorção D'água} = \frac{(\text{M.Sat.} - \text{M.Seca})}{\text{M.Seca}} \times 100$$

Inicialmente foram obtidos os resultados das amostras em seu estado natural. Depois, os mesmos corpos de prova foram resinados e repetidos os ensaios, para se obter os valores das amostras resinadas. Optou-se por fazer uso dos mesmos corpos de prova para eliminar possíveis variações de composição e/ou textura, em função da heterogeneidade de algumas amostras, cujas descontinuidades poderiam interferir nos resultados.

Após a cura da resina, em todas as superfícies dos cubos, fez-se uso de uma lixadeira para retirada da película plástica que as recobria, não deixando expostas as faces dos minerais constituintes das rochas.

Impacto de Corpo Duro

Os ensaios foram realizados nos corpos de prova resinados e não resinados e, para tanto, se fez uso dos seguintes materiais e equipamentos:

material – cinco amostras de cada rocha estudada não resinadas e cinco de cada material resinado de dimensões 20 x 20 cm e espessura de 2,0 cm. As amostras que foram resinadas também foram teladas, pois, na comercialização desses materiais, utilizam-se resina e tela nas chapas.

O equipamento utilizado é composto por um cano oco, onde passa uma esfera de aço de 1 Kg que é içada por um fio não deformável através de uma roldana, fixada em um tubo-guia com escala de 5 cm em 5 cm e contendo um colchão de madeira com areia, onde as amostras são colocadas para receber o impacto da queda da esfera, (Foto 5.4).

Foto 5.4 Equipamento do NUTEC, utilizado para determinar a resistência ao impacto de corpo duro (Fonte: autor)

O procedimento do ensaio contou das seguintes etapas:

Colocou-se os corpos de prova, individualmente, no colchão de areia, com a face polida para cima; nivelou-os com auxílio de um nível de bolha, depois a esfera foi alçada até altura de 20 cm e solta em queda livre. A partir dessa altura repetiu-se o procedimento para intervalos crescentes de altura de 5 cm até que ocorreu a fissuração e a ruptura da placa, sendo anotada a altura em que ocorreu esses eventos. Os resultados foram obtidos pela média aritimética da altura de ruptura e pela energia de ruptura calculada pela seguinte expressão:

$W = m \times g \times h$

Onde:

W é a energia de ruptura, expressa em joules (J);

m é a massa da esfera, expressa em quilogramas (Kg);

g é a aceleração da gravidade (9,806 m/s^2); e

h é a altura de ruptura, expressa em metros (m).

Resistência à Compressão Uniaxial

Para realização deste ensaio, fez-se uso dos seguintes materiais e equipamentos: 10 corpos de prova cúbicos com arestas de 7 cm, de cada material, sendo 5 em estado natural e 5 resinados.

- prensa hidráulica com capacidade de 1.000 KN e resolução de 2 KN, dispondo de um prato rígido e outro, oposto a ele, solidário ao dispositivo de aplicação de força e sendo munido de rótula para permitir pleno contato com as faces do corpo de prova, e contendo um sistema que permite carregamento progressivo e contínuo, e estufa ventilada;

Paquímetro com curso de 200 mm e resolução de 0,05 mm para medição dos corpos de prova;

Bandeja para saturação dos corpos de prova em água;

Estufa regulável para (70± 5) °C.

Para realização deste ensaio colocou-se os corpos de prova na estufa (70± 5) °C por 48 horas, depois cada um foi colocado no centro do prato da prensa, movimentou-se o prato oposto até obter ajuste com o corpo de prova, e depois foi aplicada a força até ocorrer a ruptura. O Calculo da tensão de ruptura a compressão uniaxial é dado pela formula: $\sigma c = P/a$ onde:

σc é a tensão de ruptura na compressão, expressa em megapascals (MPa);

P é a força máxima de ruptura, expressa em quilonewtons (KN); e

A é a área da face do corpo de prova submetida a carregamento, expressa em metros quadrados (m^2).

Módulo de Ruptura (Flexão por Carregamento em TrêsPontos)

Para realização do ensaio de resistência à flexão por carregamento em três pontos, fez-se emprego dos equipamentos:

prensa hidráulica com capacidade de 1000 KN resolução igual a 2 KN;

dois cutelos inferiores articulados, um móvel e outro fixo, e um cutelo superior móvel; e

Estufa regulável para (70± 5) °C ventilada para secagem dos corpos de prova. Paquímetro com curso de 200 mm e resolução de 0,05 mm para medição dos corpos de prova;

Utilizou-se 10 corpos de prova de 50 X 100 X 200 mm de cada material, sendo 5 em estado natural e 5 resinados.

Inicialmente assentou-se os corpos de prova, um de cada vez pela sua largura sobre os roletes inferiores, nas posições correspondentes às linhas demarcadas. Depois assentou-se o rolete superior na posição correspondente à linha média traçada no corpo de prova, aplicando-se pequena carga inicial para obter a estabilização do sistema corpo de prova roletes. Depois aplicou-se de modo lento e progressivo, a uma taxa de carregamento menor que 4.450 N/min, até ocorrer a ruptura do corpo de prova. O valor da força de ruptura foi obtida diretamente pelo sistema acoplado ao computador.

Desgaste *Amsler*

Para realização deste ensaio, foram utilizadas oito amostras 7 x 7 x 6 cm de cada material , sendo quatro no estado natural e quatro resinadas. Utilizou-se um relógio comparador que mede a espessura nos quatro cantos de cada amostra, e uma máquina AMSLER, conforme Foto 5.5 e Foto 5.6.

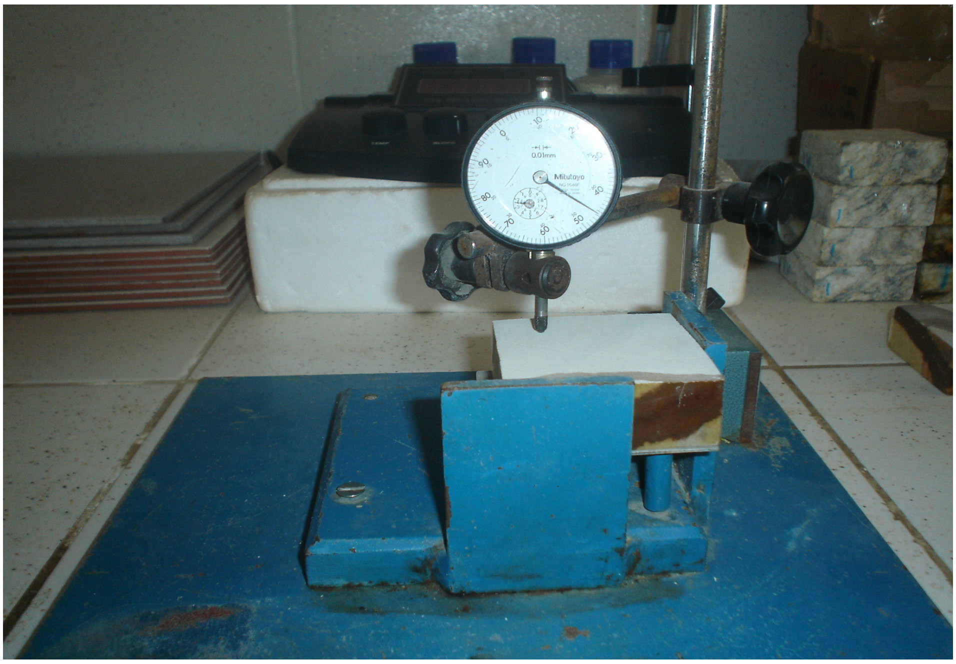


Foto 5.5 Equipamento do NUTEC, utilizado para calcular a aferição da espessura das amostra antes e após o ensaio de desgaste Amsler (Fonte: Autor).

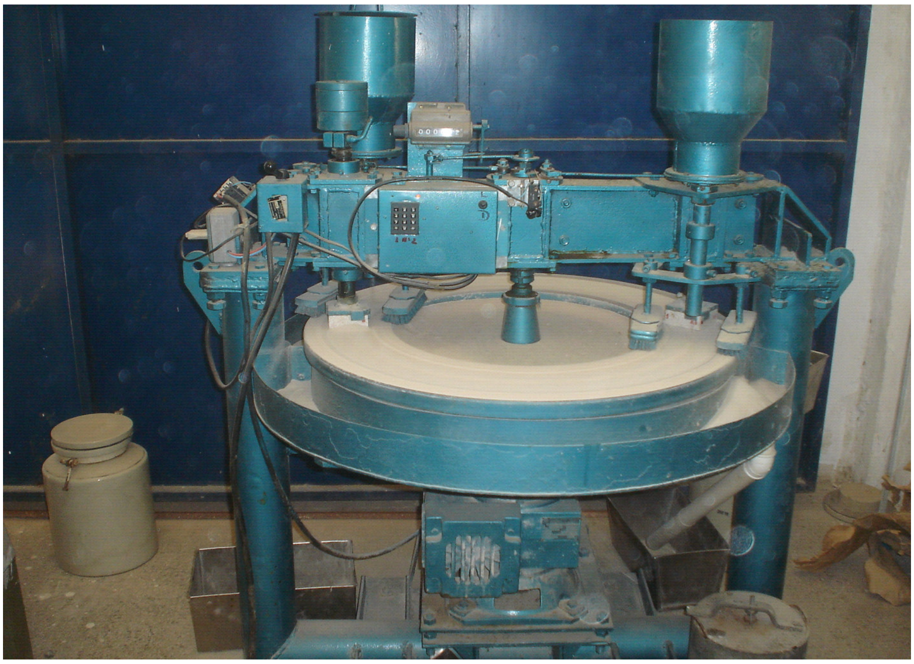


Foto 5.6 Máquina do NUTEC,utilizada para calculo do Desgaste AMSLER em amostras de rochas ornamentais(Fonte: Autor).

A metodologia deste ensaio foi a sugerida pela norma ABNT-NBR 12042-1992. A norma ABNT-NBR 15845, de 2010, não faz menção a este tipo de ensaio.

Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

Para realização deste ensaio, foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais:

três corpos de prova resinados e não resinados no formato de prismas 3 cm de lado e 9 cm de altura;

bomba de vácuo com capacidade de no mínimo 100 KPa;

dessecador; e

um dilatômetro.

Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais

Este ensaio foi realizado segundo a norma ASTM D2845.

O aparelho utilizado corresponde a um medidor de pulso ultrassônico James modelo C-8901, portátil, que possui dois transdutores piezoelétricos, sendo um para transmissão e outro para recepção de ondas sonoras, com frequência entre 36 kHz e 50kHz. O valor da velocidade de propagação das ondas elétricas longitudinais é obtido pela relação entre o comprimento do corpo de prova e o tempo de propagação da onda medido pelo equipamento.

O equipamento consiste essencialmente em um gerador de impulsos elétricos, transdutores (emissor e receptor de ondas ultrassónicas) ou um só transdutor (emissor - receptor), amplificador e um dispositivo sincronizador eletrônico para medir o intervalo de tempo entre o início de um impulso gerado no transdutor emissor e a detecção de sua chegada ao transdutor receptador.

A técnica de medição varia com a disposição do emissor e do receptor das ondas sobre o material a ser estudado, podendo ser de três formas diferentes:
transmissão direta- os tradutores são colocados em duas faces opostas do corpodeprova;
transmissão semi-indireta- os tradutores são postos em faces perpendiculares;
transmissão indireta- os transdutores são postos sobre a mesma face do corpo de prova.

A técnica utilizada nesta pesquisa foi a da transmissão direta. Inicialmente, realizou-se a medição da velocidade de propagação de ondas em amostras não resinadas; posteriormente, os mesmos corpos de prova foram resinados e submetidos à nova medição.

Taxa de Exalação de Radônio

A determinação da taxa de exalação real do gás radônio (Rn-222), foi obtida por intermédio de placas polidas de amostras dos materiais resinados e não resinados, que foram inseridas em câmaras, mantidas em condições de pressão abaixo da atmosférica.

Após permanência durante um período de 27 a 30 dias, o radônio exalado das rochas foi extraído e introduzido em câmara de ionização, que forneceu o valor da atividade alfa em razão do gás produzido. A aquisição e o tratamento dos dados foram realizados com base nas técnicas de determinação das taxas de exalação que se encontram descritas em Bonotto & Andrews (1997) e, mais recentemente, em Chyi (2008).

O método de detecção da taxa de exalação do gás radônio foi o adotado pelo Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP de Rio Claro, tendo como coordenador o professor DR. Antônio Carlos Artur.

Para realização destes ensaios, foram coletadas quatro amostras de cada material com dimensões 30 cm x 2 cm x 4,5 cm. Inicialmente,colocou-se as amostras sem resinas e efetuou-se todo o procedimento do ensaio. Posteriormente, as amostras foram retiradas resinadas, deixando esta substância curar por 72 horas, sendo então retirado o excesso da resina e procedido ao ensaio nos corpos resinados, para comparação da variação da taxa de emanação de radônio. A opção por se realizar o ensaio resinado com os mesmos corpos de prova decorrem do fato de se evitar possíveis variações texturais e composicionais que pudessem interferir nos resultados.

A concentração de radônio emanado de cada amostra dentro do contêiner de emanação foi calculada pela acumulação pelo tempo e ele foi medido em ciclos de dez minutos por um tempo médio de trinta minutos. A acumulação da atividade de radônio dentro do contêiner de emanação segue a equação (AL-JARALLAH, 2001):

$$\mathbf{A_t = A_0(1 - e^{-\lambda t})} \qquad (1),$$

Onde λ é a constante de decaimento do nuclídeo em questão e A_0 é o valor final de atividade em $t \sim 7T_{1/2}$, que é de aproximadamente 27 dias para o radônio. A taxa de exalação de radônio por unidade de área, *E*, é definida como o fluxo de radônio liberado na superfície do material. Este foi calculado usando a seguinte formula (BARTON & ZIEMER, 1986;AL-JARALLAH, 2001):

$$\mathbf{E} = A_0\, \lambda(\mathbf{V/F}) \qquad (2),$$

Onde λ é a constante de decaimento do radônio ($7{,}567 \times 10^{-3}$ h^{-1}), V é o volume do contêiner de emanação (19 l ou 19×10^{-3} m³) e F é a área da superfície total das amostras. A unidade da taxa de exalação de radônio (E) é em Bq m^{-2} h^{-1}. A atividade de final de radônio emanado por percentual de massa C_{Rn} foi calculada usando-se a seguinte formula:

$$\mathbf{C_{Rn}} = A_0\, \mathbf{V}/m, \qquad (3),$$

Onde *m* é a massa das amostras e A_0 e V são definidos nas equações (1) e (2), respectivamente. A unidade da C_{Rn} é Bq kg^{-1}.

A análise da espectrometria- gama foi realizada noLaboratório de Isótopos e Hidroquímica (LABIDRO) do DPM/IGCE - UNESP de Rio Claro, com o intuito de sua utilização como rocha ornamental, objetivando avaliar sua radioatividade.

Após a pulverização das amostras, foi feito o acondicionamento em cápsulas de alumínio para uso da espectrometria- gama.

Entre o acondicionamento das amostras nas cápsulas e a leitura espectrométrica, a amostra foi colocada em repouso por trinta dias para que fosse atingido o equilíbrio radioativo secular entre o ^{226}Ra e seus filhos de meia- vida curta. Após este período, é feita a leitura da amostra no sistema espectrométrico-gama, instalado no LABIDRO da UNESP de Rio Claro. O processamento dos dados obtidos é efetuado pelo *software* Maestro II, da EG & G - ORTEC, instalado no LABIDRO.

Análise Colorimétrica e Medição da perda da Intensidade de Brilho

A cor de uma rocha e seu brilho são características que ressaltam aos olhos do observador, sendo, muitas vezes, essas propriedades que levam o consumidor a definir a compra de um ou de outro material. Este ensaio é importante, pois ele mostra a perda da intensidade de brilho e variações na cor, quando a rocha é submetida à ação de ataques de determinados produtos químicos, bem como à ação dos agentes ambientais.

Para realização deste ensaio, foram utilizadas dez placas de cada material pesquisado, sendo cinco no estado natural e cinco resinadas.

Demarcou-se na superfície de cada placa círculo de diâmetro 08 cm cada e efetuaram-se várias medições de intensidade de brilho, dentro deles, determinando então a intensidade de brilho de cada círculo. Esta avaliação foi efetuada em 18 leituras realizadas com o medidor de brilho marca Zehntner ZGM 1110, adotando-se a leitura de ângulo 85°.

Após a medição do brilho, foi feita então a leitura do índice de cor de cada círculo, também sendo feitas 18 leituras dentro de cada um deles (foto 5.7).

A colorimetria foi fundamentada no princípio de que todas as cores podem ser representadas com base na composição de três cores básicas (vermelho, verde e azul).

Como ensinam Souza *et al.* (2008), as características da cor resultam de três atributos: o atributo da luminosidade e dois de cromaticidade. Os parâmetros principais são L*, a*, b* e h*, obtidos na escala CIELAB. Segundo ainda os referidos autores L* representa a luminosidade, onde $L^*= 0$ a tonalidade tende para o preto e para $L^*= 100$, tende para o branco. Com base nesses parâmetros, calcula-se o ΔE^* raiz quadrada da soma dos valores de ΔL^{**}, Δa^* e Δb^* ao quadrado, e a croma é representada pela raiz quadrada da soma dos valores de a* e b* ao quadrado. Quanto mais positivo o valor de a* mais intensa será a cor vermelha; quanto mais negativo, maior será a coloração verde. Igualmente o parâmetro b* representa a relação entre a cor amarela (+b*) e azul (-b*).

Neste trabalho, a determinação numérica da cor foi realizada com base nas coordenadas colorimétricas do sistema colorimétrico CIE 1931, no espaço cromático uniforme CIELAB (1976), Figura 5.1.

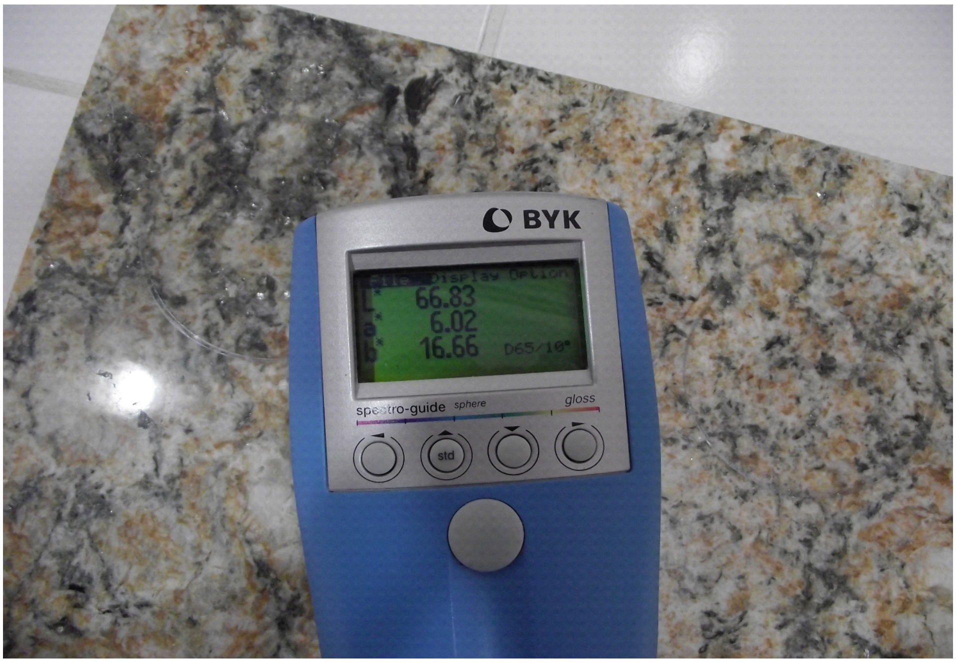

BYK
File Display Options
L* 66.83
a* 6.02
b* 16.66 D65/10°
spectro-guide sphere
gloss
std

Foto 5.7- Aparelho utilizado para medição do índice de cor (Fonte: Autor)

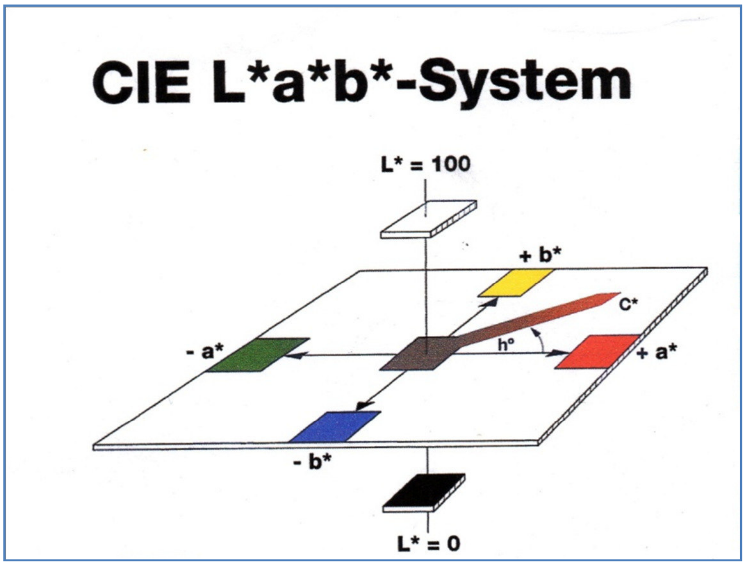

CIE L*a*b*-System
L* = 100
+ b*
C*
- a*
h°
+ a*
- b*
L* = 0

Figura 5.1 - Coordenadas no sistema CIELAB L*, a*, b*.
Fonte: BYGardner

O ataque com reagentes constitui outra ferramenta de pesquisa, sendo o ensaio realizado de acordo com a norma ABNT-NBR 13818-97, anexo H (normativo), pisos cerâmicos vidrados “determinação da resistência ao ataque químico” que é adaptado para rochas. No caso específico desta tese, optou-se por adotar o mesmo tempo de ataque para todos os ácidos. A tabela 5.1 mostra os reagentes e os produtos que possuem suas concentrações:

Tabela 5.1 Reagente e produtos usados no cotidiano

Reagentes	Concentração	Tempo de Contato	Produtos que Contem os Reagentes
Ácido Cítrico ($C_2H_8O_7$)	100 g/l	72 h	Sucos de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes.
Ácido Clorídrico (HCl)	3% v/v	72 h	Ácido muriático
Cloreto de Amônia (NH_4Cl)	100 g/l	72 h	Produtos químicos de uso doméstico, como detergentes e sabões
Hidróxido de Potássico (KOH)	100 g/l	72 h	Produto de tratamento de água de piscina, água sanitária, produtos antimorfo.
Hidróxido de Sódio (NaClO)	20 mg/l	72 h	Sabões em Geral

Depois dos ataques químicos, as amostras foram submetidas novamente à leitura de intensidade de brilho e de índice de cor, sendo então analisada a perda ocorrida em cada amostra, verificando a eficácia da resina na proteção da rocha.

5.4 Resultados e Discussões

Após os resultados dos ensaios e análise de caracterização tecnológica, foi feita a consolidação dos dados, avaliando-se a influência da resina em cada variação e sua eficácia na proteção contra o desgaste e degradação desses materiais.

5.5 Conclusões e Sugestões

Por fim, são ressaltadas as conclusões e sugestões a que se chegou com os resultados da pesquisa, sendo elaborado o texto final da tese.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, descrevem-se os resultados dos ensaios e análises realizados em amostras resinadas e não resinadas nos materiais pesquisados, sendo feitos comentários sobre a correlação destes resultados, focando a interferência e eficácia da resina nos parâmetros obtidos em cada um deles.

6.1. Análise Petrográfica

6.1.1 Wood Stone

Macroscopicamente, a rocha apresenta granulação fina, com coloração variando de cinza a creme, sendo que, em algumas locais, ocorre coloração esbranquiçada em razão provavelmente, de uma zona mais alterada da rocha. A rocha exibe estrutura maciça, mostrando formas semelhantes a "estratos dobrados", provocadas pela percolação de água que causam alteração mineral, modificando a cor do material (foto 6.1).

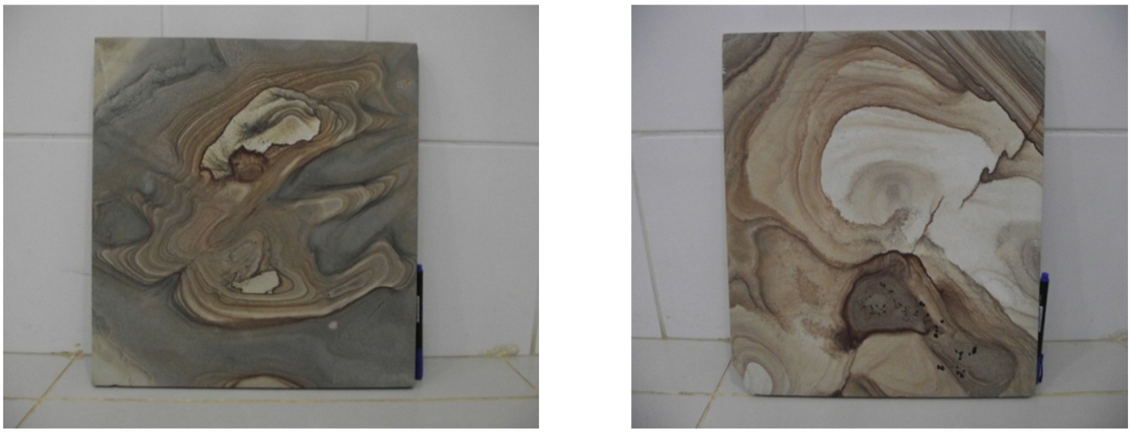


Foto 6.1: Amostras do *Wood Stone* exibindo faixas alteradas em virtude da percolação de água com óxido de ferro. Margem esquerda, material resinado; margem direita material em estado natural (Foto: Autor).

Microscopicamente, como se pode observar na prancha 6.1, a rocha exibe textura traquítica, com granulação de fina a muito fina, cristais variando de 0,1 a 0,5 mm, alongados, mostrando uma orientação, compostos principalmente de feldspato potássico (sanidina) (85%), e por vezes ocorrem cristais de plagioclásio sódico (andesina)(8%). Além da composição de feldspato potássico, ocorrem secundariamente minerais constituídos por (opacos) óxido de ferro (6,5%) e também ocorrem minerais traço de biotita (0,5%). Os minerais apresentam em sua maioria contatos do tipo planos

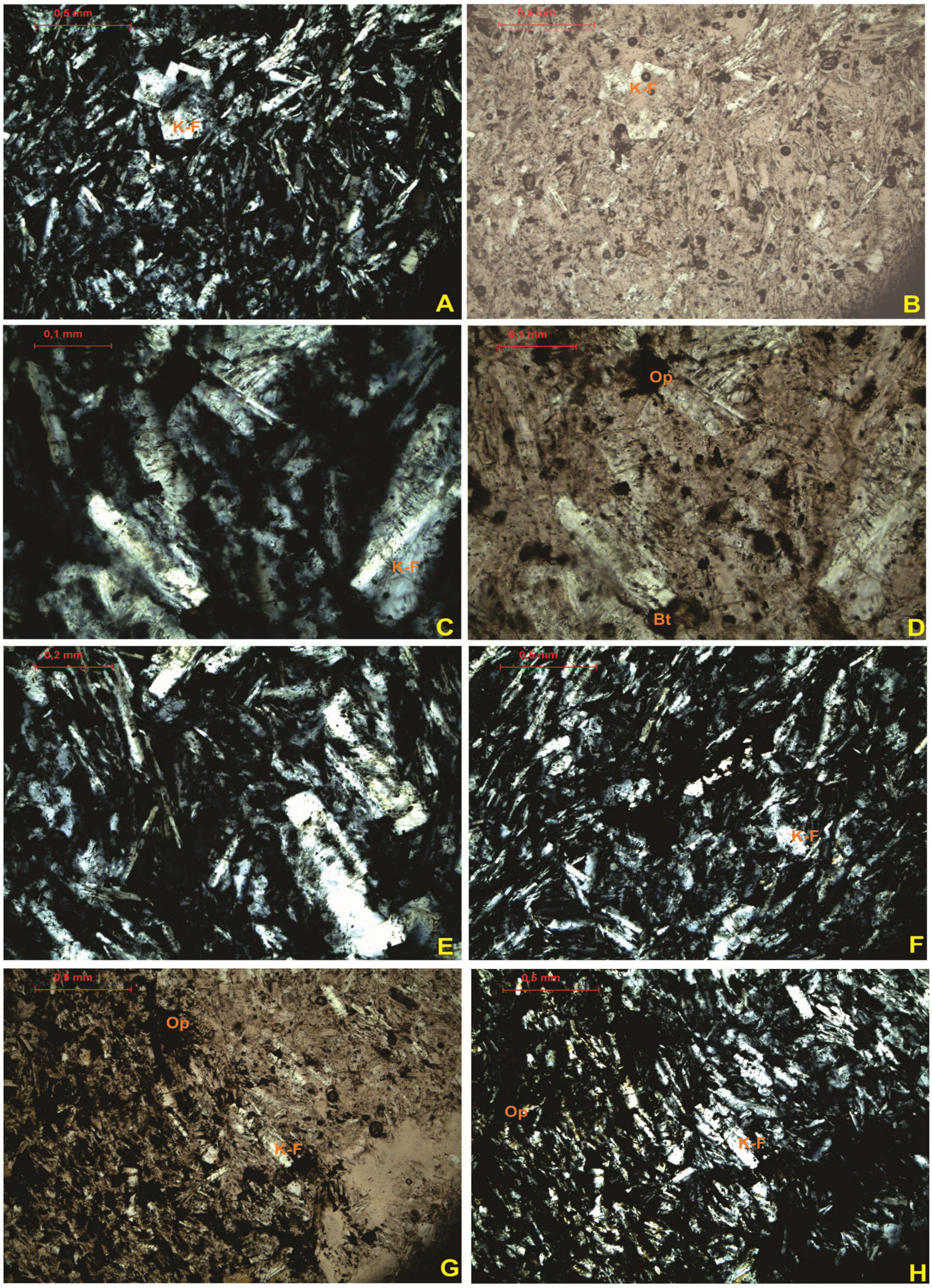
(87%) e por vezes ocorrem contatos côncavo-convexos entre alguns cristais (13%).

Os minerais exibem um grau de alteração de fraco a moderado, e os cristais demonstram maior alteração nas bordas e em microfraturamentos. Na zona onde ocorrem fraturas maiores, os cristais de feldspato potássico são objeto de alteração proveniente da percolação de água, ocasionando oxidação, modificando coloração e aumentando o grau de alteração dos cristais. O microfissuramento da rocha é considerado alto (4,5 microfissuras/mm² para intergrão e de 3,6 microfissuras/mm² para intragrão), onde os cristais de feldspato potássico apresentam grande quantidade de microfissuras intragrão e intergrão, sendo favorecidas pela alteração nas bordas dos cristais, aumentando a porosidade da rocha.

Os cristais de feldspato potássico mostram-se alongados e apresentando uma certa orientação, podendo exibir tamanhos de 0,1 a 0,4 mm e por vezes ocorrem cristais com até 0,5 mm, com forma euedral a subeudral. Geralmente, exprimem contatos entre si dos tipos planos a côncavo-convexos. Em muitas zonas onde ocorrem fraturas preenchidas por opacos, estes cristais ocorrem dentro dos cristais de feldspato potássico, provavelmente em razão de um grau de alteração mais alto e percolação dos óxidos por dissolução nas microfissuras.

Os opacos (óxidos de ferro) expressam formas anedrais, exibindo características de dissolução na rocha em forma de camadas, geralmente preenchendo as fraturas e os poros existentes nas suas proximidades.

A biotita ocorre raramente na amostra, apresentando tamanho de 0,1mm, com forma anedral e geralmente perto de zonas de alteração.


0,5 mm
K-F
A
0,5 mm
K-F
B
0,1 mm
K-F
C
0,1 mm
Op
Bt
D
0,2 mm
E
0,5 mm
K-F
F
0,5 mm
Op
K-F
G
0,5 mm
Op
K-F
H

Prancha 6.1: (A) (B) (E) Fotomicrografia exibindo textura traquitica, sendo evidenciada uma pequena orientação dos cristais de feldspato potássico. Mostra, ainda, a alta concentração de microfissuras presente na rocha . (C) (D) (F) Fotomicrografia mostrando cristais de opacos entre as microfissuras. (G) (H) Fotomicrografia exibindo interação dos cristais opacos com os feldspatos potássicos, alterando os cristais e suas bordas.(Fonte: Autor).

6.1.2 Branco Nevasca

A rocha exprime coloração branca a branco-acinzentado, granulação de media a grossa, mostrando cristais com tamanhos semelhantes, sendo que alguns cristais de plagioclásio ocorrem com tamanho de até 1,4 mm foto 6.2. Apesar de exibir coloração branca, ocorre em algumas zonas uma concentração um pouco maior de muscovita, fazendo com que nestas zonas apresentem por vezes uma pequena orientação desses cristais.

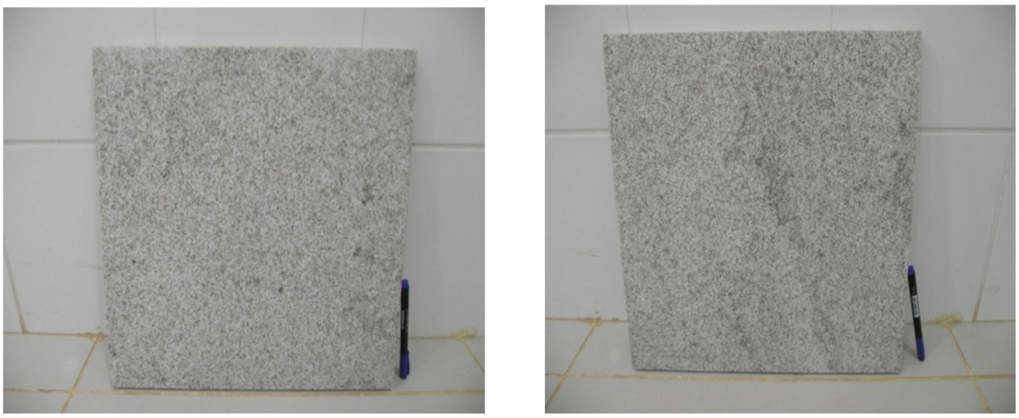


Foto 6.2: Imagem mostrando a granulação equigranular do Branco Nevasca. Margem esquerda ,material sem resina; margem direita, material resinado.(Fonte:Autor)

Microscopicamente, como se observa na prancha 6.2, a rocha possui composição mineralógica de quartzo (31%), feldspato potássico(31%), plagioclásio (27%), muscovita (10%), e granada (1%). Apresenta textura equigranular pandiomórfica, onde a maioria dos cristais exibe forma subeudral a anedral, com tamanhos variando entra 0,2 a 1,8 mm. Os minerais contêm grau de alteração variado, entre incipiente a fraco nos quartzos e de moderado a forte em alguns feldspatos potássicos e plagioclásios.

Os contatos presentes na rocha são do tipo côncavo-convexo (38%), sendo encontrados geralmente entre os grãos de quartzo e com os cristais de feldspato; planos (17%) entre os cristais de muscovita e quartzo e, por vezes, entre feldspato e quartzo; e serrilhado (45%), sendo encontrado entre grãos de quartzo com microclina, plagioclásio, muscovita. As microfissuras ocorrem em menor quantidade do que na amostra do Wood Stone, sendo 1,6 microfissura/mm² para intragrão e 0,53 microfissuras/mm² para intergrão.

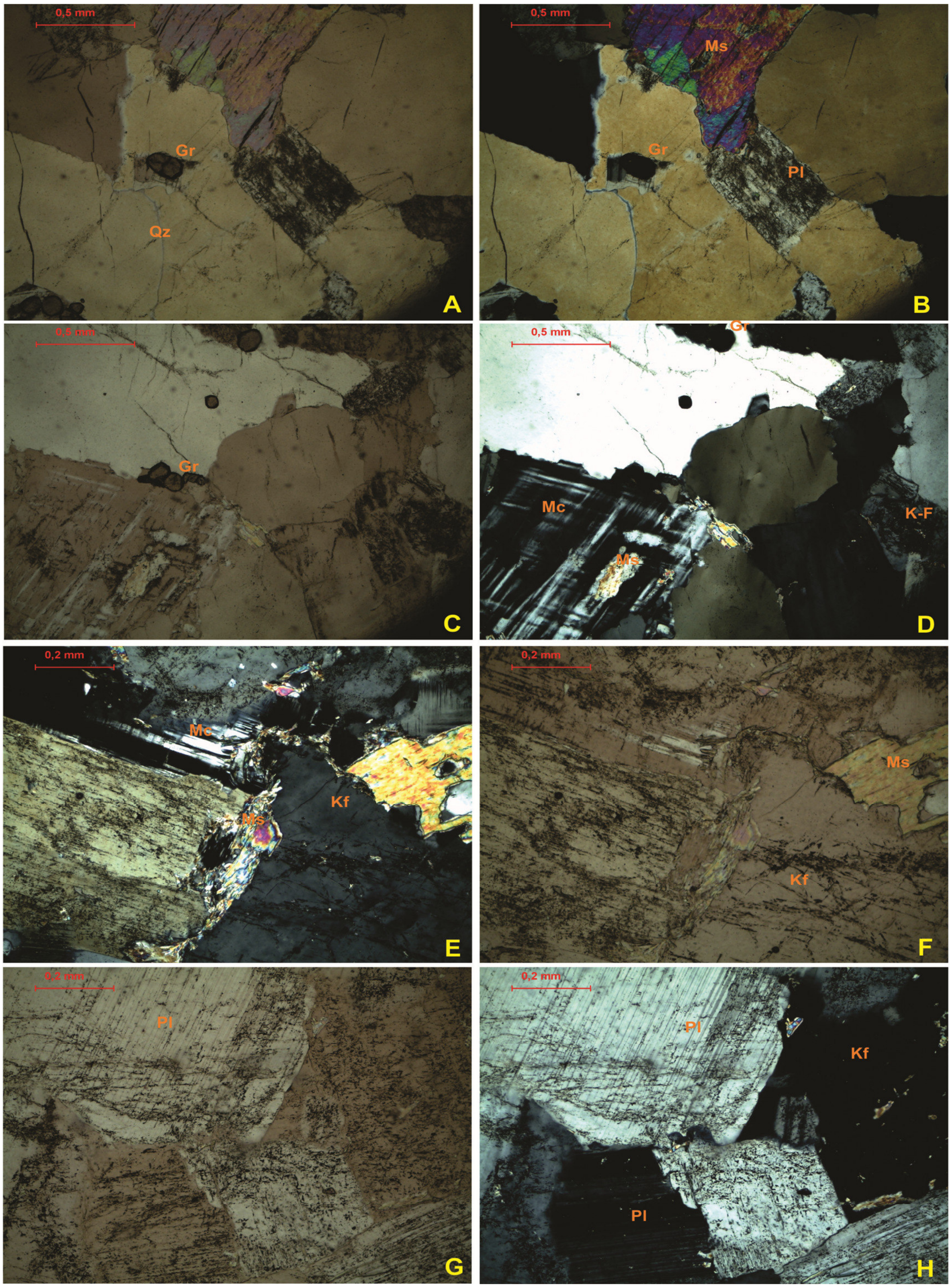
Os cristais de quartzo apresentam forma anedral, geralmente com contatos serrilhados e côncavo- convexos com outros cristais; exibem tamanhos que variam de 0,4 a 1,4 mm, podendo chegar a até 1,8 em alguns locais.

Os cristais de feldspato potássico exibem, geralmente, formas subedrais a anedrais, apresentando contatos do tipo côncavo-convexos, serrilhados e planos, com tamanhos que variam de 0,3 a 1,2 mm. Em alguns locais, esses minerais têm um grau de alteração fraco.

Os cristais de plagioclásio trazem forma euedral a subedral, sendo que, por vezes, mostram forma anedral, exibindo tamanhos de 0,5 a 1,5 mm. Geralmente, exprimem contatos côncavo-convexos e planos.

A muscovita ocorre de forma lamelar, geralmente de subeudral a anedral, com contatos planos e serrilhados, mostrando tamanhos variando de 0,2 a 1,4 mm. Nesta seção delgada, é possível observar dois tipos de muscovita, uma primária e outra secundaria, sendo que a ultima está preenchendo pequenos contatos com outros minerais ou algumas microfissuras de feldspato potássico.

Os cristais de granada encontram-se dispersos na seção delgada, ocorrendo em formas arredondadas e inclusas dentro de alguns cristais de quartzo e entre alguns contatos com microclina e feldspato.


0,5 mm
Gr
Qz
A
0,5 mm
Ms
Gr
Pl
B
0,5 mm
Gr
C
0,5 mm
Gr
Mc
Ms
K-F
D
0,2 mm
Mc
Ms
Kf
E
0,2 mm
Ms
Kf
F
0,2 mm
Pl
G
0,2 mm
Pl
Kf
Pl
H

Prancha 6.2: (A) (B) (C) (D) Fotomicrografia mostrando relação de contatos serrilhados, côncavo-convexos e planos entre os grão minerais. (C) (E) (F) (G) (H) fotomicrografia mostrando a ocorrência de grau de alteração mais alto entre os cristais de feldspato e plagioclásio. (E) Ocorrência do muscovita primaria e secundária (Fonte:Autor).

6.1.3 Casa Blanca

A amostra expressa coloração de branca a castanho-claro, exibindo tons escuros, marcando uma orientação de minerais micáceos (foto 6.3). Mostra textura pegmatítica, com cristais variando de 0,5 a 4 cm de tamanho e por vezes com aglomerados de cristais que podem chegar a 10 cm de largura. É visível em alguns locais a ocorrência de quartzo com coloração amarelada, em virtude da alteração de minerais micáceos.

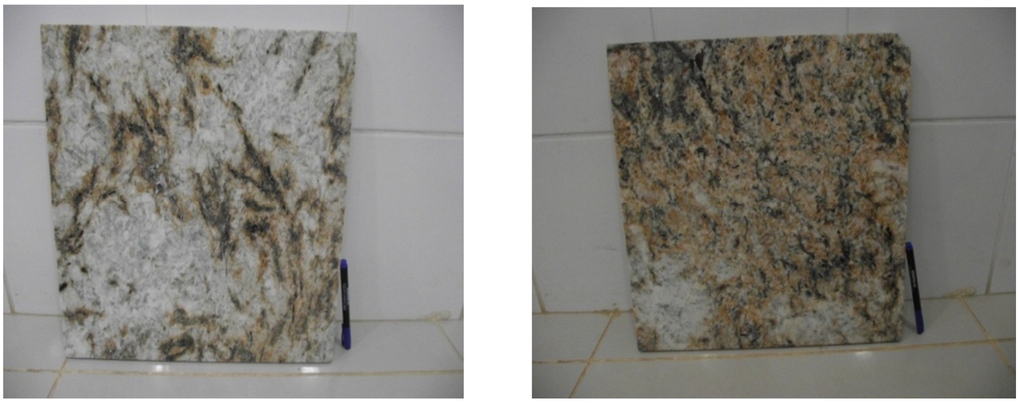


Foto 6.3: Imagem mostrando textura inequigranular com variação de coloração de branco a castanho- claro. Margem esquerda, sem resina; margem direita, material resinado (Fonte: Autor).

A rocha possui composição mineralógica de quartzo (30%), feldspato potássico (23%), plagioclásio (17%), biotita (8%) muscovita, (11%), granada (0,5%), opacos (0,5%). Os cristais exibem forma subeudral a anedral, com tamanhos variando de 0,5 a 2 cm para os minerais micáceos (biotita e muscovita) e alguns quartzos e feldspatos, e de 2 a 4 cm para os quartzos, plagioclásios e feldspatos potássicos.

Como se pode observar na prancha 6.3, as microfissuras estão presentes em vários minerais, sendo que as microfissuras intragrão (1,32 microfissuras/mm²) ocorrer em maior concentração nos plagioclásios e feldspatos potássicos, podendo por vezes ocorrer nos cristais de quartzos. As microfissuras intergrão ocorrem em menor quantidade (0,25 microfissuras/mm²), sendo vistas em cristais de quartzo e plagioclásio. Varias microfissuras intergrão estão preenchidas por sericita ou óxidos, podendo reduzir a quantidade de espaços vazios ou microfissuras intercomunicáveis.

De maneira geral, a rocha possui graus de alteração variando de incipiente a fraca, mas sendo que alguns cristais de feldspato potássico e biotita apresentam alteração moderada. Os contatos entre os componentes mineralógicos da rocha são do tipo serrilhado (29%), côncavo-convexo (44%) e plano (27%).

Os cristais de quartzo exprimem forma de subeudral a anedral, geralmente exibindo, com maior frequência contatos do tipo serrilhado e côncavo-convexo. Estes ocorrem com tamanhos que variam de 0,5 mm a 2 cm, podendo chegar a até 4 cm em alguns locais.

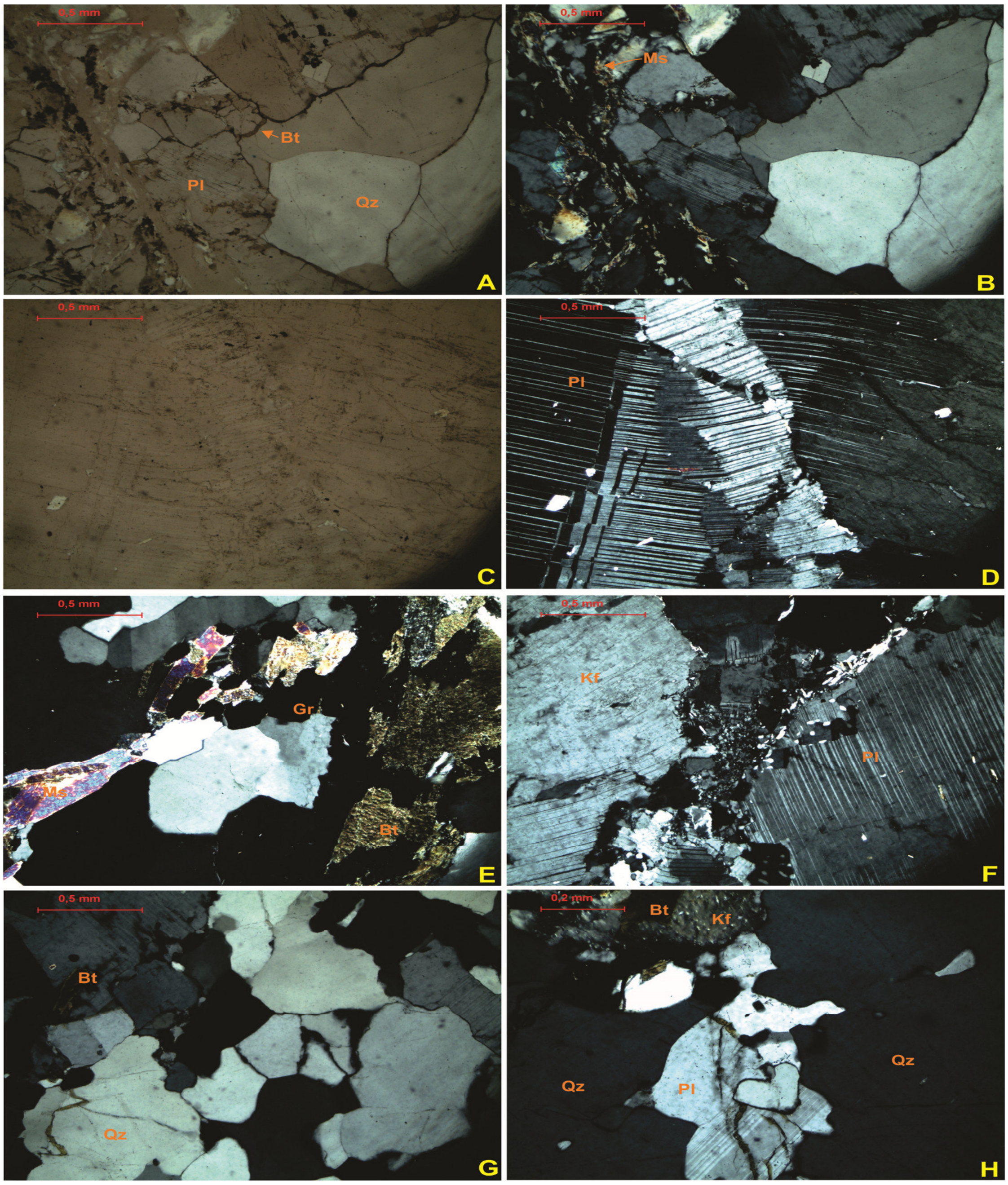
Os cristais de feldspato potássico, geralmente, apresentam forma subeudral a anedral, ocorrendo com contatos dos tipos serrilhado, côncavo-convexo e plano, com tamanhos que variam de 0,2 a 5 cm. Em alguns locais, esses minerais apresentam um grau de alteração de incipiente a fraca.

Os cristais de plagioclásio apresentam forma euedral a subeudral, exibindo tamanhos de 0,5 a 4 cm, podendo chegar até 6 cm. Geralmente, trazem contatos do tipo côncavo-convexo e plano e em alguns cristais ocorrem fraturamento e deformação, ondulando as faixas da geminação do cristal.

A muscovita ocorre com forma euedral a subedral, exibindo contatos planos e serrilhados, e tamanhos variando de 0,2 a 1,4 mm. Este mineral está em toda a lâmina, sendo encontrada juntamente com as biotitas e, por vezes, isolada. Em vários locais, a muscovita e abiotita formam faixas com maior concentração desses minerais micáceos.

As biotitas exibem forma subeudral a euedral, apresentando contatos serrilhados e planos, geralmente mostrando grau de alteração maior do que em outros minerais, exibindo em alguns contatos e microfissuras oxidação em decorrência da alteração dessas biotitas. Ocorrem em sua maioria juntamente com os cristais de muscovita e feldspato.

Os cristais de granada encontram-se dispersos na seção delgada, ocorrendo em formas arredondadas, com tamanhos que variam de 0,2 a 0,5 mm, inclusas em alguns cristais de quartzo e bordas, juntamente com cristais de biotita e muscovita.


0,5 mm
Bt
Pl
Qz
A
0,5 mm
Ms
B
0,5 mm
C
0,5 mm
Pl
D
0,5 mm
Gr
Ms
Bt
E
0,5 mm
Kf
Pl
F
0,5 mm
Bt
Qz
G
0,2 mm
Bt
Kf
Qz
Pl
Qz
H

Prancha 6.3: (A) (B) (F) Fotomicrografia mostrando contatos do tipo serrilhado e côncavo-convexos com preenchidas por alteração dos minerais de biotita. (C) (D) Ocorrência de plagioclásio, mostrando grau de alteração incipiente destes e em (E) exibe cristais de muscovita e biotita mostrando alteração mais alta do que os demais minerais. (G) (H) Apresentam uma composição de minerais com grande variação de tamanhos e forma (Fonte: Autor).

Para melhor visualizar as características petrográficas das rochas pesquisadas, estes são apresentadas na tabela 6.1.

Tabela 6.1 Síntese das principais propriedades petrgráficas dos materiais estudados (Fonte:Autor)

<table>
<tr><th colspan="2">Caracteristica Petrográfica</th><th colspan="2">Branco Nevasca</th><th colspan="2">Casa Blanca</th><th colspan="2"><i>Wood Stone</i></th></tr>
<tr><td colspan="2">Estrutura</td><td colspan="2">Isotrópica</td><td colspan="2">Anisotrópica</td><td colspan="2">Anisotrópica</td></tr>
<tr><td colspan="2">Textura</td><td colspan="2">Fanerítica Equigranular</td><td colspan="2">Granoblática a Pegmatítica</td><td colspan="2">Afanítica</td></tr>
<tr><td colspan="2">Granulação Relativa</td><td colspan="2">Média a Fina</td><td colspan="2">Média a Grossa</td><td colspan="2">Fina</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Granulação (mm)</td><td>Variação</td><td colspan="2">0,2 a 1,8</td><td colspan="2">0,5 a 10</td><td colspan="2">0,1 a 0,5</td></tr>
<tr><td>Predominancia</td><td colspan="2">0,6 a 1</td><td colspan="2">2 a 4</td><td colspan="2">0,2 a 0,3</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Contato Mineral (%)</td><td>Plano</td><td colspan="2">17</td><td colspan="2">27</td><td colspan="2">87</td></tr>
<tr><td>Concavo - Convexo</td><td colspan="2">38</td><td colspan="2">44</td><td colspan="2">13</td></tr>
<tr><td>Serrilhado</td><td colspan="2">47</td><td colspan="2">29</td><td colspan="2">0</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Mineralogia (%)</td><td>Quartzo</td><td colspan="2">31</td><td colspan="2">30</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>Feldspato potássico</td><td colspan="2">31</td><td colspan="2">32</td><td colspan="2">85</td></tr>
<tr><td>Plagioclásio</td><td colspan="2">27</td><td colspan="2">17</td><td colspan="2">8</td></tr>
<tr><td>Biotita</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">8</td><td colspan="2">0,5</td></tr>
<tr><td>Muscovita</td><td colspan="2">10</td><td colspan="2">11</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>Opacos</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">0,5</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>Granada</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">0,5</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">Total Máficos(%)</td><td colspan="2">11</td><td colspan="2">20</td><td colspan="2">6,5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coloração</td><td colspan="2">Branca</td><td colspan="2">Branca a castanho claro</td><td colspan="2">Cinza a
Creme Amarelada</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Microfissuras</td><td rowspan="2">Total (microfissuras /mm²)</td><td>Intragrão</td><td>Intergrão</td><td>Intragrão</td><td>Intergrão</td><td>Intragrão</td><td>Intergrão</td></tr>
<tr><td>1,6</td><td>0,53</td><td>1,32</td><td>0,25</td><td>3,6</td><td>4,5</td></tr>
<tr><td>Comunicabilidade</td><td>ausente</td><td>baixa</td><td>ausente</td><td>baixa</td><td>moderada</td><td>moderada</td></tr>
<tr><td colspan="2">Alteração Mineral</td><td colspan="2">Incipiente a fraco</td><td colspan="2">Incipiente a fraco</td><td colspan="2">Fraco a moderado</td></tr>
<tr><td colspan="2">Classificação Petrográfica</td><td colspan="2">Granito</td><td colspan="2">Pegmatito</td><td colspan="2">Traquito</td></tr>
</table>

6.2 Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais

As velocidades de propagação das ondas ultrassônicas longitudinais (VP) dos materiais utilizados nos ensaios contêm uma correlação com os ensaios petrofísicos neles realizados. Verificou-se uma correlação direta entre a propagação das ondas ultrassônicas e as feições composicionais, texturais e estruturais exibidas pelos três materiais estudados.

A tabela 6.2 mostra os resultados obtidos da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nas amostras não resinadas e resinadas dos corpos de prova estudados.

Tabela 6.2 Resultados da velocidade de propagação de ondas longitudinais nas amostras resinadas e não resinadas (Fonte: Autor)

Material	Comprimento (m)	Velocidade de Propagação de Onda Seco (VP m/s)	Velocidade de Propagação de onda Saturada (VP m/s)	Tempo de Propagação Seco (t. µs)	Tempo de Propagação Saturada (t. µs)
Branco Nevasca Natural	0,199	4.350	5.080	45,7	39,2
Branco Nevasca Resinado	**0,199**	**4.430**	**4.540**	**45,2**	**44,1**
Casa Blanca Natural	0,198	3.900	4.380	50,8	45,2
Casa Blanca Resinado	**0,198**	**4010**	**4.460**	**49,4**	**43,9**
Wood Stone Natural	0,198	3.470	3.540	57,0	56,0
Wood Stone Resinado	**0,198**	**3.550**	**3.560**	**55,8**	**56,2**

De maneira geral, com o uso da resina ocorreu um aumento na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas nos três materiais pesquisados, sob a influencia da redução dos espaços vazios que foram preenchidos pela resina, tanto nos poros como nas microfissuras dos cristais, reduzindo a dispersão da velocidade das ondas.

6.3 Índices Físicos

Os valores dos índices físicos são parâmetros importantes como indicadores de qualidade, para se prever a tendência da rocha de ter aptidão, maior ou menor, de ser alvo de alterações e degradações ao longo do tempo, pois a porosidade de um material rochoso é a porta de entrada de líquidos, sais e demais poluentes produtores de reações que alteram o estado de sanidade da rocha, interferindo não só na sua beleza (cor e brilho), como na sua durabilidade, ou seja, na sua resistência físico- mecânica.

Quando se observa os resultados das análises petrográficas dos três litotipos pesquisados, pode-se afirmar que existe certa coerência entre os ensaios e análises da caracterização tecnológica com a composição, textura e estrutura de cada uma dessas rochas. Para melhor visualizar estas coerências delineia-se a seguir uma série de gráficos, correlacionando os resultados dos ensaios e análises realizados e comentários sobre cada situação.

6.3.1 Densidade aparente

A composição mineralógica, a porosidade e a intensidade de microfissuras interferem diretamente na densidade do material rochoso. Como se pode observar no gráfico 6.1.

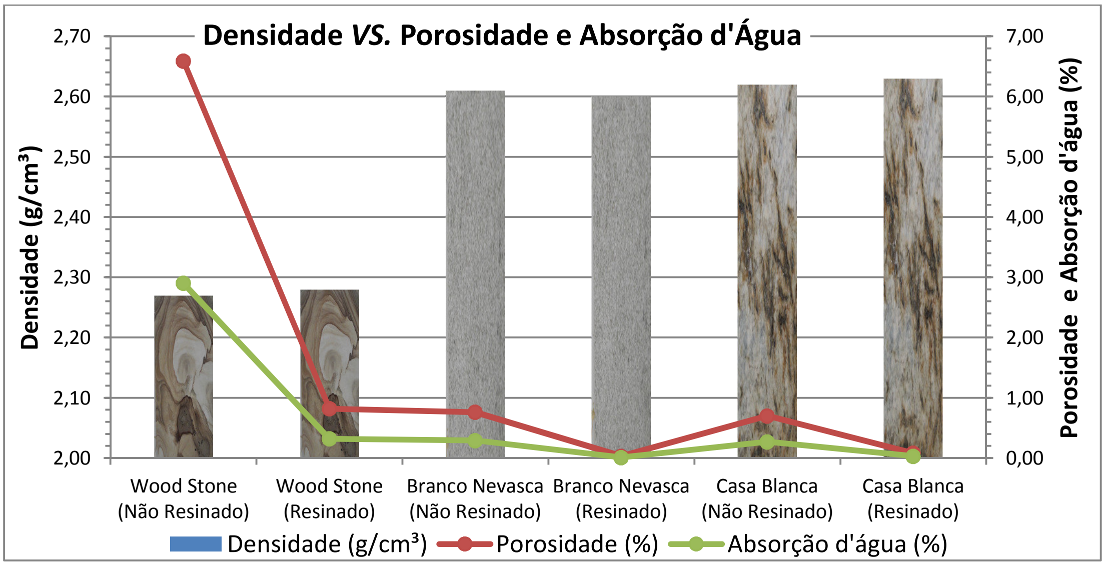


Gráfico 6.1 Correlação densidade aparente *vs*. porosidade aparente e absorção d'água (Fonte: Autor).

Com relação à densidade das rochas, a resina pouco interferiu nos seus valores. Isto decorre do fato de sua baixa densidade e do baixo volume efetivamente penetrado nos espaços vazios, comparado com o volume total de cada material amostrado.

A resina ocupou os espaços vazios apenas nas superfícies ou subsuperfícies de cada face dos corpos de prova amostrados. Com o uso da resina, ocorreu intensa redução da porosidade e absorção d'água nos três litotipos, porém a densidade deles pouco foi alterada.

O fato de a densidade na amostra resinada ter sido pouco inferior à densidade da amostra em estado natural, no Branco Nevasca, é justificado pela metodologia empregada no procedimento do ensaio, pois, quando se fez uso da lixadeira para retirada do excesso da resina que recobria como um plástico todas as faces dos corpos de prova, possivelmente grãos de minerais constituintes da rocha foram retirados (gráfico 6.2).

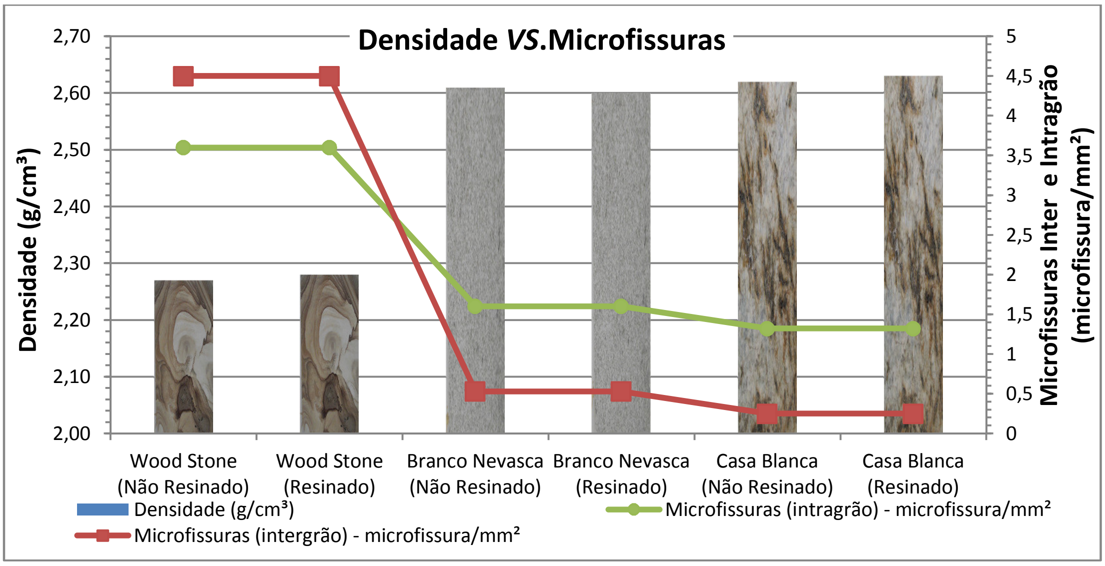


Gráfico 6.2 Correlação entre densidade aparente e microfisuras (Fonte : Autor).

Nos litotipos pesquisados, o material que apresentou maior densidade foi o granito Casa Blanca, em virtude de sua composição mineralógica trazer um percentual maior de minerais máficos, porosidade mais baixa devido a maioria dos contatos entre os minerais ser do tipo serrilhado, côncavo e convexo, dando um imbricação maior entre os grãos. Outro fator que contribui para a densidade aparente ser maior é o fato deste material expressar um menor índice de microfissuras intra e intergãos. Observou-se na análise microscópica que a maioria das microfissuras se encontra preenchida por sericita ou hidróxidos, gerando uma diminuição dos espaços vazios. O de menor densidade foi o granito *Wood Ston*e, pelo fato de exibir alto grau de microfissuramento, maior grau de alteração, ausência de minerais máficos e o contado entre os minerais ser, preferencialmente, paralelo (87%).

6.3.2 Porosidade Aparente

Este é um importante parâmetro para se prever a tendência da rocha ser, mais facilmente, alterada e degradada, o que influenciará no desempenho físico-mecânico, quando ela é exposta a esforços compressivos, flexores e abrasivos, e este parâmetro influencia também na beleza e na conservação da qualidade dos materiais, quando estes são expostos à ação dos agentes intempéricos. No gráfico 6.3, observa-se que existe correlação direta entre índice de porosidade e porcentagem de microfissuras.

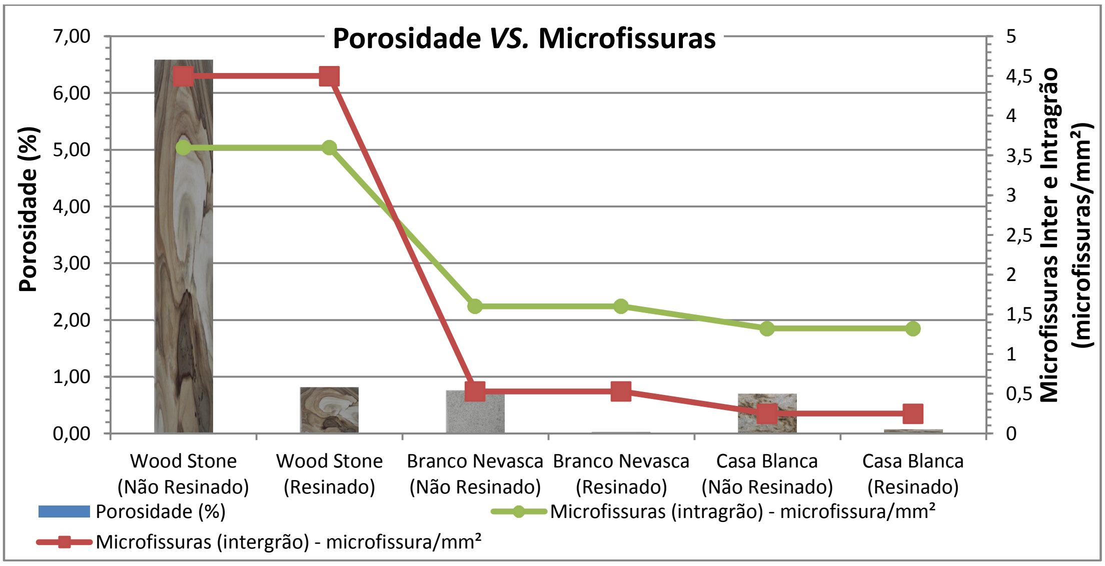


Gráfico 6.3: Correlação entre porosidade aparente e microfissuras (Fonte: Autor).

O granito *Wood Stone* é uma rocha cujo índice de fraturamento é bastante intenso, possivelmente associado a uma tectônica regional, sendo o material que apresentou maior índice de porosidade. Na análise microscópica, notou-se uma grande quantidade de microfissuras intra e intergrãos e os cristais de feldspatos orientados e alongados em uma determinada direção, o que reforça a ideia da rocha ter passado por esforços tectônicos. O estado fissural alto dessa rocha favoreceu a infiltração e a percolação de água, o que provocou alterações nas bordas dos cristais de feldspato, o que também favorece o aumento da porosidade. Outro fator que contribui para o aumento da porosidade é o contato paralelo intragrãos, dominante nos cristais constituintes desta rocha. Sem o uso da resina, a porosidade encontrada foi de 6,59%, o que inviabilizaria o uso como rocha ornamental e de revestimento. Após o material ser resinado, ocorreu uma diminuição considerável na porosidade, que ficou em 0,82% dentro dos padrões de aceitação dos valores de referência estabelecidos pela ABNT NBR 15844 de 2010 1,0% no máximo.

O granito Branco Nevasca, apesar de ser uma rocha isotrópica de granulação fina e textura equigranular, é a rocha que apresentou a segunda maior concentração de microfissuras inter e intragrãos; isto associado a maior concentração de quartzo com grão anedral, fazendo com que esta rocha apresente porosidade pouco superior à do granito Casa Blanca, uma rocha anisotrópica e com textura gnáissica.

O gráfico 6.4 mostra que de maneira geral, após o uso da resina nos três materiais, ocorreu uma redução entre 87 e 96% no índice de porosidade dessas rochas.

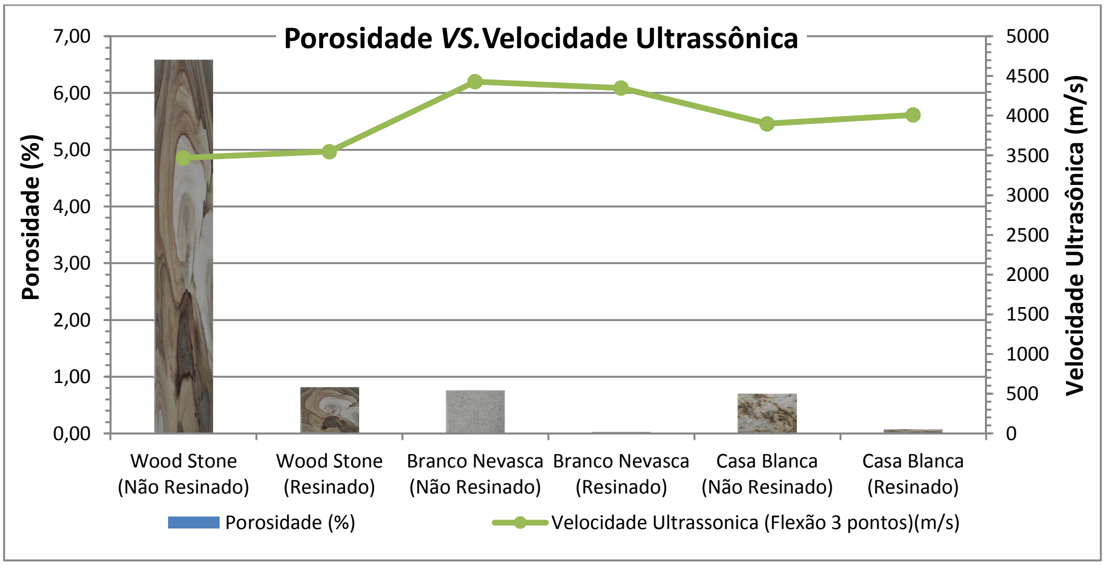


Gráfico 6.4. Correlação entre porosidade aparente e velocidade de ondas ultrassônicas (Fonte:Autor).

Com a redução da porosidade pelo uso da resina, ocorreu um aumento na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, pois sucede uma redução das variáveis que provocam a dispersão das ondas.

6.3.3 Absorção de Água

O índice de absorção de água é diretamente proporcional ao índice de porosidade. Com relação aos resultados dos ensaios de absorção de água nas amostras não resinadas, o granito Branco Nevasca e o granito Casa Blanca tiveram índices bem próximos (0,29% e 0,27% respectivamente), estando estes valores dentro dos estabelecidos pela ABNT NBR 15844, que é de 0,4% no máximo. O granito *Wood Stone* devido ao alto índice de fraturamento (como mostra o gráfico 6.5), foi o que apresentou o maior nível de absorção de água (2,90%), o que restringe muito o uso e a aplicabilidade desta rocha como peça ornamental.

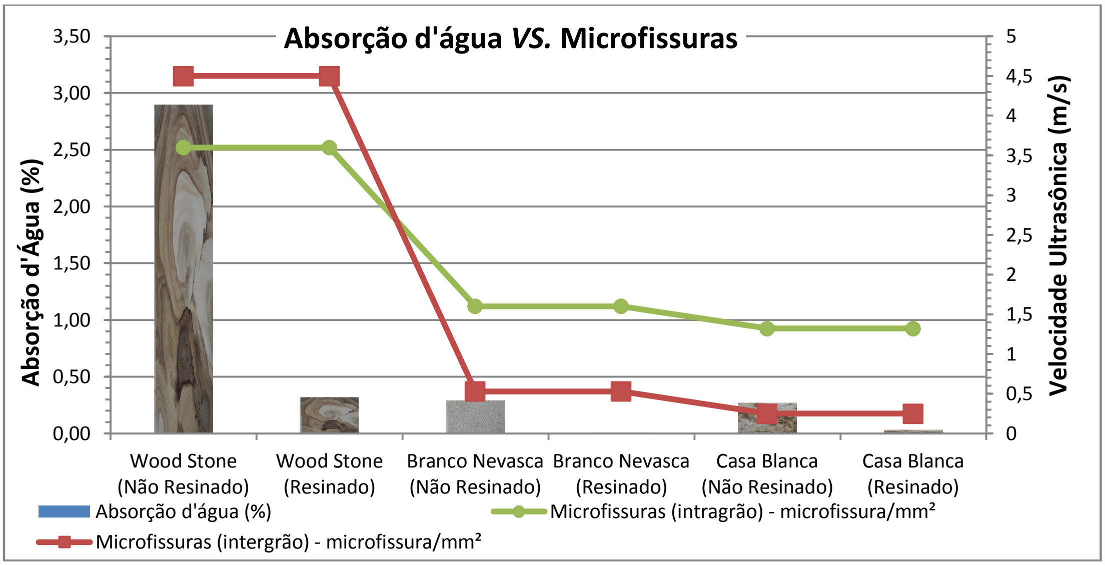


Gráfico 6.5. Absorção de água correlacionada com o grau de microfissuras (Fonte: Autor).

Nos ensaios feitos nas amostras resinadas, todos os materiais exibem resultados de índices de absorção de água dentro dos requisitos sugeridos pela ABNT 15844 (2010). O granito Branco Nevasca apresentou índice de absorção d´água de 0,01% havendo redução de 96,55% em relação ao estado natural. O granito Casa Blanca, após uso da resina, mostrou índice de absorção d’água de 0,03%, com redução de 88,88%, em relação à amostra não resinada; e o granito *Wood Stone* resinado exibiu índice de absorção d’água de 0,32%, havendo redução de 88,96% em relação à amostra não resinada.

6.4. Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Este tipo de ensaio é muito importante para as rochas que vão ser utilizadas como revestimento de pisos, principalmente quando forem colocadas, sobre elas, prateleiras, armazenando materiais que possam cair de determinada altura e provocar rachaduras.

Os gráficos 6.6 e 6.7 mostram que existe relação inversa entre a quantidade de fissuras e o índice de porosidade com a resistência da rocha ao impacto de corpo duro.

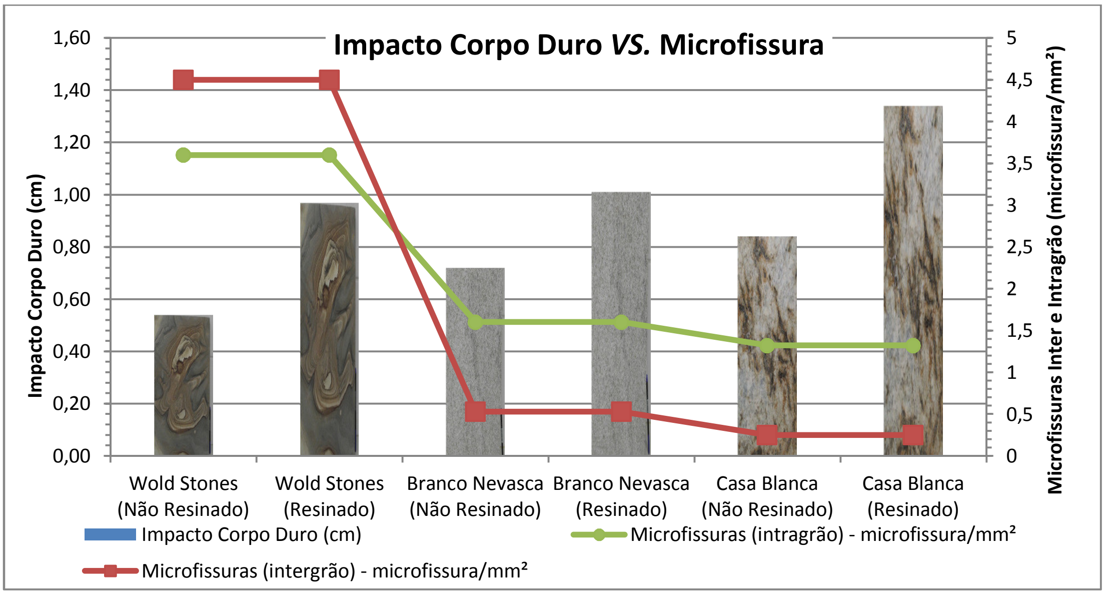


Gráfico 6.6: Correlação entre a resistência ao impacto de corpo duro com as microfissuras (Fonte: Autor).

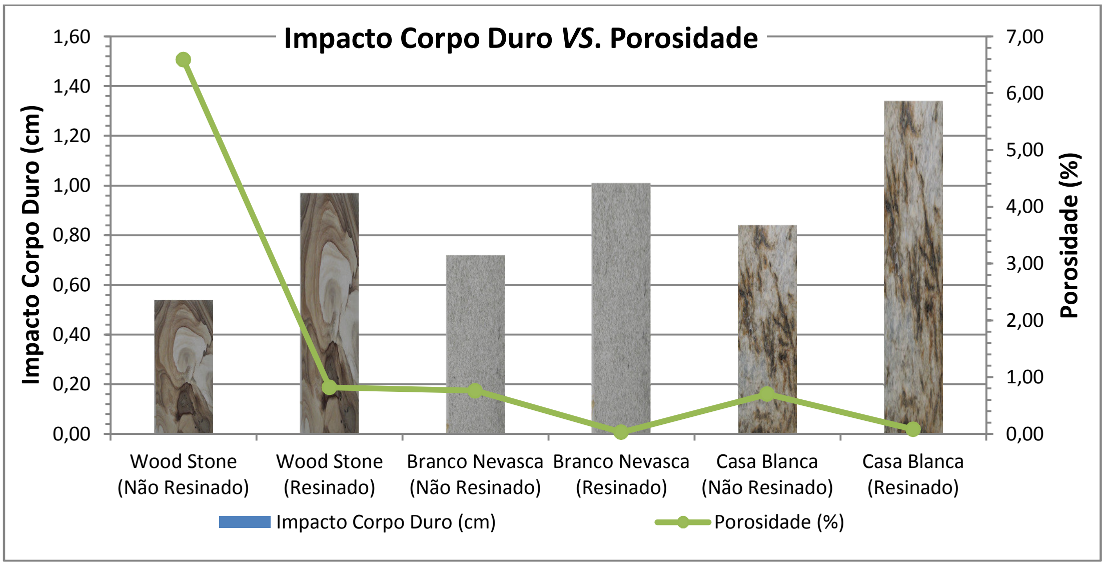


Gráfico 6.7: Correlação entre resistência ao Impacto de corpo duro e porosidade aparente (Fonte: Autor).

O granito *Wood Stone*, que possui o maior índice de fraturamento, e maior índice de porosidade, é o material que possui menor resistência ao impacto. Outros aspectos que também interferem na resistência da rocha são o grau de coesão entre os minerais constituintes da rocha e o grau de alteração destes. Como no granito *Wood Stone* a maioria dos cristais apresentarem contatos paralelos, o que o torna mais frágil ao impacto do que os outros materiais estudados, somando-se a isto a maior facilidade de infiltração e percolação de água nas fisssuras e trincas, que produzem maior alteração dos cristais constituintes da rocha, tornando ainda menor a resistência ao impacto.

O granito Casa Blanca é a rocha que exibe o menor índice de faturamento e microfissuras, e sua resistência ao impacto de corpo duro é a maior dentre os três litotipos. É importante ressaltar que, na análise microscópica, se observou que as microfissuras, em sua maioria, se encontram preenchidas e o grau de alteração dos cristais foi o mais baixo dentre as rochas estudadas, tendo uma coesão forte entre os grãos, favorecendo, assim, sua resistência.

Como a espessura do corpo de prova amostrado para este tipo de ensaio foi de 2 cm e as amostras se encontravam teladas, a resina teve melhor penetração nelas, reforçando os pontos de fragilidade como os espaços vazios da porosidade, das trincas e microfissuras. Isso pode ser observado nas fotos 6.4 e 6.5 que ilustram o rompimento durante o ensaio de impacto do granito Wood Stone em seu estado natural e resinado respectivamente.

Na foto 6.4, o rompimento do corpo de prova não resinado se deu ao longo de zona de fraqueza e de baixa resistência da rocha que são as linhas de fraturas e trincas. É possível verificar o processo de oxidação evidenciado pela coloração vermelha ao longo da linha de fratura, em virtude da percolação da água, nesta faixa, que, por apresentar uma porosidade maior, possibilita a penetração e fluxo d água, provocando alteração no material rochoso, diminuindo cada vez mais a sua resistência.

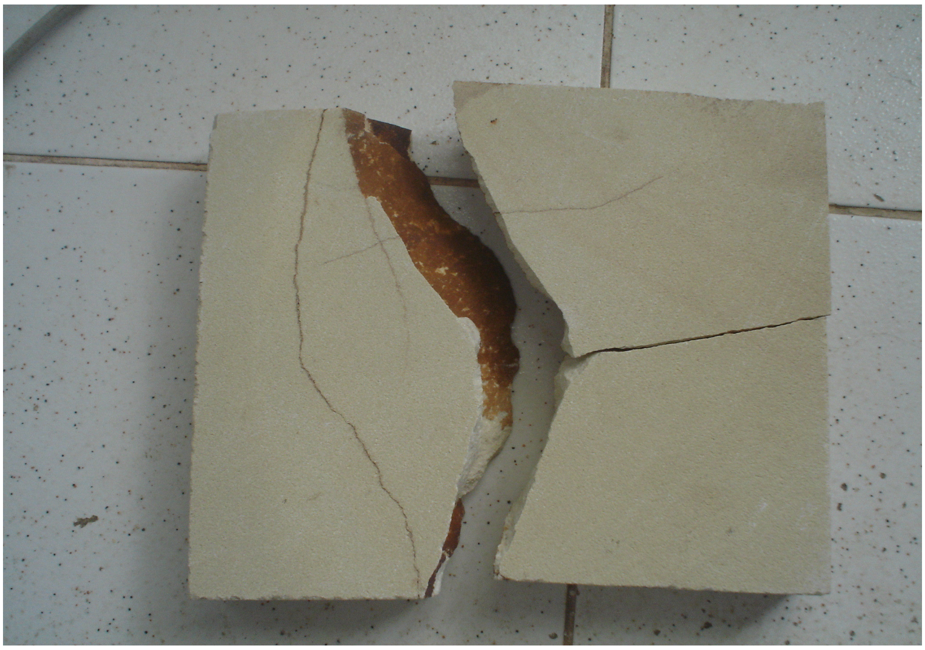


Foto 6.4 *Wood Stone* não resinado, rompendo ao longo da fratura (Fonte: Autor).

Com o uso da resina, os poros, trincas e fraturas são preenchidos, aumentando a resistência nos pontos antes fragilizados (foto 6.5).

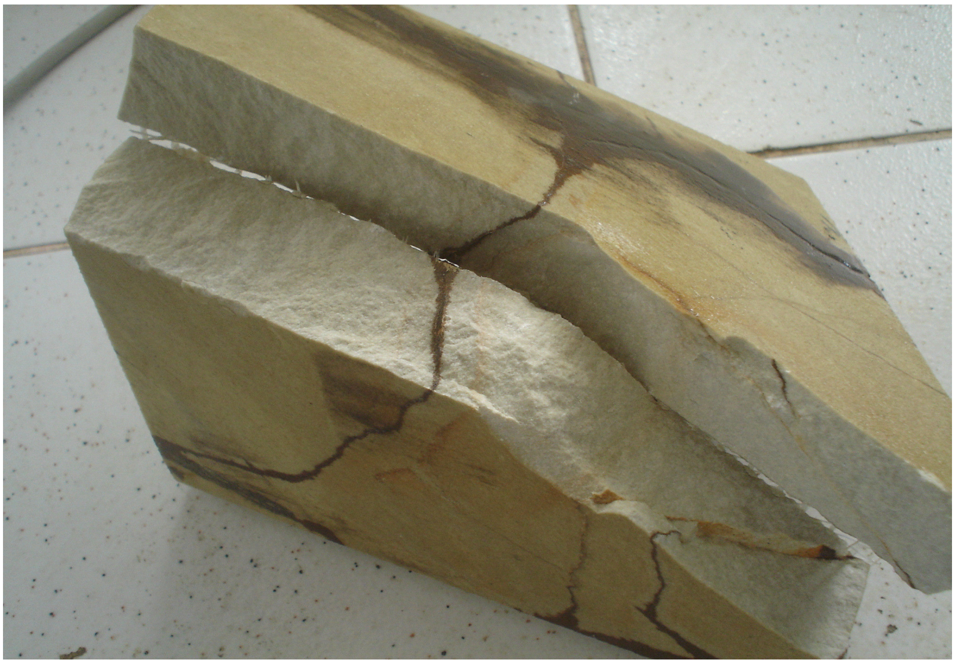


Foto 6.5: O rompimento do corpo de prova resinado ocorreu em direção Perpendicular ao plano de maior fraqueza da rocha (Fonte: Autor).

O rompimento do corpo de prova em uma amostra resinada, que, mesmo estando fraturada, o rompimento pelo impacto não ocorreu ao longo da fratura. A fratura favoreceu a penetração da resina e, consequentemente, sua consolidação ao longo dessa direção, aumentando a resistência da rocha neste local. O plano que anteriormente era o mais vulnerável à partição em razão da fratura exprimir maior resistência, havendo um rompimento perpendicular a esta direção como pode ser observado.

A resina exerceu influência positiva com relação ao crescimento da resistência ao impacto de corpo duro nos três litotipos estudados: 40,27%, 59,5% e 79,6% para os granitos Branco Nevasca, Casa Blanca e *Wood Stone,* respectivamente.

6.5 Resistência ao Desgaste *Amsler*

Este tipo de ensaio é cada vez mais solicitado quando as rochas são empregadas em ambientes de tráfego intenso e de atrito de alta abrasão. Dependendo das solicitações a rocha poderá desgastar-se na superfície e, consequentemente, haver perda de brilho e cor. Sob certas condições, a composição mineralógica das rochas é o fator mais determinante para se obter uma resistência maior ao desgaste.

O desgaste abrasivo de uma rocha tem relação maior com a composição mineralógica e grau de alteração, do que com o grau de fissuramento e porosidade, como se pode observar nos gráficos 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11.

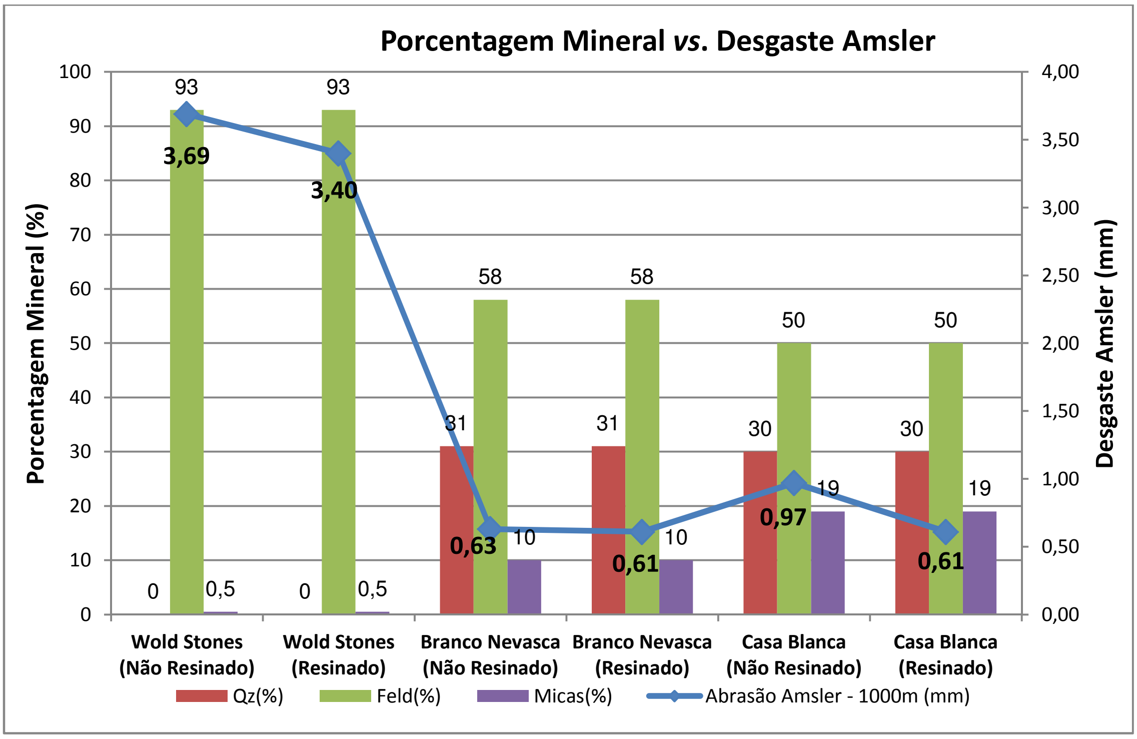


Gráfico 6.8 Correlação entre desgaste Amsler e composição mineralógica (Fonte: Autor).

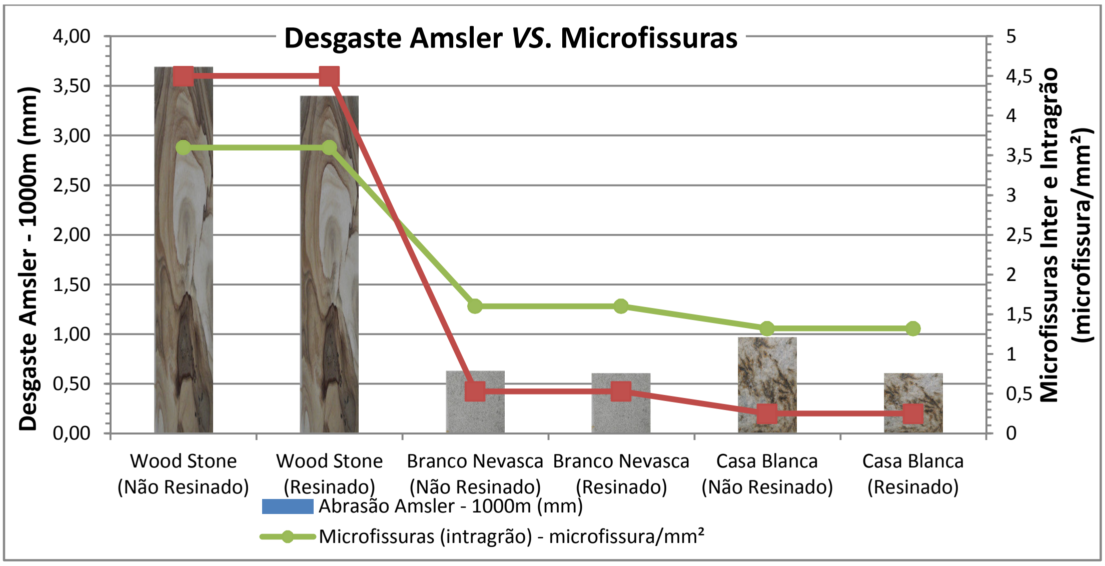


Gráfico 6.9 Correlação entre desgaste Amsler e microfissuras. (Fonte: Autor).

Comparando o granito Branco Nevasca e o Casa Blanca, observa-se que ocorreu diminuição dos microfraturamentos inter e intragrãos. Por outro lado, verifica-se aumento do desgaste para o granito Casa Blanca em comparação ao granito Branco Nevasca.

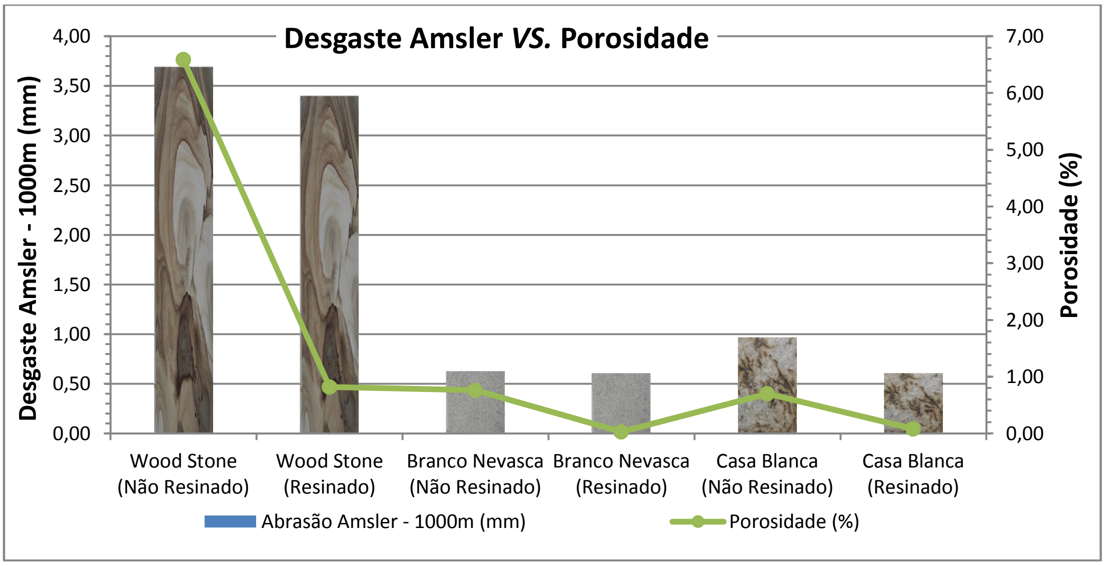


Gráfico 6.10 Correlação entre desgaste Amsler e porosidade aparente (Fonte: Autor).

O granito Branco Nevasca, mostra porosidade um pouco mais elevada do que o granito Casa Blanca, porém o desgaste Amsler é bem menor do que o do Casa Blanca. Isso mostra que a granulação, a anisotropia e a composição mineralógica contribuem para um maior desgaste abrasivo.

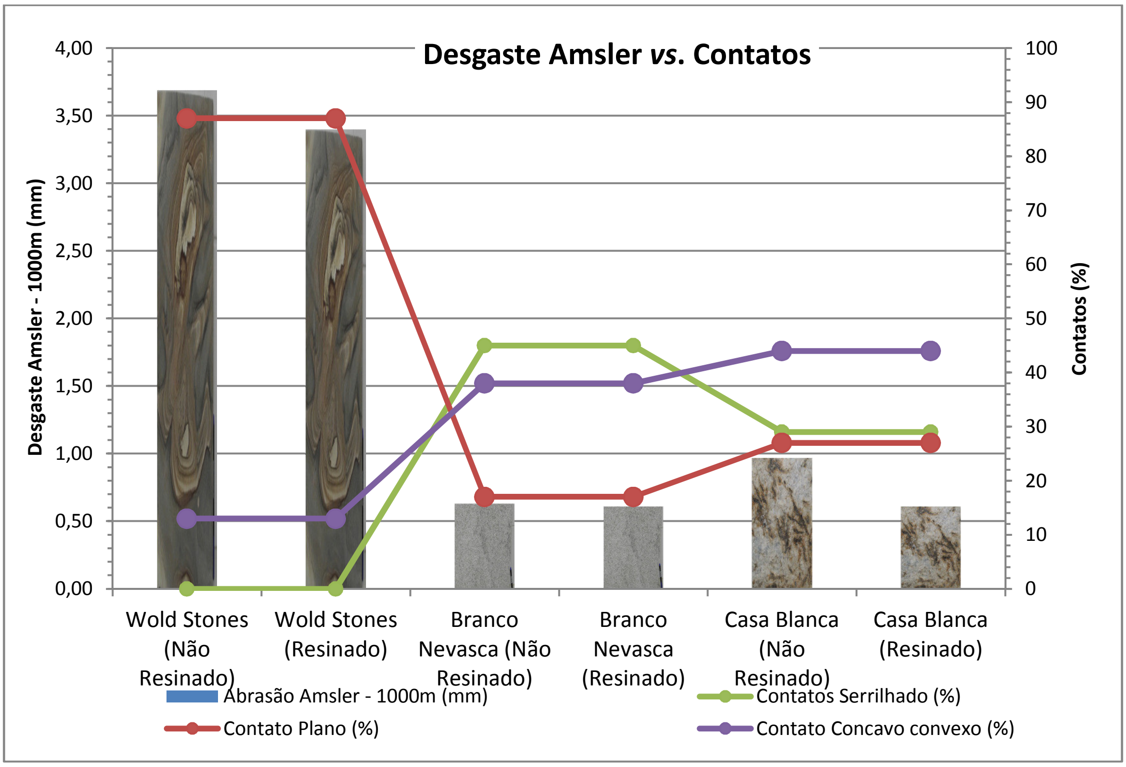


Gráfico 6.11: Correlação entre densidade e tipos de contatos entre os minerais. (Fonte: Autor).

Se a rocha possui um percentual alto de minerais de dureza elevada, sua resistência ao desgaste Amlser será maior. Sendo assim, o granito Branco Nevasca que, dos três litotipos, segundo a análise macroscópica e microscópica, é o que apresenta maior concentração de quartzo e feldspato, daí a razão de sua maior resistência ao desgaste Amsler. A resina no granito Branco Nevasca não interferiu na proteção ao desgaste Amsler, em virtude da composição mineralógica ser praticamente de quartzo e feldspato, e pelo fato de os poros serem bem pequenos, havendo pouco contato do material abrasivo com a resina, sendo este contato maior com os grãos dos minerais constituintes da rocha que, por sua vez, apresentam dureza elevada.

O granito *Wood Stone* exibe um alto índice de desgaste Amsler o qual está relacionado a sua composição mineralógica, de onde o quartzo está praticamente ausente , pelas inúmeras fissuras presentes e grau de alteração sofrida pelos seus minerais por via da percolação da água.

O granito Casa Blanca tem uma composição mineralógica semelhante à do granito Branco Nevasca, porém com maior concentração de minerais micáceos. As micas são materiais fáceis de serem desagregados das rochas por meio de esforços abrasivos, razão pela qual às amostras não resinadas apresentaram um desgaste Amsler relativamente superior ao Branco Nevasca. Com o uso da resina contudo se verificou a ocorrência de maior consolidação dos minerais micáceos, reduzindo a porosidade e proporcionando uma resistência à abrasão superior ao Branco Nevasca resinado.

A tabela 6.3 mostra a comparação do desgaste das amostras estudadas nos primeiros 500 m e nos últimos 500 m e o percentual de redução de desgaste ao final do percurso.

Tabela 6.3- Comparação dos resultados dos valores médios obtidos no ensaio de desgaste *Amsler* nas amostras resinadas e não resinadas (Fonte: Autor).

Material	Espessura Inicial	Após 500m	Após 1000 m	Percentagem de Aumento da Resistência com a Resina após percurso 500 m	Percentagem de Aumento da Resistência com a Resina após percurso 1000 m
Branco Nevasca não resinado	5,89mm	0,36 mm	0,63 mm	+ 2,77%	0,00 %
Branco Nevasca Resinado	5,78 mm	0,35 mm	**0,63 mm**		
Casa Blanca não Resinado	5,75 mm	0,60 mm	0,97 mm	+ 51,66%	37 %
Casa Blanca Resinado	5,52 mm	0,29 mm	**0,61 mm**		
Wood Stone não Resinado	6,55 mm	0,85 mm	3,69 mm	+ 23,78%	8%
***Wood Stone* Resinado**	6,80 mm	0,41 mm	**3,40 mm**		

O granito Branco Nevasca foi o que apresentou menor variação no desgaste *Amsler* do seu estado natural para o resinado, durante os percursos de 500 e 1000 metros. Nos demais materiais, os primeiros 500m de percurso com o uso da resina tiveram aumento na resistência ao desgaste *Amsler.* O granito Casa Blanca apresentou 51,66% e o granito *Wood Stone* 23,78%, porém, esses mesmos materiais, após o percurso dos 1000 metros, reduziram essa resistência para 37% e 8%, respectivamente, possivelmente em virtude da redução do efeito da resina que esta diretamente proporcional à profundidade de penetração dela ao longo das zonas de espaços vazios nesses materiais. É possível decorrer da estrutura orientada e dos planos de clivagem da mica o fato de que a penetração no granito Casa Blanca tenha sido maior.

6.6 Resistência à Compressão Uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em cubos de 7 cm, cuja área de seu volume é bem superior à área da infiltração da resina.Sendo assim, os resultados mostrados no gráfico 6.12, embora positivos com relação ao crescimento da resistência à compressão, quando as amostras estavam resinadas, estes valores poderiam ter sidos superiores se as espessuras fossem as mesmas dos materiais comercializados(podendo ser de 2 ou 3 cm).

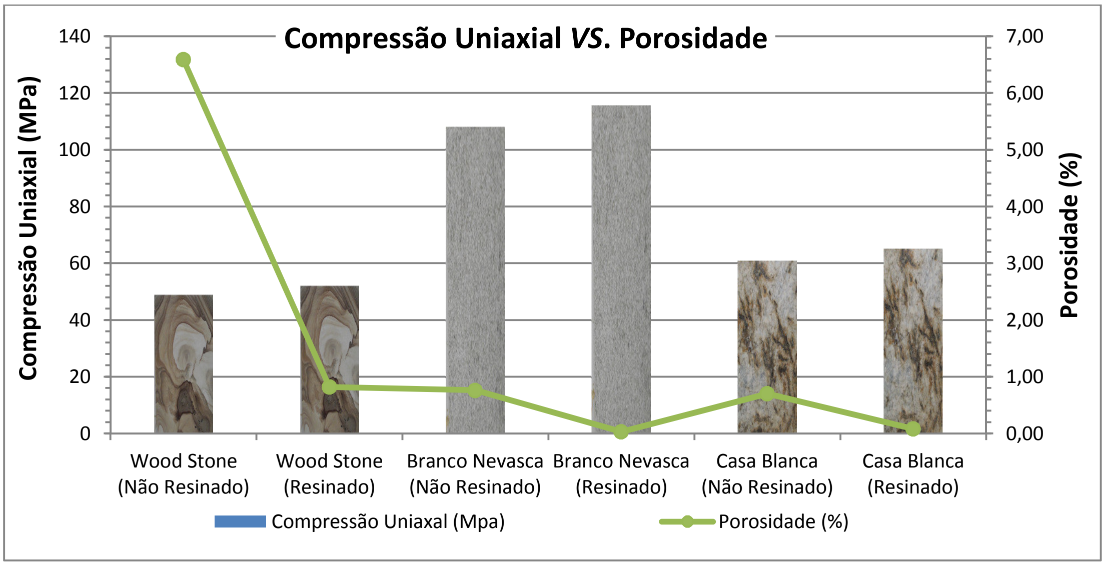


Gráfico 6.12: Correlação da resistência á compressão uniaxial com a porosidade aparente (Fonte: Autor).

Um dos fatores que influenciam para uma baixa resistência a esforços compressivos é a porosidade, porém, como mencionado anteriormente, a penetração da resina no interior dos corpos de prova em relação ao seu volume foi pequena, ficando seu interior sem o contato com a resina. O granito *Wood Stone* em seu estado natural tem uma porosidade bastante elevada, acima de 6%, em razão, principalmente, das fissuras e trincas por ele apresentado, o que torna esta rocha bastante vulnerável ao rompimento com esforços compressivos, tendo exibido um índice de compressão de 48,85MPa. Após o uso da resina, este material reduziu de maneira bastante sua porosidade, que baixou para 0,82%. O aumento de sua resistência à compressão uniaxial foi muito baixo, passando para 52,09 MPa. Isso demostra que, pela altura dos lados do corpo de prova, a resina não penetrou o seu interior para fechar os poros e demais espaços vazios internos, gerados por microfissuras, contato entre os grãos dos minerais, alteração dos minerais e estruturas foliadas, dentre outras anisotropias. O gráfico 6.13 mostra uma comparação entre a ressistência a compressão uniaxial e a velocidade de propagação de ondas ultrssônicas.

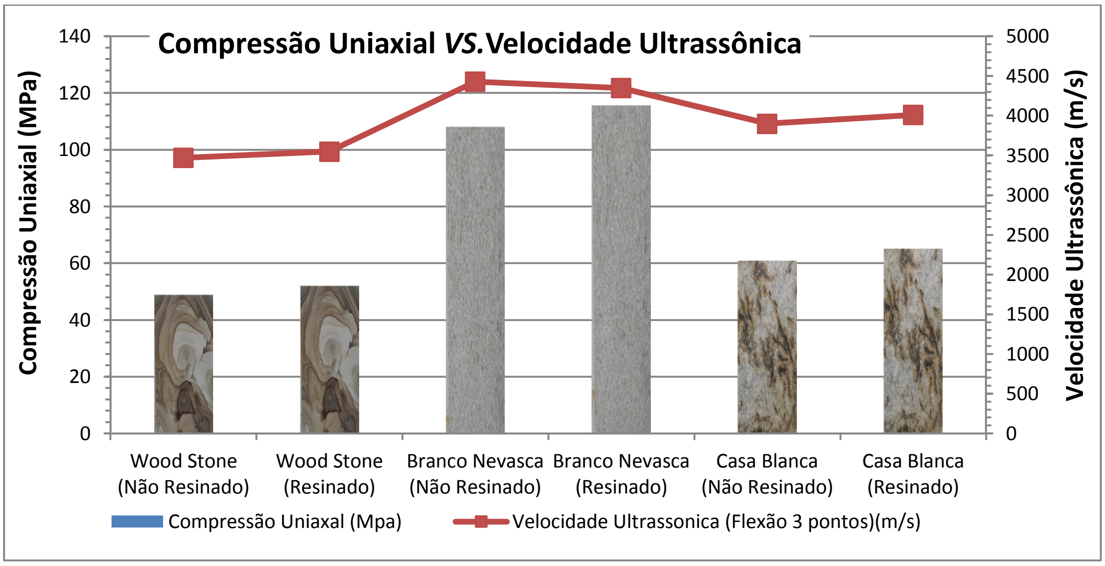


Gráfico 6.13: Correlação da resistência à compressão uniaxial com a velocidade de propagação de Ondas ultrassônicas.(Fonte: Autor).

A baixa velocidade de propagação das ondas ultrassônicas no granito *Wood Stone* está relacionada ao elevado grau de fraturamento dessa rocha, sua elevada porosidade e domínio de contato paralelo entre os cristais, o que enseja uma baixa imbricação entre eles, além dos cristais estarem mais alterados em decorrência da facilidade de percolação da água.

O fato da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas no granito Casa Blanca ser intermediária, está relacionado a características que contribuem para o aumento da velocidade e outras para reduzir esta velocidade, tais como: boa sanidade (alteração mineral incipiente a baixa); grau de fissuramento inter e intragrão intermediário em relação aos demais materiais pesquisados, porém a maioria dessas microfissuras está preenchida, o que evita maior dispersão das ondas. Por outro lado, a rocha exibe estrutura anisotrópica (gnaissificada) e uma granulação mais grossa, que as demais rochas, fatores estes que reduzem a velocidade das ondas ultrassônicas. O contato entre os grãos no, entanto, tem boa imbricação, facilitando a velocidade de propagação das ondas.

O granito Branco Nevasca expressa maior velocidade de propagação das ondas, pelo fato de ser uma rocha isotrópica, ter granulação fina e boa imbricação entre os cristais constituintes.

6.7 Módulo de Ruptura (Flexão por Carregamento Três Pontos)

Em virtude de a espessura dos corpos de prova serem de 5 cm, a penetração da resina ficou mais a nível de superfície ou um pouco abaixo dela, não produzindo efeito no interior da amostra. Os gráficos 6.14 a 6.16, ilustram comparações do módulo de ruptura (Flexão por Carregamento Três Pontos com parâmetros petrofísicos).

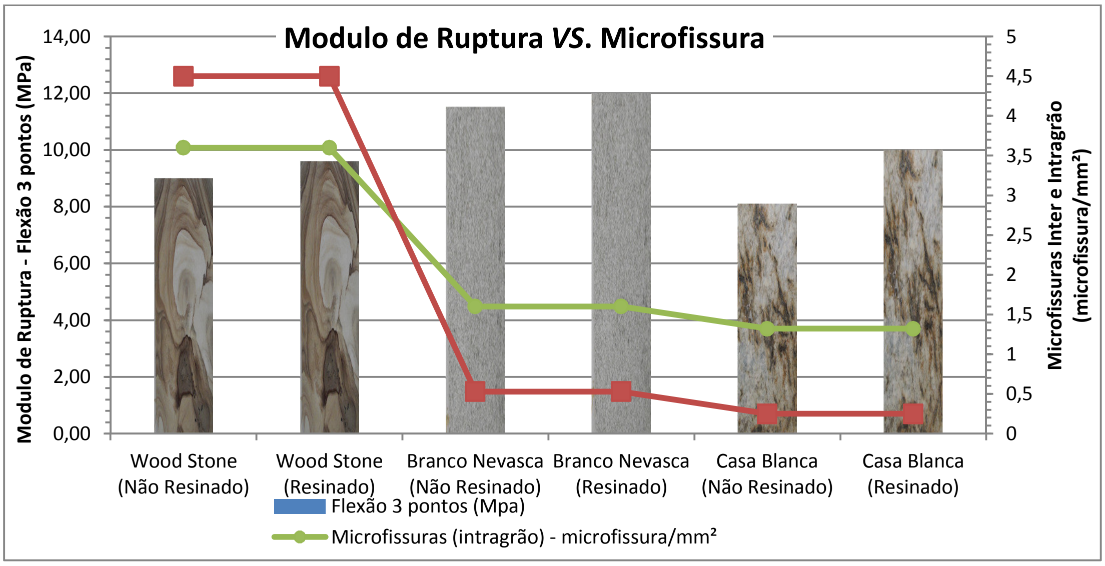


Gráfico 6.14 Correlação entre módulo de ruptura com microfissuras(Fonte: Autor).

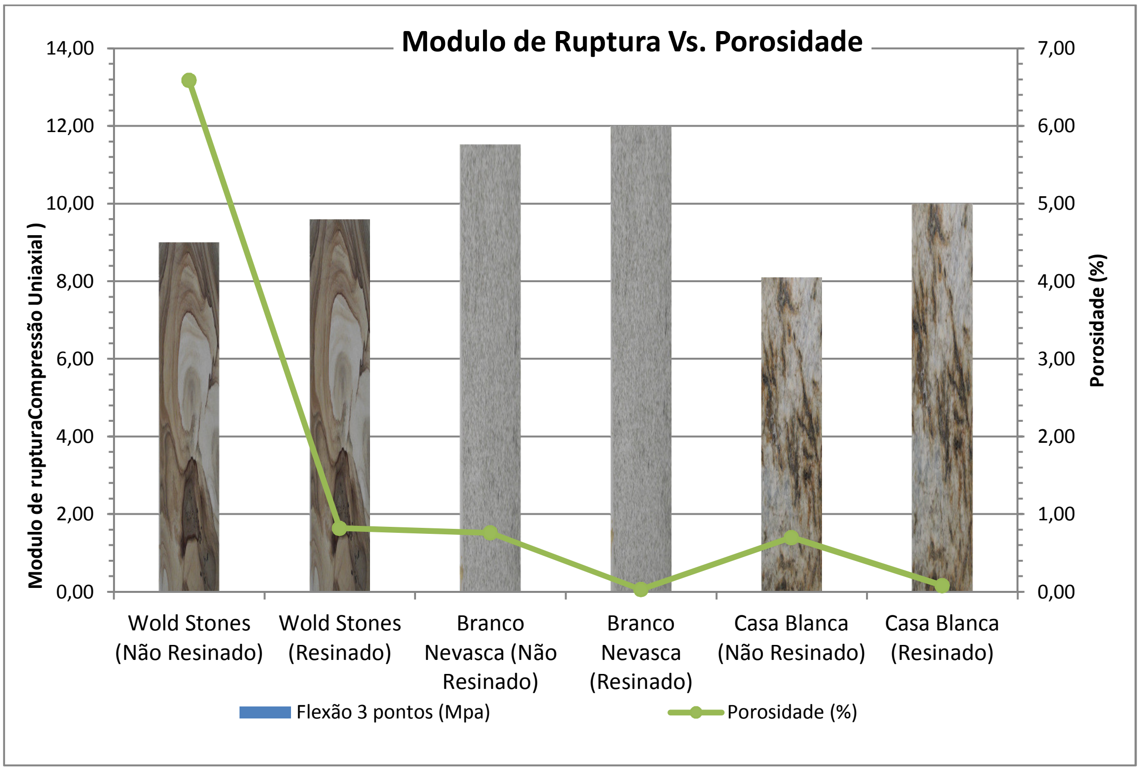


Gráfico 6.15 Módulo de ruptura com porosidade aparente (Fonte: Autor).

Os gráficos 6.14 e 6.15 mostram que existe correlação entre a resistência à ruptura por flexão com a porosidade, e com o índice de fraturamento. A pouca penetração da resina nos corpos de prova conseguiu elevar a resistência das rochas com relação ao esforço fletor. Com o fechamento dos poros e demais espaços de fragilidade, as rochas se tornam mais resitentes.

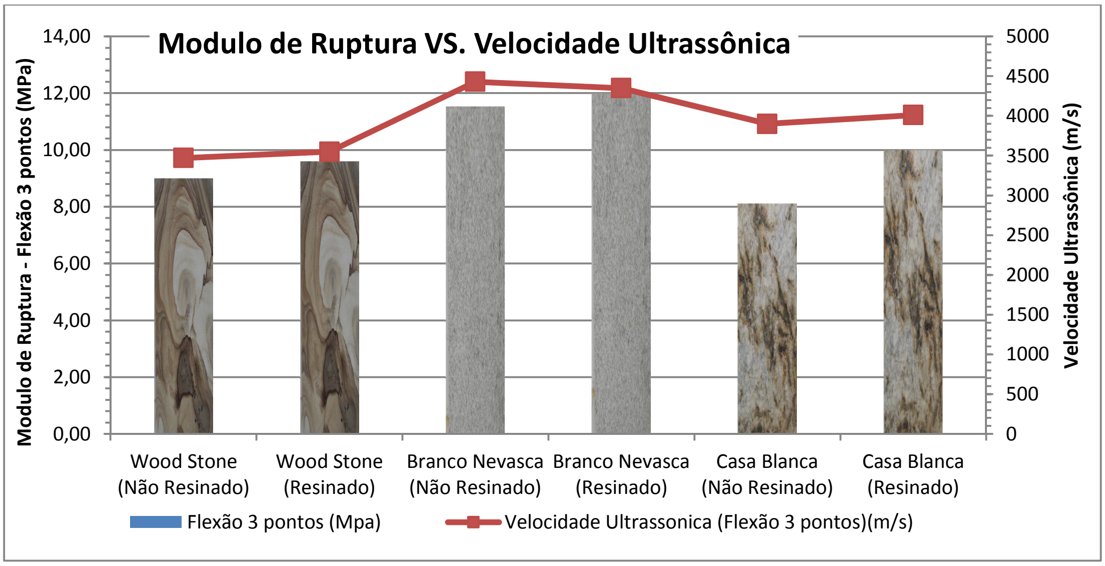


Gráfico 6.16 Módulo de ruptura correlacionado com a velocidade de ondas ultrassônicas (Fonte:Autor).

O gráfico 6.16 mostra que, aumentando a resistência ao módulo de ruptura por meio do uso da resina, a velocidade de propagação também aumenta, pois em virtude do fechamento dos espaços vazios, existe uma correlação entre a resistência à ruptura por flexão com a porosidade, e com o índice de fraturamento.

6.8 Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

Não se observou variações significativas nos resultados dos ensaios de coeficiente de dilatação térmica linear entre os materiais no estado natural e os resinados, conforme se nota pelos dados seguintes.

Granito Branco Nevasca Natural 6,5 x 10^{-3}mm/mºC.

Granito Branco Nevasca Resinado 5,7 x 10^{-3}mm/mºC.

Granito Casa Blanca Natural 9,6 x 10^{-3}mm/mºC.

Granito Casa Blanaca Resinado 9,3 x 10^{-3}mm/mºC.

Granito *Wood Stone* Natural 7,6 x 10^{-3}mm/mºC.

Granito *Wood Stone* Resinado 7,5 x 10^{-3}mm/mºC.

Levando-se em conta a baixa interferência da resina na variação do coeficiente de dilatação térmica linear desses materais, pode-se dizer que este está mais relacionado a sua composição mineralógica, com as forças de ligações dos atomos constituintes dos minerais e com a estrutura cristalina dos minerais (pois a presença da resina não interfere nessas características), do que com a anisotropia, porosidade e grau de microfissuras deles.

6.9 Determinação da Intensidade de Brilho

Antes e após o ataque químico as amostras foram submetidas a determinação da intensidade de brilho para verificação e comparação da perda, em termos percentuais, do brilho das amostras em seu estado natural e resinadas, verificando-se a influência da resina na proteção ao ataque químico.

Os resultados encontram-se na tabela 6.4, onde se pode fazer uma comparação entre o comportamento das amostras no estado natural e resinado.

Tabela 6.4 Valores medidos em relação ao brilho das placas polidas antes e após ataque químico

MATERIAL	PRODUTOS														
	Ácido Cítrico			**Ácido Clorídrico**			**Cloreto de Amônia**			**Hidróxido de Potássio**			**Hipoclorito de sódio**		
	Brilho Antes do Ataque (%)	Brilho Após Ataque (%)	Perda de Brilho (%)	Brilho Antes do Ataque (%)	Brilho Após Ataque (%)	Perda de Brilho (%)	Brilho antes do Ataque (%)	Brilho Após Ataque (%)	Perda De Brilho (%)	Brilho Antes Do Ataque (%)	Brilho Após Ataque (%)	Perda De Brilho (%)	Brilho Antes Do Ataque (%)	Brilho Após Ataque (%)	Perda De Brilho (%)
Branco Nevasca Natural	90,4	86,21	-4,63	92,2	89,28	- 3,16	92,6	32,25	-65,2	92,3	87,71	- 4,97	92,4	89,51	- 3,12
Branco Nevasca Resinado	**72,5**	**68,1**	**- 6,06**	**70,0**	**53,5**	**- 23,6**	**81,1**	**50,48**	**- 37,7**	**71,2**	**70,99**	**- 0,29**	**76,6**	**76,56**	**- 0,05**
Casa Blanca Natural	91,5	76,26	-16,6	90,8	90,08	-0,79	88,8	15,13	-82,9	90,5	86,22	-4,72	86,82	78,7	- 9,35
Casa Blanca Resinado	**78,29**	**64,53**	**-17,5**	**79,86**	**79,32**	**-0,67**	**75,22**	**46,49**	**- 38,1**	**76,0**	**70,49**	**- 7,25**	**82,73**	**80,7**	**- 2,45**
Wood Stone Natural	31,02	28,82	-7,09	34,52	32,89	-4,72	36,63	3,44	-90,6	30,0	22,05	- 26,5	29,30	21,63	- 26,2
***Wood Stone* Resinado**	**36,52**	**35,58**	**-2,6**	**35,71**	**35,31**	**-1,12**	**36,53**	**3,65**	**-90,0**	**39,41**	**37,09**	**- 5,9**	**42,85**	**35,31**	**- 17,6**

Como é possível observar, todas as substâncias utilizadas no ataque químico afetaram as amostras, provocando perda de brilho, cuja intensidade variou de acordo com o tipo de ácido e o padrão composicional e textural de cada material.

De maneira geral, o granito *Wood Stone* dentre as amostras pesquisadas, foi o material que mais foi afetado pelas substâncias químicas utilizadas no ataque.

As tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 mostram o percentual da perda de brilho das rochas pesquisadas no estado natural e resinado, após o ataque dos reagentes, e o percentual da proteção da resina na perda de brilho destes materiais.

Tabela 6.5 Percentual de Perda de Brilho do Granito Branco Nevasca Natural e Resinado após Ataque Químico dos Ácidos

Tipo de Reagente	Material		Proteção a perda de Brilho com o uso da resina, após ataques químicos
	Branco Nevasca		
	Natural Perda de brilho	**Resinado** Perda de brilho	
Ácido Cítrico	- 4,63 %	- 6,06 %	**16,47%**
Ácido Clorídrico	- 3,16 %	-23 %	
Cloreto de Amônia	- 65,2 %	- 37,7 %	
Hidróxido de Potássio	- 4,97 %	- 0,29 %	
Hipoclorito de Sódio	- 3,12 %	- 0,05 %	
Perda média de brilho considerando o ataque de todos os ácidos	- 16,21 %	- 13,54 %	

Tabela 6.6: Percentual de Perda de Brilho do granito Casa Blanca natural e Resinado após Ataque Químico dos Ácidos

Tipo de Reagente	Material		Proteção à perda de brilho com o uso da resina, após ataques químicos
	Casa Blanca		
	Natural Perda de brilho	**Resinado** Perda de brilho	
Ácido Cítrico	- 16,6%	-17,5%	**42,32 %**
Ácido Clorídrico	– 0,79%	- 0,67%	
Cloreto de Amônia	– 82,9%	- 38,1%	
Hidróxido de Potássio	-4,72%	-7,25%	
Hipoclorito de Sódio	-9,35%	-2,45%	
Perda média de brilho considerando o ataque de todos os ácidos	- 22,87	- 13,19%	

Tabela 6.7: Percentual de Perda de Brilho do Granito *Wood Stone* Natural e Resinado após Ataque Químico dos Àcidos

Tipo de Reagente	Material		Proteção à perda de brilho com o uso da resina, após ataques químicos
	Wood Stone		
	Natural Perda de brilho	**Resinado** Perda de brilho	
Ácido Cítrico	- 7,09%	-2,6%	**24,56 %**
Ácido Clorídrico	– 4,72%	-1,12%	
Cloreto de Amônia	– 90,6%	- 90,0%	
Hidróxido de Potássio	-26,5%	-5,90%	
Hipoclorito de Sódio	-26,2%	-17,60%	
Perda média de brilho considerando o ataque de todos os ácidos	- 31,02 %	– 23,4 %	

O ácido cítrico atacou mais o granito Casa Blanca, ocorrendo perda de brilho de 16,6 % e 17,5 %, na amostra natural e resinada, respectivamente. As micas foram os minerais que mais sofreram ataque com este tipo de ácido. Como o Casa Blanca é o material que apresenta maior concentração deste mineral, daí sua maior perda de brilho.

O ácido clorídrico atacou mais o granito Branco Nevasca, produzindo, inclusive, uma perda de brilho bem mais acentuada na amostra resinada, que reduziu em 23 % o brilho após o ataque. Ao reduzir a porosidade o ácido teve maior contato com a superfície dos minerais aumentando a reação química, o que pode ser justificado pelos baixos índices de perda de brilho nos granitos Casa Blanca e *Wood Stone,* que são materiais mais porosos havendo uma penetração maior da resina, gerando menor contato desta com o ácido.

A substância que apresentou maior agressividade foi o cloreto de amônia, que induziu perda de brilho 65,2% no granito Branco Nevasca em seu estado natural e 37,7% de perda na amostra resinada. A resina conseguiu reduzir em 42% a perda de brilho.

Já o granito Casa Blanca atacado com o cloreto de amônia reduziu em 82,9 % o brilho da amostra no estado natural e 38,1 % na amostra resinada. Com a resina, deixou de haver perda de brilho de 54,04% em relação ao material sem resina.

Com relação ao granito *Wood Stone,* o ataque com cloreto de amônia provocou tanto na amostra natural como na resinada perda de 90% do brilho, mostrando que neste caso a resina praticamente não reduziu a perda de brilho.

O hidróxido de potássio produziu maior perda de brilho no granito *Wood Stone*, sendo este o material mais poroso e que apresenta maior grau de alteração dos seus constituintes, produzindo uma perda de 26,5% de brilho após o ataque químico no estado natural e uma perda de 5,90 % o brilho na amostra resinada. O uso da resina reduziu em 77,7 % a perda de brilho neste material.

O hipoclorito de sódio atacou mais os materiais que apresentaram maior índice de porosidade, havendo perda de brilho de 26,2 % no *Wood Stone*, 9,35 % no Casa Blanca e apenas 3,12 % no granito Branco Nevasca no estado natural. A resina reduziu muito a perda de brilho desses materiais. O *Wood Stone* resinado perdeu 17,60% do brilho, o Casa Blanca 2,45 % e o Branco Nevasca 0,05 %.

Para verificar o efeito dos reagentes na variação da intensidade de brilho da resina, foram confeccionadas cinco amostras redondas de diâmetro aproximadamente de 10 cm e espessura de 4 cm e feita medição do brilho da resina antes e após ataque com os cinco ácidos (foto 6.6).

ZEHNTNER
TESTING INSTRUMENTS
ZGM 1110
20° 60° 85°
IV

Foto 6.6: Medição de brilho da resina antes e após ataque com os ácidos

Os dados da tabela 6.8 mostram os resultados da variação do brilho da resina após ataque com os reagentes.

Tabela 6.8 Valores da intensidade de brilho da resina antes e após ataque com os reagentes.

Produtos	Material		
	Brilho da resina antes do ataque químico	Brilho da resina após ataque químico	Variação do percentual de brilho
Ácido Cítrico	93,86 %	97,8 %	+ 4,02 %
Ácido Clorídrico	91,69 %	98,58 %	+ 6,98 %
Cloreto de Amônia	95,08 %	98.79 %	+ 3,75 %
Hidróxido de Potássio	94,88 %	97,82 %	+ 3,00 %
Hipoclorito de Sódio	96,93 %	98.29 %	+ 1,38 %
Média de ganho de brilho após ataque dos ácidos			+ 3,82 %

Como se pode observar, todos os reagentes produziram ganho de brilho das amostras de resina. Em média geral, considerando todos os ácidos, ocorreu um aumento de 3,82 % de ganho de brilho.

6.10 Análise Colorimétrica

O fator que muitas vezes determina a escolha de um determinado material para ser usado como revestimento ou ornamento é, sem dúvida, a cor da rocha. Se esta variar, facilmente, devido a interação com os agentes agressivos, mudando sua cromaticidade, o produto anteriormente escolhido passa a ser outro, não mais atendendo o parâmetro que levou a sua escolha. O ensaio colorimétrico é importante para observar possíveis variações cromáticas que a rocha possa apresentar em virtude de sua exposição a agentes agressivos.

Nas tabelas 6.8; 6.9; 6.10; 6.11 e 6.12, são expressos os resultados dos ensaios colorimétricos realizados nos materiais pesquisados.

Nas considerações a seguir, não foram levados em conta os diversos parâmetros que fazem os granitos Casa Blanca e *Wood Stone* serem rochas de alto grau de heterogeneidade, o que, por si, produz variações cromáticas e de tonalidades em amostras diferentes desses mesmos materiais.

Para verificar somente o efeito que os reagentes produziram na variação cromática das amostras após serem atacadas por esses produtos, foram considerados como valores padrão (iniciais) de L*, a*e b* aqueles obtidos nas amostras em seu estado natural antes do ataque químico, e valores das amostras (finais) de L*, a* e b* aqueles obtidos através das amostras em seu estado natural após ataque com os ácidos.

Para verificar o feito da resina na variação cromática das amostras, também foram adotados como valores padrão de L*, a*e b* os obtidos nas amostras naturais sem incorporação do ácido e da resina, e valores das amostras (finais) de L*, a* e b* aqueles obtidos por meio das amostras resinadas antes do ataque com os reagentes.

Para verificar o efeito da variação cromática que o ácido produz nas amostras resinadas, foram empregados como valores padrão de L*, a*e b* os obtidos de amostras no estado natural após o ataque com os ácidos e os valores das amostras (finais) de L*, a* e b* aqueles obtidos através das amostras resinadas após ataque com os reagentes.

Os valores de Δa^*; Δb^*; ΔL^* e ΔE^* foram obtidos pelas seguintes formulas:

$$\Delta a^*=a^*\text{final}-a^*\text{inicial}$$

$$\Delta b^*=b^*\text{final}-b^*\text{inicial}$$

$$\Delta L^*=L^*\text{final}-L^*\text{inicial}$$

$$\Delta E^*=\surd(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)$$

Tabela.6.9 Dados do espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)

Material	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	C*(Croma) $\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$	ΔC* C* amostra - C*padrão
1- Branco Nevasca Natural antes do ataque	**73,06**	**0,39**	**5,62**					**5,6**	
2- Branco Nevasca Natural após ataque	**72,20**	**0,28**	**6,69**					**6,68**	
3- Branco Nevasca Resinado Antes do Ataque	**70,08**	**0,50**	**5,86**					**5,88**	
4- Branco Nevasca Resinado após ataque	**69,67**	**0,48**	**7,48**					**7,49**	
Efeito do ácido nas amostra (2-1)				**-0,86**	**-0,11**	**1,07**	**1,37**		**1,08**
Efeito da resina na amostra (3-1)				**-2,98**	**0,11**	**0,24**	**2,99**		**0,28**
Efeito do ácido na resina (4-3)				**-0,41**	**-0,02**	**1,62**	**1,67**		**1,61**
5- Casa Blanca Natural antes do ataque	**62,38**	**4,61**	**14,49**					**15,20**	
6- Casa Blanca Natural após ataque	**63,81**	**3,80**	**15,02**					**15,49**	
7- Casa Blanca Resinado Antes do Ataque	**60,47**	**1,86**	**10,49**					**10,65**	
8- Casa Blanca Nevasca Resinado após ataque	**51,99**	**1,97**	**11,67**					**11,83**	
Efeito do ácido nas amostra (6-5)				**1,43**	**-0,81**	**0,53**	**1,73**		**0,29**
Efeito da resina na amostra (7-5)				**-1,91**	**-2,75**	**-4,00**	**5,21**		**-4,55**
Efeito do ácido na resina (8-7)				**-8,48**	**0,11**	**1,18**	**8,60**		**1,18**
9- *Wood Stone* Natural antes do ataque	**62,74**	**8,89**	**20,76**					**22,58**	
10- *Wold Stone* Natural após ataque	**57,97**	**8,87**	**19,98**					**21,86**	
11- Wood Stone Resinado Antes do Ataque	**54,35**	**3,96**	**10,83**					**11,53**	
12- Wood Stone Resinado após ataque	**55,70**	**4,05**	**12,44**					**13,08**	
Efeito do ácido nas amostra (10-9)	**-4,77**	**-0,02**	**-0,78**	**-4,77**	**-0,02**	**-0,78**	**4,83**		**-0,72**
Efeito da resina na amostra (11-9)	**-8,39**	**-4,93**	**-9,93**	**-8,39**	**-4,93**	**-9,93**	**13,90**		**-11,05**
Efeito do ácido na resina (12-11)	**1,35**	**0,09**	**1,61**	**1,35**	**0,09**	**1,61**	**2,10**		**1,55**

Com relação ao efeito produzido pelo ataque do ácido cítrico nas amostras (tabela 6.9), verifica-se que a variação total de cor nos granitos claros foi imperceptível com ΔE* abaixo de 3. Já no granito *Wood Stone,* o ΔE* foi de 4,83, sendo no eixo de luminosidade (L*) a maior variação ΔL= -4,77, levando a um escurecimento da amostra (foto 6.7).

O ácido produziu, ainda, um aumento significativo na variação cromática com ΔC* = -11,5, gerando uma redução da tonalidade vermelha Δa* -4,77 e redução ainda maior da tonalidade amarela Δb*= -9,93,

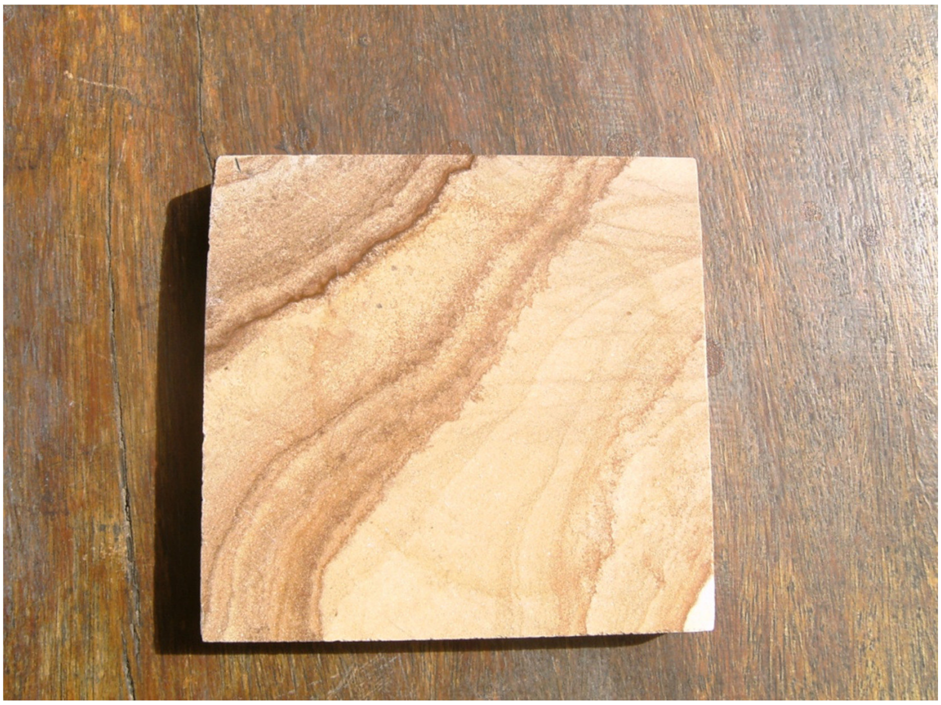


Foto.6.7: Efeito do ácido cítrico na variação total de cor do granito *Wood Stone* em seu estado natural

Este ácido produziu em todos os materiais atacados uma discreta diminuição da tonalidade vermelha e ligeiro aumento do tom amarelo, nos granitos claros, porém valores muito próximos de zero, o que produz pouco efeito visual.

Considerando apenas o efeito da resina na variação total de cor, verifica-se que ela provoca um escurecimento em todas as amostras, havendo diminuição no eixo de luminosidade L*, sendo esta mais acentuada no granito *Wood Stone* ΔL*= -8,39. O aumento da variação total de cor ΔE*, com o uso da resina, se deu do material menos poroso para o mais poroso.

Tem-se que levar em consideração o fato de que as amostras dos materiais heterogêneos, como o Casa Blanca e *Wood Stone*, submetidas ao processo de resinagem, apresentavam-se já mais escuras do que as mesmas amostras, desses materiais sem o uso da resina.

As maiores variações de cor ocorreram nos granitos *Wood Stone* ΔE*= 13,90 e Casa Blanca ΔE*= 5,21, porém, isto pode estar relacionado ao fato das amostras que foram submetidas ao processo de resinagem já serem bem mais escuras do que as que não fizeram uso da resina. A variação cromática elevada e negativa dos granitos Casa Blanca ΔC*= -4,55 (a*=-2,75; b*=-4,00) e *Wood Stone* ΔC*= -11,05 (a*=-4,93; b*=-9,93) leva uma redução da cor vermelha e, principalmente, diminuição da tonalidade amarela, o que não era de se esperar, pois na prática se constata que a resina ressalta os tons vermelho e amarelo quando aplicadas nas rochas. Isto pode ter ocorrido em função das amostras desses dois materiais antes de serem resinadas já serem mais escuras e apresentarem tons de vermelho e amarelo bem inferiores às que não foram resinadas fotos(6.8 e 6.9).

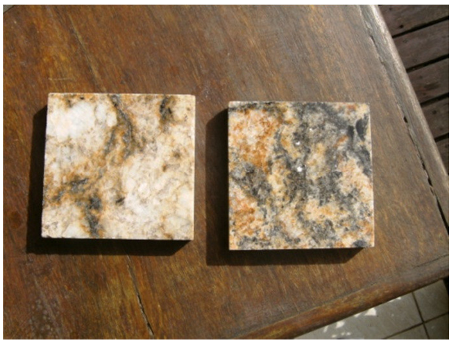


Foto 6.8: Casa Blanca natural à esquerda
e resinado à direita (fonte:Autor)

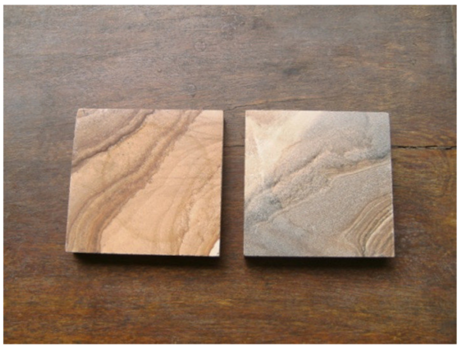


Foto 6.9: *Wood Stone* natural à esquerda
e resinado à direita (fonte:Autor)

Tabela 6.10. Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do ácido clorídrico (HCl)

Material	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	C*(Croma) $\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$	ΔC* C* amostra - C*padrão
1- Branco Nevasca Natural antes do ataque	71,68	0,49	5,55					5,57	
2- Branco Nevasca Natural após ataque	73,13	0,22	5,06					5,06	
3- Branco Nevasca Resinado Antes do Ataque	70,00	0,55	6,61					6,63	
4- Branco Nevasca Resinado após ataque	69,22	0,78	6,44					6,48	
Efeito do ácido nas amostra (2-1)				1,45	-0,27	-0,49	1,56		-0,51
Efeito da resina na amostra (3-1)				-1,68	0,06	1,06	1,99		1,06
Efeito do ácido na resina (4-3)				-0,78	0,23	0,43	0,92		-0,15
5- Casa Blanca Natural antes do ataque	74,29	1,11	7,60					7,68	
6- Casa Blanca Natural após ataque	71,74	1,90	10,78					10,94	
7- Casa Blanca Resinado Antes do Ataque	65,05	3,71	14,06					14,54	
8- Casa Blanca Nevasca Resinado após ataque	60,47	2,99	14,05					14,36	
Efeito do ácido nas amostra (6-5)				-2,55	0,79	3,18	4,15		3,26
Efeito da resina na amostra (7-5)				-9,24	2,60	6,46	11,57		6,86
Efeito do ácido na resina (8-7)				-4,58	-0,72	-0,01	4,64		-0,18
9- *Wood Stone* Natural antes do ataque	69,77	6,69	19,30					20,42	
10- *Wood Stone* Natural após ataque	47,70	9,11	16,56					18,90	
11- *Wood Stone* Resinado Antes do Ataque	52,30	6,06	15,25					16,41	
12- *Wood Stone* Resinado após ataque	81,14	5,87	15,06					16,16	
Efeito do ácido nas amostra (10-9)				-20,07	2,42	-2,74	22,37		-1,52
Efeito da resina na amostra (11-9)				-17,47	-0,63	-4,05	17,94		-4,01
Efeito do ácido na resina (12-11)				28,85	-0,19	-0,19	28,85		-0,25

Ao se fazer uma análise apenas do ataque do ácido clorídrico nas amostras (tabela 6.10), observa-se que este não produziu variação total de cor ΔE* visível no granito Branco Nevasca. Já no Casa Blanca, produziu um escurecimento discreto e um significativo escurecimento no *Wood Stone,* com um decréscimo no valor de L* de 22,07%.

Levando-se em consideração apenas o efeito da resina na variação cromática (comparando 1-3; 5-7 e 9-11 da tabela 6.10) nas amostras, observa-se que houve um escurecimento de todas elas, sendo, porém, mais evidente no granito *Wood Stone* em virtude da diminuição do valor de L* em 17,47. O Casa Blanca apresentou valor de ΔL* igual a 9,24, e o Branco Nevasca redução de 1,68 no valor de L*, ocasionando um leve escurecimento. É possível que essa pouca redução de L* no Branco Nevasca, após a resinagem da amostra, seja em virtude dela apresentar neste local uma maior concentração de minerais máficos.

Nos materiais claros, como o Branco Nevasca e o Casa Blanca, a resina aumentou os tons de vermelho e amarelo, principalmente no Casa Blanca, pela presença maior de ferro na sua composição mineralógica. Já no *Wood Stone,* esses tons tenderam a diminuir com o uso da resina. Vale salientar que se há de levar em conta o padrão das amostras antes de serem submetidas ao processo da resinagem, como foi demonstrado na figura 6.7.

Tabela 6.11. Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do cloreto de amônia (NH_4Cl)

Material	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	C*(Croma) $\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$	ΔC* C* amostra - C*padrão
1- Branco Nevasca Natural antes do ataque	70,97	0,48	5,35					5,37	
2- Branco Nevasca Natural após ataque	71,65	0,51	5,54					5,54	
3- Branco Nevasca Resinado Antes do Ataque	71,37	0,37	5,30					5,31	
4- Branco Nevasca Resinado após ataque	69,05	0,33	6,41					6,41	
Efeito do ácido nas amostra (2-1)				0,68	0,03	0,19	0,70		0,17
Efeito da resina na amostra (3-1)				0,40	-0,11	-0,05	0,42		-0,06
Efeito do ácido na resina (4-3)				-2,32	-0,04	1,12	2,58		1,10
5- Casa Blanca Natural antes do ataque	69,81	3,26	13,06					13,46	
6- Casa Blanca Natural após ataque	60,96	5,11	15,76					16,56	
7- Casa Blanca Resinado Antes do Ataque	59,04	3,66	12,60					13,12	
8- Casa Blanca Nevasca Resinado após ataque	64,39	3,32	13,91					14,30	
Efeito do ácido nas amostra (6-5)				-8,85	1,85	2,70	9,44		3,10
Efeito da resina na amostra (7-5)				-10,77	0,40	-0,46	10,78		-0,34
Efeito do ácido na resina (8-7)				5,35	-0,35	1,31	5,51		1,18
9- *Wood Sto*ne Natural antes do ataque	55,07	9,08	18,84					20,91	
10- *Wood Stone* Natural após ataque	56,43	10,74	18,21					21,14	
11- *Wood Stone* Resinado Antes do Ataque	51,65	3,64	9,76					10,42	
12- *Wood Stone* Resinado após ataque	56,96	0,55	3,32					3,36	
Efeito do ácido nas amostra (10-9)				1,36	1,66	-0,63	2,24		0,23
Efeito da resina na amostra (11-9)				-3,42	-5,44	-9,08	11,12		-10,49
Efeito do ácido na resina (12-11)				5,31	-3,09	-6,44	8,90		-7,06

Após o ataque do cloreto de amônia (tabela 6.11), a maior variação total de cor ocorreu no granito Casa Blanca no estado natural ΔE= 9,44, gerada em função do escurecimento por que a amostra teve uma redução de -8,85 no valor de L* após o ataque deste reagente e aumento da tonalidade amarela e vermelha indicadas pelos aumentos de b* e a*. A variação total de cor ΔE do Branco Nevasca e *Wood Stone* após o ataque deste ácido, não foi percebida pela vista humana.

O efeito da resina na variação total da cor, ensejou um maior escurecimento no granito Casa Blanca, com uma diminuição do parâmetro L* em 10,77% , sendo este responsável praticamente pela variação total de cor nesta amostra. No granito *Wood Stone,* a variação total de cor está mais relacionada aos parâmetros de croma variações negativas de a*(-5,44) e b*(-9,08), que levou à diminuição das tonalidades vermelha e amarela.

Tabela 6.12. Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do hidróxido de potássio (KOH)

Material	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	C*(Croma) $\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$	ΔC* C* amostra - C*padrão
1- Branco Nevasca Natural antes do ataque	**73,32**	**0,31**	**5,53**					**5,54**	
2- Branco Nevasca Natural após ataque	**72,84**	**0,33**	**6,46**					**6,47**	
3- Branco Nevasca Resinado Antes do Ataque	**72,06**	**0,28**	**5,31**					**5,32**	
4- Branco Nevasca Resinado após ataque	**71,92**	**0,25**	**6,41**					**6,41**	
Efeito do ácido nas amostra (2-1)				**-0,48**	**0,02**	**0,93**	**1,05**		**0,93**
Efeito da resina na amostra (3-1)				**-1,26**	**-0,03**	**-0,22**	**1,28**		**-0,22**
Efeito do ácido na resina (4-3)				**-0,14**	**0,03**	**1,10**	**1,11**		**1,09**
5- Casa Blanca Natural antes do ataque	**70,16**	**1,59**	**8,69**					**8,83**	
6- Casa Blanca Natural após ataque	**71,90**	**1,98**	**10,83**					**11,00**	
7- Casa Blanca Resinado Antes do Ataque	**75,20**	**1,62**	**9,31**					**9,45**	
8- Casa Blanca Nevasca Resinado após ataque	**75,13**	**0,53**	**7,06**					**7,08**	
Efeito do ácido nas amostra (6-5)				**1,74**	**0,39**	**2,14**	**2,79**		**2,17**
Efeito da resina na amostra (7-5)				**5,04**	**0,03**	**0,62**	**5,07**		**0,62**
Efeito do ácido na resina (8-7)				**-0,07**	**-1,09**	**-2,26**	**2,50**		**-2,37**
9- *Wood Stone* Natural antes do ataque	**65,43**	**8,19**	**20,17**					**21,77**	
10- *Wood Stone* Natural após ataque	**62,44**	**7,86**	**21,46**					**22,85**	
11- *Wood Stone* Resinado Antes do Ataque	**51,17**	**4,09**	**10,02**					**10,82**	
12- *Wood Stone* Resinado após ataque	**54,45**	**2,32**	**9,86**					**10,13**	
Efeito do ácido nas amostra (10-9)				**-2,99**	**-0,33**	**1,28**	**3,27**		**1,08**
Efeito da resina na amostra (11-9)				**-14,26**	**-4,10**	**-10,15**	**17,98**		**-10,95**
Efeito do ácido na resina (12-11)				**3,28**	**-1,77**	**-0,16**	**3,73**		**-0,69**

As variações cromáticas após o ataque (tabela 6.12) não foram perceptiveis em nenhuma das amostras,pois todas tiveram ΔE* menor ou próximo de 3. Tanto no parâmetro relacionado a luminosidade como nos de cromaticidade, as variações não foram significativas.

O efeito da resina na variação da cor, induziu, no Branco Nevasca e no *Wood Stone,* um escurecimento; L* tem uma tendência a diminuir, sendo mais incrementada no *Wood Stone*, com uma diminuição de 14,26% no valor de L*. A amostra do Casa Blanca contem muito quartzo e feldspato, existindo pouca mica. Este fato diminuiu a absorção da resina, havendo um clareamento da amostra. A maior variação cromática ocorreu na amostra do granito *Wood Stone* ΔE*= 17,97, impulsionada pela variação ΔL* e Δb* redução de 10,15 no valor de b*.∴.

O ataque deste reagente nas amostras resinadas, praticamente, não significou variações expressivas, tanto nos parâmetros de luminosidade como nos de croma (saturação). A variação cromática total ΔE* não pode ser percebida ao olho humano.

Tabela 6.13. Dados espaço colorimétrico CIELAB das amostras submetidas ao ataque do hipoclorito de sódio (NaClO)

Material	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	C*(Croma) $\sqrt{(a^*)^2+(b^*)^2}$	ΔC* C* amostra - C*padrão
1- Branco Nevasca Natural antes do ataque	71,26	0,38	5,66					5,67	
2- Branco Nevasca Natural após ataque	72,26	0,44	5,87					5,88	
3- Branco Nevasca Resinado Antes do Ataque	69,93	0,46	5,98					6,00	
4- Branco Nevasca Resinado após ataque	70,67	0,41	5,68					5,69	
Efeito do ácido nas amostra (2-1)				1,39	0,06	0,21	1,41		0,21
Efeito da resina na amostra (3-1)				-1,33	0,08	0,32	1,37		0,33
Efeito do ácido na resina (4-3)				0,74	-0,05	-0,30	0,80		-0,31
5- Casa Blanca Natural antes do ataque	60,45	2,91	10,53					10,92	
6- Casa Blanca Natural após ataque	58,21	3,42	11,79					12,27	
7- Casa Blanca Resinado Antes do Ataque	65,91	2,87	11,95					12,29	
8- Casa Blanca Nevasca Resinado após ataque	64,19	2,39	11,62					11,86	
Efeito do ácido nas amostra (6-5)				-2,24	0,51	1,26	2,62		1,35
Efeito da resina na amostra (7-5)				5,46	-0,04	1,42	5,64		1,37
Efeito do ácido na resina (8-7)				-1,72	-0,47	-0,32	1,82		-0,43
9- *Wood Stone* Natural antes do ataque	68,28	6,32	18,53					19,58	
10- *Wood Stone* Natural após ataque	52,02	9,14	19,66					21,68	
11- *Wood Stone* Resinado Antes do Ataque	50,66	5,80	12,94					14,18	
12- *Wood Stone* Resinado após ataque	52,92	2,79	9,30					9,71	
Efeito do ácido nas amostra (10-9)				-16,26	2,82	1,13	16,54		2,10
Efeito da resina na amostra (11-9)				-17,62	-0,52	-5,59	18,49		-5,40
Efeito do ácido na resina (12-11)				2,26	-3,01	-3,74	5,31		-9,87

Pode-se dizer que apenas o granito *Wood Stone* apresentou variações significativas ao ser atacado pelo hipoclorito de sódio (tabela 6.13), estando estas variações relacionadas ao eixo de luminosidade L*, que teve um incremento de 16,26%. De uma certa forma, este ácido produziu em todas as amostras uma tendência de aumentar os tons vermelho e amarelo, cuja intensidade está de acordo com a porosidade de cada material.

O efeito da resina na variação induziu um discreto escurecimento no Branco Nevasca, porém sua variação cromática total ΔE*= 1,37 não é perceptível ao olho humano. A resina produziu na amostra do Casa Blanca um leve clareamento, aumento no valor de L* em 5,46, sendo este eixo o responsável maior pela variação cromática total deste material ΔE*= 5,64. A maior variação de cor produzida pela resina foi no granito *Wood Stone* em função do forte decréscimo do valor de L* -17,62%, levando a um escurecimento da amostra e também em virtude da saturação no eixo b*, aumentando a tonalidade amarela na amostra.

Em relação ao ataque deste reagente nas amostras resinadas, apenas no granito *Wood St*one pode-se observar a variação cromática total ΔE* = 5,31, em virtude do aumento pouco significativo da tonalidade amarela. Nos demais materiais, as variações não foram percebidas pelo olho humano.

6.11 Emanação de Radônio

A tabela 6.14 mostra os resultados obtidos da quantidade de emanação de radônio, após a realização dos ensaios nas amostras no estado natural e resinada dos granitos Branco Nevasca, Casa Blanca e *Wood Stone*. A tabela 6.15 mostra as concentrações de urânio, tório e ^{40}K fornecidas pelas amostras dessas rochas.

Tabela 6.14 Dados da taxa de exalação de radônio

	Material								
	Branco Nevasca Natural	Branco Nevasca Resinado	**Eficácia da resina na redução da exalação**	Casa Blanca Natural	Casa Blanca Resinado	**Eficácia da resina na redução da exalação**	*Wood Stone* Natural	*Wood Stone* Resinado	**Eficácia da resina na redução da exalação**
Exalação média em 30,5 dias (Bq/m^3)	1.293,0	1.076,7	**16,72%**	342,7	315,3	**7,99%**	290,3	183,3	**36,85%**
Exalação dia (Bq/m^3)	42,39	35,3	**16,72%**	11,23	10,3	**8,28%**	9,51	6,1	**35,85%**
Exalação metro cúbico por dia (Bq/m^3)	1.949,6	1.623,5	**16,72%**	340,45	313,23	**7,98%**	425,10	268,42	**36,85%**
Exalação metro quadrado por dia (Bq/m^3)	40,4	33,7	**16,58%**	10,92	10,05	**7,96%**	9,16	5,78	**36,89%**

Tabela 6.15. Concentração de Urânio Tório e Potássio

Material	U ppm	Th ppm	^{40}K (ppm)
Branco Nevasca	25,40	49,9	9,34
Casa Blanca	18,60	43,0	5,55
Wood Stone	24,50	48,8	9,55

Os resultados fornecidos pelas rochas (tabela 6.14) mostram que o granito Branco Nevasca foi o material que apresentou maior taxa de exalação do gás radônio, com valores em (Bq/m^3) bem superior ao do Casa Blanca e do granito *Wood Stone*, apesar de sua concentração de urânio e tório ser praticamente a mesma do granito *Wood Stone*. Este fato demonstra que a quantidade de exalação não está relacionada apenas à concentração desses elementos na rocha, mas sobretudo com os fatores que favorecem o mecanismo de migração/difusão do gás.

Segundo Moura (2005), a porosidade auxilia no mecanismo de transporte interno e para fora da rocha figura (6.1).

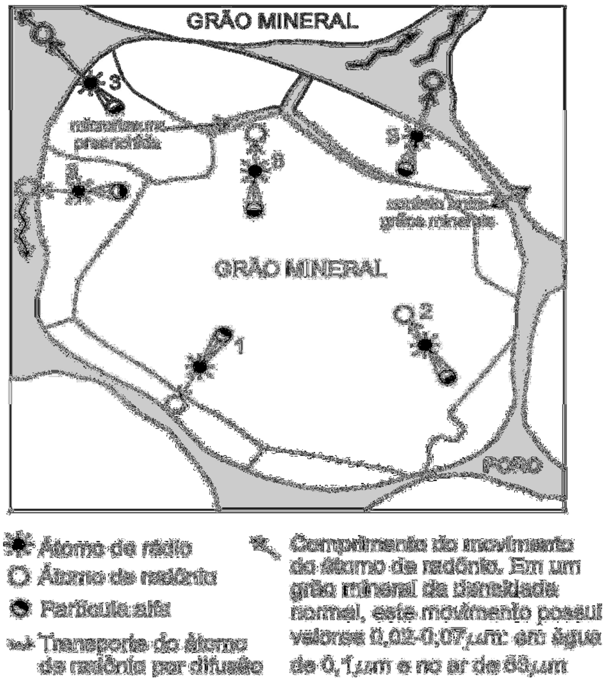

GRÃO MINERAL
3
microfissura preenchida
6
5
4
contato entre grãos minerais
GRÃO MINERAL
2
1
PORO
Átomo de rádio
Átomo de radônio
Partícula alfa
Transporte do átomo de radônio por difusão
Comprimento do movimento do átomo de radônio. Em um grão mineral de densidade normal, este movimento possui valores 0,02-0,07μm; em água de 0,1μm e no ar de 63μm

Figura 6.1:Esquema mostrando a micração difusa do gás radônio numa rocha após a desintegração do rádio (fonte: TANNER 1980; In: MOURA 2005)

Quando o ^{226}Ra se desintegra, um átomo de radônio e uma partícula alfa são formados simultaneamente e ejetados em sentidos opostos. Este mecanismo pode ocasionar a expulsão do átomo de radônio da estrutura cristalina ou molecular onde o átomo esteve. As microfissuras (aberta, interligada, vazia ou preenchida) e os tipos de contatos entre os grãos dos minerais (paralelo, concavo- convexo ou serrilhado) influenciam na migração/difusão e exalação do gás.

Durrani & Ilic (1997) acreditam que, nos materiais porosos, quando um átomo de radônio é formado, ele poderá ter diversos destinos dentro do material, dependendo de sua posição e das características do meio em que ele irá se difundir. Conforme o esquema da figura 6.1, ele pode permanecer no grão onde foi formado (caso 2) ou difundir-se para grãos adjacentes (caso 1), ou ainda alcançar uma microfissura e em seguida a rede de capilares do material (caso 3).

Outras teorias como a de Nazaroff & Nero (1988), assumem que a emanação de radônio proveniente do grão mineral é por meio da difusão no interior da estrutura cristalina do mineral ou por lixiviação, quando o radônio é conduzido em um fluído (água líquida ou no estado de vapor ou ar) dentro dos poros insterticiais do material (transporte por fluxo).

O fato de o granito Branco Nevasca e o *Wood Stone* terem praticamente a mesma concentração de urânio e tório e apresentarem taxas de exalação de radônio bem diferente, é explicado pelos aspectos petrofísicos (textura, transformações dos minerais, grau de microfissuramento, tipo de contato entre os grãos mineralógicos) e no grau de alteração dessas rochas. No caso do granito *Wood Stone,* apesar de apresentar cristais de feldspato potássico parcialmente argilizados, é detentor de uma textura afanítica a densa, com granulação submilimétrica a micrométrica, praticamente desprovido de microfissuramento inter e intragrãos minerais, além das poucas fissuras transgranulares se mostrarem preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro; fatores estes que dificultam a difusão interna e a migração do gás ^{222}Rn(com meia- vida de 3,82 dias) até a superfície da placa ou mesmo para atingir os planos de fraturamento abertos tão frequentes neste tipo de rocha. Desta forma, a porosidade mais elevada do traquito *Wood Stone* (6,59% natural e 0,82% resinado) em relação ao Branco Nevasca (076% natural e 0,03% resinado) decorre da presença de planos de fraturamento, normalmente abertos e pouco preenchidos, responsáveis pelo desenvolvimento de uma rede microporosa interligada.

O granito Branco Nevasca é uma rocha mais homogênea e menos alterada, sua porosidade é mais bem distribuída, diferente do *Wood St*one que sofreu mais com a ação da tectônica, gerando fraturas abertas que pontualmente aumentam muito a porosidade. Sua textura fanerítica de granulação média produz contatos minerais pouco mais frouxos, bem como a composição mineralógica dos minerais constituintes do Branco Nevasca, como, por exemplo, seu teor de quartzo relativamente elevado (mais de 30% do volume da rocha) e que habitualmente são mais microfissurados do que os microcristais de feldspato potássico do traquito **Wood Stone**, também podem contribuir para uma maior exalação do gás radônio.

Relação entre o 222Rn gerado e o efetivamente exalado da rocha

Como demonstrado por Amaral (2011) e Amaral et al. (2012), a quantidade de gás Rn que escapa da rocha é muito pequena em relação ao teor de gás efetivamente gerado pela rocha. A fuga do gás Rn dependerá da existência de canais (rede porosa) para alcançar o ambiente externo da rocha, lembrando que, quanto mais próximas da superfície da rocha estiverem as moléculas de Rn e presentes em estruturas mais frágeis como material de preenchimento de microfissuras, maior a facilidade de escapar para o meio. Também há de se considerar o fato da reduzida meia -vida do ^{222}Rn (de 3,84 dias; a maior dentre os isótopos de Rn), que, desta forma, teria pouco tempo para se difundir e alcançar a superfície da rocha com a consequente fuga para a atmosfera.

O cálculo da quantidade de gás ^{222}Rn exalado por determinado material é obtido pelo Fator ***E*** definido por Wanty et al. (1992 apud BONOTTO, 1996), que o utilizou para avaliar e descrever a eficiência da emanação de radônio da rocha e correspondente transferência para a água subterrânea, cujos princípios foram adaptados e empregados neste trabalho para os cálculos na determinação da transferência do gás radônio exalado da rocha para o ar do meio ambiente por meio da fórmula:

$$E = \frac{(^{222}\mathbf{Rn})\mathbf{ar}}{(^{222}\mathbf{Rn})\mathbf{ar} + (^{222}\mathbf{Rn})\mathbf{rocha}}$$

Wanty *et al.* (1992 apud AMARAL, 2011) consideraram que **E** (fator de eficiência de emanação) é quase sempre menor do que 0,5 (ao atingir este nível, a rocha estaria exalando tudo o que produzisse em referência ao gás radônio), expresso pelos autores como ordinariamente menor do que 0,3 (aproximadamente metade do ^{222}Rn gerado pela rocha).

Considerando-se, neste estudo, que os dados da espectrometria gama para obter U (ppm) foram obtidos por meio da condição de equilíbrio radioativo secular, utilizando o ^{214}Bi para calibração do espectrômetro-gama (DUARTE, 2002 apud AMARAL, 2011), que é elemento filho da série do ^{238}U, se torna possível conseguir achar a quantidade de ^{226}Ra em Bq/kg. Para isso, basta multiplicar por uma constante

(12,34) a quantidade do urânio (ppm) presente na rocha, obtendo-se, assim, a quantidade do ^{226}Ra em Bq/kg, o qual teoricamente equivaleria, pelas condições de equilíbrio radioativo, à mesma proporção de ^{222}Rn gerado a partir de seu pai ^{226}Ra.

Ainda segundo descrições apresentadas por Amaral (2011) e Amaral *et al.* (2012), para se completar esses valores a fim de serem usados na equação definida para **E**, é preciso transformar a quantidade de radônio exalado no ar (Bq/m³) para Bq/kg, dados. Sendo assim, transformam-se os valores obtidos no final do ciclo de monitoramento do gás ^{222}Rn para cada rocha (no presente caso com ciclos de 30,5 dias) mediante uma simples regra de três para Bq/kg, mostrado a seguir, cujo valor é, posteriormente, dividido pelo peso da amostra utilizada no monitoramento, conseguindo-se assim a quantidade de radônio no ar em Bq/kg.

$$\frac{(222\mathrm{Rn})\mathrm{Bq}\ \mathrm{x}\ 19\mathrm{L}}{1\mathrm{m}^3} : Kg\ amostra$$

A tabela 6**.**16 traz os cálculos e respectivos valores do fator ***E*** (quantidade ^{222}Rn efetivamente exalada) para as amostras estudadas. Destaca-se, conforme pode ser observado nos valores contidos na referida tabela, que a quantidade do gás ^{222}Rn efetivamente emanado pelas rochas é ínfima quando comparada com os teores de ^{222}Rn gerado por elas.

Tabela 6.16. Relação entre o ^{222}Rn gerado e o efetivamente exalado da rocha

Amostras	U (ppm)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{222}Rn (Bq/kg)	^{222}Rn exalado em 30,5 dias (Bq/m³)	^{222}Rn exalado da amostra *vs.* vol. Garrafão (Bq)	Peso Amostra (g)	^{222}Rn exalado pela amostra (Bq/kg)	Diferença entre Rn gerado e exalado (Bq/kg)	% ^{222}Rn Exalado (Bq/kg)	E ^{222}Rn
Branco Nevasca nat.	25,4	313,44	313,44	1293,0	24,57	0,74183	33,12	280,32	10,57	0,096
Branco Nevasca res.	**25,4**	**313,44**	**313,44**	**1076,7**	**20,46**	**0,74370**	**27,51**	**285,93**	**8,78**	**0,081**
CasaBlanca natural	18,6	229,52	229,52	342,7	6,51	0,76696	8,49	221,03	3,70	0,036
CasaBlanca resinado	**18,6**	**229,52**	**229,52**	**315,3**	**5,99**	**0,77046**	**7,78**	**221,74**	**3,39**	**0,033**
Wood Stone nat.	24,50	302,33	302,33	290,3	5,52	0,67537	8,17	294,16	2,70	0,026
***Wood Stone* res.**	**24,50**	**302,33**	**302,33**	**183,3**	**3,48**	**0,67910**	**5,13**	**297,20**	**1,70**	**0,017**

Simulação de Adição para o Nível de ^{222}Rn em um ambiente Fechado

Para avaliar a quantidade de emanação do gás ^{222}Rn dos materiais pesquisados em uma obra de Engenharia, procedeu-se à simulação de seis salões fechados (portanto, sem troca de ar com o meio externo) com dimensões de 2,80m de pé direito e 100m^2 de área interna, sendo cada um deles com piso revestido por uma das variedades de rochas estudadas, tanto com superfícies no estado natural quanto com superfícies resinadas (Tabela 6.16). Assim, em três deles, foram assentados 100 m^2 de granito resinado. No primeiro foi especificado o granito Branco Nevasca, no segundo o Casa Blanca e no terceiro o granito *Wood Stone*. Nos outros três apartamentos, foram assentados em cada um os mesmos materiais, porém, sem o uso da resina.

Adotou-se, conforme cálculos apresentados na tabela 6.17, como fator de diluição do ar (F1) o volume de ar do apartamento dividido pelo volume de ar do recipiente (garrafão de pirex com capacidade de 19 litros) onde as amostras foram colocadas para se obter a quantidade do gás radônio emanado. O fator de ampliação (F2) corresponde à razão entre a metragem quadrada de material aplicado como piso no salão pela metragem quadrada das dimensões das superfícies dos corpos de prova das amostras utilizadas para o monitoramento dos teores do gás ^{222}Rn exalado no interior do garrafão.

Ao se mutiplicar a quantidade de gás exalado após os 30,5 dias de confinamento das amostras, dentro dos garrafões, pelo fator de correção F2, e dividir o resultado pelo fator de correção F1, tem-se o volume de emanação do gás ^{222}Rn (em Bq/m^3) exalado em cada salão,que, após divisão deste resultado por 37, tem-se o valor em **pCi/L,** conforme demostrado na tabela 6.17.

Tabela 6.17. Simulação da quantidade de ^{222}Rn exalado pelas rochas utilizadas como revestimento em um ambiente padrão fechado (tipo salão)

Amostra	**Área construída (m^2)**	**Pé direito (m)**	**Volume de ar áreaconstruída (m^3)**	**Volume de ar do garrafão (m^3)**	**Fator 1**	**Superfícies corpos-de-prova (m^2)**	**Fator 2**	**Qtd. exalada após 30,5 dias (Bq/m^3)**	**Qtd. ^{222}Rn exalado no ambiente**	
									Bq/m^3	**pCi/L**
Branco Nevasca natural	100	2,8	280	0,019	14736,84	0,0550937	1.815,08	1.293	159,25	4,30
Branco Nevasca resinado	100	2,8	280	0,019	14736,84	0,0550937	1.815,08	1076	132,52	3,58
Casa Blanca natural	100	2,8	280	0,019	14736,84	0,054110	1.848,08	342,7	42,97	1,16
Casa Blanca resinado	100	2,8	280	0,019	14736,84	0,054110	1.840,08	315,3	39,36	1,06
Wood Stone natural	100	2,8	280	0,019	14736,84	0,0546492	1.829,85	290,3	36,04	0,97
Wood Stone resinado	100	2,8	280	0,019	14736,84	0,054692	1.829,85	183,3	22,76	0,61

A Agência Internacional de Energia Atômica (SAFETY STANDARDS SERIES 115) prevê ações em relação à exposição crônica quando os níveis de concentração média anual estiverem entre 200 e 600 Bq/m^3 ou 4pCi/L de acordo com o guia da Envinmental Protection Agency (EPA)

OBS.: Limites gás ^{222}Rn (EPA, 2003): < 148 Bq/m^3 ou < 4pCi/litro

O Branco Nevasca sem o uso da resina foi o único material que apresentou valor de 4,30 pCi/L,um pouco acima do limite estabelecido pela EPA. Os demais materiais em seu estado natural mostraram valores bem abaixo do valor limítrofe estabelecido pela EPA, não havendo nenhuma restrição quanto ao seu uso para ambientes com baixa circulação de ar com o meio externo. Com o uso da resina no granito Branco Nevasca, ocorreu uma redução de 16,74% na taxa de exalação do gás ^{222}Rn, baixando o valor de 4,30 pCi/L para 3,58 pCi/L, que está dentro do limite estabelecido pela EPA, não havendo restrição de uso.

Os resultados obtidos nas análises e ensaios realizados nos três litotipos no estado natural e resinado encontram-se sintetizados na tabela 6.18.

ENSÁIOS		MATERIAL								
		BRANCO NEVASCA		Variação Após uso da Resina	**CASA BLANCA**		Variação Após uso da Resina	***WOOD STONE***		Variação Após uso da Resina
		Natural	**Resinado**		Natural	**Resinado**		Natural	**Resinado**	
ÍNDICES FÍSICOS	Peso Seco - Peso Saturado	0,94 g	**0,04 g**	- 95,74 %	4,93 g	**0,12 g**	-97,56 %	7,40 g	**0,79 g**	- 89,32 %
	Densidade Aparente (Kg/m^3	2,61	**2,60**	- 0,4%	2,62	**2,63**	+ 0,38%	2,27	**2,28**	+ 0,44%
	Porosidade Aparente %	0,76	**0,03**	- 96,05%	0,70	**0,08**	- 88,57%	6,59	**0,82**	- 87,55%
	Absorção d'água (%)	0,29	**0,01**	- 96,55%	0,27	**0,03**	- 88,88%	2,90	**0,32**	- 88,96%
Desgaste Amsler após 500 m (mm/500 m)		0,36	**0,35**	- 2,77	0,60	**0,29**	- 51,66%	1,85	**1,41**	-23,78
Desgaste Amsler após 1000 m (mm/1000 m)		0,63	**0,63**	0,00%	0,97	**0,61**	- 37%	3,69	**3,40**	-7,85%
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	Altura de ruptura (m)	0,72	**1,01**	+ 40,27%	0,84	**1,34**	+ 59,5%	0,54	**0,97**	+ 79,6%
Resistencia a Compressão Uniaxial (MPa)		108,05	**115,60**	+ 6,98%	60,97	**65,26**	+ 7,03%	48,85	**52,09**	+ 6,63%
Resistencia a Flexão 3 Pontos (Mpa)		11,52	**12,0**	+ 4,16%	8,1	**10,0**	+ 23%	9,0	**9,6**	+ 6,66%
Coeficiente de dilatação Termica Linear (10^{-3}mm/m°C)		6,5	**5,7**	- 12,30 %	9,6	**9,3**	-3,12 %	7,6	**7,5**	-1,3 %
Média Brilho (%)	Antes do Ataque Químico	91,98	**74,28**	+ 14,42%	89,68	**78,42**	+ 43%	32,29	**38,20**	+ 29,20%
	Após Ataque Químico	76,99	**63,92**		69,27	**63,30**		21,76	**29,38**	
	Variação	-16,3%	**-13,95%**		-22,8%	**-12,9%**		-32,6%	**-23,08%**	
Velocidade de Propagação de Ondas Ultrasonicas (m/s) Seco		4.350	**4.430**	+ 1,84%	3.900	**4.010**	+ 2,82%	3.470	**3.550**	+ 2,30%
Taxa de Exalação de Radônio (Bq/m^3)		1.293	**1076,7**	**- 16,72%**	342,7	3315,3	**- 7,99%**	290,3	183,3	**- 36,85%**

Tabela 6.18: Resumo dos resultados dos ensaios e análises realizadas nas amostras resinadas e não resinadas dos materiais pesquisados e a comparação entre esses resultados (Fonte: Autor)

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Uma das dificuldades encontradas na pesquisa foi a falta de estudos e divulgações de trabalhos realizados em amostras de rochas ornamentais resinadas, sendo destoante em relação aos fins propostos da caracterização tecnológica, que tem como princípio conhecer melhor as características das rochas, com vistas a especificar de maneira mais correta, seu uso, a fim de reduzir e retardar o desgaste e a degradação desses materiais.

Se por um lado é evidente o avanço tecnológico na cadeia produtiva de rochas ornamentais, no tocante a máquinas, equipamentos e insumos utilizados, observa-se que esses avanços não são acompanhados pelas entidades que normatizam os ensaios de caracterização tecnológica.

Se a caracterização tecnológica das rochas serve para melhor especificar o uso dos materiais, possibilitando que estes permaneçam por mais tempo com os padrões de qualidade, faz-se, então, necessário que as análises e ensaios de caracterização sejam também efetuados em corpos de prova resinados.

A importância de realizar esses ensaios em amostras de rochas resinadas ficou evidente com os resultados obtidos na pesquisa. Verificou-se que o uso da resina aumentou a resistência física e mecânica das rochas, tendo propiciado maior proteção à ação de agentes que degradam e decompõem esses materiais, possibilitando que materiais não aptos e adequados a determinados usos venham a ser especificados sem restrições, desde que sejam resinados.

A resina, em seu estado fluido, percola pelos poros, fissuras e estruturas foliadas das rochas. Ao se consolidar por meio da cura, diminui, consideravelmente, esses espaços vazios, dificultando a infiltração e circulação da água, que é um dos agentes causadores de degradação e decomposição mais atuante nos materiais pétreos.

O uso da resina nos três litotipos pesquisados provocou melhoras significativas com relação aos valores dos índices físicos dessas rochas, reduzindo, em média, 90% o índice de porosidade e em 91,46% o índice de absorção d’água. Isso é muito importante, pois, como já expresso, um baixo valor dos índices físicos (porosidade e absorção d'água baixa) implica diretamente no aumento da resistência física e mecânica e na redução da susceptibilidade da rocha ser alvo de patologias.

Com relação ao impacto de corpo duro, os resultados obtidos nas amostras demonstram que a incorporação da resina eleva muito a resistência das rochas.

Vale aqui ressaltar o fato de que este tipo de ensaio, cuja metodologia estabelecida pela ABNT, por intermédio da NBR 15845 de 2010, diz que sejam dados sucessivos impactos em queda livre mediante uma esfera de 1 kg sobre a superfície do corpo de prova, com altura inicial de 20 cm, que vai sendo acrescida em 5 cm até a fissura e ruptura da placa. Isso ocasiona um acúmulo de energia de impacto de ruptura sobre a superfície da rocha, que vai tornando-a cada vez menos resistente aos impactos sucessivos. Desta maneira, um corpo de prova que está resistente sem ruptura, até a altura de 95 cm, se na próxima queda da esfera voltar a utilizar a altura de 50 cm, poderá haver a ruptura em função do acúmulo de energia de ruptura, provocada pelas sucessivas quedas anteriores. Sendo, assim, a altura de ruptura em vez de ser 1,00 m devera ser de 50 cm.

O procedimento da metodologia do ensaio deve ser o mais adequado possível à situação prática de uso dos materiais, pois o sentido do ensaio é obter parâmetros para serem utilizados na prática.

Inexiste, na atividade prática, uma situação de uso em que ocorram sucessivas quedas de um objeto sobre o mesmo ladrilho de rocha, e que estas quedas sejam em alturas que foram acrescidas de 5 cm com relação à anterior.

Outro fato, fora de uso, é o tamanho do ladrilho 20 cm x 20 x cm, pois não há este tipo de ladrilho em escala comercial; no mínimo, os ladrilhos para revestimento de piso são de 45,7 x 45,7 cm e sabe-se que, quando menor a área maior sua resistência ao impacto.

Há necessidade de revisão nos procedimentos desse ensaio, visando a que o resultado obtido tenha mais utilidade prática. Sugere-se que o ladrilho do corpo de prova seja do tamanho do ladrilho utilizado para revestimento de piso, e que seja substituído por outro após cada impacto recebido, até se chegar à altura do rompimento por um só impacto.

No tocante aos ensaios de compressão uniaxial e módulo de ruptura por flexão em três pontos, como a altura dos corpos de prova são de 7cm e 5 cm, respectivamente, boa parte da área interna dos corpos de prova não teve suas características alteradas com o uso da resina. O pouco que a resina penetrou e o que recobriu a superfície das amostras ainda permitiu melhorar os índices de resistência à compressão uniaxial, 6,68% em média nos três litotipos. Com relação ao módulo de ruptura por flexão a três pontos, o granito Branco Nevasca aumentou sua resistência em 4,16%, o Casa Blanca em 23% e o *Wood Stone* em 6,66%.

Como sugestão, é importante que esses ensaios sejam realizados em espessuras compatíveis com a espessura de comercialização das rochas que é de 2 a 3 cm, e que se estabeleçam novos valores de aceitação dos resultados.

O desgaste abrasivo Amsler está diretamente relacionado à composição mineralógica da rocha. Porém mesmo assim, nos materiais anisotrópicos e de granulação média a grossa, a resina conseguiu, (principalmente nos primeiros 500 m de percurso abrasivo), melhorar a proteção das rochas com relação ao desgaste, com redução de 37% para o Casa Blanca de 7,85% no caso do *Wood Stone*. Isso porque o desgaste do Casa Blanca decorria da grande quantidade de mica facilmente desagregada nos planos de clivagem quando pressionada por material abrasivo. A resina, penetrando os planos de clivagem, conseguiu fechar os esparços vazios e aumentou mais o contato deste mineral com os demais cristais em sua volta. Somente o granito Branco Nevasca, por ser uma rocha isotrópica e apresentar poros muito pequenos, a resina praticamente não produziu efeito, pois o contato do material abrasivo ocorreu mais sobre a superfície dos minerais que, por sua vez, era composta de minerais de dureza relativamente alta, quartzo e feldspato; daí não ter havido alteração no valor do desgaste abrasivo Amsler após o percurso de 1000 m entre as amostras em seu estado natural e aquelas resinadas.

Com relação à perda de brilho, todas as substâncias químicas afetaram e reduziram o brilho das amostras, no estado natural ou resinada, cuja intensidade variou de acordo com o tipo de reagente e o padrão composicional e textural de cada material.

O ataque químico dos reagentes em cinco amostras de resina de diâmetro aproximadamente 10 cm e espessura de 4 cm mostrou que os ácidos não produziram perda do brilho da resina, ao contrário, seu efeito foi de uma limpeza, aumentando em média 3,8% o brilho da resina.

O aumento do brilho da resina com os reagentes explica o fato de, em alguns casos, rochas menos porosas, como o Branco Nevasca, onde a absorção da resina é menor, ser objeto de perda de brilho com ataque do ácido cítrico quando comparadas aquelas mais porosas, que exibem maior concentração de resina em sua superfície como o granito *Wood Stones*. Deduz-se, pois, que a menor perda de brilho do *Wood Stone* resinado, único que apresentou ganho na diminuição da perda de brilho (natural perdeu 7,09%; resinado 2,6%), está relacionada a sua composição mineralógica.

De maneira geral, considerando o ataque dos cinco reagentes nas amostras em seu estado natural e resinadas, aquelas que fizeram uso da resina apresentaram redução de perda de brilho em 14,48%.

Os dados colorimétricos mostraram que a resina produz um efeito maior na variação total de cor das amostras do que propriamente os ácidos. A resina, via de regra, produz um escurecimento nas amostras $\Delta L^* < 0$ e uma variação cromática que leva a um discreto aumento de tons vermelho e ligeiro aumento de tons amarelos. Todas essas variações são crescentes e diretamente proporcionais a ordem crescente da porosidade de cada material, ΔE^* do Branco Nevasca < ΔE^* do Casa Blanca que é < ΔE^* do *Wood Stone*.

Considerando somente o efeito dos reagentes nas amostras no estado natural, quanto maior a porosidade maior a reação, observada somente uma exceção que foi o ataque do cloreto de amônia no Casa Blanca, que mostrou maior alteraçãoem relação ao *Wood Stone,* isto pode ser justificado pela composição mineralógica, existindo, neste caso, maior concentração de minerais máficos no granito Casa Blanca.

Com relação ao efeito da resina na redução do teor de exalação do gás ^{222}Rn, esta produziu uma redução de 16,72% no valor (Bq/m^3) no granito Branco Nevasca (Natural 1.293 Bq/m^3; resinado 1.076 Bq/m^3), reduziu 7,99% no Casa Blanca (natural 342,7 Bq/m^3; resinado 315,3 Bq/m^3) e 38,85% no *Wood Stone* (natural 290,3 Bq/m^3; resinado183,3 Bq/m^3).

As concentrações de ^{238}U e ^{232}Th nas amostras do granito Branco Nevasca e *Wood Stone* praticamente são as mesmas, porém a porosidade do *Wood Stone* é bem superior à do Branco Nevasca. Já a quantidade de exalação do gás radônio foi significativa no Branco Nevasca e inexpressiva no *Wood Stone,* demonstrando que a migração do gás não está relacionada somente à porosidade, mas também ao tipo de rede porosa presente na rocha e de outros fatores interferentes, como a estrutura cristalina dos minerais, granulação da rocha, imbricação entre grãos minerais, bem como a proximidade dos cristais responsáveis pela geração desse gás com as vias de migração (fraturas, lineações, clivagens), rede de comunicação entre as vias migratórias e, possivelmente, o grau de oxidação desses materiais.

Em decorrência dos resultados obtidos nos materiais resinados, e considerando-se sua comparação com as amostras que não foram resinadas, é lícito observar que a resina produz um efeito positivo no tocante ao aumento da resistência física e mecânica dos materiais. O que não pode deixar de ser levado em consideração na hora de se especificar o uso das rochas ornamentais, havendo, assim, uma necessidade da realização de ensaios de caracterização tecnológica nas rochas cuja comercialização depende do uso da resina. Considera-se que, com desenvolvimento de novas pesquisas pode ser formado um banco de dados de resultados em corpos de prova resinados, que sirva de consulta para estabelecer parâmetros-limites na especificação do uso dessas rochas

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanço Sucinto das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas ornamentais e de Revestimento no 1º bimestre de 2012**. Informe nº 02:2012

AIRES-BARROS, L.; GRAÇA,R.C.A. **Percolação Forçada da Água Através das Rochas e a Previsão da Alterabilidade. Técnica**, v,24,n,412, 1993. p. 59-72.

AIRES-BARROS, L.; GRAÇA,R.C.A. **Alteração e Alterabilidade de Rochas.**

Instituto Nacional de Investigação Científica**,** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.

1991.384p.

AL-JARALLAH, M.; 2001; **Radon exhalation from granites used in Saudi Arabia.** Journal of Environmental Radioactivity, 53, p. 91-98, 2001

ALMEIDA NOGUEIRA C. **"Propriedades Mecânicas e Térmicas do Sistema Epóxi DGEBA/Etileno Diamina Modificado com Nanoplataformas de Silsesquioxano Substituídas com Grupo Esteres".** Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira Departamento de Física e Química. Ilha Solteira- SP 2005.

Amaral, P.G.Q.; Galembeck, T.M.B.; Bonotto, D.M.; Artur, A.C. 2012. **Uranium distribution and radon exhalation from Brazilian dimension stones**. Applied Radiation and Isotopes. 70(4): 808-817.

AMERICAN SOCIETY FOR TOTING AND MATERIAIS – ASTM. D2845: Standard Method For Laboratory Dertermination of Pulse Velocities And Ultrasonic Elastic Constants of Rocks, 1995.

ANDREWS, J.N.&WOOD,D.F. 1977. **Mechanism of Radon Release in Rock Matrices And Entry Into Ground Waters**. Ist. Min. Metall Trans., B81:198

ANTONIO NOVAIS, J. **Polímeros Sintéticos para la Conservacion de Materiales Pétreos** – Instituto de Geologia Económica (CSIC-UCM). Facultad de CC.Geológicas Madrid, España.

ARTUR,A.C.;MEYER,A.P.&WERNICK,E. **Características Tecnológicas de Granitos Ornamentais: a Interferência da Mineralogia, Textura e Estrutura da Rocha. Dados Comparativos e Implicações de Utilização.** In: Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas ornamentais, e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Salvador-BA. Ed.CETEM/MCT – Rio de Janeiro, p.13 – 19. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: **Rochas para Revestimento- Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15844: **Rochas para Revestimento- Requisitos para Granito**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12042: **Materiais Inorgânicos Determinação do Desgaste por Abrasão**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818-97: **Determinação da Resistência ao Ataque Químico.** (NBR 13818- Anexo H:

BARTON,T.P., & ZIEMER, P.L. **The Effects of PLASTIC Size and Moisture Content on the Emanation of Rn From Coal Ash. HeLTH Physics**, 50 (5), 518 528.1986

BENAVENTE D. **Propiedades Físicas y Utilización de Rocas Ornamentales. Laboratório de Petrologia Aplicada.** Unidad asociada CSIC-UA Departamento de Ciências de la Tierra y Medio Ambiente. Universidade de Alicante. 2006.

BESSA,M.F. **Rochas Ornamentais do Nordeste do Ceará (Brasil): Propriedades Tecnológicas, Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará.** Tese (de doutorado)- Instituto Superior Técnico de Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2002.

BONOTTO, D.M. **Comportamento Hidrogeoquímico do ^{222}Rn e Isótopos de ^{238}U e ^{234}U sob Condições Controladas em Laboratório e em Sistemas Naturais**. 1996. 223f. Tese (Livre Docência), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 1996.

BONOTTO D.M., ANDREWS, J.N. , 1997. **The Implications of Graundwaters: The case of a Kastic Limestone Aquifer**. Appl. Geochen. 12, 715-726.

BUJ FUNDOS O.et ali.– P**ropiedades Hídricas y Durabilidad de las Rocas com Uso Ornamental.** Universidade de Zaragosa, Ciências de la Tierra – Tesi doctoral. 2009.

CADAÑAS NAVARRO, F. **Granitos Ornamentais; Análise Petrografíca como Técnica para Previsão do Comportamento Físico- Mecânico de "Granitos" Ornamentais**. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista- Rio Claro.88p. 2002

CASSIO SANTOS DE C. **Estudo do Comportamento Tecnológico e de Alterabilidade das RoVerde Amazonas, Preto Cajugran e bege Ipanema-ES.** Dissertação de Mestrado Universidade Estadual Paulista-UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Campus de Rio Claro 2005

CHEMICA EDILE S.R.L. Fract.AG. **Argamassa Expansiva para Demolições, Cortes de Rocha e Cimentos**. Chemica Edile S.R.L (Catálogo).

CHIODI FILHO, C. **Balanço Sucinto das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento no 1° bimestre de 2012.** Informe ABIROCHAS n. 02 /2012

CHYI,LL. **Radon Testing Of Varius Coutertop Materials Final Report,** 2008.

Chyi, L. L. 2008. **Radon Testing of Various Countertop Materials Final Report.** 15 f. The University of Akron, Maio, 2008.

DIAMANT BOART. **Cabos Diamantados para Indústria da Pedra**. Disponível em: <http:www.diamant-boart.com/pdf/cables PO.pdf>

DUARTE, R. M. 2002. **Radioelementos naturais na área do projeto Rio Preto (GO)**. 2002. 169 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2002.

DULLIEN F.A.L. **Porus Media Fluid Transport and Pore Structure**. Academic Press, San Diego, 574 p. 1992.

DURRANI,S.A.,ILIC,R., 1997. **Radon Measurements By Etch Track Detectors. Wold Scientific Publishing Singapore.**

ESBERT, R.M., ORDAZ, J., ALONSO,J.F., MONTOTO,M., LIMÓN,T.G., BALLESTER,M.A.(1997) – **Manual de diagnosis dy tratamiento de materials pétreos y cerâmicos**. Cal.legi d'aparellodors i arquilectes técnics de Barcelona, 139p.

FANDOS,O.B.,2009 **Caracterizacion Tecnologica de lãs Rocas Aragonesas de Uso Constructivos: Propriedades Hidricas Y Durabilidad de lãs Rocas Com Uso Ornamental**. Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza.

INTERNATIONAL SOCIETY OF MECHANICS. Sugested Methods For The Determining The Uniaxial Compressive Strength And Deformability Of Rocks Materials. 1979.

Klein, C. & Hurlbut Jr. C. 1993. ***Manual of mineralogy*.** (after James D. Dana), 21.ed. Jonh Wiley & Sons, Inc. N.Y. 681p.

KOTASEK V. **Aplicações de Resina Epóxi na Consolidação de Rochas Ornamentais.** Revista Rochas de Qualidade São Paulo, Ed. 173, p.112-120 Novembro/Dezembro 2003.

LÓPEZ GUUILLEN C. **Mejora de las Propriedades Mecánicas de Piezas de Mármol Crema Mafil Mediante la Incorporación de Recubrimentos de Resinal de Poliéster Insaturado**. Universitat D' Alacant, Departamento de Química Inorgânica Laboratorio de Adhesión y Adhesivos- Tesi Doctoral. 2001

MARIANO ENRIQUE G. **" Seguimiento Cuantitativo de Reacciones de Resinas Epoxi Mediante Espectroscopía de Infrarrojo Cercano y Métodos de Resolución de Curvas"**. Universit Rivira I Virgili, Departament de Química Analítica I Quuímica organica, Tesi de Doctoral Tarragona 2006.

MATEUS PATRÍCIA RODRIGUES C. **Aplicação de Resina Epóxi no Tratamento de Fissuras em Rebocos Exteriores.** Universidadrás-Os-Montes, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Vila Real agosto de 2009.

MEETEN, G.H. **Optical Properties of plymers**. London: Elsevier Applied Science, p.326-329, 1986.

MENEZES GALLART R. **Tecnologia de Lavra em Maciços Rochosos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de geociências, Departamento de Geologia, Curso de Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais agosto de 2005.

NAZAROFF,W.N. & NERO,A.V.JR., EDS. **Radon and Its Decay Products In Indoor Air.** John Wiley & Sons, Ny, Ny 10010; 1988.

PREDEBÓN, I.L. Possibilidades Plásticas Del Polimero Acrílico Paraloid b-72 Utilizado como Aglutinante Pictórico. Universidade Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura. Tese de doutorado Madrid 2005.

REGADAS CLOTILDE MARTINS DA COSTA I. **Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo Brasil.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.
RODRIGUES DE PAULA E. Et ali. - **Importância da petrografia microscópica para previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais**. Revista Rochas de Qualidade, pg 78-86. 1997.

WANTY, R. B.; LAWRENCE, E. P.; GUNDERSEN, L. C. S. 1992. **A theoretical model for the flux of radon from rock to groundwater.** In: Gattes, A. E. & GUNDERSEN, L. C. S. eds. Geologic controls of radon. Boulder, Colorado.

ANEXOS

RESULTADOS E MEMORIA DE CÁLCULOS

1- ÍNDICES FÍSICOS

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{\text{Massa Seca}}{(\text{M.Sat.} - \text{M.Sub.})} \text{X}1000$$

$$\text{Porosidade} = \frac{(\text{M.Sat.} - \text{M.Seca})}{(\text{M.Sat.} - \text{M.Sub.})} \text{X}100$$

$$\text{Absorção D'água} = \frac{(\text{M.Sat.} - \text{M.Seca})}{\text{M.Seca}} \text{X } 100$$

Índices Físicos do Granito *Wood Stone*

Amostra ***WOOD STONE***	Nº	Peso seco	Peso Saturado	Peso Submerso	Densidade g/cm^3	Porosidade	Absorção D'água
Natural	01	266,79	272,26	158,97	2,35	4,82	2,05
	02	256,31	263,53	151.83	2,29	6,46	2,81
	03	245,40	253,75	143,49	2,22	7,57	3,40
	04	248,64	257,20	144,77	2,21	7,61	3,44
	05	273,62	278,77	164,54	2,39	4,50	1,88
	06	253,22	261,73	148,50	2,23	7,51	3,36
	07	259,73	266,42	154,21	2,31	5,96	2,57
	08	255,62	264,23	151,92	2,27	7,66	3,36
	09	246,98	255,77	143,49	2,19	7,82	3,55
	10	254,32	260,99	149,86	2,28	6,0	2,62
Média		**256,06**	**263,46**	**151,15**	**2,27**	**6,59**	**2,90**
Desvio padrão					**1,50**	**2,56**	**1,70**
Coeficiente de Variação					**0,66**	**0,388**	**0,58**
WOOD STONE **Resinado**	01	266,06	266,24	155,30	2,39	0,16	0,060
	02	257,62	258,19	146,45	2,30	0,51	0,197
	03	246,25	247,51	137,16	2,23	1,14	0,462
	04	249,78	250,30	137,35	2,22	0,46	0,184
	05	273,94	274,50	160,48	2,40	0,49	0,178
	06	258,16	259,05	146,60	2,29	0,79	0,306
	07	260,01	261,03	147,39	2,28	0,89	0,346
	08	257,08	258,45	144,58	2,26	1,20	0,474
	09	252,84	254,61	137,90	2,16	1,51	0,597
	10	246,25	247,51	137,16	2,23	1,14	0,462
Média		**257,69**	**258,48**	**145,50**	**2,28**	**0,82**	**0,32**
Devio Padrão					**1,50**	**0,91**	**0,57**
Coeficiente de Variação					**0,65**	**1,10**	**1,78**

Índices Físicos do Granito Branco Nevasca

Amostra **Branco Nevasca**	Nº	Peso Seco	Peso Saturado	Peso Submerso	Densidade g/cm^3	Porosidade	Absorção D'água
Natural	01	344,28	345,13	213,45	2,61	0,64	0,24
	02	334,24	335,02	207,40	2,61	0,61	0,23
	03	339,56	340,37	210,49	2,61	0,62	0,23
	04	325,39	327,06	201,27	2,58	1,32	0,51
	05	331,66	332,41	205,75	2,61	0,59	0,22
	06	338,58	339,35	210,05	2,61	0,59	0,22
	07	338,75	339,48	210,03	2,61	0,59	0,21
	08	318,06	319,88	196,45	2,74	1,47	0,57
	09	335,24	335,98	207,95	2,57	0,57	0,22
	10	329,26	330,04	204,35	2,61	0,62	0,23
Média		**333,50**	**334,47**	**206,71**	**2,61**	**0,76**	**0,29**
Desvio Padrão					**1,61**	**0,87**	**0,53**
Coeficiente de Variação					**0,61**	**1,14**	**1,8**
Resinado	01	344,91	344,92	213,02	2,61	0,00	**0,00**
	02	334,76	334,78	206,66	2,61	0,01	0,00
	03	340,16	340,24	210,03	2,61	0,06	0,02
	04	326,14	326,17	199,82	2,58	0,02	0,00
	05	332,53	332,59	205,45	2,62	0,04	0,02
	06	340,13	340,16	209,71	2,61	0,02	0,00
	07	340,22	340,28	209,68	2,60	0,04	0,02
	08	318,76	318,81	195,39	2,58	0,04	0,01
	09	335,38	335,40	207,54	2,62	0,01	0,00
	10	329,73	329,79	204,00	2,62	0,04	0,02
Média		**334,27**	**334,31**	**206,13**	**2,60**	**0,03**	**0,01**
Desvio Padrão					**1,61**	**0,17**	**0,1**
Coeficiente de Variação					**0,61**	**5,66**	**10**

Índices Físicos do Granito Casa Blanca

Amostra: **Casa Blanca**	Nº	Peso Seco	Peso Saturado	Peso Submerso	Densidade g/cm^3	Porosidade	Absorção D'água
Não Resinada	01	341,03	341,92	210,97	2,60	0,68	0,26
	02	336,31	337,20	207,89	2,60	0,69	0,26
	03	354,48	355,37	221,35	2,64	0,66	0,25
	04	338,46	339,40	210,04	2,62	0,73	0,28
	05	340,35	341,26	212,01	2,63	0,70	0,27
	06	354,02	355,03	219,51	2,61	0,74	0,28
	07	349,85	350,81	218,25	2,64	0,72	0,27
	08	353,58	354,56	219,73	2,62	0,66	0,28
	09	336,80	337,73	210,25	2,64	0,73	0,27
	10	337,14	338,08	209,26	2,62	0,73	0,28
Média		**340,20**	**345,13**	**213,92**	**2,62**	**0,70**	**0,27**
Desvio Padrão					**1,61**	**0,83**	**0,52**
Coeficiente de variação					**0,61**	**1,14**	**1,92**
Resinado	01	341,05	341,15	211,25	2,62	0,07	0,02
	02	349,81	349,93	217,48	2,64	0,09	0,03
	03	338,58	338,71	209,40	2,62	0,10	0,03
	04	336,91	337,01	209,27	2,64	0,07	0,03
	05	336,47	336,55	208,44	2,63	0,06	0,02
	06	354,10	354,18	218,87	2,62	0,05	0,02
	07	335,85	336,00	207,17	2,61	0,11	0,04
	08	340,07	340,31	210,31	2,62	0,18	0,07
	09	354,29	354,41	220,60	2,65	0,08	0,03
	10	353,41	353,46	218,66	2,62	0,03	0,01
Média		**344,05**	**344,17**	**213,14**	**2,63**	**0,08**	**0,03**
Desvio padrão					**1,62**	**0,28**	**0,17**
Coeficiente de Variação					**0,61**	**3,53**	**5,77**

2- DESGASTE AMSLER

Material Branco Nevasca	Amostra	Inicial		Após 500 m		Após 1000 m	
		Individual (mm)	Média	Individual(mm)	Média	Individual (mm)	Média
Natural	1	5,81	5,89	5,50	5,53	4,97	5,26
		5,82		5,52		5,20	
		5,53		5,21		5,15	
		5,45		5,20		4,98	
	2	5,84		5,34		5,09	
		5,94		5,35		5,07	
		5,82		5,37		5,07	
		5,91		5,53		5,17	
	3	6,15		5,87		5,54	
		6,21		5,83		5,68	
		6,03		5,71		5,58	
		6,16		5,82		5,48	
	4	5,86		5,41		5,34	
		5,97		5,61		5,41	
		5,91		5,67		5,20	
		5,92		5,62		5,32	
	Desgste AMSLER após 500 m				**0,36 mm**		
	Desgste AMSLER após 1000 m				**0,63 mm**		

Material Branco Nevasca	Amostra	Inicial		Após 500 m		Após 1000 m	
		Individual (mm)	Média	Individual(mm)	Média	Individual (mm)	Média
Resinado	1	5,87	5,78	5,57	5,43	5,31	5,15
		5,99		5,88		5,50	
		5,97		5,80		5,39	
		5,79		5,24		5,07	
	2	5,75		5,23		5	
		5,60		5,35		5,11	
		5,64		5,43		5,14	
		5,65		5,33		5,04	
	3	5,57		5,19		5,10	
		5,32		5,13		4,90	
		5,49		5,36		4,94	
		5,65		5,08		4,70	
	4	6,20		5,75		5,25	
		5,87		5,48		5,20	
		5,82		5,37		5,25	
		6,27		5,74		5,54	
	Desgste AMSLER após 500 m				**0,35 mm**		
	Desgste AMSLER após 1000 m				**0,63 mm**		

MATERIAL *WOOD STONE*	Amostra	Inicial		Após 500 m		Após 1000 m	
		Individual (mm)	Média	Individual(mm)	Média	Individual (mm)	Média
NATURAL	1	6,45	6,55	5,82	4,7	5,13	2,86
		6,71		5,81		5,06	
		6,64		5,92		4,86	
		6,75		6,05		5,25	
	2	6,48		4,30		2,05	
		5,83		4,28		2,11	
		6,35		4,05		2,20	
		6,34		3,90		1,93	
	3	6,49		3,28		0,66	
		6,51		3,49		0,85	
		6,43		3,49		0,72	
		6,27		3,41		0,60	
	4	7,36		5,37		3,58	
		6,37		5,48		3,68	
		6,43		5,35		3,61	
		7,36		5,20		3,52	
	Desgaste AMSLER após 500 m Desgaste AMSLER após 1000 m				**1,85 mm** **3,69 mm**		

MATERIAL	Amostra	Inicial		Após 500 m		Após 1000 m	
		Individual (mm)	Média	Individual(mm)	Média	Individual (mm)	Média
WOOD STONE **RESINDO**	1	7,11	6,80	5,31	5,39	3,61	3,40
		6,95		5,29		3,45	
		6,84		5,37		3,31	
		7,05		5,36		3,57	
	2	6,03		4,24		2,47	
		5,74		4,50		2,45	
		5,75		4,40		2,27	
		6,28		4,47		2,52	
	3	7,55		6,55		5,56	
		7,10		6,30		5,46	
		7,00		6,52		5,54	
		7,55		6,75		5,08	
	4	6,97		5,32		2,22	
		7,19		5,52		2,10	
		6,45		4,80		2,35	
		7,27		5,59		2,46	
	Desgaste AMSLER após 500 m Desgaste AMSLER após 1000 m				**1,41 mm** **3,40 mm**		

MATERIAL CASA BLANCA	Amostra	Inicial		Após 500 m		Após 1000 m	
		Individual (mm)	Média	Individual(mm)	Média	Individual (mm)	Média
NATURAL	1	5,42	5,75	5,10	5,15	4,76	4,78
		5,88		5,20		4,60	
		5,80		5,22		4,52	
		5,15		5,06		4,67	
	2	5,42		4,63		4,32	
		5,28		4,66		4,12	
		4,81		4,46		4,00	
		4,83		4,37		4,00	
	3	6,43		5,41		5,18	
		6,21		5,46		5,12	
		6,02		5,38		5,05	
		6,28		5,44		5,05	
	4	6,22		5,56		5,28	
		6,04		5,58		5,10	
		5,94		5,52		5,41	
		6,25		5,48		5,24	
	Desgaste AMSLER após 500 m Desgaste AMSLER após 1000 m				**0,60 mm** **0,37 mm**		

MATERIAL **CASA BLANCA**	Amostra	Inicial		Após 500 m		Após 1000 m	
		Individual (mm)	Média	Individual(mm)	Média	Individual (mm)	Média
RESINADO	1	6,23	5,52	6,05	5,23	5,72	4,91
		6,94		6.65		6,16	
		6,36		6,00		5,73	
		5,75		5,56		5,52	
	2	4,54		4,49		4,42	
		3,98		3,94		3,82	
		4,53		4,31		3,73	
		5,23		4,62		4,20	
	3	6,35		5,90		5,38	
		6,18		5,85		5,34	
		5,71		5,49		5,40	
		5,73		5,26		5,19	
	4	5,48		5,08		4,83	
		5,50		5,00		4,68	
		4,83		4,58		3,98	
		5,07		4,89		4,45	
	Desgaste AMSLER após 500 m Desgate AMSLER após 1000 m				0,29 mm 0,32 mm		

3- Impacto ao Corpo Duro

AMOSTRA	EXEMPLAR	PRIMEIRA FISSURA (M)	ALTURA DE RUPTURA(M)
CASA BLANCA NÃO RESINADO	01	0,90	0,95
	02	0,80	0,85
	03	0,60	0,65
	04	0,85	0,90
	05	0,80	0,85
MÉDIA		**0,79**	**0,84**
CASA BLANCA RESINADO	01	1,25	1,30
	02	1,40	1,45
	03	1,35	1,40
	04	1,10	1,15
	05	1,35	1,40
MÉDIA		**1,29 (+63,29%)**	**1,34 (+59,5%)**

AMOSTRA	EXEMPLAR	PRIMEIRA FISSURA (M)	ALTURA DE RUPTURA(M)
BRANCO NEVASCA NÃO RESINADO	01	0,55	0,60
	02	0,65	0,70
	03	0,85	0,90
	04	0,55	0,60
	05	0,75	0,80
MÉDIA		**0,67**	**0,72**
BRANCO NEVASCA RESINADO	01	0,85	1,00
	02	1,05	1,10
	03	0,95	1,05
	04	0,85	0.90
	05	0,85	1,00
MÉDIA		**0,91(+35,8)**	**1,01(+40,27%)**

AMOSTRA	EXEMPLAR	PRIMEIRA FISSURA (M)	ALTURA DE RUPTURA(M)
WOOD STONE NÃO RESINADO	01	0,40	0,45
	02	0,65	0,70
	03	0,40	0,45
	04	0,50	0,55
	05	0,50	0,55
MÉDIA		**0,49**	**0,54**
WOOD STONE **RESINADO**	01	0,90	1,00
	02	0,80	0,95
	03	0,80	0,95
	04	0,85	1,00
	05	0,80	0,95
MÉDIA		**0,83(+69,38%)**	**0,97 (79,6%)**

4- Compressão Uniaxial

Material
Branco Nevasca Sem Resina

CP	Aresta A (mm)				Aresta B (mm)				Aresta C (mm)				Carga de Ruptura (KN)	Carga de Ruptura (MPa)
01	76,16	74,68	75,99	74,83	74,46	74,24	74,87	74,68	74,79	75,61	74,79	76,24	637,24	130,0
	Média 75,41				74,56				75,35					
02	75,35	75,72	75,28	75,28	76,94	75,57	76,48	75,15	75,63	76,41	75,25	77,14	706,49	144,4
	Média 74,90				76,03				76,10					
03	74,88	76,17	75,09	77,59	74,15	76,37	75,70	77,83	75,04	76,62	75,05	75,54	497,08	101,4
	Média 75,93				76,01				75,56					
04	76,83	74,80	76,16	74,36	73,92	75,20	73,55	74,37	73,53	77,18	72,99	75,32	282,95	57,75
	Média 75,53				74,26				74,75					
05	76,51	73,66	76,19	73,71	75,65	73,81	75,66	73,58	75,76	76,42	75,43	76,61	523,0	106,7
	Média 75,01				75,10				76,05					
Média Geral		**75,35**			**74,92**				**75,56**				**529,35**	**108,05**
Desvio Padrão													**23,00**	**10,39**
Coeficiente de Variação													**0,043**	**0,096**

Material
Branco Nevasca Resinado

CP	Aresta A (mm)				Aresta B (mm)				Aresta C (mm)				Carga de Ruptura (KN)	Carga de Ruptura (MPa)
01	76,25	76,88	75,36	77,60	75,58	77,76	75,56	76,90	75,37	75,55	75,32	75,56	590,80	120,57
	Média 76,52				76,45				75,45					
02	75,56	75,45	74,26	75,01	74,72	75,09	74,60	76,09	74,78	74,06	74,68	74,35	428,91	87,53
	Média 75,07				75,12				74,46					
03	77,45	75,76	76,58	76,43	75,65	76,14	76,73	75,62	76,88	76,92	76,55	76,92	493,75	100,77
	Média 76,55				76,03				76,81					
04	76,02	77,24	76,10	76,63	75,51	76,61	75,35	78,49	75,82	76,17	75,63	76,08	635,64	129,72
	Média 76,49				76,49				75,92					
05	74,71	76,40	75,48	76,87	75,66	76,92	75,55	79,02	75,73	75,36	75,21	77,36	683,26	139,44
	Média 75,86				76,78				75,41					
Média Geral		**76,09**			**76,17**				**75,61**				**566,47**	**115,60**
Desvio Padrão													**23,80**	**10,75**
Coeficiente de Variação													**0,042**	**0,092**

MATERIAL
WOOD STONE SEM RESINA

CP	Aresta A (mm)				Aresta B (mm)				Aresta C (mm)				Carga de Ruptura (KN)	Carga de Ruptura (MPa)
01	75,93	75,20	76,05	75,71	77,59	75,40	75,46	75,98	76,33	76,34	75,85	75,53	402,82	82,21
	Média 75,72				76,10				76,01					
02	76,27	76,34	76,78	75,66	75,98	75,74	75,83	75,55	75,48	76,09	76,25	77,48	305,31	62,31
	Média 76,26				75,77				76,01					
03	75,18	73,35	75,19	73,89	75,44	74,29	75,46	73,97	76,03	75,17	75,67	75,86	76,76	15,66
	Média 74,40				74,79				75,68					
04	77,38	76,56	76,96	76,91	77,18	77,06	77,36	76,22	77,76	77,35	77,04	77,15	250,62	51,15
	Média 76,95				76,95				77.32					
05	75,80	76,47	76,68	76,83	77,36	76,85	76,55	78,27	76,80	77,14	76,44	77,47	161,51	32,96
	Média 76,44				77,25				76,96					
Média Geral			**75,95**		**76,17**				**76,39**				**239,40**	**48,85**
Desvio Padrão													**15,47**	**6,98**
Coefeciente de Variação													**0,064**	**0,14**

MATERIAL
WOOD STONE RESINADO

CP	Aresta A (mm)				Aresta B (mm)				Aresta C (mm)				Carga de Ruptura (KN)	Carga de Ruptura (MPa)
01	76,72	76,84	76,67	76,70	76,44	76,63	76,12	76,60	76,54	75,43	75,78	74,61	391,28	79,85
	Média 7 6,73				76,44				75,59					
02	76,95	76,50	76,42	75,65	76,81	76,31	76,39	75,34	76,80	76,42	76,30	76,08	117,65	24,01
	Média 76,38				76,21				76,40					
03	76,91	78,48	77,00	77,70	76,32	77,66	75,96	77,20	76,05	77,00	75,68	77,05	307,50	62,76
	Média 77,52				76,78				76,44					
04	75,64	76,26	75,53	75,42	75,74	76,50	75,84	75,97	74,09	75,83	75,20	76,20	199,01	40,61
	Média 75,71				76,01				75.33					
05	76,27	76,86	76,70	76,82	77,39	76,76	76,41	77,04	76,33	76,25	76,04	76,39	260,91	53,25
	Média 76,66				76,90				76,25					
Média Geral			**76,66**		**76,46**				**76,00**				**255,27**	**52,09**
Desvio Padrão													**15,97**	**7,21**
Coefeciente de Variação													**0,062**	**0,138**

MATERIAL
CASA BLANCA SEM RESINA

CP	Aresta A (mm)				Aresta B (mm)				Aresta C (mm)				Carga de Ruptura (KN)	Carga de Ruptura (MPa)
01	76,82	75,89	76,91	75,94	76,57	75,90	76,28	76,07	76,96	76,20	76,41	76,57	145,05	29,60
	Média	76,39			76,20				76,53					
02	75,79	75,70	74,15	75,87	76,48	75,71	76,17	75,84	75,08	75,44	74,41	76,40	390,56	79,71
	Média	75,37			76,05				75,33					
03	76,35	75,85	76,73	75,88	77,02	76,16	76,64	75,85	76,41	77,50	76,80	76,91	385,95	78,77
	Média	75,95			76,41				76,90					
04	77,07	75,21	75,96	74,94	76,74	75,28	76,05	75,40	77,00	76,30	76,51	76,74	202,37	41,30
	Média	75,79			75,86				76,63					
05	75,96	75,25	75,54	75,02	75,27	75,18	75,61	75,96	75,78	74,96	76,02	74,96	314,15	64,11
	Média	75,44			75,50				75,43					
06	75,50	74,41	76,17	74,44	75,95	74,78	75,74	74,41	75,78	75,47	75,61	75,70	198,48	40,51
	Média	75,13			75,22				75,64					
07	74,55	73,57	74,91	73,44	75,32	73,18	75,58	72,17	74,42	75,44	74,94	75,34	454,68	92,79
	Média	75,49			74,06				75,03					
Média Geral			**75,49**		**76,75**				**75,92**				**298,74**	**60,97**
Desvio Padrão													**21,16**	**9,56**
Coeficiente deVariação													**0,07**	**0,15**

MATERIAL
CASA BLANCA RESINADO

CP	Aresta A (mm)				Aresta B (mm)				Aresta C (mm)				Carga de Ruptura (KN)	Carga de Ruptura (MPa)
01	74,52	74,94	76,01	74,83	75,26	76,54	75,82	74,44	75,10	75,09	74,94	74,94	229,05	46,75
	Média	75,07			75,51				75,01					
02	75,81	76,28	74,38	76,59	75,78	75,35	75,53	76,24	75,40	74,78	75,76	75,65	165,43	33,76
	Média	75,76			75,72				75,39					
03	76,06	75,95	75,85	76,08	76,40	75,72	75,86	76,18	75,63	75,94	76,06	75,84	247,58	50,53
	Média	75,98			76,04				75,86					
04	77,39	75,98	76,60	76,25	77,28	76,19	76,11	75,87	76,67	76,75	77,24	77,15	505,95	103,26
	Média	76,55			76,36				76,95					
05	75,51	75,55	75,57	74,53	75,57	74,55	75,31	74,49	75,36	75,94	75,50	75,78	274,33	55,99
	Média	75,29			74,98				75,64					
06	75,65	74,90	75,54	75,12	74,80	75,09	74,85	74,76	75,05	74,76	75,86	76,22	266,58	54,40
	Média	75,30			74,87				75,47					
07	75,56	74,72	75,28	74,83	73,60	75,01	73,14	73,74	73,51	75,29	73,56	75,30	280,25	57,19
	Média	75,09			73,87				74,41					
Média Geral			**75,57**		**75,33**				**75,53**				**281,31**	**65,26**
Desvio Padrão													**20,54**	**9,89**
Coeficiente de Variação													**0,07**	**0,15**

5- Módulo de Ruptura- Flexão por Carregamento em Três Pontos

WOOD STONE

Amostra não Resinada	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (Mpa)
01	99,7	99,5	99,7	99,5	51,7	51,7	51,6	51,6	198,2	198,3	198,4	198,3	998	10,5
02	99,1	99,1	99,2	99,2	51,0	50,1	50,4	51,2	199,8	199,7	199,6	198,4	806	8,5
03	98,5	98,3	98,3	98,2	50,7	51,2	51,3	51,4	198,5	198,5	198,4	198,3	803	8,5
04	98,3	98,2	98,2	98,3	51,4	52,0	52,1	52,2	198,0	198,1	198,1	198,1	803	8,5
Média	**98,8**				**51,3**				**198,5**				**852,5**	**9,0**
Desvio Padrão													**29,19**	**3,0**
Coeficiente de Variação													**0,034**	**0,33**

Amostra Resinada	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (Mpa)
01	99,0	99,1	99,0	99,0	52,1	52,0	52,1	52,0	199,3	199,2	199,3	199,4	975	10,3
02	99,8	99,5	99,6	99,5	51,7	51,6	51,7	51,7	198,7	198,7	198,6	198,7	1384	14,6
03	98,8	98,6	98,5	98,4	52,1	51,3	51,4	51,4	199,3	199,3	200,0	199,6	601	6,3
04	98,3	98,4	98,4	98,4	50,1	50,1	50,0	50,0	200,3	200,0	200,0	200,1	703	7,4
Média	**98,8**				**51,3**				**199,4**				**915,7**	**9,6**
Desvio Padrão													**30,26**	**3,10**
Coeficiente de Variação													**0,033**	**0,32**

BRANCO NEVASCA

Amostra não Resinada	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (Mpa)
01	98,8	98,6	98,7	99,0	49,6	49,3	49,4	49,4	199,7	199,1	199,2	199,4	643	6,8
02	99,1	99,2	99,3	99,1	48,1	49,5	48,4	48,5	197,5	197,5	197,5	197,5	1560	16,5
03	99,3	99,2	99,4	99,2	49,4	49,4	49,7	49,5	199,6	199,4	199,7	199,4	908	9,6
04	99,3	99,2	99,4	99,4	48,2	48,3	48,4	48,4	199,4	199,4	199,4	199,4	1250	13,2
Média	**99,1**				**48,9**				**198,9**				**1090,2**	**11,52**
Desvio Padrão													**33,01**	**3,39**
Coeficiente de Variação													**0,030**	**0,29**

Amostra Resinada	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (Mpa)
01	99,2	99,3	98,8	98,6	49,4	49,5	49,7	49,7	198,2	198,2	198,0	198,5	1193	12,6
02	99,7	99,4	99,4	99,4	47,4	48,7	49,2	49,0	199,3	198,5	199,4	198,6	1020	10,8
03	99,9	99,5	99,5	99,7	49,5	49,5	49,7	49,7	199,1	198,7	198,8	198,6	1209	13,6
04	99,2	99,1	99,4	99,1	49,5	49,4	49,6	50,0	200,0	199,7	199,4	199,6	1039	11,06
Média	**99,3**				**49,3**				**198,9**				**1115,2**	**12,0**
Desvio Padrão													**33,39**	**3,46**
Coeficiente de Variação													**0,029**	**0,28**

CASA BLANCA

Amostra não Resinada	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (Mpa)
01	99,9	99,0	99,8	99,6	51,4	52,1	51,2	52,0	199,4	198,7	198,6	198,4	911	9,6
02	99,7	99,5	99,5	99,6	51,3	50,6	51,0	52,2	199,1	199,2	199,2	199,2	886	9,3
03	98,6	98,6	98,7	98,8	53,1	52,2	50,0	50,4	198,6	198,6	198,4	198,6	739	7,8
04	99,4	99,7	99,6	99,2	51,1	51,1	51,1	51,5	199,4	198,7	198,5	198,7	544	5,7
Média	**99,3**				**51,3**				**198,8**				**770**	**8,1**
Devio Padrão													**27,74**	**2,84**
Coeficiente de Variação													**0,036**	**0,35**

Amostra Resinada	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (Mpa)
01	99,7	99,4	99,5	99,3	52,6	53,1	52,1	53,4	198,5	198,7	198,7	198,3	1020	10,0
02	100	99,9	100	99,8	52,1	52,3	52,1	52,3	199,2	199,1	199,2	199,2	1122	11,8
03	99,7	99,6	100	99,6	51,1	51,2	51,3	51,2	199,0	199,1	199,2	199,2	793	8,3
04	99,4	99,4	99,5	99,4	53,1	53,3	53,2	53,3	198,2	198,2	198,1	198,1	953	10,0
Média	**99,6**				**52,3**				**198,7**				**972**	**10,0**
Desvio Padrão													**31,17**	**3,16**
Coeficiente de Variação													**0,032**	**0,31**

6- Resultados da velocidade de propagação de ondas longitudinais nas amostras resinadas e não resinadas

Material	Comprimento (m)	Velocidade de propagação de onda Seco (VP m/s)	Velocidade de Propagação de onda Saturada (VP m/s)	Tempo de propagação seco (t. μs)	Tempo de Propagação Saturada (t. μs)
Branco Nevasva Natural	0,199	4.430	5.080	45,2	39,2
Branco Nevasca Resinado	**0,199**	**4.350**	**4.540**	**45,7**	**44,1**
Casa Blanca Natural	0,198	3.900	4.380	50,8	45,2
Casa Blanca Resinado	**0,198**	**4010**	**4.460**	**49,4**	**43,9**
Wood Stone Natural	0,198	3.470	3.540	57,0	56,0
***Wood Stone* Resinado**	**0,198**	**3.550**	**3.560**	**55,8**	**56,2**

7- Resultados do Ensaio de Exalação de Radônio

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio						
Nome Comercial:	**Branco Nevasca**			Sigla:		
Procedência:						
Descrição da Amostra: **Natural**						
Volume da amostra:	0,0011444 m^3	Hora:	17:10			
Área da superfície:	0,0550937 m^2	Vácuo Inicial:				450
Peso da amostra:	2,96734 Kg	Vácuo no dia da leitura:				400
Volume do garrafão:	0,019m^3	Vácuo ao final da leitura:				300
Início do Vácuo:	27/03/2012	Data da leitura:		26/04/2012		
Dias : 30,5						
Tempo de Medição	Temperatura (ºC)	UR (%rH)	Pressão (mbar)	Exalação (Bq/m^3)		
15:49	27	*79*	938	13	±	30
15:59	27	79	938	1.280	±	156
16:09	27	80	938	1.460	±	142
16:19	26	80	938	1.140	±	108
		Média:		1.293	±	135
		Desvio Padrão:		35,96		
		Exalação média dia:		**42,393Bq/24h**		
		Exalação : metro cúbico dia:		**1.949,69Bq m^{-3}/l_{ar}/24h**		
		Exalação metro quadrado dia:		**40,49Bq m^{-2}/l_{ar}/24h**		
		Exalação por pesoDia:		**Bq/Kg/l_{ar}/24h**		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio

Nome Comercial: **Branco Nevasca** Sigla:

Procedência:

Descrição da Amostra: **Resinado**

Volume da amostra:	0,0011444 m^3	Hora: 14:10	
Área da superfície:	0,0550937 m^2	Vácuo Inicial:	440
Peso da amostra:	2,96734 Kg	Vácuo no dia da leitura:	400
Volume do garrafão:	0,019m^3	Vácuo ao final da leitura:	270

Início do Vácuo: 28/04/2012 Data da leitura: 28/05/2012

Dias : 30,5

Tempo de Medição	Temperatura (ºC)	UR (%rH)	Pressão (mbar)	Exalação (Bq/m^3)		
17:52	24 ºC	79	948	21	±	37
18:02	24 ºC	78	948	1160	±	149
18:12	24 ºC	78	948	1150	±	125
18:22	24 ºC	78	948	920	±	94
		Média:		1076,7	±	123
		Desvio Padrão:		32,8		
		Exalação média dia:		**35,3 Bq/24h**		
		Exalação : metro cúbico dia:		**1.623,54Bq m^{-3}/l$_{ar}$/24h**		
		Exalação metro quadrado dia:		**33,72Bq m^{-2}/l$_{ar}$/24h**		
		Exalação por pesoDia:		**Bq/Kg/l$_{ar}$/24h**		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio

Nome Comercial:	**Casa Blanca**	Sigla:
Procedência:		
Descrição da Amostra:	**Natural**	

Volume da amostra:	0,001737m^3	Hora: 16:10	
Área da superfície:	0,05411m^2	Vácuo Inicial:	445
Peso da amostra:		Vácuo no dia da leitura:	400
Volume do garrafão:	0,019m^3	Vácuo ao final da leitura:	280

Início do Vácuo:	21/07/2012	Data da leitura:	21/08/2012
Dias : 30,5			

Tempo de Medição	Temperatura (ºC)	UR (%rH)	Pressão (mbar)	Exalação (Bq/m^3)		
10:25	20(ºC)	77	954	0	±	30
10:35	21(ºC)	75	954	349	±	73
10:45	22(ºC)	75	954	399	±	61
10:55	22(ºC)	74	954	280	±	45
		Média:		342,7	±	59.7
			Desvio Padrão:	18,51		
			Exalação média dia:	**11,23 Bq/24h**		
			Exalação : metro cúbico dia:	**340,45 Bq m^{-3}/l_{ar}/24h**		
			Exalação metro quadrado dia:	**10,92Bq m^{-2}/l_{ar}/24h**		
			Exalação por pesoDia:	**Bq/Kg/l_{ar}/24h**		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio

Nome Comercial:	**Casa Blanca**	Sigla:	
Procedência:			
Descrição da Amostra:	**Resinado**		

Volume da amostra:	0,001737m^3	Hora: 16:10	
Área da superfície:	0,05411m^2	Vácuo Inicial:	440
Peso da amostra:	3,06Kg	Vácuo no dia da leitura:	400
Volume do garrafão:	0,019m^3	Vácuo ao final da leitura:	280

Início do Vácuo:		Data da leitura:	

Dias : 30,5

Tempo de Medição	Temperatura (ºC)	UR (%rH)	Pressão (mbar)	Exalação (Bq/m^3)		
16:14	22(ºC)	83	947	8	±	30
16:24	22(ºC)	83	947	354	±	80
16:34	23(ºC)	82	947	343	±	61
16:44	23(ºC)	82	947	249	±	46
		Média:		315,3	±	62,3
			Desvio Padrão:	17,75		
			Exalação média dia:	**10,3 Bq/24h**		
			Exalação : metro cúbico dia:	**313,23 Bq m^{-3}/l_{ar}/24h**		
			Exalação metro quadrado dia:	**10,05Bq m^{-2}/l_{ar}/24h**		
			Exalação por pesoDia:	**Bq/Kg/l_{ar}/24h**		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio

Nome Comercial:	***Wood Stone***	Sigla:	
Procedência:			
Descrição da Amostra:	**Natural**		

Volume da amostra:	0,0011784m^3	Hora: 17:13	
Área da superfície:	0,0546492m^2	Vácuo Inicial:	450
Peso da amostra:	Kg	Vácuo no dia da leitura:	405
Volume do garrafão:	0,019m^3	Vácuo ao final da leitura:	300
Início do Vácuo:	27/03/2012	Data da leitura:	26/04/2012
Dias : 30,5			

Tempo de Medição	Temperatura (ºC)	UR (%rH)	Pressão (mbar)	Exalação (Bq/m^3)		
18:52	26	80	939	22	±	45
19:02	26	81	939	307	±	73
19:12	26	82	940	317	±	57
19:22	26	85	940	247	±	43
		Média:		290,3	±	57,6
		Desvio Padrão:		17,03		
		Exalação média dia:		**9,51Bq/24h**		
		Exalação : metro cúbico dia:		**425,10 Bq m^{-3}/l_{ar}/24h**		
		Exalação metro quadrado dia:		**9,16Bq m^{-2}/l_{ar}/24h**		
		Exalação por peso Dia:		**Bq/Kg/l_{ar}/24h**		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio						
Nome Comercial:	***Wood Stone***			Sigla:		
Procedência:						
Descrição da Amostra:	**Resinado**					
Volume da amostra:	$0{,}0011784m^3$	Hora:		14:10		
Área da superfície:	$0{,}0546492m^2$	Vácuo Inicial:				440
Peso da amostra:	Kg	Vácuo no dia da leitura:				400
Volume do garrafão:	$0{,}019m^3$	Vácuo ao final da leitura:				270
Início do Vácuo:	28/04/2012	Data da leitura:		26/05/2012		
Dias : 30,5						
Tempo de Medição	Temperatura (ºC)	UR (%rH)	Pressão (mbar)	Exalação (Bq/m^3)		
17:10	23	81	947	30	±	52
17:20	23	80	947	175	±	50
17:30	23	80	947	215	±	46
17:40	24	79	947	160	±	34
		Média:		183,3	±	43,3
		Desvio Padrão:		13,53		
		Exalação média dia:		**6,1 Bq/24h**		
		Exalação : metro cúbico dia:		**268,42 Bq $m^{-3}/l_{ar}/24h$**		
		Exalação metro quadrado dia:		**5,78 Bq $m^{-2}/l_{ar}/24h$**		
		Exalação por peso Dia:		**Bq/Kg/l_{ar}/24h**		

8- MEDIÇÃO BRILHO DAS AMOSTRAS 85° ANGULO DE INCIDÊNCIA

GRANITO BRANCO NEVASCA

Medições	NÃO RESINADO ANTES DO ATAQUE QUÍMICO					NÃO RESINADO APÓS ATAQUE QUÍMICO				
	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidroxido de potássio	05 hipocloreto de sódio	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 Cloreto de amônia	04 hidróxido de Potássio	05 hipocloreto de sódio
01-	89,8	94,9	92,4	91,3	93,6	83,9	89,6	55,6	87,3	91,6
02-	90,5	93,4	92,3	93,1	91,9	85,4	89,2	40,5	88,6	91,0
03-	90,7	88,0	95,7	92,4	93,6	88,2	91,5	27,7	87,7	90,9
04-	93,4	93,7	93,5	93,4	92,6	90,4	89,1	24,9	84,1	87,2
05-	91,2	94,6	88,4	94,0	91,4	85,8	87,6	21,3	87,5	90,1
06-	89,9	89,9	94,2	89,5	91,7	85,8	90,9	13,6	86,6	87,1
07-	92,1	90,0	90,8	93,6	92,0	84,9	90,9	27,8	87,8	89,6
08-	91,4	93,3	93,7	94,0	93,0	83,5	88,7	32,8	91,5	90,2
09-	84,2	94,1	91,2	91,0	91,1	89,3	89,0	36,3	89,1	88,6
10-	91,6	90,2	93,8	90,7	93,7	84,9	86,3	42,0	86,9	88,8
MÉDIA	**90,4**	**92,2**	**92,6**	**92,3**	**92,4**	**86,21**	**89,28**	**32,25**	**87,71**	**89,51**
PERDA DE BRILHOAPÓS ATAQUE QUÍMICO **MÉDIA GERAL DE PERDA 16,21%**						**-4,63%**	**-3,16%**	**-65,2%**	**-4,97%**	**-3,12**
DESVIO PADRÃO						**9,28**	**9,44**	**5,67**	**9,36**	**9,46**
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO						**0,10**	**0,10**	**0,17**	**0,10**	**0,10**

GRANITO BRANCO NEVASCA

Medições	RESINADO ANTES DO ATAQUE QUÍMICO					RESINADO APÓS ATAQUE QUÍMICO				
	01 ácido cítrico	**02** ácido clorídrico	**03** cloreto de amônia	**04** hidróxido de potássio	**05** hipocloreto de sódio	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 Cloreto de amônia	04 hidróxido de Potássio	05 hipocloreto de sódio
01-	64,2	60,3	83,1	71,9	73,4	70,2	53,0	19,4	66,1	80,2
02-	68,5	63,7	81,5	74,8	79,1	62,6	53,6	29,8	73,1	75,8
03-	76,1	79,3	75,6	61,8	76,8	63,3	56,9	58,5	79,6	73,1
04-	74,2	80,2	81,9	71,0	78,1	73,4	63,7	78,7	77,1	76,3
05-	77,2	64,4	82,4	76,2	79,1	68,6	64,0	83,1	71,8	79,6
06-	67,1	59,1	84,1	70,8	76,6	74,8	40,7	78,7	64,8	77,9
07-	77,4	69,4	79,1	66,7	77,0	66,4	40,3	76,0	66,6	69,4
08-	70,0	70,4	85,1	69,2	76,2	63,9	58,6	42,5	70,2	78,6
09-	74,7	79,4	76,9	74,3	76,0	65,1	47,6	21,2	67,5	78,2
10-	75,8	73,9	81,5	76,1	73,7	72,9	56,5	16,9	73,1	76,5
MÉDIA	**72,5**	**70,0**	**81,1**	**71,2**	**76,6**	**68,1**	**53,5**	**50,48**	**70,99**	**76,56**
PERDA DE BRILHOAPÓS ATAQUE QUÍMICO **MÉDIA GERAL DE PERDA 13,54%**						**-6,06%**	**-23,6%**	**-37,7%**	**-0,29%**	**-0,05%**
DESVIO PADÃO						**8,2**	**7,31**	**7,10**	**8,42**	**8,7**
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO						**0,12**	**0,13**	**0,14**	**0,12**	**0,11**

GRANITO *WOOD STONE*

Medições	NÃO RESINADA ANATES DO ATAQUE QUÍMICO					NÃO RESINADA APÓS ATAQUE QUÍMICO				
	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio
01-	33,4	57,6	33,6	29,6	29,7	31,5	29,0	3,1	23,5	22,3
02-	29,5	32,5	30,3	27,1	28,3	33,5	36,7	3,5	29,1	36,6
03-	26,8	30,7	38,3	29,5	28,0	26,0	32,3	3,3	25,9	20,1
04-	42,7	36,0	55,7	28,0	29,4	26,3	40,3	3,3	25,5	14,9
05-	30,2	32,1	46,3	28,5	28,1	25,9	32,4	3,3	22,1	22,9
06-	31,7	30,4	39,7	31,8	30,7	27,9	29,7	4,9	21,7	19,9
07-	27,7	34,0	29,5	29,20	29,7	26,6	29,8	3,2	25,9	17,7
08-	32,8	30,3	31,2	33,1	31,8	28,1	31,8	3,5	27,8	20,6
09-	28,1	30,8	31,7	32,7	27,8	28,2	33,7	3,0	23,4	21,2
10-	27,3	30,8	30,0	30,9	29,5	34,2	33,2	3,3	21,5	20,1
MÉDIA	**31,02**	**34,52**	**36,63**	**30,0**	**29,30**	**28,82**	**32,89**	**3,44**	**22,05**	**21,63**
PERDA DE BRILHO APÓS ATAQUE QUÍMICO **MÉDIA GERAL DE PERDA 31,02%**						**-7,09%**	**-4,72%**	**-90,6%**	**-26,5%**	**-26,2%**
DESVIO PADRÃO						**5,36**	**5,73**	**1,85**	**4,69**	**4,65**
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO						**0,18**	**0,17**	**0,53**	**0,21**	**0,21**

GRANITO *WOOD STONE*

Medições	RESINADO ANTES DO ATAQUE QUÍMICO					RESINADO APÓS ATAQUE QUÍMICO				
	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio
01-	37,1	33,0	32,6	42,6	48,7	36,8	34,3	3,9	35,4	39,1
02-	33,5	34,7	34,4	40,4	42,4	36,0	44,2	3,5	35,6	40,1
03-	36,9	36,8	39,1	40,6	48,8	34,3	30,0	4	36,8	33,6
04-	35,6	22,6	35,4	37,4	36,4	33,5	42,0	3,9	43,7	34,6
05-	37,2	35,8	33,7	37,3	41,7	35,8	31,7	3	35,5	30,2
06-	35,5	36,0	40,6	42,1	41,9	34,2	31,6	3.5	39,7	37,9
07-	34,0	41,2	39,0	41,6	43,4	34,9	32,4	3,3	32,9	31,5
08-	40,6	43,1	37,2	36,9	36,9	38,1	35,6	4,3	37,0	37,7
09-	39,7	36,5	37,3	39,6	36,7	36,5	39,3	2,4	33,8	37,5
10-	35,1	37,4	36,0	35,6	51,6	35,7	32,0	4,7	40,5	30,9
MÉDIA	**36,52**	**35,71**	**36,53**	**39,41**	**42,85**	**35,58**	**35,31**	**3,65**	**37,09**	**35,31**
PERDA DE BRILHO APÓS ATAQUE QUÍMICO **MÉDIA GERAL DE PERDA 23,4%**						**-2,6%**	**-1,12%**	**-90,0%**	**-5,9%**	**-17,6%**
DESVIO PADRÃO						**5,96**	**5,94**	**1,91**	**6,09**	**5,94**
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO						**0,16**	**0,17**	**0,52**	**0,16**	**0,16**

GRANITO CASA BLANCA

Medições	NÃO RESINADO ANTES DO ATAQUE QUÍMICO					NÃO RESINADO APÓS ATAQUE QUÍMICO				
	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio
01-	94,4	94,4	95,0	96,2	84,1	76,9	94,2	21,7	82,8	45,0
02-	92,2	91,1	93,7	91,7	91,7	79,0	84,9	27,7	79,3	74,1
03-	93,2	90,9	81,3	86,7	93,4	76,4	82,4	8,8	90,6	95,2
04-	89,0	90,8	84,7	94,4	75,8	79,9	85,6	5,7	87,8	96,2
05-	89,5	90,7	90,9	92,7	62,3	72,3	94,0	4,9	89,4	67,2
06-	91,8	89,3	88,5	95,3	96,6	79,5	89,9	13,5	89,0	76,9
07-	93,9	92,3	90,1	83,1	85,3	74,0	95,7	29,1	85,7	55,5
08-	92,9	92,0	88,1	92,9	93,5	80,4	93,5	10,5	89,7	92,4
09-	88,4	87,3	87,2	91,4	90,1	72,5	90,7	11,9	85,9	89,3
10-	90,5	89,8	88,7	81,1	95,4	71,7	89,9	17,5	82,0	95,2
MÉDIA	**91,5**	**90,8**	**88,8**	**90,5**	**86,82**	**76,26**	**90,08**	**15,13**	**86,22**	**78,7**
PERDA DE BRILHO APÓS ATAQUE QUÍMICO **MEDIA DE PERDA DE BRILHO 22,87%**						**-16,6%**	**-0,79%**	**-82,9%**	**-4,72%**	**-9,35%**
DESVIO PADRÃO						**8,73**	**9,49**	**3,88**	**9,28**	**8,87**
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO						**0,11**	**0,10**	**0,26**	**0,11**	**0,11**

GRANITO CASA BLANCA

Medições	RESINADO ANTES DO ATAQUE QUÍMICO					RESINADO APÓS ATAQUE QUÍMICO				
	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio	01 ácido cítrico	02 ácido clorídrico	03 cloreto de amônia	04 hidróxido de potássio	05 hipocloreto de sódio
01-	81,5	82,2	77,1	80,8	70,5	70,5	79,9	74,7	75,4	79,0
02-	78,7	79,0	73,8	74,6	73,1	38,4	80,5	64,6	77,8	72,0
03-	72,4	81,4	78,2	85,1	85,6	69,1	82,6	27,3	74,4	84,4
04-	82,7	84,6	79,9	73,8	86,5	75,2	78,0	35,0	80,1	79,3
05-	80,7	76,1	74,8	76,4	81,6	74,1	78,0	20,7	56,3	87,7
06-	72,3	77,3	74,4	76,8	89,2	54,8	84,2	33,3	75,7	83,6
07-	83,1	78,3	77,9	82,9	82,6	58,2	85,3	67,3	68,1	68,8
08-	80,1	78,5	71,6	66,1	89,3	70,8	80,7	19,9	80,2	87,7
09-	73,8	78,5	71,8	64,0	87,1	56,9	71,4	64,5	71,7	77,5
10-	77,6	82,7	72,7	80,1	81,8	77,3	72,6	57,6	45,2	87,0
MÉDIA	**78,29**	**79,86**	**75,22**	**76,0**	**82,73**	**64,53**	**79,32**	**46,49**	**70,49**	**80,7**
PERDA DE BRILHO APÓS ATAQUE QUÍMICO **MÉDIA DE PERDA DE BRILHO 13,19%**						**-17,5%**	**-0,67%**	**-38,1**	**-7,25%**	**-2,45%**
DESVIO PADRÃO						**8,03**	**8,90**	**,816**	**8,80**	**8,98**
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO						**0,12**	**0,11**	**0,14**	**0,12**	**0,11**