

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

LARISSA LAPA TELES BARBOSA

**PROPRIEDADES DO LIMESTONE COMO ROCHA ORNAMENTAL:
TERMINOLOGIA, CARACTERIZAÇÃO E MANUTENÇÃO**

RECIFE

2016

LARISSA LAPA TELES BARBOSA

**PROPRIEDADES DO LIMESTONE COMO ROCHA ORNAMENTAL:
TERMINOLOGIA, CARACTERIZAÇÃO E MANUTENÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Felisbela Maria da Costa Oliveira

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Risale Neves

RECIFE

2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

B238p Barbosa, Larissa Lapa Teles

Propriedades do limestone como rocha ornamental: terminologia, caracterização e manutenção / Larissa Lapa Teles Barbosa - 2016.

161 folhas, Il. e Tab.

Orientadora: Prof.a Dr.a Felisbela Maria da Costa Oliveira.

Coorientadora: Prof.a Dr.a Risale Neves.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2016.

Inclui Referências, Anexos e Apêndice.

1. Engenharia Mineral. 2. Limestone. 3. Crema Paraná. 4. Crema Brasil.
5. Rochas ornamentais. I. Oliveira, Felisbela Maria da Costa. (Orientadora). II. Neves, Risale(Coorientadora). III. Título.

UFPE

622.35CDD (22. ed.)

BCTG/2016-14



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
“PROPRIEDADES DO LIMESTONE COMO ROCHA ORNAMENTAL:
TERMINOLOGIA, CARACTERIZAÇÃO E MANUTENÇÃO”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Rochas Ornamentais

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência da
Profa. FELISBELA MARIA DA COSTA OLIVEIRA. Considera a aluna

LARISSA LAPA TELES BARBOSA, Aprovada.

Recife, 25 de Novembro de 2016.

Profa. Dra. FELISBELA MARIA DA COSTA OLIVEIRA

- Orientadora (UFPE)

Profa. Dra. RISALE NEVES

- Coorientadora (UFPE)

Prof. Dr. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA

- Examinador Interno (UFPE)

Prof. Dr. FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL

- Examinador Externo (CETEM/RJ)

AGRADECIMENTOS

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo incentivo dado a mim.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Felisbela Oliveira, pelo apoio e confiança, transmitindo-me seus conhecimentos e me incentivando a buscar sempre mais.

À minha co-orientadora, Prof.^a Dr.^a Risale Neves, que através de sua paixão pela arquitetura e pelo ensino, me despertou o interesse pela área de rochas ornamentais e sempre esteve presente durante todo o mestrado.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Prof. Dr. Julio Cesar, pelos conselhos e apoio que me prepararam para a seleção do mestrado e se estenderam à elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Evenildo de Melo, pela disponibilidade e paciência em transmitir todos os seus conhecimentos.

Ao Helder Perazzo pelo fornecimento e transporte das amostras, bem como pela disponibilização de informações sobre as rochas comercializadas que foram de suma importância para este trabalho.

À Juliana Santa Cruz e ao Cazuza, os quais facilitaram a execução dos ensaios de laboratório.

Aos meus colegas, Hermes Rodrigues e Silas Leonardo, os quais merecem uma atenção especial por me ajudarem, sem medir esforços, a transportar e cortar todas as amostras necessárias para os ensaios. Da mesma forma, agradeço ao senhor

Ulenildo Felix, da marmoraria Marmopedras, por ceder funcionários e equipamentos para corte das rochas ornamentais.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, Romero César e Mickey Paixão, por tornarem essa jornada menos difícil e mais divertida, partilhando sempre todas as dificuldades e conquistas.

À minha querida e grande amiga, Christiane Perrella e família, que em tão pouco tempo tornaram-se pessoas especiais com as quais pude dividir todas as preocupações e comemorações, somando conhecimentos das mais diversas áreas.

À Marília Chaves e Marcela Lima, que sempre estiveram presentes quando eu mais precisei.

À minha mãe, que participou de todos os momentos da minha vida, dando-me motivação para seguir adiante e sonhar cada vez mais alto.

À minha irmã Gabriela, que, mesmo distante, nunca se fez ausente.

Ao meu esposo, Thiago Bonfim, pelo apoio incondicional.

A todos aqueles que de maneira indireta contribuíram para minha formação.

RESUMO

O trabalho analisa as propriedades tecnológicas de dois tipos de limestone, conhecidos comercialmente como Crema Paraná e Crema Brasil, e esclarece dúvidas quanto à gênese do material, visando contribuir para a especificação desse tipo de rocha ornamental na Arquitetura. Por se tratar de um material recentemente inserido no mercado, pouco se sabe sobre o comportamento do limestone, fato que poderá comprometer o seu desempenho e o aspecto estético das obras nas quais estiver empregado. O limestone é uma rocha calcária sedimentar de origem aloquímica, com granulometria fina, composta basicamente por calcita (CaCO_3), e que chama a atenção dos arquitetos, devido, principalmente, à sua coloração clara, e textura fina e homogênea. O trabalho abrange, portanto, a caracterização química, física e mecânica dos dois tipos de limestone, a partir das normas vigentes e de ensaios de alteração acelerada. A composição química e mineralógica foi obtida através da petrografia e difração de raio x. Os índices físicos analisados foram a densidade, porosidade aparente e absorção de água. Os ensaios de comportamento mecânico determinaram as resistências à compressão, à flexão em 4 pontos, ao impacto de corpo duro e ao desgaste. Os valores obtidos dos índices físicos do Crema Paraná (3,87% de absorção de água) se adequam àqueles recomendados pela ASTM C568, indicando baixa capacidade de absorção de líquidos. Já o Crema Brasil apresentou um percentual de 3,59%, pouco maior do que os parâmetros estabelecidos. Quanto à resistência à compressão, ambos apresentaram resultados satisfatórios. No teste de resistência à flexão, apesar da referida norma estabelecer valores apenas para a flexão em 3 pontos, as rochas analisadas apresentaram o resultado de 9,30MPa (Crema Paraná) e 7,20MPa (Crema Brasil), na condição saturada - a qual ressalta-se ser mais desfavorável no que diz respeito à resistência, conferindo valor maior que aquele recomendado pela ASTM. Quanto à resistência à abrasão, após o percurso de 500m, observou-se a perda total do polimento de ambas as rochas. Trata-se, pois, de um material de baixa dureza e alta densidade, possuindo aplicações restritas e devendo ser evitado principalmente em áreas de alto tráfego de pessoas e ambientes molhados, devido à composição mineralógica de natureza carbonática e textura fina.

Palavras-chave: limestone, crema paraná, crema brasil, rochas ornamentais

ABSTRACT

This paper analyzes the technological properties of two types of limestone, commercially known as Crema Paraná and Crema Brasil, and clarifies doubts about the genesis of the material, to contribute to the specification of this type of dimension stone in architecture. As a newly entered the market material, little is known about the behavior of limestone, a fact that may compromise its performance and the aesthetic aspect of the building in which will be employed. The Limestone is a sedimentary rock with an allochemic origin, with fine grain and composed mainly of calcite (CaCO_3), which draws the attention of architects, mainly due to its light color and fine and homogeneous texture. The work thus covers the chemical, physical and mechanical properties of two types of limestone, from the current regulations, and chemical change tests. The chemical and mineralogical composition was obtained by petrographic and x-ray diffraction. The physical indexes analyzed were the density, porosity and water absorption. The mechanical tests determined the compressive strength and flexural strength in 4-point, the hard body impact and abrasion. The values of Crema Paraná's physical indexes (3.87% water absorption) fit those recommended by ASTM C568, indicating low fluid absorption capacity. Already Crema Brasil presented a percentage of 3.59%, slightly higher than the established parameters. In regard to compressive strength both showed satisfactory results. In flexural strength test, in spite of this standard to establish values only for flexion in 3 points, the rocks analyzed showed the result of 9,30MPa (Crema Paraná) and 7,20MPa (Crema Brasil) in saturated condition - which points to be more favorable as regards resistance, giving more value than that recommended by ASTM. The abrasion resistance after 500m path, presented total loss of polishing of the both rocks. It is, therefore, a low hardness and high density material, having restricted applications and should be avoided especially in areas of high foot traffic and wet environments due to the mineralogical composition of carbonate nature and fine texture.

Keywords: limestone, crema paraná, crema brasil, dimension stones

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da jazida do limestone Crema Paraná	26
Figura 2 – Localização da jazida do limestone Crema Brasil.....	26
Figura 3 - Índices físicos: secagem das amostras em estufa	28
Figura 4 - Índices físicos: pesagem de massa seca	28
Figura 5 - Índices físicos: pesagem de massa submersa	29
Figura 6 - Ensaio de compressão simples: amostras utilizadas.....	30
Figura 7 – Ensaio de compressão simples: medição das amostras	30
Figura 8 - Ensaio de compressão simples: equipamento utilizado	31
Figura 9 - Ensaio de flexão: marcação e medição das amostras.....	32
Figura 10 - Ensaio de flexão: equipamento utilizado	32
Figura 11 - Equipamento de ensaio de corpo duro	33
Figura 12 - Equipamento de ensaio de desgaste Amsler	34
Figura 13 - Ensaio de desgaste Amsler: definição dos pontos de medição	34
Figura 14 – Resistência ao ataque químico: pincéis e seringas de aplicação ..	35
Figura 15 - Resistência ao ataque químico: espectrofotômetro color-guide BYK Gardner.....	36
Figura 16 - Resistência ao ataque químico: gloss checker IG330 Sanwa Kenma	36
Figura 17 – Resistência ao ataque químico: divisão das amostras para medição da cor e brilho	37
Figura 18 - Exemplo de Nurague erguido na pré-história	39
Figura 19 - Taula de Taulati de Dalt (Menorca, Espanha - 1.000 a.C.).....	39
Figura 20 - Naveta dos Tudons (Menorca, Espanha - 2.000 a.C.).....	40
Figura 21 - Complexo de Stonehenge (Inglaterra)	40
Figura 22 - Reconstrução gráfica do complexo de Stonehenge (Inglaterra)	41
Figura 23 - Mapa de Turim.....	42
Figura 24 - Obelisco inacabado na pedreira de Assuã (Egito).....	43
Figura 25 - Fratura do obelisco inacabado (Assuã, Egito)	43
Figura 26 - Templo de Paestum (Nápoles, Itália - 550 a.C).....	44
Figura 27 – Ordens arquitetônicas clássicas	45
Figura 28 - Templo de Apolo (550 a.C).....	45

Figura 29 - Tholos de Delfos (390 a 380 a.C.)	46
Figura 30 – Panteão (Roma – 118 a 128 d.C.)	47
Figura 31 - Ruínas submersas do piso de palácios romanos (Cidade de Baia).....	48
Figura 32 - Catedral de Santa Maria del Fiore (Florença).....	49
Figura 33 - Convento de Las Claras (Santiago de Compostela, Espanha).....	51
Figura 34 - Detalhe da fachada do Convento de Las Claras (Santiago de Compostela, Espanha)	51
Figura 35 - Igreja de São Isaac (São Petersburgo, Rússia).....	53
Figura 36 - Detalhe das colunas externas da Igreja de São Isaac.....	53
Figura 37 - Paredes internas da Igreja de São Isaac.....	54
Figura 38 - Colunas internas da Igreja de São Isaac	54
Figura 39 - Igreja de São Salvador (São Petersburgo, Rússia)	55
Figura 40 - Pórticos da fachada da Igreja de São Salvador.....	55
Figura 41 - Mosáicos da Igreja de São Salvador	56
Figura 42 - Altar da Igreja de São Salvador.....	56
Figura 43 - Detalhe do altar da Igreja de São Salvador	57
Figura 44 - Palácio de Mármore (São Petersburgo, Rússia)	57
Figura 45 - Detalhe da fachada do Palácio de Mármore.....	58
Figura 46 - Pavilhão de Barcelona.....	59
Figura 47 - Parede em ônix do Pavilhão de Barcelona.....	59
Figura 48 - Jardim do Pavilhão de Barcelona	60
Figura 49 – Edifício do Ministério da Educação e Saúde (Rio de Janeiro/RJ) ..	61
Figura 50 – Pilares do Ministério da Educação e Saúde	61
Figura 51 – Igreja da Pampulha (Belo Horizonte/MG)	62
Figura 52 – Interior da Igreja da Pampulha.....	62
Figura 53 – Fachada da Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos ..	63
Figura 54 – Interior da Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos	64
Figura 55 – Detalhe das peças de mármore da Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos	64
Figura 56 – Fachada da Igreja Mortensrud	65
Figura 57 – Altar da Igreja Mortensrud	65
Figura 58 – Interior da Igreja Mortensrud.....	66
Figura 59 – Detalhe do interior da Igreja Mortensrud.....	66
Figura 60 – Fachada do Santuário de São Pio	67

Figura 61 – Interior do Santuário de São Pio	67
Figura 62 – Detalhe da estrutura do Santuário de São Pio.....	68
Figura 63 – Fachada principal da Sede Geral de Autores e Editores	68
Figura 64 – Interior da Sede Geral de Autores e Editores	69
Figura 65 - Fluxograma esquemático do setor, com os principais produtos dos segmentos do ciclo de produção de rochas ornamentais e de revestimentos. .	73
Figura 66 – Ciclo de formação das rochas sedimentares	79
Figura 67 – Estágios de litificação das rochas sedimentares	80
Figura 68 - Empacotamento das partículas de acordo com o arranjo espacial	82
Figura 69 - Classificação dos calcários por Folk (1959)	85
Figura 70 - Classificação de calcários proposta por Dunham (1962).....	86
Figura 71 – Piso interno do Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR)	90
Figura 72 – Interior do Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR).....	90
Figura 73 – Detalhe da fachada do Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR)	91
Figura 74 – Área da piscina do Resort Campo Bahia (Santa Cruz Cabralia/BA)	92
Figura 75 – Interior do Hospital Sírio Libanês (São Paulo/SP)	93
Figura 76 – Sala de espera do Hospital Sírio Libanês (São Paulo/SP)	93
Figura 77 - Fachada do Centro de Pesquisa Tecnológica	94
Figura 78 – Detalhe do Centro de Pesquisa Tecnológica.....	94
Figura 79 – Fachada do Museu do Amanhã (Rio de Janeiro/RJ)	95
Figura 80 – Piso interno do Museu do Amanhã (Rio de Janeiro/RJ)	96
Figura 81 – Detalhes do limestone empregado no Museu do Amanhã	96
Figura 82 – Fósseis identificados em peças do limestone no Museu do Amanhã	97
Figura 83 – Piso e pilares da Torre Z (Rio de Janeiro/RJ).....	97
Figura 84 – Detalhe das placas de limestone que revestem os pilares da Torre Z	98
Figura 85 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: campos sigmoidais identificados (lâmina 1)	100
Figura 86 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: traços de argila e cristais de calcita (lâmina 1).....	100
Figura 87 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: pallets identificados (lâmina 1)	101

Figura 88 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: cristal de dolomita (lâmina 1)	101
Figura 89 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: oólitos e foraminíferos identificados (lâmina 2)	102
Figura 90 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: matriz identificada (lâmina 1)	103
Figura 91 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: biomicritos (lâmina 1)	103
Figura 92 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: cristais de carbonato	104
Figura 93 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: foraminíferos identificados	104
Figura 94 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: pontos de oxidação identificados (lâmina 2)	105
Figura 95 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: concha recristalizada com aumento de 20x (lâmina w)	105
Figura 96 – Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: material vegetal petrificado (lâmina 2)	106
Figura 97 – Difração de raio x do limestone Crema Paraná: perfil identificado	106
Figura 98 – Difração de raio x do limestone Crema Paraná: picos traçados ..	107
Figura 99 – Difração de raio x do limestone Crema Brasil: perfil identificado .	107
Figura 100 – Difração de raio x do limestone Crema Brasil: picos traçados ...	107
Figura 101 – Gráfico de densidade limestone Crema Paraná x Limestone Crema Brasil	108
Figura 102 – Ataque químico com água sanitária: limestone Crema Brasil	118
Figura 103 – Ataque químico com água sanitária: limestone Crema Paraná .	119
Figura 104 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Brasil antes do ataque com água sanitária	120
Figura 105 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Brasil após o ataque com água sanitária	120
Figura 106 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Paraná antes do ataque com água sanitária	121

Figura 107 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Paraná após o ataque com água sanitária.....	121
Figura 108 – Ataque químico com desinfetante: limestone Crema Brasil.....	122
Figura 109 – Ataque químico com desinfetante: limestone Crema Paraná	122
Figura 110- Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Brasil antes do ataque com desinfetante.....	123
Figura 111 - Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Brasil após o ataque com desinfetante.....	123
Figura 112 - Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Paraná antes do ataque com desinfetante.....	124
Figura 113 - Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Paraná após o ataque com desinfetante.....	124
Figura 114 – Ataque químico com sabão em pó: limestone Crema Brasil.....	125
Figura 115 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Brasil antes do ataque com sabão em pó	125
Figura 116 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Brasil após o ataque com sabão em pó	126
Figura 117 – Ataque químico com sabão em pó: limestone Crema Paraná ...	126
Figura 118 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Paraná antes do ataque com sabão em pó	127
Figura 119 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Paraná após o ataque com sabão em pó	127
Figura 120 – Ataque químico com limão: limestone Crema Brasil.....	128
Figura 121 – Ataque químico com limão: limestone Crema Paraná	128
Figura 122 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Brasil antes do ataque com limão.....	129
Figura 123 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Brasil após o ataque com limão.....	129
Figura 124 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Paraná antes do ataque com limão.....	129
Figura 125 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Paraná após o ataque com limão.....	130
Figura 126 – Ataque químico com vinagre: limestone Crema Brasil.....	130
Figura 127 – Ataque químico com vinagre: limestone Crema Paraná.....	131

Figura 128 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Brasil antes do ataque com vinagre	131
Figura 129 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Brasil após o ataque com vinagre	132
Figura 130 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Paraná antes do ataque com vinagre	132
Figura 131 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Paraná após o ataque com vinagre	132
Figura 132 – Ataque químico com saponáceo cremoso: limestone Crema Brasil	133
Figura 133 – Ataque químico com saponáceo cremoso: limestone Crema Paraná	133
Figura 134 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Brasil antes do ataque com saponáceo cremoso	134
Figura 135 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Brasil após o ataque com saponáceo cremoso	134
Figura 136 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Paraná antes do ataque com saponáceo cremoso	135
Figura 137 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Paraná após o ataque com saponáceo cremoso	135
Figura 138 – Ataque químico com multiuso com álcool: limestone Crema Brasil	136
Figura 139 – Ataque químico com multiuso com álcool: limestone Crema Paraná	136
Figura 140 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Brasil antes do ataque com multiuso com álcool.....	137
Figura 141 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Brasil após o ataque com multiuso com álcool.....	137
Figura 142 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Paraná antes do ataque com multiuso com álcool.....	137
Figura 143 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Paraná após o ataque com multiuso com álcool.....	138
Figura 144 – Ataque químico com saponáceo cremoso com cloro ativo: limestone Crema Brasil	138

Figura 145 – Ataque químico com saponáceo cremoso com cloro ativo: limestone Crema Paraná.....	139
Figura 146 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Brasil antes do ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo	139
Figura 147 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Brasil após o ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo	140
Figura 148 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Paraná antes do ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo	140
Figura 149 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Paraná após o ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo	140
Figura 150- Ataque químico com detergente neutro: limestone Crema Brasil	141
Figura 151 – Ataque químico com detergente neutro: limestone Crema Paraná	141
Figura 152 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Brasil antes do ataque com detergente neutro	142
Figura 153 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Brasil após o ataque com detergente neutro	142
Figura 154 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Paraná antes do ataque com detergente neutro	143
Figura 155 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Paraná após o ataque com detergente neutro	143
Figura 156 – Ataque químico com limpador a seco: limestone Crema Brasil .	144
Figura 157 – Ataque químico com limpador a seco: limestone Crema Paraná	144
Figura 158 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Brasil antes do ataque com limpador a seco	144
Figura 159 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Brasil após o ataque com limpador a seco	145
Figura 160 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Paraná antes do ataque com limpador a seco	145
Figura 161 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Paraná após o ataque com limpador a seco	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência ao ataque químico: produtos de limpeza utilizados	35
Tabela 2 – Ensaio de caracterização das rochas ornamentais regidos pela ABNT	72
Tabela 3 – Categorização dos dados levantados na Revista Rochas de Qualidade	87
Tabela 4 - Análise petrográfica dos limestones Crema Paraná e Crema Brasil	99
Tabela 5 – Índices físicos do limestone Crema Brasil.....	109
Tabela 6 – Índices físicos do limestone Crema Paraná	109
Tabela 7 – Resistência à compressão uniaxial do limestone Crema Brasil	111
Tabela 8 – Resistência à compressão uniaxial do limestone Crema Paraná .	111
Tabela 9 – Resistência à flexão em 4 pontos dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná.....	112
Tabela 10 – Resistência ao impacto dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná	114
Tabela 11 – Resistência ao desgaste Amsler dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná.....	115
Tabela 12 – Medição de brilho: limestone Crema Brasil.....	146
Tabela 13 – Medição de brilho: limestone Crema Paraná	147
Tabela 14 – Índices físicos do limestone Crema Paraná	156
Tabela 15 – Índices físicos do limestone Crema Brasil.....	156
Tabela 16 – Resistência à compressão uniaxial: limestone Crema Brasil (condição seca).....	156
Tabela 17 – Resistência à compressão uniaxial: limestone Crema Brasil (condição saturada)	157
Tabela 18 – Resistência à flexão: limestone Crema Paraná (condição seca)	157
Tabela 19 – Resistência à flexão: limestone Crema Brasil (condição seca) ...	157
Tabela 20 – Resistência à flexão: limestone Crema Paraná (condição saturada)	157
Tabela 21 – Resistência à flexão: limestone Crema Brasil (condição saturada)	158
Tabela 22 – Resistência ao impacto: limestone Crema Brasil	158

Tabela 23 – Resistência ao impacto: limestone Crema Paraná	158
Tabela 24 – Resistência ao desgaste Amsler: limestone Crema Brasil	158
Tabela 25 – Resistência ao desgaste Amsler: limestone Crema Paraná	159

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Justificativa.....	22
1.2	Objetivos	23
1.2.1	Objetivos específicos	23
2	METODOLOGIA	25
2.1	Revisão bibliográfica	25
2.2	Obtenção das amostras	25
2.3	Propriedades químicas da rocha.....	26
2.3.1	Análise petrográfica	27
2.3.2	Difratometria de raio x.....	27
2.4	Propriedades físicas da rocha	28
2.5	Propriedades mecânicas da rocha	29
2.5.1	Resistência à compressão uniaxial simples.....	30
2.5.2	Resistência à flexão em 4 pontos	31
2.5.3	Resistência ao impacto de corpo duro	33
2.5.4	Resistência ao desgaste por abrasão Amsler	34
2.6	Resistência ao ataque químico	35
2.7	O limestone sobre a ótica dos arquitetos	37
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	38
3.1	Uso de rochas na arquitetura	38
3.2	Panorama das rochas ornamentais.....	70
3.3	Intemperismo e alterabilidade das rochas – implicações na durabilidade de materiais rochosos.....	73
3.3.1	Brilho e cor das rochas ornamentais.....	76
3.4	Rochas sedimentares.....	78

3.4.1	Rochas carbonáticas detríticas	83
4	O LIMESTONE SOBRE A ÓTICA DOS ARQUITETOS.....	87
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
4.1	Análise petrográfica e difração de raios-x	99
4.2	Índices Físicos.....	108
4.3	Resistências mecânicas	110
4.3.1	Resistência à compressão uniaxial	110
4.3.2	Resistência à flexão em 4 pontos	112
4.3.3	Resistência ao impacto de corpo duro	113
4.3.4	Resistência ao desgaste Amsler	114
4.4	Resistência ao ataque químico	115
6	CONCLUSÃO	149
	APÊNDICE A – TABELAS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS	156
	ANEXO A – RESULTADO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL DO CREMA PARANÁ (NUTEC, 2011)	160

1 INTRODUÇÃO

As rochas constituem, sem dúvidas, um dos materiais de construção mais antigos empregados pelo homem, cujas técnicas de aplicação vêm evoluindo desde os primórdios. Autores como Helene e Andrade (2010) e Pinto (2001) apontam que, após a Revolução Industrial (iniciada na Europa em meados do século XVIII, e se estendendo aos Estados Unidos a partir do século XIX), os materiais de construção como o aço, o concreto e o vidro passaram a ser os mais empregados pela arquitetura moderna em ascensão, deixando as rochas em segundo plano. Isto porque, conforme explica Neves (2012), naquela época, por influência da ideologia exaltada no ensaio-manifesto “Ornamento e Crime” do arquiteto tcheco Adolf Loos (1908), a arquitetura moderna destinou o uso de rochas para pisos, fachadas, paredes e mobiliário, tomando-as como material nobre que seria capaz de substituir os ornamentos empregados pela arquitetura europeia do século XVIII. Afinal, segundo Loos, na sociedade moderna o reconhecimento da função do edifício deveria estar muito mais ligado ao conforto do espaço criado, às técnicas construtivas e ao emprego consciente dos materiais.

Somando-se a isso, a evolução nas técnicas de extração de mármore e granitos facilitou a utilização desses materiais, inclusive no Brasil, que até então importava rochas de países europeus. Cabe destacar que o modernismo brasileiro surgiu a partir da hegemonia da industrialização de países como Alemanha, França e Estados Unidos, influenciado principalmente por Le Corbusier (Sodré, 1978) e expresso nas obras de Oscar Niemeyer entre as décadas de 1930 a 1960.

A partir de então, o emprego de rochas no âmbito da arquitetura consolidou-se no Brasil como material de revestimento, prática que foi respaldada pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo através da promulgada Lei 12.378/2010, a qual regulamenta o exercício da profissão e inclui em seu Artigo 2º a especificação de materiais como atribuição profissional exclusiva do arquiteto.

Por sua vez, e em complemento, a Norma Técnica ABNT-NBR 15.575/2013 recomenda a observância sobre o desempenho de materiais de construção civil, definindo parâmetros de vida útil dos elementos de uma edificação, incluindo os materiais de revestimento de pisos e fachadas. No entanto, no caso das rochas,

conforme aponta estudo realizado por Neves (2012), perdura a prática entre os arquitetos – no ato do que deveria ser a especificação – de indicarem os materiais apenas por seus atributos estéticos, colocando em risco o desempenho e a durabilidade dos mesmos. Afinal, por se tratar de um material natural, as rochas possuem propriedades químicas, físicas e mecânicas variáveis que nem sempre são as mais adequadas para os ambientes aos quais foram destinados.

Neste sentido enquadra-se o limestone, objeto de pesquisa deste trabalho, que é uma rocha ornamental bastante valorizada por suas possibilidades de design, especialmente com relação à cor e textura. Trata-se de uma rocha calcária sedimentar composta basicamente por calcita (CaCO_3) e/ou dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), com quantidades variáveis de impurezas.

Conforme destacam Siegesmund e Török (2011), na indústria de rochas, os limestones são muitas vezes vendidos como mármore, devido à semelhança no acabamento da superfície e colorimetria. Tal prática é bastante comum no Brasil, onde os nomes comerciais das rochas ornamentais nem sempre fazem jus à sua origem geológica. Além disso, devido à sua nomenclatura, muitas vezes é confundido com revestimentos sintéticos como os silestones.

A investigação acerca da prática da especificação de pedras naturais na arquitetura realizada por Neves (2012) motivou a busca por materiais novos e ainda pouco conhecidos no mercado, como o limestone, no intuito de caracterizá-los e discorrer sobre suas propriedades, contribuindo, desta forma, para o conhecimento de arquitetos, engenheiros e demais profissionais envolvidos na construção civil.

À vista disso, neste trabalho, foram analisadas amostras de dois tipos diferentes de limestone: Crema Paraná e Crema Brasil, ambos extraídos de jazidas localizadas na região do Apodi (Rio Grande do Norte), e encontrados no mercado com o nome de Crema Riviera, conforme alertado pela Mineração Apodi, empresa que cedeu as amostras utilizadas no presente estudo.

Inicialmente, o estudo apresenta as principais características físicas, químicas e mecânicas de ambas as rochas, comparando-as e discorrendo sobre suas propriedades. Em uma rocha como o limestone, a porosidade efetiva facilita a condução de fluídos, contribuindo para a dissolução dos carbonatos, deterioração do material pétreo e o aparecimento de manchas em virtude dos produtos utilizados para

a manutenção. Por isso, serão demonstrados ensaios de alteração acelerada com produtos de limpeza frequentemente utilizados. Kálix (2011) ressalta que os ensaios de alterabilidade em condições aceleradas ainda estão dentre os poucos meios disponíveis para se obter resposta acerca dos materiais pétreos sob as mais diversas condições, inclusive, as influências antrópicas diretas ou indiretas, constituindo-se ferramenta importante para decisões dos profissionais do setor de ornamentais.

Por fim, é apresentada uma pesquisa acerca do ponto de vista dos arquitetos em relação à referida rocha, iniciada por Barbosa e Neves (2016), verificando a coerência das respostas através da comparação com os resultados obtidos nos ensaios realizados.

1.1 Justificativa

A motivação deste trabalho surge, em um primeiro momento, a partir do estudo feito por Neves (2012), conforme já mencionado na introdução, o qual aponta para a falta de conhecimento dos arquitetos sobre as propriedades e características das rochas, fato que contribui para a especificação indevida do material.

Apesar de vir sendo estudada a resistência e durabilidade das rochas ornamentais desde meados do século XIX, a maioria das pesquisas realizadas estão voltadas para as rochas mais tradicionais como granitos e mármore. O conhecimento sobre os calcários ainda é bastante pontual, inexistindo, inclusive, uma normativa brasileira que discorra acerca dos requisitos tecnológicos para sua aplicação como revestimento de pisos, paredes, bancadas, entre outros.

Neste sentido, despertou-se o interesse para a verificação do desempenho do limestone (rocha calcária sedimentar), o qual vem sendo empregado na arquitetura por seus atributos estéticos bastante homogêneos. A referida rocha, que é um produto recente no mercado, é comumente confundida com o mármore devido à semelhança no acabamento da superfície e à colorimetria, ou até mesmo confundida com materiais industrializados como os silestones, em razão da nomenclatura, conforme também já mencionado.

Também e como explica Frascá (2003), permanecem muito escassos os estudos científicos que correlacionem os produtos de alterações aos condicionantes petrográficos e ambientais (especialmente os fatores climáticos e as condições de manutenção).

Portanto, este trabalho analisa o limestone em seus aspectos tecnológicos e de manutenção, contribuindo, desta forma, para a especificação das rochas ornamentais na Arquitetura.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo estudar qualitativamente o comportamento de dois exemplares da rocha calcária conhecida comercialmente por limestone, determinando seus parâmetros físicos, químicos e mecânicos, promovendo a alteração acelerada por meio de produtos de limpeza mais utilizados.

1.2.1 Objetivos específicos

Para garantir a quantidade e a qualidade de informações que serão utilizadas para determinar os aspectos referentes à terminologia, caracterização e manutenção do limestone, foram realizados:

A Revisão bibliográfica acerca do uso de rochas na arquitetura, alteração de rochas ornamentais e geologia das rochas sedimentares.

A Avaliação dos aspectos químicos das rochas através da petrografia (NBR 15 845/2015 – Anexo A) e difração de raio x.

A Caracterização tecnológica dos limestones Crema Paraná e Crema Brasil em seus aspectos físicos e mecânicos, usando estudos de densidade, porosidade e absorção, e de resistências (compressão simples, impacto, flexão e desgaste Amsler) previstos pela NBR 15845/2015 e NBR 12042/2012;

A Verificação da susceptibilidade da rocha frente à aplicação de produtos de limpeza (manutenção) por meio de ensaios de alteração acelerada (NBR 13 818/1997 – Anexo H).

A Avaliação das características do material e sua aplicabilidade.

A Identificação do uso do limestone sob o ponto de vista dos arquitetos.

2 METODOLOGIA

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram o limestone Crema Paraná e o limestone Crema Brasil, ambos provenientes de jazidas localizadas no Rio Grande do Norte e encontrados no mercado como Crema Riviera. Abaixo estão descritos os equipamentos utilizados e os procedimentos realizados para a análise das características químicas, físicas e mecânicas das rochas.

2.1 Revisão bibliográfica

Inicialmente, foram consideradas as informações apreendidas na disciplina – uso de rochas na arquitetura, ministrada em atividade eletiva na graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPE. Em seguida, realizou-se pesquisas bibliográficas em livros, periódicos, artigos publicados em anais de eventos, teses, dissertações, manuais e revistas sobre o uso de rochas na arquitetura, a geologia das rochas sedimentares, o limestone, a alteração das rochas ornamentais, a conceituação do brilho e da cor e sua importância para arquitetura, as normas técnicas e ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais, a opinião dos arquitetos sobre o limestone e obras nas quais esse material esteja empregado.

2.2 Obtenção das amostras

As amostras dos limestones Crema Paraná e Crema Brasil foram cedidas pela Mineração Apodi Ltda, localizada na Região do Apodi (Rio Grande do Norte). A jazida do limestone Crema Paraná (Figura 01) possui 975 hectares e está localizada entre os povoados de Miraselva e João Pedro com as coordenadas (WGS84) de latitude e longitude 5°31'56.11"S e 37°48'47.94"O, respectivamente, para o ponto 1; 5°31'56.82"S e 37°46'40.64"O para o ponto 2; 5°33'17.51"S e 37°48'47.06"O para o ponto 3; e 5°33'18.40"S e 37°46'41.10"O para o ponto 4.

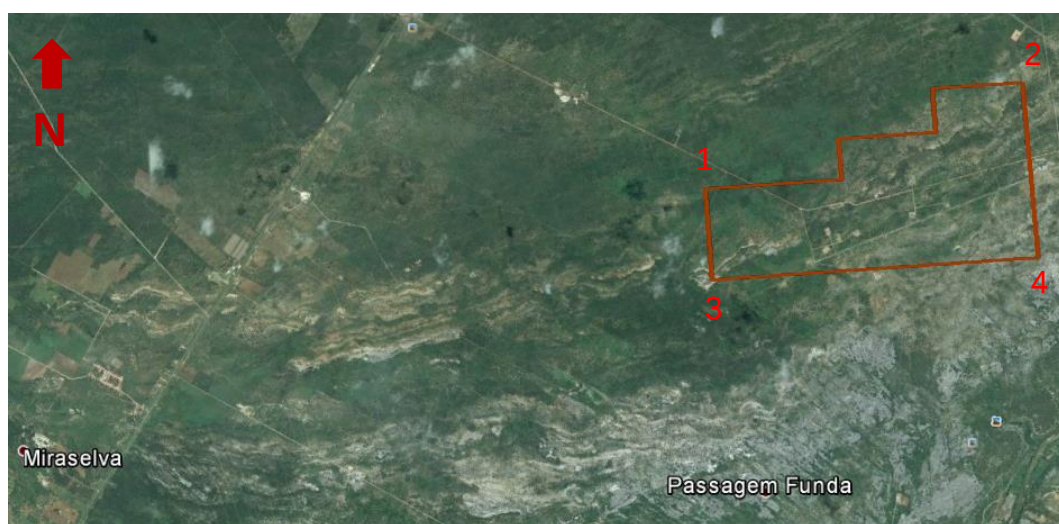
Figura 1 – Localização da jazida do limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Já a jazida do Crema Brasil (Figura 02) possui 485,36 hectares e está localizada próximo ao povoado de Passagem Funda, com respectivas coordenadas de latitude e longitude $5^{\circ}31'43.25''\text{S}$ e $37^{\circ}40'56.06''\text{O}$ para o ponto 1; $5^{\circ}31'13.71''\text{S}$ e $37^{\circ}39'1.74''\text{O}$ para o ponto 2; $5^{\circ}32'17.86''\text{S}$ e $37^{\circ}40'57.09''\text{O}$ para o ponto 3; e $5^{\circ}32'16.91''\text{S}$ e $37^{\circ}39'1.83''\text{O}$ para o ponto 4.

Figura 2 – Localização da jazida do limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

2.3 Propriedades químicas da rocha

2.3.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica visa a definição da mineralogia, textura e natureza da rocha, permitindo a identificação de feições que podem constituir fatores restritivos ou benéficos ao seu uso e que irão influenciar diretamente na durabilidade e estética do material pétreo. Sendo assim, foram analisadas, no Laboratório de Rochas Ornamentais da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), duas seções delgadas dos dois tipos de limestone no microscópio óptico de luz polarizada Olympus SC30 com lentes de zoom 4x, 10x, 20x, 100x, 200x e 500x, de acordo com as normas de caracterização petrográfica de rochas de revestimento (NBR 15.845-1/2015).

Buscou-se identificar, nas amostras, a composição mineral, verificando a existência de argilas, siderita e dolomita; a textura, a estrutura e as características ornamentais, principalmente no que diz respeito à presença de carbonatos ferrosos ou sulfetos, uma vez que estes podem apresentar oxidação, provocando o aparecimento de manchas nas rochas. Para tanto, utilizou-se tanto a luz refletida, uma vez que os calcários são translúcidos, como a luz paralela por esta distribuir a luz no campo de visão, tornando mais clara a imagem.

2.3.2 Difratometria de raio x

A difratometria de raio x visa identificar as fases cristalinas dos minerais presentes na rocha, possibilitando uma obtenção mais precisa da composição mineralógica do material pétreo, complementando a petrografia. O ensaio foi realizado pelo Laboratório de Mineralogia do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, utilizando o Difratometro de Raios-X modelo PW 3040/60 da Panalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Teta/Teta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de cobre com comprimento de onda 1,5406 Angstrom, modelo PW3373/00, foco fino longo, 220 W, 60 kv. O detector utilizado foi do tipo RTMS, X' Celerator. As condições de análise foram voltagem 40kV e corrente 30mA. A identificação de fases foi obtida através da comparação do padrão difratométrico obtido com fichas do banco de dados do Centro Internacional de Dados de Difração (PDF-ICDD).

2.4 Propriedades físicas da rocha

As propriedades físicas das rochas são obtidas através da análise de parâmetros como densidade, porosidade aparente e absorção de água, uma vez que indicam as fissuras, poros e vazios existentes, os quais irão influenciar diretamente a resistência e durabilidade do material pétreo. No Brasil, estes ensaios são regidos pela NBR 15.845-2/2015. Para sua execução, foram utilizadas 10 amostras nas dimensões 5x5x2cm de cada tipo de Limestone (Crema Paraná e Crema Brasil). Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral (PPGEMinas) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Inicialmente, as amostras foram numeradas, lavadas e submetidas à 70°C em estufa (Figura 03). Após o período de 24h, foram esfriadas e pesadas em balança de precisão 0,01g Marconi modelo AS500C (Figura 04) para a obtenção da massa seca (Msec).

Figura 3 - Índices físicos: secagem das amostras em estufa



Fonte: Acervo particular, 2016

Figura 4 - Índices físicos: pesagem de massa seca



Fonte: Acervo particular, 2016

Posteriormente, as amostras foram acomodadas em recipiente não oxidável e submergidas a 1/3 de água destilada, mantendo esta condição por 4h. Em seguida, acrescentou-se água destilada até 2/3 da altura da amostra e após outro intervalo de 4h, as amostras foram completamente submersas, mantendo esta condição por 40h.

Por fim, as amostras foram pesadas em balança hidrostática de precisão 0,01g Marte modelo AS5500C para a obtenção das massas saturadas (M_{sat}) e submersas (M_{sub}). Para a pesagem submersa utilizou-se um recipiente de material não oxidável no qual inseriu-se água destilada e a amostra até sua completa submersão (Figura 05). Cabe destacar que o equipamento foi pesado e tarado antes da inserção das amostras.

Figura 5 - Índices físicos: pesagem de massa submersa



Fonte: Acervo particular, 2016

Listados os valores, foram calculadas a densidade, porosidade aparente e absorção de água através das seguintes fórmulas:

a) Densidade aparente:

$$\rho_a = \left[\frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \right] \times 1000$$

b) Porosidade aparente:

$$n_a = \left[\frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \right] \times 100$$

c) Absorção de água:

$$\alpha_a = \left[\frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \right] \times 100$$

2.5 Propriedades mecânicas da rocha

2.5.1 Resistência à compressão uniaxial simples

Neste ensaio, verifica-se a resistência da rocha à atuação de esforços verticais, de acordo com a NBR 15.845-5 (ABNT, 2015). Para tanto, foram utilizados 9 corpos de prova do limestone Crema Brasil, com geometria regular e arestas paralelas entre si, nas dimensões 5x5x5cm, sendo 5 na condição seca e 4 na condição saturada (Figura 06). Devido à limitação no número de amostras, não foi possível obter o mesmo número de corpos-de-prova para ambas as condições. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da UFPE.

Figura 6 - Ensaio de compressão simples: amostras utilizadas



Fonte: Acervo particular, 2016

Cabe destacar que só foram utilizados corpos de prova paralelos à direção de estrutura da rocha, uma vez que este tipo de calcário não é extraído perpendicular à estrutura. Inicialmente, mediu-se a face superior das amostras com paquímetro com curso de 100mm e 0,05mm de resolução (Figura 07).

Figura 7 – Ensaio de compressão simples: medição das amostras



Fonte: Acervo particular, 2016

Os corpos de prova utilizados para a condição seca foram submetidos à 70° em estufa por 48h, enquanto aqueles utilizados para a condição saturada foram submersos em água destilada, em um recipiente não oxidável, pelo mesmo intervalo

de tempo. A saturação foi feita aos poucos, obedecendo ao procedimento da NBR 15.845-5 (ABNT, 2015).

As amostras foram submetidas a uma taxa de carregamento $< 0,7\text{Mpa/s}$, conforme exigido pela citada normativa, em uma prensa hidráulica de acionamento manual, capacidade mínima para 1000KN e resolução de 2KN (Figura 08).

Figura 8 - Ensaio de compressão simples: equipamento utilizado



Fonte: Acervo particular, 2016

Extraindo os valores de tensão de ruptura, foram calculados os módulos de resistência através da seguinte fórmula:

$$\sigma_c = P/A$$

Sendo “ σ_c ” a tensão de ruptura na compressão, “P” a força máxima de ruptura expressa em quilonewtons (KN), e “A” a área da face do corpo de prova, expressa em metros quadrados (m^2).

Cabe destacar que, como não foram obtidas amostras do limestone Crema Paraná nas dimensões necessárias para efetuar o ensaio de resistência à compressão uniaxial, os dados utilizados para análise correspondem aos resultados fornecidos pela mineradora responsável pela extração do material. O ensaio foi realizado pelo laboratório da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), apenas para a condição seca, e baseou-se na NBR 15845-5 (ABNT, 2015).

2.5.2 Resistência à flexão em 4 pontos

O ensaio de resistência à flexão é de suma importância no que diz respeito ao revestimento exterior de edificações, uma vez que determina as dimensões adequadas para que as placas a serem aplicadas verticalmente e suportem as condições estruturais e ambientais (ação dos ventos). Sendo assim, o ensaio determina o limite máximo de tensão que a rocha irá suportar antes do seu rompimento. O teste foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da UFPE, tomando como base a NBR 15.845-7 (ABNT, 2015). Foram usados 12 corpos de prova retangulares de cada tipo de limestone, sendo 6 para a condição seca e 6 para a condição saturada. As amostras empregadas para a condição seca foram mantidas em estufa a 70°C durante 48h, enquanto aquelas para a condição saturada foram submergidas em água destilada pelo mesmo período de tempo. Em seguida, marcou-se as distâncias dos cutelos a serem apoiados para a força de ação/reação do sistema e extraídas as medidas de espessura e largura das amostras (Figura 09). Por fim, submeteu-se os corpos de prova a uma prensa hidráulica da marca SOLOTEST (Figura 10), aplicando tensão até sua ruptura.

Figura 9 - Ensaio de flexão: marcação e medição das amostras



Fonte: Acervo particular, 2016

Figura 10 - Ensaio de flexão: equipamento utilizado



Fonte: Acervo particular, 2016

Listados os valores das tensões, calculou-se o módulo de ruptura através da seguinte equação (ABNT, 2015):

$$\sigma_F = (3 \times P \times L) / (4 \times b \times d^2)$$

Sendo “ σ_F ” o módulo de ruptura expresso em MPa; “P” o valor máximo da carga no momento da ruptura (KN); “L” a distância, em metros (m) entre os dois cutelos de ação (superiores); “b” a largura da amostra (m) e “d” a espessura da amostra (m).

2.5.3 Resistência ao impacto de corpo duro

Este ensaio mede a resistência da rocha ao impacto de objetos duros e é regido pela NBR 15.845-8 (ABNT, 2015). Foram empregados 5 corpos de prova de cada limestone nas dimensões de 20x20cm. O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da UFPE, através de equipamento designado pela referida norma, o qual consta de um colchão de areia e uma alça de altura regulável, a partir da qual foi lançada uma esfera de aço de 1kg até o rompimento da rocha (Figura 11).

Figura 11 - Equipamento de ensaio de corpo duro



Fonte: Acervo particular, 2016

O resultado foi obtido através da média aritmética da altura de ruptura e energia de ruptura.

$$w = m \cdot g \cdot h$$

Sendo w a energia de ruptura medida em Joules (J), m a massa da esfera em kilograma, g a aceleração da gravidade (9,806m/s²) e h a altura de ruptura expressa em metros.

2.5.4 Resistência ao desgaste por abrasão Amsler

O ensaio de desgaste abrasivo mede a resistência da rocha à remoção progressiva de constituintes minerais de sua superfície, representada pela diminuição, em milímetros, da espessura do corpo de prova. A NBR 12.042 (ABNT, 2012) determina que sejam utilizados dois corpos de prova nas dimensões 7x7x2cm, os quais serão submetidos a um percurso de desgaste de 500m e 1000m através da areia quartzosa de granulometria 3mm (Figura 12).

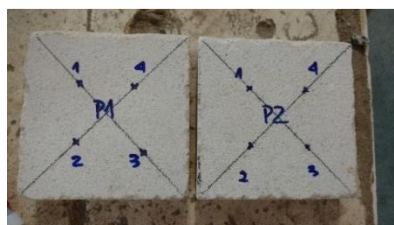
Figura 12 - Equipamento de ensaio de desgaste Amsler



Fonte: Acervo particular, 2016

Inicialmente, foram traçadas as diagonais das amostras e marcados os 4 pontos distantes 3cm da extremidade da amostra, sobre os quais serão feitas as análises de desgaste (Figura 13).

Figura 13 - Ensaio de desgaste Amsler: definição dos pontos de medição



Fonte: Acervo particular, 2016.

A cada 7,5min (250 voltas) os corpos foram retirados para medição da redução de espessura. Os resultados foram calculados de acordo pela diferença entre a leitura inicial e a leitura intermediária (500m), e pela diferença entre a leitura inicial e a final (1000m).

2.6 Resistência ao ataque químico

A resistência ao ataque químico, medida neste trabalho, é uma adaptação da NBR 13.818 (ABNT, 1997) junto a metodologias empregadas por autores como Kálix (2011) e Silva (2014), e visa identificar a alteração dos limestones frente à interação com produtos de limpeza comumente utilizados. Para tanto, foram empregados 10 corpos de prova nas dimensões 5x5x2,5cm do Crema Paraná e 10 nas dimensões 5x5x3cm do Crema Brasil. Para o ataque, foram selecionados 10 produtos diferentes, conforme listados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Resistência ao ataque químico: produtos de limpeza utilizados

Produto	Composição química	Concentração
Água sanitária	Hipoclorito de sódio	20ml/L
Desinfetante	Amina óxida e álcool etoxilado	30ml/L
Sabão em pó	Linear Alquil benzeno sulfonato de sódio	-
Detergente neutro	Linear Alquil benzeno sulfonato de sódio	-
Multiuso com álcool	Leuril éter sulfato de sódio	-
Limão	Ácido cítrico	-
Vinagre	Ácido acético	0,5L/L
Limpador a seco	Amina quaternária etoxilada	-
Saponáceo cremoso	Alquil benzeno sulfonato de sódio	-
Saponáceo cremoso com cloro ativo	Hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio 1,4% p/p	-

Fonte: Elaboração da autora, 2016

O ciclo de ataque consiste na aplicação de 0,5ml de cada substância na superfície polida da rocha, com auxílio de seringa de precisão 0,5ml sem agulha e pincel de $\frac{3}{4}$ polegadas (Figura 14), mantendo a reação por um período de 24h, quando então foram removidos os produtos das superfícies com água destilada, aguardando 1h para a secagem das amostras ao ar livre e posterior reaplicação dos produtos.

Figura 14 – Resistência ao ataque químico: pincéis e seringas de aplicação



Fonte: Acervo particular, 2016

Esse ciclo foi repetido durante 45 dias, realizando medições de cor e brilho das amostras a cada 5 dias, através dos equipamentos Espectrofotômetro Color-guide da BYK Gardner (Figura 15) e Gloss Checker IG330 da Sanwa Kenma (Figura 16), respectivamente. Para tanto, cada amostra foi dividida em 4 partes, das quais, em seu ponto central, foram extraídos os valores (Figura 17).

“A colorimetria é a ciência da medição da cor. Através da colorimetria, a cor pode ser expressa de uma forma numérica, utilizando-se o espectrofotômetro para medição por reflectância de uma amostra” (FERNANDES, 2002, apud BERTOLINI, 2010 p.15).

Figura 15 - Resistência ao ataque químico: espectrofotômetro color-guide BYK Gardner



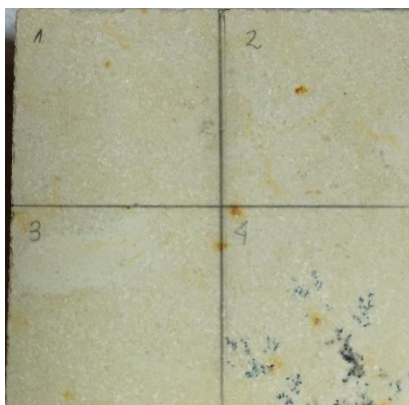
Fonte: Acervo particular, 2016

Figura 16 - Resistência ao ataque químico: gloss checker IG330 Sanwa Kenma



Fonte: Acervo particular, 2016

Figura 17 – Resistência ao ataque químico: divisão das amostras para medição da cor e brilho



Fonte: Acervo particular, 2016

Cabe destacar que os produtos de limpeza como multiuso com álcool, limpador a seco, saponáceo cremoso e saponáceo cremoso com cloro ativo foram utilizados conforme instrução da embalagem, não sendo necessária a diluição do produto em água. Já o limão foi testado como agente removedor de manchas, aplicado conforme os conhecimentos populares: 0,5 sumo de limão aplicado sobre a superfície a ser limpada. Por não possuir instruções específicas, diluiu-se 5g de sabão em pó em 100ml de água destilada. O mesmo ocorreu com o detergente neutro, do qual retirou-se 3ml para dissolver em 100ml de água destilada.

2.7 O limestone sobre a ótica dos arquitetos

Investigou-se as opiniões de arquitetos sobre os limestones, registradas em publicações na Revista Rochas de Qualidade editadas entre os anos de 2010 e 2016. Os relatos foram listados e categorizados de acordo com as palavras-chave textura, limitação de uso, composição da rocha, colorimetria e custo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Uso de rochas na arquitetura

Ao longo da história, as rochas desempenharam diversas funções, sendo empregadas para várias finalidades. Antes mesmo do homem tornar-se sedentário, conforme apontam as diversas literaturas de história geral, da arquitetura e da arte, esse material já era utilizado em sua forma natural para a confecção de armas e ferramentas, ganhando, inclusive, pequenos tratamentos de polimento os quais conferiram ao período entre 9.000 a.C. e 6.000 a.C. (neolítico), o nome de “Idade da Pedra Polida”. Ao sentir a necessidade de se abrigar e agrupar, o homem passou a empregar a rocha principalmente como elemento estrutural, desenvolvendo, a partir de então, o pensar arquitetônico e aprimorando-o com o passar do tempo e o ganho de experiências.

Tendo naturalmente a vantagem de andar ereto e não curvado como o restante dos seres vivos, para olhar a magnificência do firmamento e dos astros, assim como poder, com as mãos e os dedos, trabalhar facilmente tudo aquilo que quisessem, começaram uns nesse ajuntamento a construir habitações [...]. Observando então as construções alheias e juntando coisas novas aos seus projetos, cada dia melhoravam as formas das choupanas (VITRUVIO, 2007, p.113)

Sendo assim, a maioria das discussões sobre o uso da rocha na arquitetura se inicia com uma análise histórica que aborda desde o conceito de pedra natural até o de rocha ornamental. Cabe destacar, no entanto, que essa análise não almeja apenas apontar as obras realizadas, mas visa, sobretudo, comprovar que as funções hoje desempenhadas pelas rochas são fruto de uma evolução social, econômica e tecnológica, que influenciou não somente os materiais construtivos, mas também o pensar arquitetônico - principalmente do arquiteto europeu.

Durante a pré-história, o homem utilizava os materiais que haviam disponíveis, principalmente a madeira em forma de galhos. “Depois, em seguida, instruindo-se pelo espírito e progredindo com reflexões mais aprofundadas, desenvolvidas a partir da multiplicidade das artes, começaram a levantar já não cabanas, mas casas com alicerces, construídas com paredes de tijolo ou de pedra e cobertas por madeira e telha” (VITRUVIO., 2007, p.116). A Figura 18 mostra um exemplo de construção

datada do período neolítico (III milênio a.C.), denominada *Nurague*, a qual tem por característica a forma de cone e a estrutura toda em pedra, sem nenhum outro material para auxiliar sua sustentação. Cabe destacar que este tipo de construção é encontrada apenas na região da Sardenha (Itália).

Figura 18 - Exemplo de Nurague erguido na pré-história



Fonte: <https://blogdopetcivil.com/2015/04/23/a-engenharia-na-historia-a-pre-historia> (Acesso em 08/09/2016)

As obras datadas desse período não se limitam, no entanto, à moradia. Obras como a Taula de Talauti de Dalt (Figura 19) e a Naveta dos Tudons (Figura 20), ambas erguidas na região de Menorca (Espanha), apontam para a utilização da pedra em locais designados para a realização de rituais e também de túmulos.

Figura 19 - Taula de Taulati de Dalt (Menorca, Espanha - 1.000 a.C.)



Fonte: <http://www.menorca.org/gfx/talati-de-dalt.jpg>

Figura 20 - Naveta dos Tudons (Menorca, Espanha - 2.000 a.C.)



Fonte: http://www.fotoviajero.com/image/870-ciudadella-de-menorca-ilhas-baleares_big.jpg

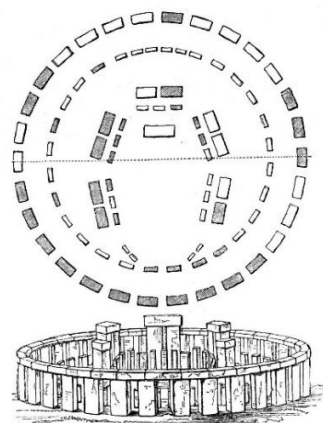
O famoso Complexo de Stonehenge (Figura 21), por exemplo, sempre abordado por autores que estudam a evolução da história da arte e da arquitetura, já foi objeto de várias discussões sobre sua função. Em pesquisa realizada no ano de 1950, o arqueólogo Alexander Thom e o astrônomo Gerard Halkins por exemplo, afirmaram que a estrutura poderia ter sido erguida como observatório astronômico ou até mesmo relógio solar. As tentativas de reconstrução gráfica do complexo mostram uma arquitetura bastante definida (Figura 22).

Figura 21 - Complexo de Stonehenge (Inglaterra)



Fonte: <https://blogdopetcivil.com/2015/04/23/a-engenharia-na-historia-a-pre-historia> (Acesso em 08/09/2016)

Figura 22 - Reconstrução gráfica do complexo de Stonehenge (Inglaterra)



Fonte: <https://blogdopetcivil.com/2015/04/23/a-engenharia-na-historia-a-pre-historia> (Acesso em 08/09/2016)

Ao se abrigar, o homem buscou proteção das adversidades climáticas (sol, vento e chuva) e também de possíveis ameaças de animais. Por isso, montou uma estrutura baseada em paredes ou pilares sustentados por uma coberta, a qual influenciou, conforme destaca Vitruvio (2007), a concepção das mais diversas edificações. Neste cenário, no que se trata do uso das rochas, Goitia (1995, p.11) afirma:

Através de suas obras arquitetônicas, o homem dominou o mundo: transformou-o, de simples moldura de sua vida, em realidade humana. Com certeza que é eloquente o legado das restantes artes, mas as palavras, mesmo as que nos chegam desde o mais remoto passado, mesmo as “mais perenes que o bronze”, não tem a expressividade das pedras. É como se estas, mesmo reduzidas a puras ruínas, conservassem intactas a mensagem dos séculos. São como a confirmação palpável, material de que existiram realmente aquelas pessoas cuja história, cuja literatura, cuja arte, enfim chegaram até nós de forma fragmentária.

O referido autor explica que, de maneira geral, as obras erguidas são classificadas em quatro tipos: a casa do homem, a qual representa a proteção do ser e apropriação do espaço; a casa do príncipe, cuja função principal é a manifestação do poder; a casa de Deus, e o túmulo, que é a última morada. E, ao longo da história, esses quatro grupos estiveram presentes nas mais diversas civilizações, ganhando destaque em proporções que variavam de acordo com as crenças de cada época.

Na Antiguidade, por exemplo, devido à forte influência da religião, os egípcios edificaram os templos com grande escala – a qual acreditava-se ser uma escala divina – e com materiais de grande durabilidade, tidos como eternos.

Carente de arvoredo, o egípcio utilizou fundamentalmente a pedra calcárea dos alcantilados do vale do Nilo, destacando-se a próxima a Menfis, fina e branca, que se trabalha com facilidade. No alto Egito foi o arenito, que se extraía dos desfiladeiros situados a uns 100Km de Assuã e que se utilizou sobretudo nas construções do Império Novo. Nesta zona do alto Nilo situavam-se também as canteiras de granito vermelho e negro. Outras pedreiras de basalto, pórfiros, alabastros de cor diversa, como o arenito castanho e vermelho, o diorito e outros, proporcionaram ricos materiais para as construções egípcias de caráter oficial, pois as pedreiras eram propriedade do faraó, que concedia, como grande favor, aos seus dignatários licença para utilizar tais materiais para os seus túmulos. (IBID., 1995, p.33)

No entanto, a rocha não era o único material utilizado na época. Segundo Siegesmund & Török (2011), a madeira e o tijolo de barro foram também materiais construtivos empregados pelo homem, porém, estes eram muito mais utilizados, principalmente em edificações de estábulos e casas residentes, enquanto as rochas eram utilizadas para erguer edificações mais importantes como os templos.

Cabe destacar, inclusive, que no Antigo Egito, existiam mapas com a localização das principais pedreiras, rotas e topografia, além da identificação de diferentes formações rochosas, como é o caso do Mapa de Turim (Figura 23). Este, desenhado em cerca de 1160 a.C., tinha como objetivo guiar uma expedição para obtenção de blocos de arenito que iriam compor a estátua do Rei Ramsés IV.

Figura 23 - Mapa de Turim



Fonte: Harrell, 2013

Naquela época, apesar de rudimentares, existiam técnicas de extração e trabalho das rochas, as quais permitiram a construção de obras como as grandes pirâmides.

Nas construções em pedra, estas foram cortadas na pedreira mediante cunhas de madeira e serrando os blocos com areia, para o que se utilizou um fio metálico ou um cordel, debastando depois as superfícies com areia e tabuinhas. Utilizou-se algumas vezes o trépano, conforme vemos nos relevos, com o que se facilitava a execução dos perfis. O transporte fazia-se com rolos e trenós, e quando era possível fazia-se

pelo Nilo amarrando a peça- como no caso dos grandes obeliscos – a uns barcos que a ladeavam (GOITIA, 1995, p. 35)

As colunas, capitéis e estátuas geralmente eram extraídas e esculpidas na própria pedreira para, só depois de prontas, serem transportadas. Hoje, a região de Assuã (sul do Egito), por exemplo, possui um museu a céu aberto com diversos elementos inacabados que foram abandonados na pedreira por possuírem imperfeições, como fraturas, tal qual o obelisco com cerca de 42m de altura e aproximadamente 1200 toneladas (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Obelisco inacabado na pedreira de Assuã (Egito)



Fonte: <http://amochilaeomundo.blogspot.com.br/2015/05/egito-obelisco-inacabado-de-aswan.html> (Acessado em 08/09/2016)

Figura 25 - Fratura do obelisco inacabado (Assuã, Egito)



Fonte: <http://amochilaeomundo.blogspot.com.br/2015/05/egito-obelisco-inacabado-de-aswan.html> (Acessado em 08/09/2016)

Percebe-se, portanto, que mesmo na Antiguidade já se lançavam alguns critérios para a seleção de rochas a serem utilizadas. Ainda que não houvesse o conhecimento aprofundado acerca de suas propriedades químicas e físicas, e levando em conta a crença de que possíveis imperfeições impedissem o uso da rocha para cultuar ou representar um elemento divino, esse talvez tenha sido o passo inicial para a evolução da sua especificação.

Em seguida, assim como em várias outras civilizações, a Grécia Antiga foi aprimorando suas técnicas construtivas à medida que se desenvolvia. Por essa razão, sua história divide-se em três partes: período arcaico (600 a 500 a.C.), clássico (500 a 300 a.C.) e helenístico (300 a.C. a 150 a.C.). De maneira geral, a arquitetura grega possuía como princípio a preocupação com a representação da natureza tal como é, colocando o homem como medida de todas as coisas. Por isso, buscou-se ao máximo aplicar regras de proporção e perspectivas, tendo a coluna como elemento de maior expressividade. No período arcaico, a civilização grega estava ainda em processo de formação, passando de uma economia basicamente rural para a expansão da divisão do trabalho e do comércio. Através da criação de um alfabeto fonético, o homem grego tornou-se mais culto, transferindo seus conhecimentos para a arquitetura. Sendo assim, a madeira utilizada para as construções, principalmente dos edifícios públicos, foi paulatinamente substituída pela pedra calcária.

Emprega-se de preferência a pedra, ainda que se utilize também o tijolo; uma pedra que costuma ser mármore branco de Paros e do Pentélico, o mais escuro do monte Himeto, assim como o calcário de Eleusis, ou arenito ou calcário de pedreiras próximas ao lugar onde se ergue a construção (GOITIA, 1995, p.51).

As edificações mais notórias daquele período eram os templos, construídos para abrigar as estátuas dos deuses, como o Templo de Paestum (Figura 26).

Figura 26 - Templo de Paestum (Nápoles, Itália - 550 a.C)

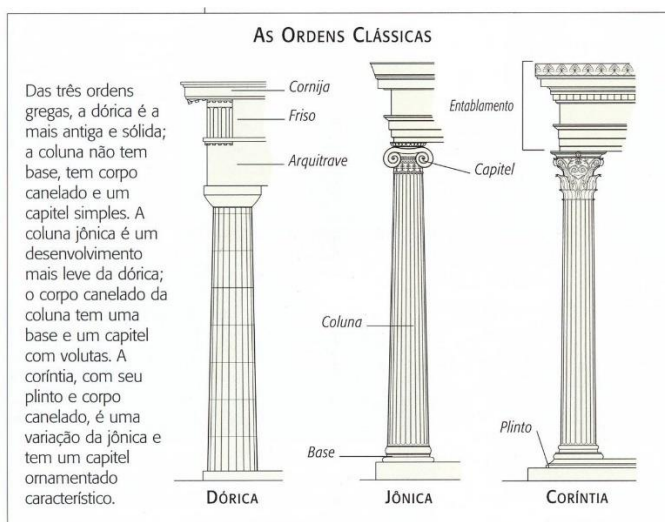


Fonte: <http://www.villaggiooasis.it/photos/paestum01.jpg>

Ao contrário dos egípcios, que justificavam o uso da rocha pelo significado divino aos templos e palácios, os gregos a empregavam por conferirem mais importância aos edifícios públicos do que as moradias particulares, uma vez que assumiam o ideal de que o homem se definia a partir das relações sociais. Os templos

erguidos possuíam uma planta retangular com a disposição das colunas e um telhado de duas águas. Sua distinção era feita através do número de colunas empregadas e também de sua ordem estilística (Figura 27), a qual poderia ser dórica ou jônica. Uma das obras mais famosas daquele período é o Templo de Apolo (Figura 28).

Figura 27 – Ordens arquitetônicos clássicos



Fonte: <http://www.estilosarquiteticos.com.br/imagens/arquitetura-grega-dorica-jonica-corintia.jpg>

Figura 28 - Templo de Apolo (550 a.C)



Fonte: <http://www.guiadegrecia.com/pelopo/img/temploapolo-3.jpg>

Em se tratando do período clássico, graças a uma economia mais consolidada e expansionista, marcada pela manifestação da cidadania e dos afazeres cotidianos, construíram-se teatros e praças, além da criação da ordem coríntia e da tipologia circular das plantas baixas, conforme é visto no Tholos de Delfos, construído entre 390 e 380 a.C. (Figura 29).

Figura 29 - Tholos de Delfos (390 a 380 a.C.)



Fonte: <https://marioliveras.files.wordpress.com/2012/09/tholos-delfos.jpeg>

É importante ressaltar que os gregos costumavam pintar o mármore com cores vibrantes como o azul e o vermelho, conforme apontado por arqueólogos e historiadores.

Com o começo do século XIX novas expedições arqueológicas trouxeram problemas que começariam a abalar as fundações da tradição “branca” da arte clássica. Alguns viajantes notaram em suas investigações que trechos importantes das ruínas de templos gregos – inclusive aqueles da época gloriosa de Péricles (V a.C.), como trechos da cornija do Partenon - apresentavam ornamentos pintados (VIANA, 2012, p.41).

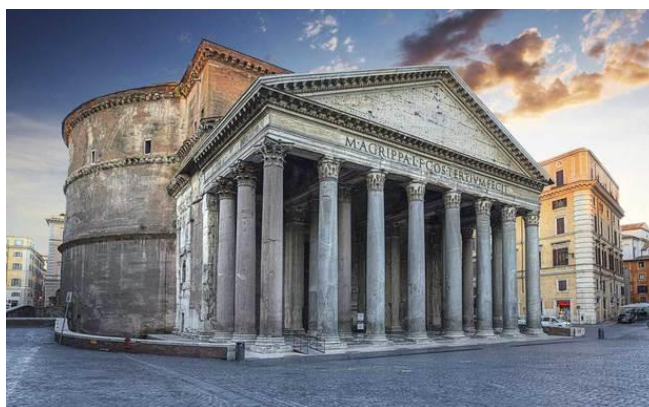
Assim como Vitruvio buscou no conceito de cabana primitiva uma explicação para o entendimento da arquitetura, Gottfried Semper, no século XIX, analisou o pensar arquitetônico como derivado de elementos primitivos da cabana: “a lareira, o telhado, uma plataforma que servia de base e uma envoltória ou fechamento espacial” (VIANA, 2012, p.36). Para Semper, cada elemento estaria associado a um material: “ao elemento lareira estaria associada a técnica da cerâmica; à plataforma ou base elevada estaria associada a técnica da estereotomia, construção em pedras; ao telhado se associaria a tectônica e por fim, à envoltória espacial estaria associada a arte do têxtil” (VIANA, 2012, p.36). O referido arquiteto propõe que o princípio do revestimento está na tecelagem, já que em muitas construções primitivas utilizavam-se tapetes como fechamento lateral. E, por acreditar em um vínculo estreito entre o material, a forma e o propósito a servir, Semper justifica a pintura das paredes, nas mais diversas civilizações, como uma forma de representar a arte têxtil.

Mesmo que outros materiais, que não os tapetes têxteis, fossem usados por motivos de durabilidade, economia ou suntuosidade, o revestimento reteve seu sentido original: têxtil. Assim, até um determinado momento no processo histórico, o caráter do novo revestimento seguiria aquele do protótipo e Semper argumenta isto como uma continuidade evolutiva da superfície, por meio de pinturas sobre painéis de madeira ou pedra, que reproduziam padrões decorativos do têxtil. Disto o autor conclui que o motivo primordial da simples divisória vertical – o revestimento - seria o responsável por conduzir o desenvolvimento arquitetônico (VIANA, 2012, p.39).

O arqueólogo Antoine Chrysosthôme Quatremère de Quincy, em 1815, propôs que os gregos exploravam as cores em suas obras para suprir a necessidade de proteção climática e de correção das imperfeições da pedra. Conforme citado no início do capítulo, os elementos da cabana primitiva surgiram como forma de proteção, a qual variava de acordo com as condições físicas e climáticas do local. Para Semper, na escassez de temperaturas quentes, como é o caso da Grécia Antiga, as cores vibrantes eram capazes de trazer um maior conforto para o indivíduo. Interessante destacar que hoje, apesar de não se tingir a pedra, é possível criar uma composição de rochas de diferentes gêneses e cores que são empregadas para agregar um maior conforto e sensação de bem-estar.

A questão do revestimento evoluiu com a expansão do Império Romano. Antes de conquistarem a Grécia, os romanos não possuíam um clima favorável para a produção de tijolos de qualidade e não tinham acesso às pedreiras de mármore. Assim, desenvolveram outro material a partir da mistura de areia vulcânica com calcário e ladrilhos quebrados, o qual originou o cimento. Através dele, foi possível erguer obras com a redução de pilares internos, como o Panteão (Figura 30).

Figura 30 – Panteão (Roma – 118 a 128 d.C.)



Fonte:

<http://msalx.viajaequi.abril.com.br/2014/06/30/1955/5tY2z/453127565.jpeg?1404168992>

Após a expansão de territórios no governo do Imperador Augusto, os romanos passaram a ter acesso às pedreiras, extraindo principalmente o mármore. Nesse período, a rocha foi, aos poucos, ganhando um uso muito mais ornamental e de revestimento do que estrutural. “A parede romana mais típica foi a construída com concreto – isto é, argamassa com pedras irregulares – revestido depois de cantaria de mármore ou de pedra” (GOITIA, 1995, p.64). O uso de mosaicos compostos por rochas brancas e pretas tornou-se bastante comum nos palácios (Figura 31). Arqueólogos e historiadores comprovam, inclusive, que o mármore utilizado para revestir os prédios romanos era extraído principalmente em Carrara e outras minas de mármore localizadas na Turquia e na Grécia.

Figura 31 - Ruínas submersas do piso de palácios romanos (Cidade de Baia)



Fonte: <http://d.ibtimes.co.uk/en/full/1489146/underwater-baia.png>

É importante salientar que o mármore Carrara, assim denominado por localizar-se na região de Carrara (Itália), ganhou destaque após a construção do Panteão, despertando interesse dos mais diversos artistas que, pessoalmente, escolhiam os blocos a serem utilizados para esculpir estátuas. Hoje, a pedreira, que ainda está em atividade, produz diversos tipos de mármore que variam de acordo com a quantidade de impurezas, coloração e veios. É uma das rochas ornamentais mais valorizadas no mercado atual e empregada por muitos arquitetos.

Após a queda do Império Romano, durante 10 séculos, a história das civilizações foi marcada por um período de refreamento das atividades econômicas e ascensão da Igreja católica. Durante aquele período, denominado Idade Média, os

materiais empregados em maior volume foram a alvenaria e tijolos. As obras arquitetônicas de maior destaque eram as de cunho religioso, uma vez que o clero detinha a maior quantidade de terras e poder político. Dessa forma, o uso da rocha para fins ornamentais ficou bastante limitado a alguns elementos decorativos, principalmente aos mosaicos feitos pelos Bizantinos, além de paredes e colunas da arquitetura românica.

Tal situação modificou-se apenas com a chegada da Idade Moderna, com o reaquecimento do comércio e enfraquecimento da Igreja católica no cenário político. O Renascimento, período que vai do fim do século XIV ao fim do século XVII, é caracterizado pela ruptura dos meios de produção e da linguagem arquitetônica, antes dotados de regras. Em um primeiro momento, os arquitetos, apesar da liberdade projetual, prenderam-se, até determinado ponto, aos princípios classicistas de traçado interno de plantas e forma arquitetônica. Um exemplo de obra desse período é a Catedral de Santa Maria Del Fiore (Figura 32), localizada em Florença e desenhada pelo arquiteto Brunelleschi, tomando como base as soluções construtivas do Panteão de Roma.

Figura 32 - Catedral de Santa Maria del Fiore (Florença)



Fonte: http://images.visititaly.com/App_Images/Blog/5c3d11d1-1a2f-4804-ba85-5b6e5f4f26e4.jpg

Conforme explica Goitia (1996), na referida obra, a rocha empregada na estrutura externa também tem a função de destacar as linhas arquitetônicas devido à sua coloração branca, conferindo à edificação uma maior notoriedade em relação ao entorno.

No século XVI as formas do renascimento italiano se difundem pela Europa, onde são interpretadas conforme o espírito das diversas nações que, muitas vezes, o fazem com certa liberdade, salvo nos casos em que são os próprios arquitetos italianos que difundem sua arte ao serem solicitados para as novas construções. A exportação de mármore italiano já lavrados – colunas, capiteis, peças decorativas -, a difusão da imprensa que nos bordos dos livros introduz motivos decorativos, a proliferação de gravados, e enfim, a aparição de obras técnicas ou literárias que evocam a Antiguidade Clássica, são fatores que contribuem à aceitação das formas italianas (IBID, 1996, p.53)

No aludido período, o comércio das rochas ganhou um novo fervor, sendo utilizadas no mundo inteiro. Na Espanha, havia uma preferência pelo mármore, também utilizado pelos italianos, junto com o travertino. Na França, o arenito, e na Finlândia e Suíça, o granito.

Durante os séculos XVII e XVIII, a liberdade difundida no Renascimento fez surgir o estilo arquitetônico barroco. Suas principais obras são de cunho religioso, devido ao momento histórico no qual se vivia: a contrarreforma. São dotadas de contrastes de cheios e vazios e efeitos de luz e sombra que agregam dramaticidade à edificação, além da aplicação exagerada de ornamentos, pinturas e esculturas. É comum o uso da madeira, do gesso e do ouro.

Por sua parte, a arquitetura foi o veículo expressivo da evangelização. Sem conventos, mosteiros, templos, capelas, hospitais, orfanatos, colégios, onde uma arquitetura de missão resplandece, não teria sido possível esta grande obra civilizadora. A cultura daqueles povos segue aderida, com o correr do tempo e cada vez mais, a uma arquitetura que lhes personifica e lhes permite uma identidade espiritual. Neste aspecto o papel da arquitetura, com seu cortejo de retábulos e obras suntuárias é muito superior ao das outras artes, pintura e escultura, que, contando com escolas e obras valiosas, não tem a mesma universalidade da arquitetura (GOITIA, 1996, p.26).

Foi nesse tempo que se iniciou o uso de placas de rochas para a composição de fachadas. Difundida pelo arquiteto Simón Rodríguez, a prática ficou conhecida como estilo de placas, e teve como precursora o Convento de Las Claras (Figuras 33 e 34), no qual foi aplicado o granito vermelho.

Figura 33 - Convento de Las Claras (Santiago de Compostela, Espanha)



Fonte: <http://www.santiagoturismo.com/files/full/SantaClara.jpg> (Acessado em: 13/09/2016)

Figura 34 - Detalhe da fachada do Convento de Las Claras (Santiago de Compostela, Espanha)



Fonte: <http://www.santiagoturismo.com/files/singlev2/0847.jpg> (Acessado em: 13/09/2016)

Em fins do século XVIII, o ideal de liberdade difundido durante o Renascimento ganha ainda mais força, colocando em xeque o Antigo Regime e buscando a igualdade de todos os homens perante a lei. Conhecido como Iluminismo, esse período trouxe uma grande transformação social e econômica para a sociedade, que defendia o uso da razão, a liberdade de pensamento e crença, e o antropocentrismo. Na arquitetura, esses valores acarretaram na retomada de referências classicistas, eliminando a exaustiva ornamentação do barroco e a combinação de elementos gregos e romanos com uma arquitetura moderna.

Esse mesmo período, marcado também pela Revolução Industrial, assinalou uma notável mudança no que diz respeito aos materiais de construção. Surgiram elementos novos como o vidro, a fundição e o concreto, enquanto os mais tradicionais, como a pedra natural, o tijolo e madeira passaram a ser utilizados de maneira mais racional e utilitária. O progresso científico da época deu início aos testes de resistências dos materiais, possibilitando uma melhor análise sobre custo-benefício dos elementos estruturais e de revestimento das edificações. Com isso, as rochas beneficiadas então, passaram a ser valorizadas como material de uso nobre, assumindo importante uso ornamental de revestimento, em detrimento de sua clássica função estrutural.

A estreita relação entre o homem e o território, conquistada ao longo de milhares de anos, traduzida na especificidade das formas dos objetos, das técnicas de trabalho da pedra e da perfeita combinação entre forma e função, alterou-se profundamente após a revolução industrial e muito particularmente a partir de meados do séc. XX. Com o desenvolvimento científico, o positivismo subjacente e a descoberta de novos materiais de construção como o ferro, betão¹, vidro e posteriormente os plásticos, as lógicas e dinâmicas de construção do território e paisagem passaram a obedecer às novas regras distantes dos ciclos temporais da natureza. Neste contexto a pedra perde importância como material estruturante, passando a destacar-se como material decorativo ou de acabamento (PINTO, 2001, p.12).

No que diz respeito ao uso de rochas, é importante destacar, em particular, a arquitetura neoclássica russa.

O período neoclássico, sobretudo em relação à arte da construção, é um momento esplendoroso para a Rússia; é, possivelmente, um dos momentos culminantes, em que a Rússia adquire um papel muito destacado na história da arquitetura ocidental. [...] Até aquele momento, a Rússia nunca tinha irrompido na cena da grande arquitetura ocidental com tanto brio, com tantas realizações esplêndidas e um volume tão considerável de criações (GOITIA, 1996, p.80).

Apesar de possuir características bastante peculiares devido aos adornos bizantinos, pode-se citar a Igreja de São Isaac (Figura 35), localizada em São Petersburgo, como obra que reúne o estilo da época ao uso diversificado da rocha ornamental. As colunas do pórtico que compõe a fachada da igreja, por exemplo, são feitas em granito vermelho (Figura 36).

¹ Betão. (s.m) Mistura de cimento, pedra britada, água e areia, usada em construções. O mesmo que concreto.

Figura 35 - Igreja de São Isaac (São Petersburgo, Rússia)



Fonte: <https://viagenzinhahein.files.wordpress.com/2014/08> (Acessado em 15/09/2016)

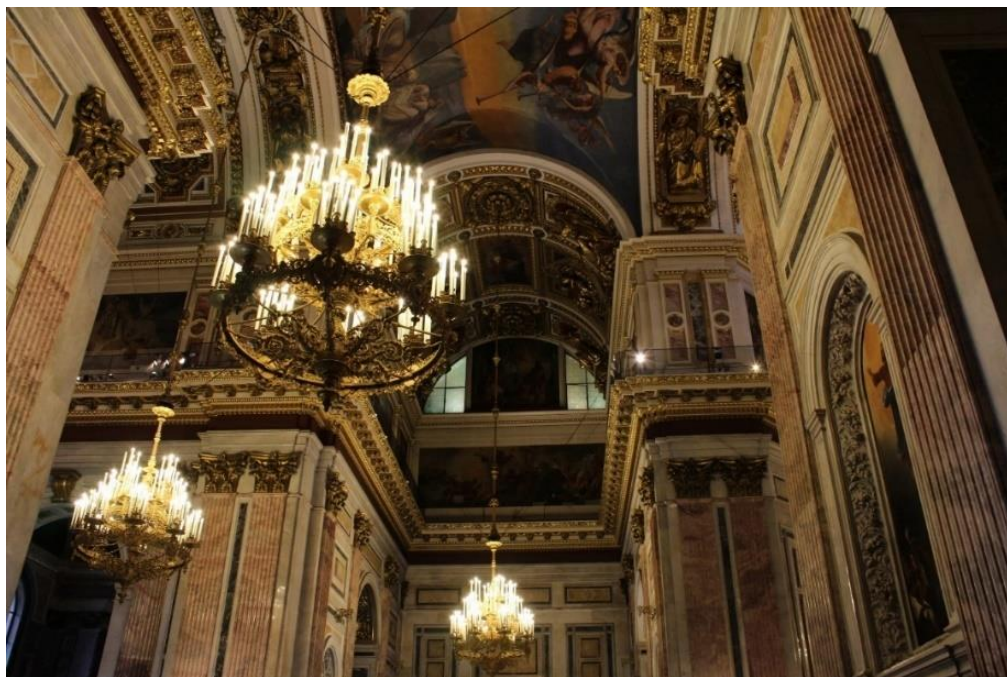
Figura 36 - Detalhe das colunas externas da Igreja de São Isaac



Fonte: https://arquitetandorotas.files.wordpress.com/2013/10/catedral-de-santo-issac_4.jpg (Acessado em: 15/09/2016)

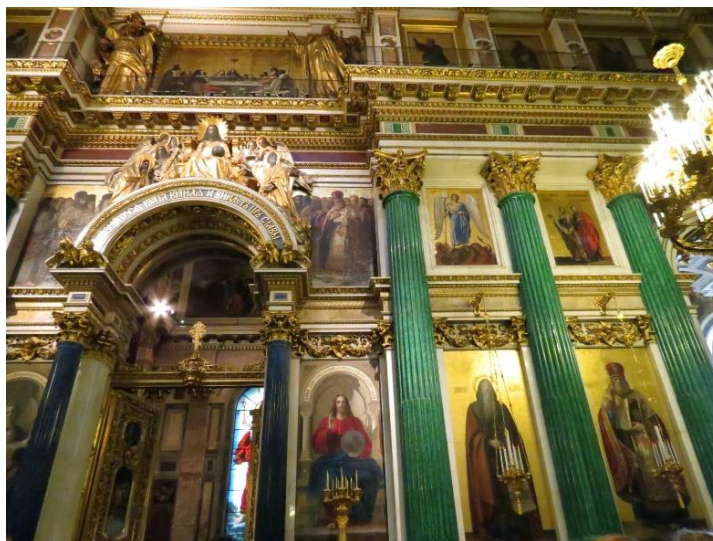
No interior, paredes e pisos são revestidos com mármore (Figura 37). As colunas (Figura 38), em malaquita e lápis-lazuli, contrastam com as pinturas, criando um jogo de cores característicos da arquitetura russa.

Figura 37 - Paredes internas da Igreja de São Isaac



Fonte: https://viagenzinhahein.files.wordpress.com/2014/08/img_0918-e1409362120313.jpg
(Acessado em 15/09/2016)

Figura 38 - Colunas internas da Igreja de São Isaac

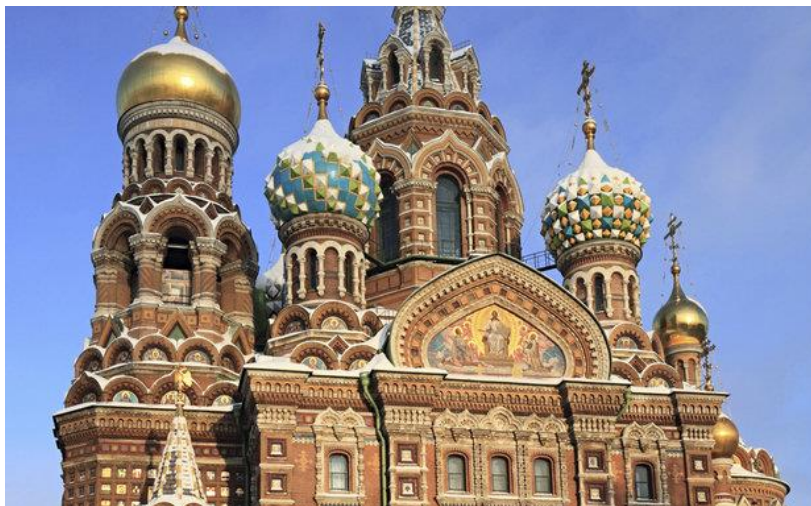


Fonte: https://arquitetandorotas.files.wordpress.com/2013/10/catedral-de-santo-issac_16.jpg?w=600&h=398 (Acessado em 15/09/2016)

Outra obra bastante peculiar é a Igreja de São Salvador (Figura 39), também chamada de Igreja do Sangue Derramado. Apesar de ter sido projetada pelo arquiteto

Alfred Parland ainda no século XVIII, sua construção só iniciou em 1883, durando 24 anos para ser concluída.

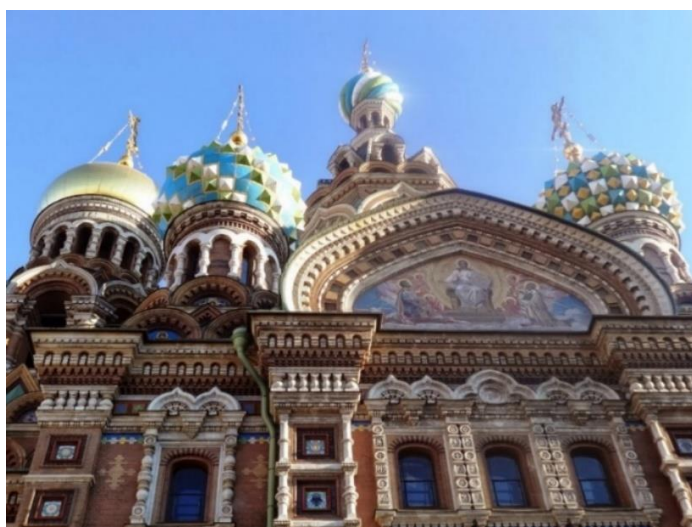
Figura 39 - Igreja de São Salvador (São Petersburgo, Rússia)



Fonte: <http://imgms.viajeaqui.abril.com.br/3/foto-galeria-materia-620-q10j.jpeg?1322734985>

Referida obra é enquadrada no estilo russo difundido no segundo trimestre do século XIX, possuindo características de diversos estilos arquitetônicos, principalmente o bizantino, além de um pouco do barroco. É dotada de uma decoração pictórica e policromática feita através de pinturas, imagens e mosaicos. É uma das obras com maior diversificação de rochas ornamentais aplicadas. Em sua fachada, utiliza-se o tijolo vermelho e castanho em contraste com pórticos feitos com granito cinza (Figura 40).

Figura 40 - Pórticos da fachada da Igreja de São Salvador



Fonte: <http://laboratorioart.blogspot.com.br/2013/10/sao-petersburgo-catedral-de-santo-isaac.html> (Acessado em 15/09/2016).

O piso de mármore possui cerca de 45 mosaicos diferentes, compostos por vários tipos de rochas (Figura 41). A serpentina verde italiana foi aplicada como revestimento nas paredes e nos bancos. No altar, também é utilizado o mármore vermelho, bastante comum na região (Figuras 42 e 43).

Figura 41 - Mosáicos da Igreja de São Salvador



Fonte:

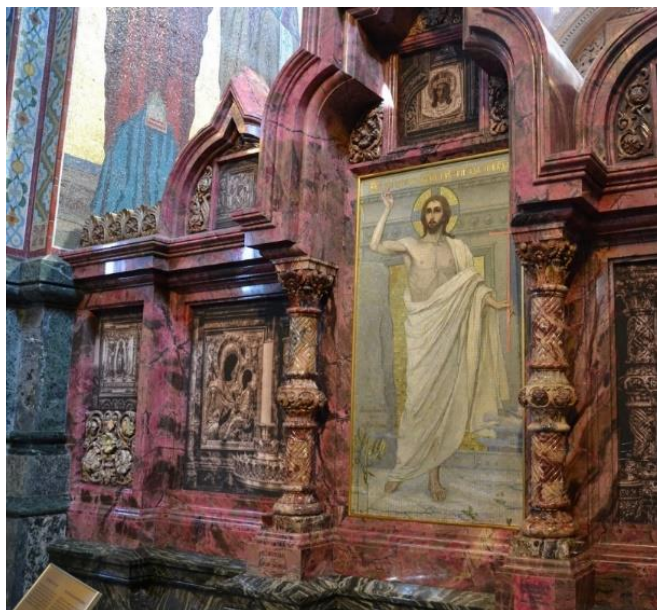
<http://previews.123rf.com/images/smartin69/smartin691407/smartin69140700003/30093728-Marble-Floor-inside-the-Church-of-the-Spilled-Blood-St-Petersburg-Stock-Photo.jpg>
(Acessado em 15/09/2016)

Figura 42 - Altar da Igreja de São Salvador



Fonte: http://guia.melhoresdestinos.com.br/system/fotos_local/fotos/8213/show/igreja-do-salvador-do-sangue-derramado.jpg (Acessado em 15/09/2016).

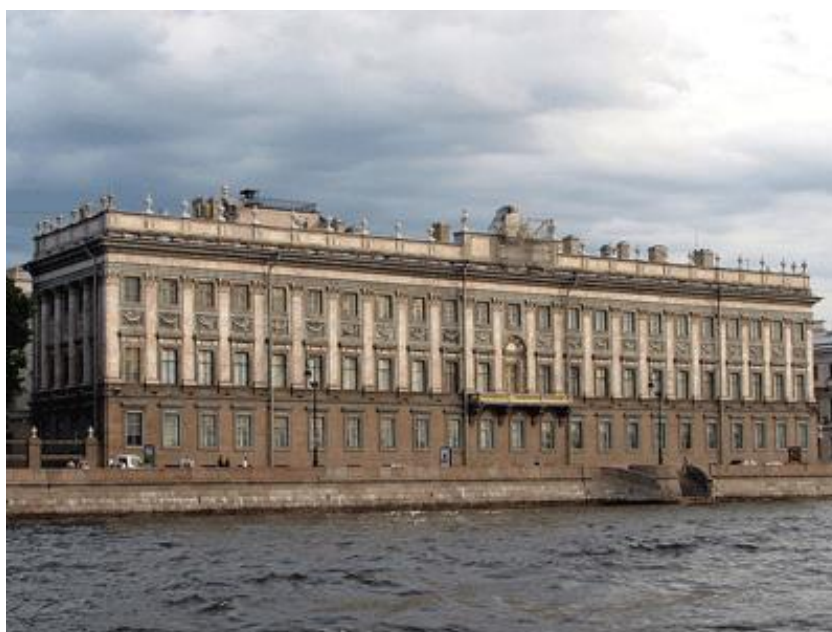
Figura 43 - Detalhe do altar da Igreja de São Salvador



Fonte: <http://historiacomgosto.blogspot.com.br/2016/03/igreja-do-salvador-no-sangue-derramado.html> (Acessado em 15/09/2016)

Aos poucos, a arquitetura russa do século XIX foi abandonando as referências bizantinas e barrocas, dando lugar a um estilo neoclássico puro, percebido na obra do Palácio de Mármore de São Petersburgo (Figura 44). Neles, foram empregados granito e diversos tipos de mármore das mais variadas cores (Figura 45).

Figura 44 - Palácio de Mármore (São Petersburgo, Rússia)



Fonte: http://www.vamospararussia.com.br/sao_petersburgo.html (Acessado em 15/09/2016)

Figura 45 - Detalhe da fachada do Palácio de Mármore



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/Mramorny.jpg> (Acessado em 15/09/2016)

Mais tarde, no final do século XIX e início do século XX, surgiu uma tendência mais estruturalista e racional na arquitetura. Vários arquitetos como August Perret, Eugene Freissinet, Louis Sullivan e Adolf Loos passaram a pregar a aplicação de critérios mais racionalistas e funcionalistas, com uma planta mais livre e a desornamentação do edifício, explorando o próprio material de construção como elemento decorativo. Essa corrente, denominada brutalismo, sustentava que qualquer material deveria ser utilizado onde fosse devidamente apropriado, de acordo com suas características. Sua natureza, portanto, não deveria ser ocultada. Sobre esse período, esclarece o arquiteto tcheco Adolf Loos (1908, p. 214), criticando o emprego do ornamento na arquitetura:

Nas últimas décadas, a imitação tem dominado todo o campo da construção. As paredes são forradas de papel e não de tela, mas há que fazer com que não se veja a diferença. As portas e janelas são de madeira macia. Mas como as madeiras duras são mais caras, deve-se pintar como se estivessem feitas com estas últimas. E ferro deve imitar o bronze e o cobre, pintando-o como tais materiais.

Para Loos (1908, p.44), “a evolução cultural equivale à eliminação do ornamento do objeto comum”. A arquitetura moderna se desvinculou das referências estilísticas passadas, livrando-se dos ornamentos, o que para o arquiteto tcheco representava ou, significava um retrocesso.

O Pavilhão de Barcelona, ícone exemplar do uso de rochas no século XX, foi uma casa projetada pelo arquiteto Mies Van Der Rohe em 1929, a qual representou claramente este momento (Figura 46). A edificação foi concebida com materiais luxuosos, mas, ao mesmo tempo, livre de ornamentos externos. As paredes foram compostas por rochas de mármore polido verde e ônix dourado (Figura 47) e, ao invés de delimitarem um espaço, desempenhavam a função de manter o fluxo de movimentos do interior para o exterior e vice-versa. Assim, esses elementos ultrapassavam os limites internos da edificação (foi construído para um pavilhão de pedra, demolido e depois reconstruído), alcançando o jardim (Figura 48).

Figura 46 - Pavilhão de Barcelona



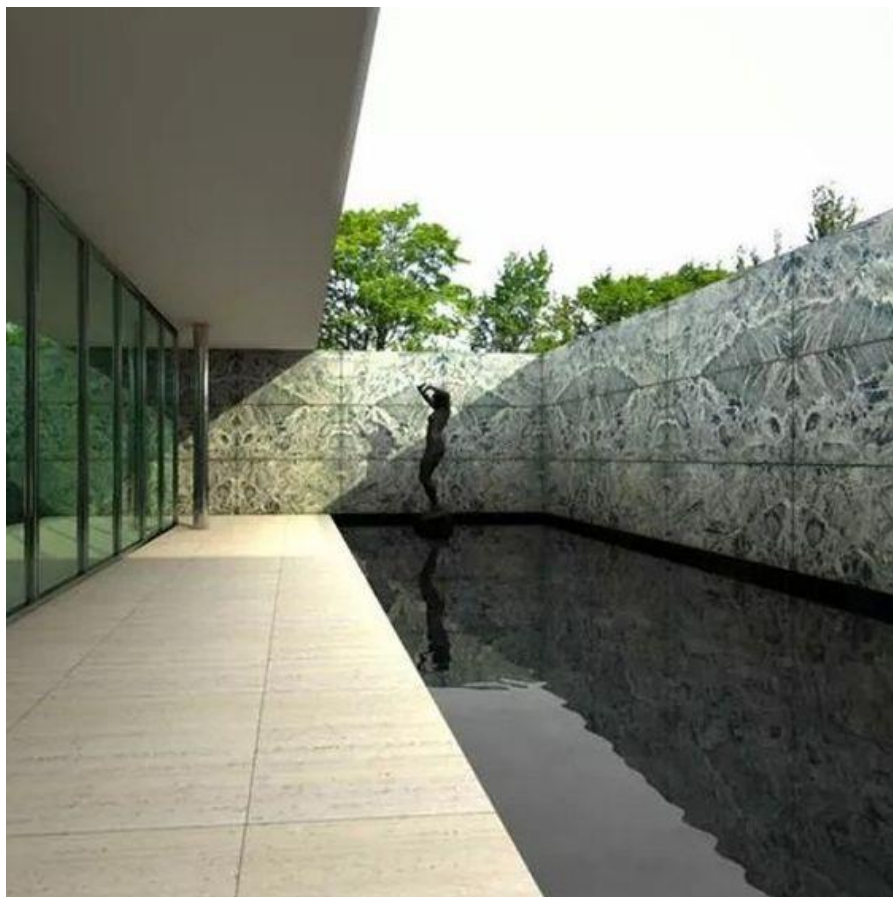
Fonte: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/15/3b/5d/153b5d26cc78514f1060558c1f023a74.jpg> (Acessado em 16/09/2016)

Figura 47 - Parede em ônix do Pavilhão de Barcelona



Fonte: <https://alewisdotnet.files.wordpress.com/2012/01/p1010784.jpg> (Acessado em 16/09/2016)

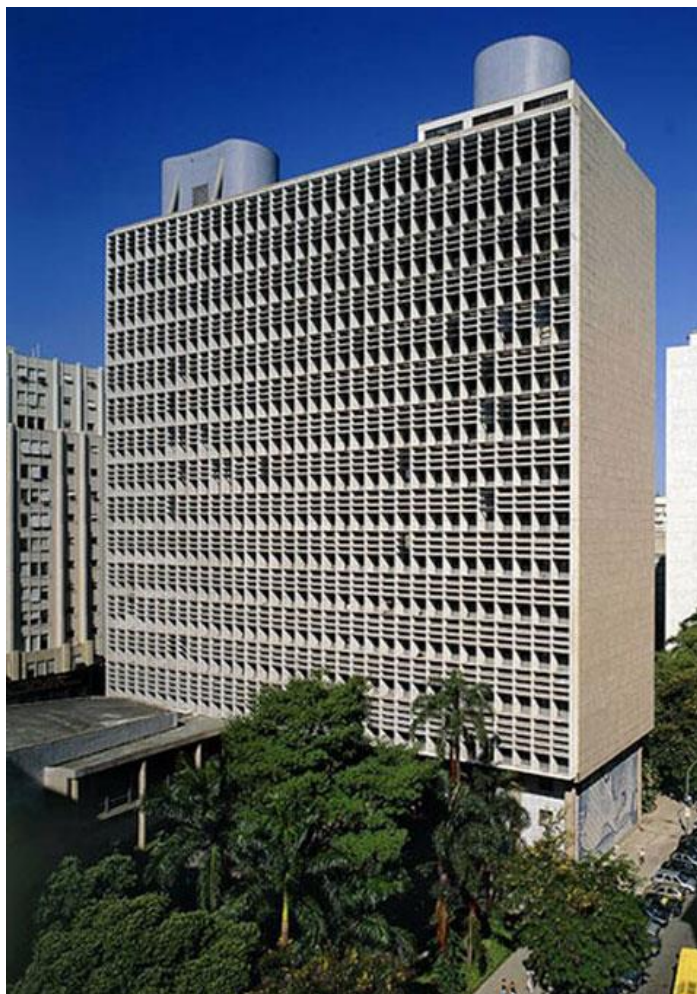
Figura 48 - Jardim do Pavilhão de Barcelona



Fonte: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/15/3b/5d/153b5d26cc78514f1060558c1f023a74.jpg> (Acessado em 16/09/2016)

O pensamento modernista de países como Alemanha, França e Estados Unidos influenciou, de igual forma, as obras brasileiras datadas das décadas de 1930 e 1950. Conforme explica Sodré (1978), naquela época, os projetos, inspirados principalmente nas obras do arquiteto francês Le Corbusier, foram marcados pelo racionalismo e funcionalismo, além de possuírem formas geométricas definidas e ausência de ornamentos. O uso das rochas, facilitado pelo início da exploração de jazidas de mármore e granitos nacionais, foi destinado, portanto, tanto para o revestimento, como para a composição de esculturas e demais artes plásticas. A primeira obra moderna de repercussão nacional foi o edifício do Ministério da Educação e Saúde (Rio de Janeiro/RJ), projetado pelos arquitetos Lúcio Costa, Jorge Moreira, Affonso Eduardo Reydy, Carlos Leão, Ernani Vasconcelos e Oscar Niemeyer; e construído em 1936, no qual foram utilizados mármore no revestimento do piso e dos pilares (Figuras 49 e 50).

Figura 49 – Edifício do Ministério da Educação e Saúde (Rio de Janeiro/RJ)



Fonte: <https://coisasdaarquitetura.files.wordpress.com/2011/06/palc3a1cio-capanema.jpg>

Figura 50 – Pilares do Ministério da Educação e Saúde



Fonte: <https://coisasdaarquitetura.files.wordpress.com/2011/06/painel-de-portinari.jpg>

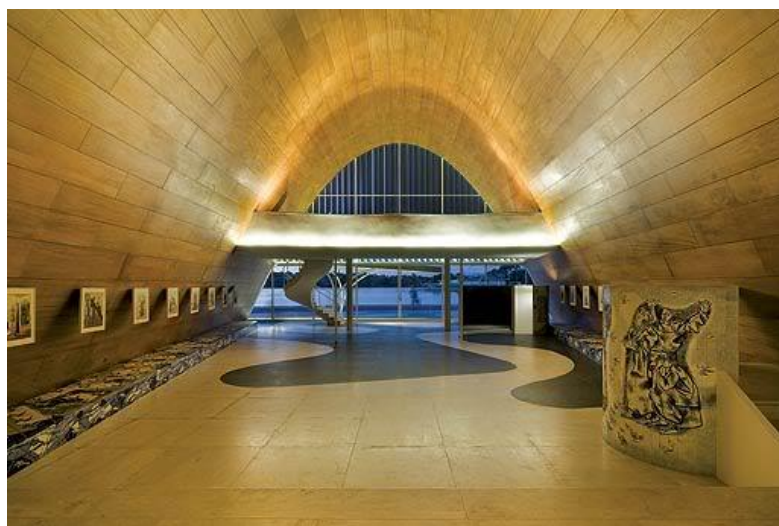
Em seguida, o arquiteto Oscar Niemeyer, na década de 40, passou a compor obras com formas mais livres, buscando uma maior plasticidade. Neste período destaca-se a construção da Igreja da Pampulha, localizada em Minas Gerais (Figura 51). A igreja, construída em concreto armado e painéis de azulejo, conta com o mármore e o granito no revestimento do piso interno (Figura 52).

Figura 51 – Igreja da Pampulha (Belo Horizonte/MG)



Fonte: <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/edificios/imagens/i503402.jpg>

Figura 52 – Interior da Igreja da Pampulha



Fonte: http://i21.photobucket.com/albums/b291/Ricardo_NJ/sancas.jpg

Cabe destacar também as obras dos edifícios públicos de Brasília, como o Palácio da Alvorada e a Catedral Metropolitana de Brasília, projetados em 1956 pelo arquiteto, a mando do presidente Juscelino Kubitschek, nos quais nota-se a presença de mármore branco no revestimento.

A partir da década de 60 do mesmo século, por influência do universo digital e disseminação dos meios de comunicação, foi difundido, na arquitetura, um movimento que criticava o excesso de funcionalidade do modernismo, no qual a forma acompanhava a função do edifício. Conhecido como pós-modernismo, o referido movimento prezava pelo impacto visual, individualização e a desreferencialização de estilos, tendo como maior desafio a aproximação do cliente com as decisões projetuais, adaptando o ambiente ao seu público. Neste cenário, foram testadas novas tecnologias e detalhes construtivos, incluindo o uso de rochas de maneira diferenciada.

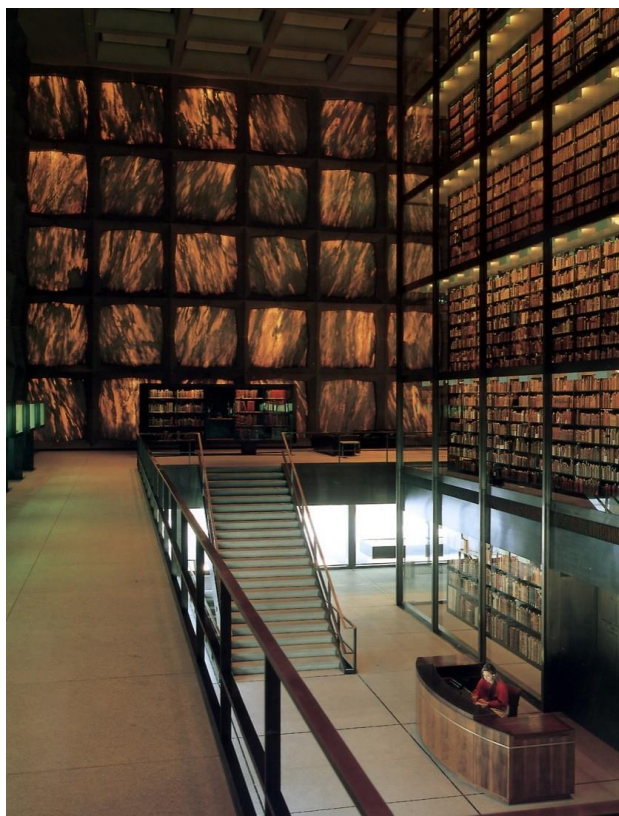
A Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos, por exemplo, foi projetada em 1963 pelos arquitetos Gordon Bunshaft da Skidmore, Owings & Merrill em New Haven (Connecticut, Estados Unidos). As Figuras 53, 54 e 55 retratam a fachada principal e o interior da biblioteca, a qual confere o maior edifício do mundo dedicado à contenção e preservação de livros raros, manuscritos e documentos. Nesta obra, a rocha foi utilizada não só como revestimento, mas também como elemento de composição e vedação do edifício, vista como solução para promover a iluminação natural para o interior do prédio, permitindo a leitura e o estudo sem danificar o acervo. Os materiais selecionados foram o mármore Sleak, o qual permite a passagem de luz, e o granito Vermont Woodbury, o bronze e o vidro para compor com os demais elementos estruturais.

Figura 53 – Fachada da Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos



Fonte: <http://www.archdaily.com/65987/ad-classics-beinecke-rare-book-and-manuscript-library-skidmore-owings-merrill> (Acessado em 08/11/2016)

Figura 54 – Interior da Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos



Fonte: <http://www.archdaily.com/65987/ad-classics-beinecke-rare-book-and-manuscript-library-skidmore-owings-merrill> (Acessado em 08/11/2016)

Figura 55 – Detalhe das peças de mármore da Biblioteca Beinecke de Livros Raros e Manuscritos



Fonte: <http://www.archdaily.com/65987/ad-classics-beinecke-rare-book-and-manuscript-library-skidmore-owings-merrill> (Acessado em 08/11/2016)

Outra obra de destaque é a Igreja Mortensrud (Figuras 56, 57 e 58), projetada pelo escritório de arquitetura JSA (Jensen & Skodvin Arkitektkonton) no ano de 2002.

Localizado em Oslo (Noruega), o projeto foi criado para integrar paisagem e edificação, tomando como partido o relevo e rochas existentes. A estrutura principal é feita em aço, utilizando como revestimento fragmentos de rochas assentados sem argamassa. A intenção foi permitir a entrada de luz natural por entre as brechas das rochas, criando um ambiente propício à reflexão. Interessante notar que a planta e volumetria da igreja fogem aos padrões estabelecidos pelos estilos tradicionais, caracterizados pela organização a partir de uma nave central e a presença de torres.

Figura 56 – Fachada da Igreja Mortensrud



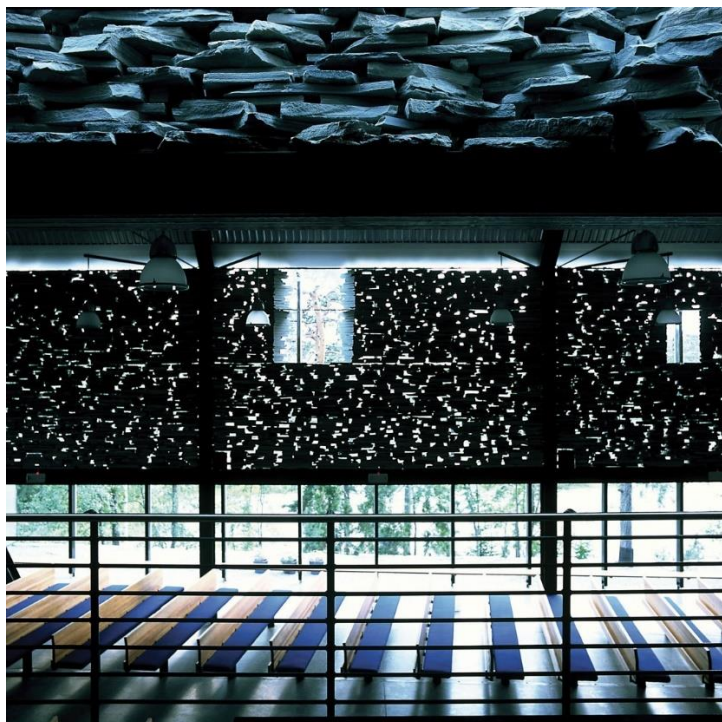
Fonte: <http://www.archdaily.com/1929/mortensrud-church-jsa> (Acessado em 08/11/2016)

Figura 57 – Altar da Igreja Mortensrud



Fonte: <http://www.archdaily.com/1929/mortensrud-church-jsa> (Acessado em 08/11/2016)

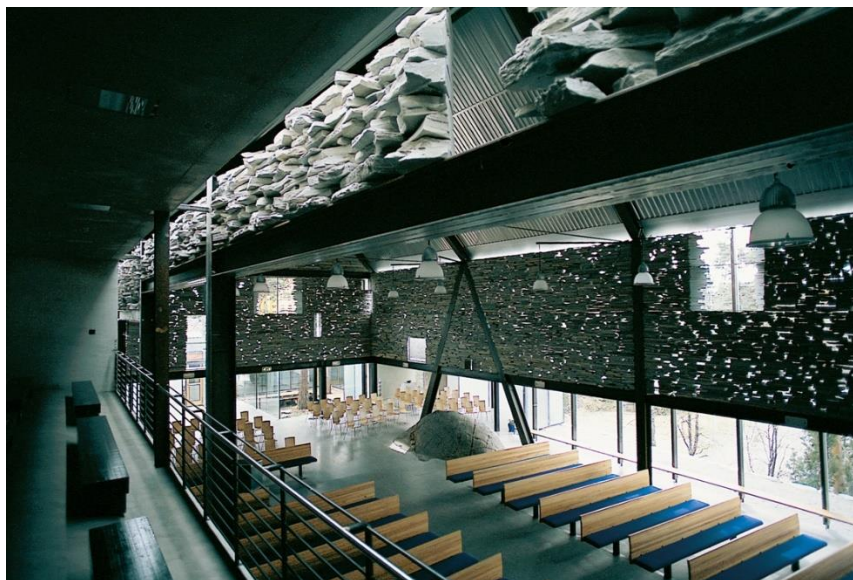
Figura 58 – Interior da Igreja Mortensrud



Fonte: <http://www.archdaily.com/1929/mortensrud-church-jsa> (Acessado em 08/11/2016)

Cabe destacar que foram mantidos os afloramentos do terreno mesmo no interior da edificação (Figura 59).

Figura 59 – Detalhe do interior da Igreja Mortensrud



Fonte: <http://www.archdaily.com/1929/mortensrud-church-jsa> (Acessado em 08/11/2016)

Já no Espaço Litúrgico do Santuário de São Pio (Figura 60), localizado na cidade de São Giovanni Rotondo (Itália), o arquiteto Renzo Piano atribui à rocha uma função estrutural com certa plasticidade através da combinação de materiais como o aço e a madeira.

Figura 60 – Fachada do Santuário de São Pio



Fonte: <http://arquiteturadosagrado.blogspot.com.br/2010/11/igreja-do-padre-pio-arq-renzo-piano.html>

O edifício, datado de 2004, foi pensado para ter um caráter não-monumental e acolhedor, condizente com o perfil do Padre Pio. Foi projetada para ter uma estrutura radial centrada no altar e com assembleia disposta ao redor (Figura 61). Os materiais foram selecionados de maneira a expressar simplicidade e promover harmonia com o entorno. Por ser uma área sismicamente ativa, criou-se uma estrutura arqueada com blocos da rocha Bege Apricena, da própria região, suportadas por hastes de aço (Figura 62), a qual dissipa a energia e absorve a tensão gerada pelos terremotos. Ao todo são 22 arcos decrescentes que promovem ritmo à arquitetura.

Figura 61 – Interior do Santuário de São Pio



Fonte: <http://arquiteturadosagrado.blogspot.com.br/2010/11/igreja-do-padre-pio-arq-renzo-piano.html>

Figura 62 – Detalhe da estrutura do Santuário de São Pio



Fonte: <http://www.rpbw.com/>

Atualmente, o emprego das rochas ornamentais como revestimento se dá das mais variadas formas: fachada aerada, assentada com argamassa, piso elevado, peças de mobiliário, balcões de cozinha e banheiro, rodapés, soleiras, entre muitas outras. Destaca-se inclusive o aproveitamento de sobras das jazidas de rochas para a confecção de mosaicos, revestimento e até mesmo estrutura. É o caso da Sede Geral de Autores e Editores (Figura 63), localizada em Santiago de Compostela (Espanha). O projeto, assinado pelo arquiteto Anton Garcia Abril e construído em 2007, busca um caráter monumental aliado à harmonia com o entorno e com a tipologia histórica característica da cidade. Inspirado nas construções megalíticas, utilizou-se o excedente da pedreira do Granito Mondariz para a composição de uma das paredes, trazendo soluções construtivas contemporâneas e possibilitando também a entrada de luz natural (Figura 64).

Figura 63 – Fachada principal da Sede Geral de Autores e Editores



Fonte: <http://www.ensemble.info/sgaeheadquarters>

Figura 64 – Interior da Sede Geral de Autores e Editores



Fonte: <http://www.ensemble.info/sgaeheadquarters>

Deve-se lembrar, no entanto, que “apesar de sua durabilidade, a pedra não é um material estático, estando constantemente sujeita a agressões ambientais e antrópicas. O conhecimento das suas características e reações é importante para evitar a sua degradação, preservar a sua integridade e potenciar a sua melhor utilização” (PINTO, 2001, p.15)

Conforme aponta estudo realizado por Neves (2012), na especificação desses materiais pelos arquitetos, são levados em consideração apenas atributos estéticos, colocando em risco o desempenho e a durabilidade dos materiais. Chama-se atenção, inclusive, que a Lei Federal nº. 12.378/2010, a qual regulamenta o exercício da Arquitetura e Urbanismo, com a criação do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR), e os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo estaduais e do Distrito Federal, em seu parágrafo único, inciso VII, define que deve ser do conhecimento do arquiteto a “tecnologia e resistência dos materiais, dos elementos e produtos de construção, patologias e recuperações”. Em complemento, a Norma de Desempenho da Construção Civil, NBR 15.575/2013, define os parâmetros mínimos para garantir o desempenho e a vida útil dos vários elementos de uma edificação, incluindo os materiais. Deve-se lembrar, portanto, que a rocha é um material natural, possui propriedades químicas, físicas e mecânicas variáveis que nem sempre são as mais adequadas para os ambientes aos quais foram destinadas.

3.2 Panorama das rochas ornamentais

As rochas ornamentais são materiais rochosos extraídos e beneficiados, em maior ou menor grau, para serem utilizados com funções de revestimento, decorativas ou estruturais. O termo abrange outros como pedras naturais, materiais lapídeos, rochas dimensionadas e rochas de cantaria. Conforme citado anteriormente, sua utilização tem acompanhado a evolução da humanidade e, graças a sua durabilidade, serve de registro dessa evolução, da cultura e dos costumes ao longo da história. Estas rochas, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados e beneficiados em formas variadas. Seus principais campos de aplicação são os revestimentos internos e externos em forma de chapas ou ladrilhos, ou ainda em lajes de pedra natural, para a construção civil, mas incluem também a confecção de peças isoladas para decoração como esculturas, tampos, balcões e pés de mesa, e lápides e esculturas para a arte funerária (VIDAL, F.W.H. et al. – 2013).

O referido autor explica que a geologia do território brasileiro apresenta condições bastante propícias à existência de jazimentos de rochas ornamentais, o que evidencia uma ampla vantagem competitiva para o país, no mercado internacional, devido não só à excepcional diversidade dos tipos litológicos encontrados, como também pela grande variedade cromática e ocorrência de tipos de materiais raros e de alta cotação comercial. A crescente participação das rochas ornamentais na economia brasileira e na sua pauta de exportações, ocorrida a partir de 1990, pode ser considerada como um dos acontecimentos mais marcantes da produção mineral do país.

Do ponto de vista litoestrutural, de acordo com VIDAL et al (2013), o território brasileiro acha-se dividido em oito Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais. A Província Mantiqueira, contendo os estados do Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, possui jazimentos significativos em exploração, sendo o estado do Espírito Santo o maior responsável pela produção país. A segunda em importância possuidora de jazidas, é a Província São Francisco sendo composta pelos estados da Bahia e Minas Gerais. Todas as outras províncias: Borborema (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e pequena porção norte da Bahia), Tocantins (Goiás e Mato Grosso do Sul), Amazonas Norte e Amazonas Sul, Paraná e Parnaíba, possui

jazidas com destaque aos estados da Bahia, Ceará e Paraíba, que respondem por um menor percentual da produção do país.

Segundo o autor supracitado, no Brasil, embora já existisse essa atividade de forma pontual, desde o século XVI em várias regiões, seu desenvolvimento tecnológico ocorreu a partir dos anos 60 do século passado e, somente a partir do final da década de 1980 começou se destacar como atividade de mineração. Hoje, esse setor é considerado um dos mais importantes na pauta de exportação; foi responsável por 4% do saldo positivo da Balança Comercial Brasileira em 2012, contando com umas 400 empresas exportadoras. Estima-se que aproximadamente umas 10.000 empresas da cadeia produtiva do setor movimentem mais de quatro bilhões e meio de reais por ano e empreguem 120.000 pessoas.

O crescimento na produção de rochas ornamentais motivou, portanto, a elaboração das primeiras normativas no sentido de definir a terminologia das rochas para revestimento de edificações. A NBR 15.012, lançada em 2003, ganhou nova revisão no ano de 2013, definindo rocha ornamental como "material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária". O termo rocha para revestimento é definido pela ABNT como "rocha ornamental submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento e utilizada no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas". As rochas ornamentais, aquelas comercializadas na forma de chapas ou ladrilhos polidos, de espessura regular, são subdivididas comercialmente em dois tipos principais: "mármore" e "granito". Tal terminologia não é geologicamente correta, pois para o comércio "mármore" é toda rocha carbonática, de origem sedimentar (calcário ou dolomito) ou metamórfica (mármore stricto sensu); e o "granito" é considerado como qualquer rocha não-calcária, capaz de receber corte e polimento e passível de ser usado como material de revestimento (incluindo grande variedade de rochas ígneas e metamórficas, a saber: basalto, gabro, granito, gnaisse, migmatito, granulito, alguns quartzitos e outros). Outros tipos comerciais são os "limestones", as ardósias e as chamadas rochas de tipo quartzito, arenito, calcário e até gnaisse, comercializadas em placas rústicas, de espessura irregular e sem polimento (VIDAL, F.W.H. et al. – 2013). Cabe destacar, inclusive, que os requisitos mínimos para aplicação de rochas em edificações, definidos pela NBR 15.845 no ano

de 2010 e revisados em 2015, contempla apenas os granitos, deixando de lado os demais litotipos.

As rochas ornamentais podem ser utilizadas como ornamento ou revestimento. Conforme dito anteriormente, este tipo de material é escolhido em função, principalmente, de suas características estéticas, seguido das características técnicas e da disponibilidade comercial. A diferença de outros bens minerais, *commodities*, com valor definido pelo mercado, o valor comercial das rochas ornamentais será determinado em função dessas características e, por isso, diferente para cada tipo de material e, ainda, variável para um mesmo tipo de rocha quando sua anisotropia proporcione aspecto visual variado à sua superfície.

Na produção de rochas ornamentais, conforme explica Peiter *et. al.* (2001), essas são submetidas às mais variadas solicitações físicas, mecânicas e químicas, desde o momento em que são extraídas dos maciços rochosos. Estas surgem a partir da etapa de lavra (extração), no decorrer do beneficiamento primário (serragem) e final (resinagem, polimento e corte) até a aplicação final nas obras e, posteriormente, ao longo do uso. Por isso haverá necessidade de aplicar testes tecnológicos que avaliem sua resistência. As solicitações são causadas pelo impacto com outros corpos, pelo desgaste e atrito provocados pelo uso, pelas ações intempéricas (ventos, chuvas e sol), pelo ataque químico gerado por produtos de limpeza e outros líquidos corrosivos e, até mesmo, pela poluição ambiental. A Tabela 2 lista os vários ensaios de caracterização química, física e mecânica regidos pela normativa brasileira.

Tabela 2 – Ensaio de caracterização das rochas ornamentais regidos pela ABNT

Ensaio	Norma
Análise petrográfica	NBR 15.845-1/2015
Densidade, massa e absorção de água	NBR 15.845-2/2015
Dilatação térmica linear	NBR 15.845-3/2015
Congelamento e degelo	NBR 15.845-4/2015
Compressão uniaxial	NBR 15.845-5/2015
Flexão em 3 pontos	NBR 15.845-6/2015
Flexão em 4 pontos	NBR 15.845-7/2015
Impacto de corpo duro	NBR 15.845-8/2015
Desgaste por abrasão Amsler	NBR 12.042/2012

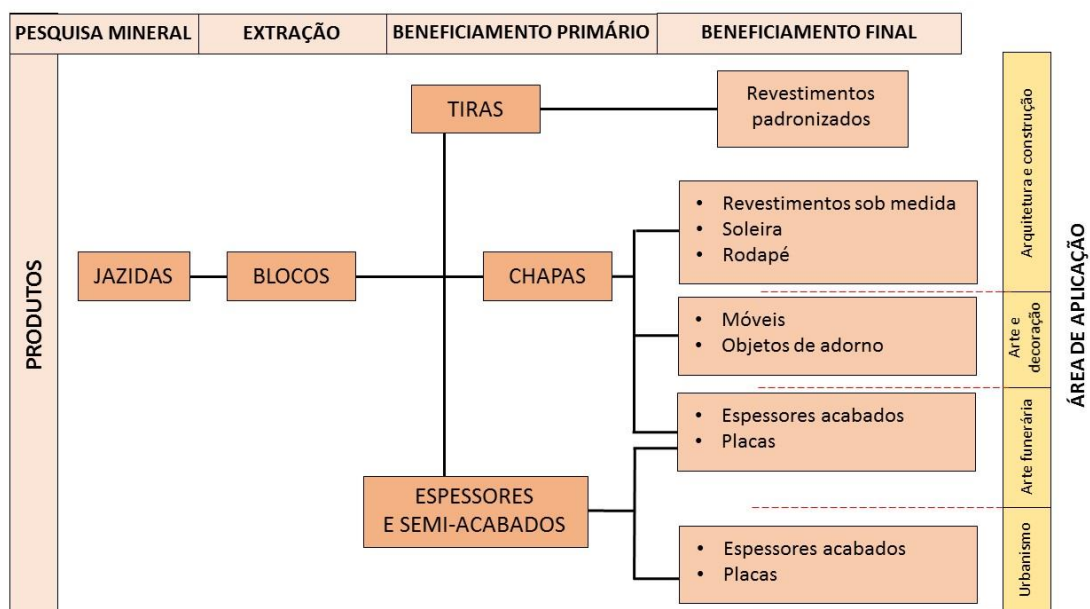
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Cabe destacar que, além destes ensaios, a normativa americana ASTM D 2.845/2008 trata do ensaio de propagação de ondas ultrassônicas, o qual pode ser utilizado para detectar a presença de descontinuidades nas rochas; e a normativa

europeia EN 14231:2003 trata da resistência ao escorregamento, a qual, de acordo com Valdo e Castro (2016), está relacionada à segurança e à locomoção do indivíduo.

As aplicações das rochas ornamentais podem ser consideradas abrangentes pela infinidade de usos e utilizações, principalmente pela combinação de suas qualidades estruturais e estéticas, mas podem ser reunidas em quatro grupos: arquitetura e construção, construção e revestimento de elementos urbanos, arte funerária e arte e decoração. O ciclo produtivo desses produtos finais tem quatro etapas bem definidas: pesquisa mineral, extração, beneficiamento e acabamento, conforme esboçado na Figura 65 (Peiter *et al* – 2001).

Figura 65 - Fluxograma esquemático do setor, com os principais produtos dos segmentos do ciclo de produção de rochas ornamentais e de revestimentos.



Fonte: Adaptado de Peiter *et al*, 2001.

3.3 Intemperismo e alterabilidade das rochas – implicações na durabilidade de materiais rochosos

Ao longo da história da humanidade, filósofos e físicos estudaram e dissertaram sobre o funcionamento do universo. De maneira geral, esses estudos trataram da natureza como um conjunto de elementos relacionáveis entre si que tenderiam a

manter um estado de ordem e equilíbrio. As rochas, independentemente de sua gênese, fazem parte desse sistema de equilíbrio. As ígneas, por exemplo, quando submetidas a condições de temperatura e pressão diferentes daquelas que as originaram, modificam-se até formarem as chamadas rochas metamórficas. Já as sedimentares derivam da decomposição de outras rochas e/ou matéria orgânica, ou até mesmo da recristalização de minerais de calcita ou dolomita. Quando as rochas afloram e entram em contato com a atmosfera e demais agentes intempéricos, submetem-se, mais uma vez, ao desequilíbrio, tendo de se adaptar. Sendo assim, Aires-Barros (1991, p.13) define que “a alteração de uma rocha é a sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutro produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente”.

De acordo com o referido autor, quando esta alteração ocorre em uma escala de tempo humana, denomina-se alterabilidade. No campo da arquitetura, o entendimento acerca dos agentes da alterabilidade contribuem para uma maior durabilidade do material pétreo, preservando ao máximo suas feições estéticas.

Na norma ASTM C 119/2001, durabilidade é definida como a medida da capacidade da rocha ornamental de sustentar e manter as características essenciais e distintivas de estabilidade, resistência à degradação e a aparência. A durabilidade é baseada no período de tempo em que a rocha, em uso, pode manter suas características inatas. Este tempo dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão. (FRASCÁ, 2003, p.45)

Aires-Barros (1991) explica que a alteração pode ser provocada por fatores intrínsecos da rocha (composição mineralógica, textura e granulometria, porosidade, densidade, absorção de água, coeficiente de dilatação térmica, entre outros); fatores extrínsecos, os quais dizem respeito à ação do meio ambiente; fatores impostos, como a forma, orientação geográfica e o lavrado da superfície; e fatores antropológicos. É importante destacar que, quanto aos fatores impostos, apesar de o referido autor tratar da geometria dos monumentos históricos, este condicionante ainda sim é bastante relevante na arquitetura, visto que a uma mesma rocha pode-se aplicar diversos tipos de tratamento superficial (polido, flameado, apicoado, entre outros), bem como podem ser empregadas placas e ladrilhos dos mais diversos tamanhos.

O autor supracitado explica, ainda, que ao conjunto de alterações de uma rocha dá-se o nome de intemperismo ou meteorização, o qual é controlado principalmente

por fatores climáticos (temperatura, umidade relativa do ar, ocorrência de chuvas, entre outros). Estes agentes, aliados às propriedades da rocha (composição mineralógica, índices físicos e resistências mecânicas) poderão modificar suas propriedades físicas – intemperismo físico, e suas propriedades químicas – intemperismo químico. Quando há a ação do homem ou de matéria orgânica, fala-se em intemperismo biológico, podendo este ser tanto da ordem física, como química.

Cabe destacar que, devido à inclinação do globo terrestre, os raios solares incidem sob a superfície em intensidades diferentes, dependendo da posição geográfica (latitude). Sendo assim, um mesmo tipo de rocha pode se comportar de maneira diferente quando aplicada em áreas distintas. Em climas como o desértico, por exemplo, a variação de temperatura do dia para a noite expõe a rocha a uma constante dilatação e retração, podendo ocasionar desde micro fissuramentos até grandes fraturas (expansão térmica). Já em regiões frias e temperadas, o processo de gelo/degelo é responsável pelo preenchimento dos poros e fissuras pela água com posterior congelamento e consequente expansão dos cristais de água no interior da rocha. Além disso, a ocorrência de ventos, percolação da água, impacto de sedimentos e outros agentes erosivos podem causar o chamado alívio de pressão, o qual consiste na perda de parte do peso da rocha e sua consequente expansão e fraturamento.

Por outro lado, em climas como o equatorial, quente e úmido, com temperaturas médias constantes e alto índice pluviométrico, as rochas mais porosas podem apresentar degradação química como oxidação, hidratação e/ou dissolução dos minerais. O intemperismo químico depende principalmente da presença de água, uma vez que esta é considerada solvente universal. Na dissolução, como o próprio nome sugere, parte dos minerais das rochas são dissolvidos, implicando na perda de massa e alteração das propriedades físicas.

A hidratação, semelhante ao processo de gelo/degelo, consiste na expansão do mineral devido à adição de moléculas de água na sua estrutura. A anidrita, por exemplo, quando combinada com a água transforma-se em gipsita ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Já na oxidação, o oxigênio presente na atmosfera dissolve-se na água reagindo com os minerais, principalmente aqueles que contêm ferro e magnésio em sua composição. Sem a presença da água, a oxidação é pouco

recorrente. Sendo assim, climas mais úmidos contribuem para a presença de manchas de oxidação nas rochas.

O intemperismo, desta forma, é um ajuste, ou reajuste de minerais e rochas às condições reinantes na superfície terrestre. A presença de oxigênio leva à oxidação, e a de umidade, à hidratação ou à solução. O reajuste pode ocasionar a expansão do retículo cristalino. (FRASCÁ, 2003, p.25)

Minimizando, portanto, os fatores externos, a rocha terá de se adaptar menos e sofrerá uma menor alteração. No entanto, conforme citado anteriormente, os fatores antrópicos também são causadores da alterabilidade das rochas. Os produtos de limpeza utilizados para a manutenção das rochas ornamentais, por exemplo, em função da sua composição química, são capazes de alterar o material pétreo, comprometendo tanto o seu desempenho mecânico como sua feição estética.

A deterioração envolve mudanças físicas e químicas da superfície do material, ou da camada superficial onde materiais porosos são incluídos. Isto resulta em numerosos efeitos visíveis e invisíveis, como descoloração, formação de crostas e manchas ferruginosas, escurecimento superficial e produção de cavidades, descamação superficial, buracos e fragmentação. Também resultam em custos financeiros ligados à necessidade de reparação dos danos, limpeza e restauração. (FRASCÁ, 2003, p.21)

Siegesmund e Török (2011) ressaltam que a escolha do material correto representa um grande desafio, principalmente quando, do ponto de vista da arquitetura, seus atributos estéticos tornam-se importantes. Sendo assim, é de suma importância realizar ou tomar conhecimento de ensaios de alteração acelerada para analisar se as condições e ambiente de aplicação da rocha serão adequados para garantir o seu desempenho. Becerra & Costa (2007) explicam que estes ensaios são bastante representativos, uma vez que simulam os principais agentes físicos e químicos que ocasionam a deterioração em rochas com aplicação ornamental, entre eles a ação de substâncias domésticas. De acordo com Viles (1997 apud FRASCÁ, 2003), é importante reconhecer que a deterioração também é um fenômeno natural – em uma escala geológica - e, portanto, um “problema” não inteiramente induzido pela atividade humana e que possa ser inteiramente “resolvido”.

3.3.1 Brilho e cor das rochas ornamentais

No que diz respeito às deteriorações que comprometem o padrão estético das rochas ornamentais, pode-se citar como as mais importantes a perda de brilho e a modificação da cor, provocadas principalmente pela abrasão da rocha, impacto e névoas arenosas. Em suma, tanto o brilho como a cor são consequências da incidência da luz sobre as mais diversas superfícies. Segundo Santos, (2012 apud SILVA, 2014), o brilho das rochas é o resultado dos fenômenos de refração e reflexão da luz nas faces dos cristais, nos planos de clivagem e nas fraturas. Quanto maior for a intensidade da luz incidente no mineral, mais evidente será a observação do seu brilho. Conforme explica o referido autor, “o poder de reflexão dos minerais está diretamente relacionado ao índice de refração do mineral”. Já a cor, de acordo com Guimarães (2004, apud BERTOLINI, 2010, p.20),

É definida por três características: a matiz ou tonalidade, o brilho ou luminosidade e a saturação ou croma. A matiz é a cor definida pelo comprimento de onda. O brilho é a luminosidade da cor, referente à proximidade do branco ou preto. A croma é definida como sendo o grau de pureza da cor.

Sendo assim, “o brilho descreve a quantidade de luz, enquanto a cor e a saturação descrevem a qualidade da luz” (LEÃO, 2005 apud SILVA, 2014, p.39). Conforme explica Naccache (2006), a luz age de forma vital sobre todas as ações do homem, permitindo a percepção das cores através da sensibilização dos componentes dos olhos. Quando examinamos a superfície (acabamento) de um material, a atenção concentra-se na cor, textura, brilho, grau de transparência e outras características similares. Esta atitude pode perfeitamente demonstrar como a análise humana é baseada na forma como os olhos percebem a interação do material com a luz.

Diversos autores como Bertolini (2010), Heller (2013) e Bastos, Perez e Farina (2015), ao estudarem a influência da cor na comunicação apontam que o sucesso ou o fracasso de um novo produto é principalmente influenciado pela impressão visual que as pessoas têm dele. Por esse motivo, a especificação e reprodução da cor exata se fazem necessárias. De forma semelhante ocorre na arquitetura, uma vez que a rocha ornamental constitui não somente um produto de revestimento, mas também um elemento funcional e compositivo.

A utilização de cores na arquitetura possui consequências que podem interferir nos usuários, causando alterações na sua percepção. Por exemplo: o uso de cores claras tende a fazer com que os espaços

pareçam maiores e, as cores escuras, com que pareçam menores (FONSECA e PORTO, 2005, p.26)

Devido à diversidade de minerais que constituem as rochas, estas estão disponíveis no mercado com as mais diversas tonalidades. Em geral, as rochas ornamentais escuras (preto e cinza escuro) e coloridas (vermelho, azul e verde) são empregadas em detalhes decorativos, fachadas e/ou bancadas. Já as rochas de tonalidade mais claras (branca, cinza claro e creme) são amplamente utilizadas em pisos, principalmente pelo fato de não interferirem na composição dos ambientes.

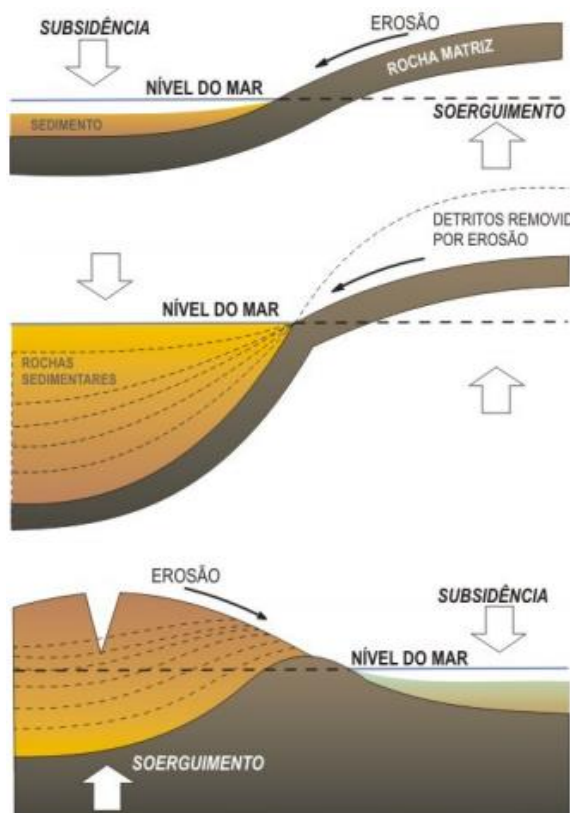
A perda de brilho em pisos está intimamente relacionada à resistência que a rocha possui ao desgaste e ao ambiente no qual foi aplicada. Em construções como *shoppings centers*, aeroportos, mercados e hospitais, onde o tráfego de pessoas é intenso, as rochas podem apresentar perda de brilho mais rápida do que em uma residência. Além disso, a alteração provocada pela aplicação de produtos abrasivos de limpeza compromete o brilho, podendo acarretar no aparecimento de manchas no material, alterando sua cor original. Por isso, é necessário o conhecimento acerca das propriedades da rocha.

3.4 Rochas sedimentares

De acordo com a gênese, as rochas podem ser classificadas em ígneas ou magmáticas, metamórficas e sedimentares. Esta última, como o nome sugere, são formadas pela desagregação de outras rochas a partir da erosão, transporte e deposição dos sedimentos.

Suguio (2012, p.3) define como sedimentologia “o estudo dos depósitos sedimentares e suas origens”. Para o autor, a formação das rochas sedimentares possui como princípio básico a erosão de uma formação rochosa qualquer, soerguida pelo tectonismo, cujos sedimentos são carregados para uma área de depressão a qual irá formar a bacia sedimentar. Em seguida, as rochas sedimentares consolidadas também sofrerão soerguimento, iniciando um novo ciclo. A Figura 66 retrata esse processo básico de formação.

Figura 66 – Ciclo de formação das rochas sedimentares



Fonte: Suguio, 2012.

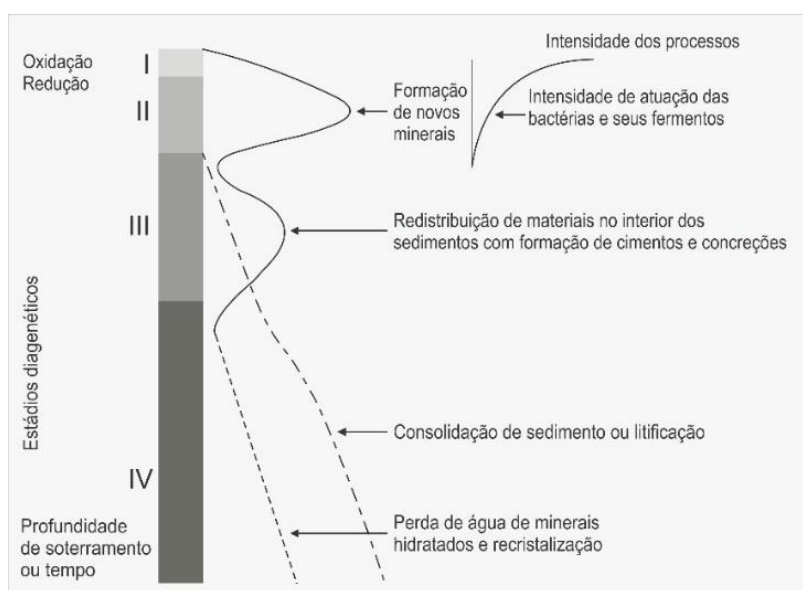
Quaisquer que sejam as naturezas das rochas matrizes que vão formar os detritos (magmáticas, sedimentares ou metamórficos), elas passam inicialmente por processos de intemperismo em ambientes subaéreo ou subaquático que produz a desintegração (ação física) e/ou decomposição (ação química), seguidas por erosão dos materiais. Os detritos originados sofrem transporte por ação de vento, água ou gelo, sendo em seguida sedimentados e litificados (SUGUIO, 2012, p.5).

Conforme citado anteriormente, o intemperismo é o conjunto de processos naturais que causa a alteração das rochas (OLLIER, 1975). As condições climáticas e o relevo contribuem, portanto, para a atuação de agentes erosivos, os quais também proporcionam o transporte dos sedimentos. Tucker (1991) destaca como principais tipos de erosão a pluvial, quando o principal agente for a água da chuva; erosão fluvial, que diz respeito às águas de um rio; erosão marinha; erosão eólica, dada pela ação dos ventos, e erosão glacial. É importante salientar que, “analogamente aos processos de intemperismo, na erosão também podem ser admitidos processos físicos, químicos e biológicos” (SUGUIO, 2012, p.25). Nas rochas formadas em ambientes subaquáticos, por exemplo, há uma série de reações químicas, físicas e orgânicas que contribuem para a sedimentação. É o caso da recristalização de minerais a partir da dissolução pela água e posterior precipitação provocada pela

mudança de temperatura e pressão, carregando consigo algas, corais e esqueletos de animais.

Após a erosão, transporte e deposição dos sedimentos, inicia-se o processo denominado litificação ou diagênese, o qual compreende as modificações sofridas pelos sedimentos até a formação da rocha definitiva (TUCKER, 1991). A Figura 67 representa os estágios diagenéticos e as intensidades relativas dos processos envolvidos.

Figura 67 – Estágios de litificação das rochas sedimentares



Fonte: Suguio, 2012

Os estágios I e II, de acordo com Suguio (2012), correspondem aos processos de autigênese (formação de novos minerais) e cimentação, os quais iniciam a partir da sobrecarga dos sedimentos, responsável pela redução de óxidos férricos, expulsão de água dos detritos e dissolução dos minerais da rocha-matriz. Os cimentos formados podem ser carbonáticos, quando formados principalmente por calcitas, dolomita, aragonita e siderita; silicosos, quando predominarem o quartzo microcristalino, opala e calcedônia; sulfáticos, compostos por anidrita e gipsita; e cimentos de óxidos e sulfetos de ferro.

As questões ligadas a esse fenômeno possuem intimas relações com as variações de temperatura e pressão, bem como os volumes e composições químicas dos flúidos intersticiais, além de modificações nos valores de permoporosidade (propriedades petrofísicas). Em geral, são processos que ocorrem nas proximidades da superfície terrestre, sendo caracterizados por condições de temperatura relativamente baixas. (SUGUIO, 2012, p.43)

Cabe destacar que tais temperaturas referidas pelo autor não ultrapassam 300°C.

O estágio III, por sua vez, corresponde à compactação – diminuição de volume de um sedimento em razão da compressão – e à desidratação dos detritos, com consequente rearranjo das partículas. Por fim, no estágio IV atuam os processos de consolidação da rocha, nos quais podem ocorrer reprecipitação de alguns minerais – processo denominado diferenciação diagenética; dissolução de minerais pesados e lixiviação de carbonatos e silicatos (dissolução diferencial); recristalização, redução e substituição metassomática, quando a rocha entra em contato com minerais de origem externa e composição química diferente. É o caso dos calcários que viram dolomitos, por exemplo.

As propriedades texturais das rochas sedimentares (tamanho, forma e arranjo espacial dos grãos) revelam bastante sobre o ambiente e o processo de formação.

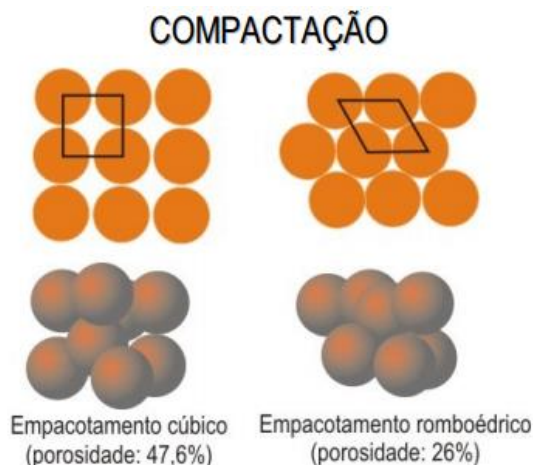
Os seixos estriados são mais frequentes em materiais mais moles e atribuídos à ação glacial, formados por atrito contra as paredes e o substrato da geleira [...]. Os seixos e matacões de desertos podem mostrar uma superfície brilhante devida ao verniz do deserto (SUGUIO, 2012, p.69).

Além da forma e tamanho, a ordenação espacial pode apontar uma orientação preferencial da rocha. “A natureza do meio de transporte, o tipo (ou regime) de fluxo, o sentido e a velocidade das correntes são as principais variáveis que controlam a existência ou não de orientação preferencial nas partículas sedimentares” (SUGUIO, 2012, p.70). O autor cita como exemplo os restos orgânicos como as conchas, que apontam sua extremidade mais fina para o sentido contra a corrente.

Cabe destacar que as rochas sedimentares são conhecidas por sua porosidade elevada, quando comparadas às rochas ígneas ou metamórficas. Autores como Beard & Weyl (1973) e Pettijohn & Potter (1975), estabelecem uma relação inversamente proporcional entre a porosidade e a granulometria, forma dos grãos e arranjo espacial das partículas. Sendo assim, quanto maior o grão, menor a porosidade. Fatores como a compactação, de acordo com Pryor (1973), também influenciam nesta propriedade. Quanto maior a profundidade de soterramento, o peso dos sedimentos superpostos aproxima os grãos, diminuindo a quantidade de poros. A Figura 68 mostra dois exemplos de partículas compactadas, sendo a primeira de arranjo espacial cúbico e a

segunda romboédrico. Nota-se, portanto, como o arranjo influencia no aparecimento de espaços vazios.

Figura 68 - Empacotamento das partículas de acordo com o arranjo espacial



Fonte: ftp://ftp.iag.usp.br/private/geo/agg209/Arquivo_08_Porosidade.pdf (Acessado em 05/10/2016)

Outro fator interessante a ser levado em consideração é a coloração dos sedimentos, a qual pode revelar parte de sua diagênese, uma vez que variam de acordo com a composição e processos de alteração.

A cor dos sedimentos pode ser primária (original ou singenética) e secundária (ou epigenética). A cor primária é a existente no momento de soterramento dos sedimentos e a secundária resulta de mudanças ocorridas após a sedimentação e mesmo durante o intemperismo (SUGUIO, 2012, p.79).

O referido autor explica que as cores primárias mais frequentes são branco, cinza e preto. O branco está associado a sedimentos sem ferro e/ou manganês ou matéria orgânica; já o cinza e o preto representam a presença de matéria orgânica, na qual estão presentes os compostos de enxofre, além de óxido de manganês. Nas cores secundárias predominam os tons variados de vermelho, amarelo e verde. Os dois primeiros devem-se à presença de hidróxidos de ferro, enquanto o último aos compostos de ferro reduzidos, associados a filossilicatos, além de compostos de cobre.

A cor dos sedimentos pode ser atribuída aos fenômenos secundários, ligados por exemplo a processos intempéricos, quando é definida por minerais secundários. Neste caso, as rochas sofreram oxidação e hidratação, podendo haver introdução ou eliminação de substâncias e, desse modo, as cores observadas podem ser bastante diferentes das originais. (SUGUIO), 2012, p.80)

De acordo com Folk (1968), as rochas sedimentares podem ser classificadas a partir dos componentes que as constituem, podendo ser terrígenos (partículas desprendidas de outras rochas por meio da erosão); aloquímicos (minerais formados pela precipitação de substâncias que foram retransportadas em estado sólido); e ortoquímicos, também formados pela precipitação química, sem evidências de transporte ou agregação. Suguio (2012) divide as rochas sedimentares em dois grandes grupos, rochas alóctones, formadas por componentes terrígenos provenientes de fora da bacia de sedimentação; e rochas autóctones, formadas por componentes aloquímicos ou ortoquímicos. Já Tucker (1991), seleciona quatro principais grupos: sedimentos siliciclásticos (conglomerados, brechas e arenitos), sedimentos orgânicos (calcários, fosfatos e carvões), sedimentos químicos (evaporitos) e sedimentos vulcânicos (ignimbritos e tufos).

As rochas sedimentares autóctones (classificação de Suguio, 2012) ou as rochas de sedimentos orgânicos e sedimentos químicos (classificação de Tucker, 1991) podem ser divididas em dois grandes grupos: as carbonáticas e não carbonáticas. As primeiras, são formadas principalmente por calcita (CaCO_3) e/ou dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e constituem o objeto de estudo deste trabalho.

3.4.1 Rochas carbonáticas detríticas

As rochas sedimentares carbonáticas detríticas, como dito anteriormente, são formadas pela acumulação e litificação de detritos provenientes da própria bacia, e possuem, em sua composição, carbonatos como calcita, dolomita e aragonita. Conforme explica Tucker (1991), são provenientes de processos biogênicos e quimiogênicos, tendo como principal ambiente diagenético o ambiente marinho, o qual pode ser tanto em águas rasas, como em águas profundas. De acordo com o referido autor, os principais fatores que influenciam na deposição dos carbonatos são temperatura, salinidade e profundidade da água, e penetração de minerais siliciclásticos. A maioria dos carbonatos formados a partir do esqueleto de organismos, como os corais formadores de recifes, necessitam de águas quentes e rasas para florescer (menos de 10m), em áreas onde a luz consegue penetrar. Sendo

assim, a maioria dos sedimentos carbonáticos ocorre na faixa tropical e subtropical de baixas latitudes.

Dentre os diversos tipos de rochas carbonáticas detríticas, destaca-se o calcário, também denominado *limestone*, em inglês. Esta terminologia deve-se ao material excretado pelas bactérias presentes nos restos de animais e plantas que compõem a rocha, conhecido como “*lime*” (lama), o qual, por ser rico em monóxido de carbono (CaO), denomina-se cal, em português (SOUZA, 2012).

Os *limestones* são formados em ambientes marinhos de profundidade abaixo dos 350m, conforme destaca Tucker (1991). Assim como as demais rochas carbonáticas, seus componentes deposicionais, segundo Huilca (2014), são a matriz, o arcabouço e o cimento. Terra et al. (2010 apud HUILCA, 2014) explica que a matriz ou micrita, corresponde a pequenas partículas (dimensões menores do que 4µm) as quais preenchem os espaços entre os grãos maiores (arcabouço), consistindo em um material primário na formação da rocha. Já o cimento ou esparita, é um agregado de cristais de carbonato formados principalmente por aragonita, calcita magnesiana, calcita de baixo teor de magnésio ou dolomita com tamanhos maiores do que 4 µm, que precipitam nos espaços vazios existentes entre os grãos dos sedimentos carbonáticos. Tucker (1991) destaca que o tipo de carbonato de cálcio que compõe o cimento depende principalmente da temperatura.

A aragonita é instável a temperaturas e pressões de superfície e, com o tempo, a calcita magnesiana perde as moléculas de magnésio. Assim, todos os sedimentos carbonáticos são convertidos em calcita de baixo teor de magnésio durante a diagenese. Grãos e cimentos originalmente compostos de calcita de baixo teor de magnésio, geralmente são perfeitamente preservados (TUCKER, 1991, p. 108, tradução da autora).

O cimento e a matriz são formados por componentes ortoquímicos. Conforme definição de Folk (1959), o micrito, ou matriz singenética, é proveniente da precipitação das lamas calcárias (*lime muds*), e por isso, possui granulação fina e coloração que varia de cinza claro a cinza escuro sem brilho. Já o esparito é uma calcita cristalina grossa com dimensões entre 0,02 a 0,010mm e limites bem definidos; e ocorre como cimento de preenchimento dos espaços vazios (poros).

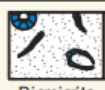
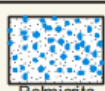
As partículas originadas química ou bioquimicamente no interior da bacia de sedimentação, que sofreram transporte limitado (a curta distância), isto é, no âmbito da própria bacia, são designadas como aloquímicas e podem ser de quatro tipos diferentes: oólitos e pisólitos,

bioclastos (fósseis), intraclastos e pelotas fecais (pellets). (SUGUIO, 2012, p.188)

Os oólitos, conforme explica o autor supracitado, são partículas esferoidais ou elipsoidais com diâmetros microscópicos, formados por calcita ou aragonita. Quando ultrapassam os 2mm, denominam-se pisólitos. São constituídos por um núcleo central em torno do qual estão dispostas as partículas de maneira concêntrica ou radial. Já os bioclastos são esqueletos de conchas, restos de corais, alagas calcárias e outros organismos como os foraminíferos. Os intraclastos, termo utilizado por Folk (1959), são partículas calcárias fragmentadas que foram redepositadas como sedimentos, formando um arcabouço diferente do original. Por fim, as pelotas fecais são partículas de dimensões que variam entre 0,03 a 0,15mm com forma ovoide, esférica ou esferoidal, provenientes de excrementos de invertebrados. São diferenciadas dos oólitos pela ausência das texturas concêntrica e radial ou dos intraclastos pela homogeneidade de tamanho e forma.

Autores como Folk (1959) e Dunham (1962) contribuíram para a classificação dos calcários. Para Folk (1959), o tipo e a origem do grão (oólito, intraclasto, bioclasto, entre outros) constituem o prefixo da nomenclatura da rocha, enquanto a predominância da matriz ou do cimento constitui o sufixo (Figura 69).

Figura 69 - Classificação dos calcários por Folk (1959)

SUBDIVISÃO ESPECTRAL DOS TIPOS DE CALCÁRIOS			
Rochas Aloquímicas			Rochas Ortoquímicas
tipo de grão Aloquímico	Cimento de Calcita Espática I	Matriz de Calcita Microcristalina II	Calcita Microcristalina sem aloquímicos III
Intraclasto	 Intraesparito	 Intramicro	 Micro
Oóides	 Ooesparito	 Oomicro	 Dismicro
Fósseis	 Bioesparito	 Biomicro	Rochas Recifais Autóctones IV  Biolito
Pellets	 Pelesparito	 Pelmicro	



Calcita Microcristalina

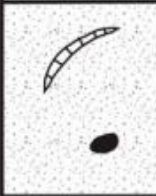
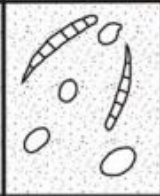


Calcita Espática

Fonte: Huilca, 2014

Já a classificação de Dunham (1962) é baseada na textura deposicional da rocha, levando em consideração o tamanho das partículas e o tipo de suporte, ao invés da origem, como na classificação de Folk (Figura 70).

Figura 70 - Classificação de calcários proposta por Dunham (1962)

TEXTURA DEPOSICIONAL RECONHECÍVEL					TEXTURA DEPOSICIONAL NÃO RECONHECÍVEL
Componentes originais não “ligados” durante a deposição			Componentes originais ligados durante a deposição		
Contém lama (partículas com tamanho argila/silte fino)		Sem lama			
Arcabouço Suportado pela matriz		Arcabouço Suportado pelos grãos			
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Carbonato Cristalino
					

Fonte: Brelaz, 2010, p. 19.

A nomenclatura proposta por Dunham (1962) é definida pela presença ou ausência de grãos. De acordo com o autor, às rochas carbonáticas lamacentas que contenham menos de 10% de grãos, dá-se o nome de *mudstones*. Já rochas suportadas pela matriz, com mais de 10% de grãos, são denominadas *wackstones*. Quando a rocha é suportada pelos grãos e possui uma matriz preenchendo os espaços vazios, tem-se o *packstone*. Se há pouca ou nenhuma matriz, a rocha classifica-se como *grainstone*. As rochas orgânicas resultantes da acumulação de conchas e esqueletos, ou da precipitação química de calcita por atividade orgânica e acumulação de compostos orgânicos vegetais, são denominadas *boundstones*. Neste grupo estão os travertinos. Os calcários cristalinos (*crystalline carbonate*) são rochas originadas por precipitação química, cuja textura deposicional não é reconhecida.

Apesar da classificação proposta por Dunham ser mais empregada nos dias atuais, ambas fornecem informações importantes sobre o processo de formação das rochas, as quais irão contribuir para um melhor entendimento das suas propriedades mecânicas e graus de susceptibilidade.

4 O LIMESTONE SOBRE A ÓTICA DOS ARQUITETOS

Analizando entrevistas concedidas por arquitetos à Revista Rochas de Qualidade entre os anos de 2010 a 2016, sobre o emprego do limestone como rocha ornamental, percebe-se a predominância de temas como textura, limitação do uso, composição da rocha, coloração e custo; os quais foram tomados como palavras-chave para guiar a categorização dos relatos, conforme listado na Tabela 3. Destaca-se que, a fim de preservar a identidade dos arquitetos que cederam as entrevistas, estes foram identificados com a letra “A” e um numeral que representa a ordem da entrevista ao longo das edições.

Tabela 3 – Categorização dos dados levantados na Revista Rochas de Qualidade

Categorias	Opinião de arquitetos sobre o limestone
Textura	A.08 - “específico bastante o limestone porque gosto da textura do material”.
	A.10 - “o clima frio propicia o uso dos limestones, pela sua textura mais aveludada”
	A.13 - “os tons pasteis no piso deixam o ambiente mais aconchegante. O limestone é um material levemente aveludado, que lembra a areia da praia e é de fácil manutenção”.
	A.16 - “um limestone mais uniforme, por exemplo, imprime mais leveza ao espaço e possibilita detalhar melhor os objetos de decoração”.
	A.18 - “o uso dos limestones vem crescendo, em função dos tons suaves dos materiais e do toque aveludado proporcionado pelo acabamento levigado (mais fosco)”.
	A.27 - “a busca por materiais como limestones e silestones vem crescendo muito ultimamente, geralmente pelo fato desses materiais terem uma superfície mais regular, com menos movimento”.
Limitação do uso	A.30 – “Gosto bastante dos limestones e silestones, pois são materiais muito versáteis”
	A.11 - “como específico com frequência o limestone, um material que tem determinadas particularidades, corte mais difícil e preço mais elevado, procuro trabalhar com marmorarias de alto padrão”.
	A.15 - “também gosto muito da textura e padrão do limestone, mas por suas características, esse material tem algumas limitações. É muito poroso e mancha fácil”.
	A.21 - “uso muito o limestone. É nobre e sofisticado. O único inconveniente é que requer maior cuidado na conservação”.
	A.23 - “quando opto por limestone impermeabilizo para evitar problemas de manutenção”.

continua

Categorias	Opinião de arquitetos sobre o limestone
Limitação do uso	A.24 - “os limestones são rochas calcárias que absorvem muitos líquidos e embora sejam bonitos, ficam com aparência gasta e manchada em pouco tempo, se usados em áreas molhadas e de alto tráfego”. A.31 – “O limestone, apesar de incrivelmente bonito, tenho evitado especificar por ser um material pouco resistente e mais poroso”. A.33 – “Não utilizo por ser uma rocha muito porosa e que requer cuidados especiais”.
Composição da rocha	A.09 - “utilizei uma rocha natural sedimentada, composição de calcário e sílica, importada do sudeste asiático: o limestone martelado, na dimensão 60x30cm, que foi especificado na concepção da lareira”. A.17 - “a pedra que reveste o nosso espaço é o limestone, uma rocha calcária que possui pigmentos fósseis”. A.29 – “Acredito que a escolha pelo limestone nacional tenha sido em função da qualidade do material, pouca absorção, quantidade de fósseis marinhos e beleza inigualável” A.34 – “É um material super-resistente e nobre”.
Coloração	A.19 - “usamos com frequência o limestone devido à sua coloração bege, muito característica, inclusive pelos veios bem marcados”. A.20 - “os limestones podem ser aplicados nos mais variados projetos, em função das tonalidades neutras e padronagens mais homogêneas”. A.26 - “os silestones são mais resistentes a água e manchamentos, então utilizo muito para bancadas principalmente de cozinhas. Já os limestones são lindos, com diversas cores e padronagens que se adequam ao estilo dos projetos. Utilizo para pisos e em alguns banheiros”. A.28 - “quando quero cores não encontradas em rochas, opto por limestones ou silestones”. A.35 – “Os limestones e silestones pedem pouca manutenção, contam com cores mais homogêneas e facilitam na composição do ambiente e, consequentemente, na decoração”.
Custo	A.07 - “uso com frequência o limestone apesar de ser um material de custo mais elevado e que requer mais manutenção”. A.14 - “normalmente também especifico o limestone, apesar de ser um material mais caro e que exige mais manutenção”. A.22 - “o limestone é um material que gosto bastante, mas especifico bem menos do que gostaria, em função do alto valor agregado do produto”.
Custo	A.25 - “o silestone, o limestone e o corian, ainda estão muito caros, por esta razão especifico apenas para detalhes”. A.31 – “Quanto ao limestone e silestone, o valor deles é ainda um pouco elevado, não é todo cliente que opta por esses materiais”.

De maneira geral, percebe-se que os comentários a respeito da rocha são bastante genéricos e com termos sem fundamentação tecnológica ou justificativa que remeta a conhecimentos específicos sobre o material. Tal fato é comprovado ao analisar expressões como *“textura aveludada”* ou associações do tipo *“o clima frio propicia o uso dos limestones”*. Foram encontradas também algumas confusões de entendimento sobre a natureza dos limestones, silestones ou quartzones, que justificam a necessidade do esclarecimento sobre a gênese do material. Alguns profissionais os colocaram no “mesmo bojo”, acreditando serem todos materiais naturais ou igualmente industrializados. É o caso de trechos como *“quando quero cores não encontradas em rochas, opto por limestones ou silestones”*. Em algumas reportagens, inclusive, o limestone foi tratado como um composto “mineral”. Conforme dito anteriormente, o limestone é uma rocha natural de origem sedimentar, enquanto os silestones e similares são produtos industrializados compostos.

Cabe salientar que, durante o levantamento, foram encontrados alguns poucos relatos de arquitetos quanto à falta de padronização na nomenclatura das rochas. *“As principais dificuldades do arquiteto ao especificar rochas naturais dizem respeito à falta de nomenclatura única para a rocha”* e também *“a ressalva que fazemos é quanto à nomenclatura dos materiais. É comum termos uma mesma rocha com vários nomes, o que dificulta na hora da especificação”*. Conforme dito anteriormente, no Brasil, as rochas são subdivididas comercialmente em mármore e granitos, não fazendo distinção dos demais litotipos (basalto, gabro, migmatito, limestone, entre outros).

As análises permitem sustentar a afirmação feita por Neves (2013) de que os arquitetos especificam rochas ornamentais como revestimento muito mais por suas feições estéticas. Dos 35 trechos selecionados, os temas mais comuns foram textura e coloração. Em alguns poucos casos foram encontrados relatos mais consistentes sobre a composição e limitação de uso desta rocha, como *“é muito poroso e mancha fácil”* ou *“são rochas calcárias que absorvem muitos líquidos e embora sejam bonitos, ficam com aparência gasta e manchada em pouco tempo, se usados em áreas molhadas e de alto tráfego”*.

Importante destacar que, durante a investigação, foram identificados exemplos de obras já construídas nas quais foram empregadas o limestone, os quais comprovam a demanda atual pelo uso desse material. Alguns, inclusive, são obras a que se referenciam algumas das entrevistas dadas pelos arquitetos.

No Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR), por exemplo, o material foi empregado tanto no piso elevado externo (Figuras 71 e 72) com acabamento flameado e calibrado, como na fachada aerada em diversos tamanhos e acabamento escovado (Figura 73).

Figura 71 – Piso interno do Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR)



Fonte: <https://arcoweb.com.br/finestra/arquitetura/coutinho-diegues-cordeiro-shopping-patio-batel-curitiba>

Figura 72 – Interior do Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR)



Fonte: <https://arcoweb.com.br/finestra/arquitetura/coutinho-diegues-cordeiro-shopping-patio-batel-curitiba>

Figura 73 – Detalhe da fachada do Shopping Pátio Batel (Curitiba/PR)



Fonte: <https://arcoweb.com.br/finestra/arquitetura/coutinho-diegues-cordeiro-shopping-patio-batel-curitiba>

A aplicação de rochas ornamentais em fachada aerada e piso elevado contribui, de maneira geral, para uma menor alterabilidade uma vez que evita o contato da placa com a argamassa, a qual, dependendo da composição, preparação e assentamento, pode provocar o aparecimento de manchas. Na obra em questão, o limestone empregado provavelmente vai ter uma maior vida útil e preservação de seus atributos estéticos nos locais em que foi utilizado como revestimento de fachada, principalmente por não estar sujeito ao desgaste pelo tráfego de pessoas, nem à incidência de chuvas e grandes quantidades de poluentes (percebe-se que há uma proteção de vidro externa). Por se tratar de um shopping center, espera-se que haja um alto tráfego de pessoas, que pode levar à perda de massa e brilho, deixando a rocha mais susceptível à alteração. Além disso, dependendo das dimensões da placa empregada e tendo em vista o sistema de piso elevado, é possível que o limestone sofra ruptura por flexão.

No Resort Campo Bahia, situado em Santa Cruz Cabralia (BA), foi utilizado com superfície apicoada na área da piscina (Figura 74). Também se tem registro do uso de 380m² de limestone em um apartamento cujo projeto é do arquiteto Ricardo Rossi (SP).

Figura 74 – Área da piscina do Resort Campo Bahia (Santa Cruz Cabralia/BA)



Fonte: Elaboração própria, 2016

Ressalta-se que em áreas de piscina, o limestone estará sujeito ao ataque químico do cloro, o qual mostrou-se bastante agressivo mesmo quando presente em pequenas quantidades. Neste caso, provavelmente, as peças poderão apresentar um rápido escurecimento, além da formação de precipitados. Importante lembrar que por ser uma rocha de origem sedimentar com certa quantidade de matéria orgânica, o limestone está susceptível à formação de fungos e bactérias, principalmente em áreas molhadas. O ataque químico, portanto, pode facilitar essa formação através do desgaste do polimento da rocha e da acentuação de possíveis fissuras existentes.

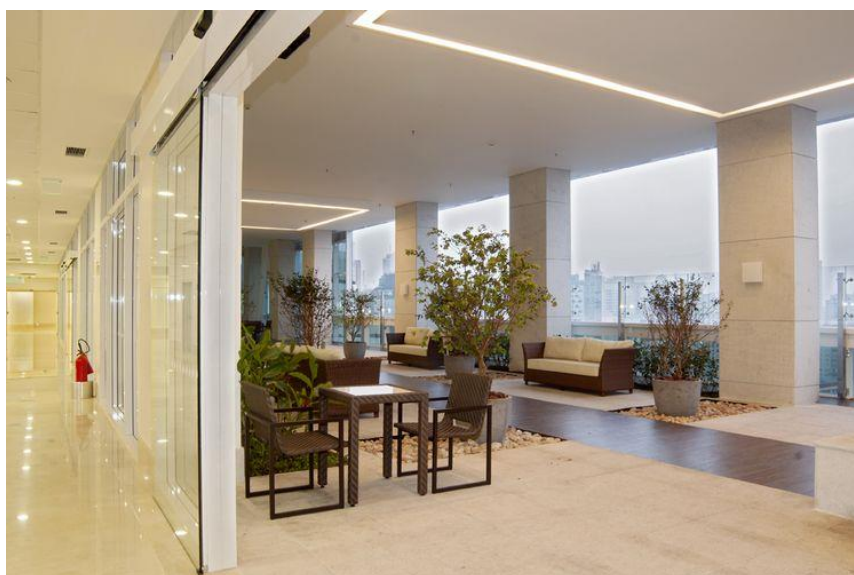
Outra obra que merece destaque é a ampliação do Hospital Sírio Libanês (São Paulo/SP) assinada pelo estúdio de arquitetura L+M Gets. Foram construídas duas novas torres para o hospital, as quais são interligadas com o edifício existente através de passarelas. De acordo com reportagem feita pela Revista Rochas de Qualidade (2016), no projeto de interiores foram especificadas três rochas, sendo uma delas o limestone Caliza Capri com acabamento polido (Figura 75 e 76). A rocha foi aplicada tanto no piso como no revestimento de paredes e pilares dos pavimentos térreo, 1º e 13º.

Figura 75 – Interior do Hospital Sírio Libanês (São Paulo/SP)



Fonte: Revista Rochas de Qualidade (2016)

Figura 76 – Sala de espera do Hospital Sírio Libanês (São Paulo/SP)



Fonte: <http://Imgets.com.br/br/i/clientes/hospital-sirio-libanes.html>

Da mesma forma que o Shopping Pátio Batel, o limestone empregado no piso do Hospital Sírio Libanês está sujeito ao desgaste, principalmente porque no local transitam pessoas e equipamentos como cadeira de rodas e macas. Conforme visto nos resultados da resistência ao desgaste abrasivo, o limestone apresenta uma rápida perda de espessura com remoção total do polimento. Assim como o citado ataque químico, essa remoção pode contribuir para a formação de colônias e bactérias que, além de causarem danos à rocha, são indesejáveis em ambientes hospitalares.

Das obras levantadas, foram visitadas três. A primeira se trata do Centro de Pesquisa Tecnológica Richard J. & Maureen E. Egan (Ilha do Fundão/RJ), cujo revestimento da fachada é composto pelo limestone em combinação com painéis de alumínio (Figura 77 e 78). Em entrevista realizada pela Revista Rochas de Qualidade, o arquiteto responsável pelo projeto afirmou que o material atendeu aos requisitos estéticos e de durabilidade necessários para a Certificação LEED Gold.

Figura 77 - Fachada do Centro de Pesquisa Tecnológica



Fonte: Barbosa e Neves, 2016

Figura 78 – Detalhe do Centro de Pesquisa Tecnológica



Fonte: Barbosa e Neves, 2016

Destaca-se que a Certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) visa incentivar a sustentabilidade das edificações através da diminuição dos custos operacionais e dos riscos regulatórios, do uso racional e redução da extração dos recursos naturais e do uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental, além de outros aspectos. Percebe-se, em muitos depoimentos, que os arquitetos associam o uso do material natural à certificação. Faz-se uma ressalva, porém, de que, segundo Figueiredo (2014), a atividade de mineração é uma das que mais gera impacto ambiental. Existem inclusive jazidas de rochas onde apenas 10% do material extraído é comercialmente aproveitado, gerando uma grande quantidade de rejeitos que são descartados próximos à pedreira. A especificação de rochas ornamentais feita com base nos conhecimentos de suas propriedades contribui para um uso mais consciente, desperdiçando menos material. Afinal, deve-se lembrar que o comprometimento das feições estéticas e a diminuição da vida útil do material geram custos elevados de manutenção incluindo a substituição das peças danificadas.

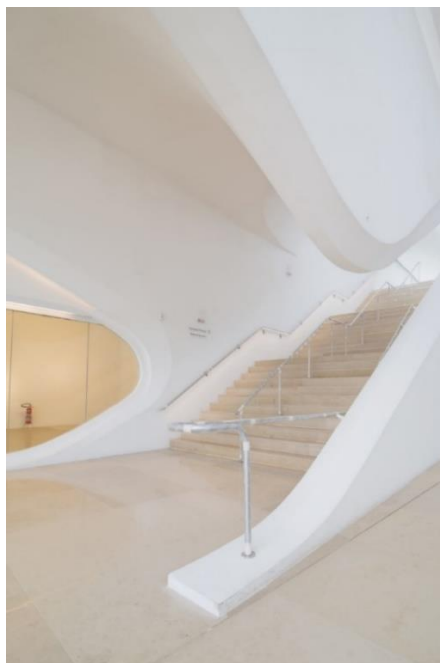
A segunda obra visitada foi o Museu do Amanhã (Rio de Janeiro/RJ) – o mais recente ícone da Arquitetura. Encontra-se limestone empregado em cerca de 13.000m² de piso interno, possibilitando a observação das nuances de cor do material (Figura 79 e 80). Cabe destacar, inclusive, que o limestone utilizado no Museu do Amanhã foi o Crema Paraná, objeto de estudo deste trabalho.

Figura 79 – Fachada do Museu do Amanhã (Rio de Janeiro/RJ)



Fonte: Barbosa e Neves, 2016

Figura 80 – Piso interno do Museu do Amanhã (Rio de Janeiro/RJ)



Fonte: Neves, 2016

Percebe-se, a olho nu, a presença de fósseis e cavidades naturais em algumas peças do material (Figura 81 e 82), provavelmente preenchidas por recristalizações da calcita ou até mesmo por retoques de resinas, pratica bastante comum nas marmorarias. Cabe destacar inclusive que a presença de fósseis foi ressaltada, na entrevista concedida à Revista Rochas de Qualidade, como um elemento que agrega beleza ao material. *“Acredito que a escolha pelo limestone nacional tenha sido em função da qualidade do material, pouca absorção, quantidade de fósseis marinhos e beleza inigualável”.*

Figura 81 – Detalhes do limestone empregado no Museu do Amanhã



Fonte: Neves, 2016

Figura 82 – Fósseis identificados em peças do limestone no Museu do Amanhã

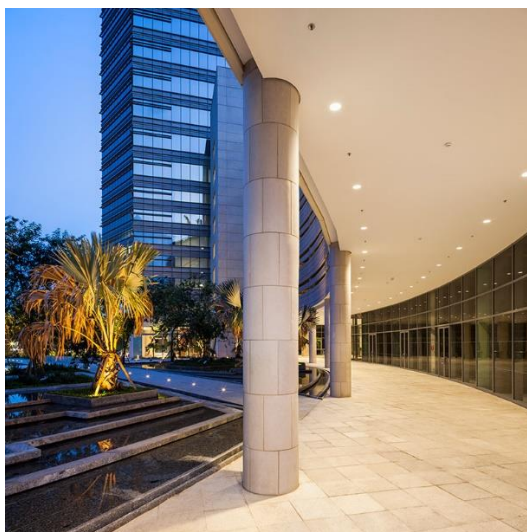


Fonte: Barbosa e Neves, 2016

Percebe-se como o desconhecimento acerca das propriedades químicas, físicas e mecânicas das rochas leva ao uso indevido. Os testes realizados, ao contrário do depoimento registrado, mostram que o Crema Paraná é uma rocha porosa, ainda que esteja enquadrada dentro dos requisitos exigidos pela ASTM C568, e pouco resistente ao desgaste por abrasão. Como dito, não é recomendada para áreas de alta circulação.

Por fim, foi analisada a “Torre Z”, projeto do escritório Pontual Arquitetura (RJ) e escritório técnico Júlio Neves, cujos pilares cilíndricos são revestidos com peças de limestone moldadas artesanalmente (Figuras 83 e 84). As pedras foram fixadas por *inserts* metálicos alcançando um pé direito de 12 a 18m de altura e diâmetros que variam de 1,20m a 1,80m.

Figura 83 – Piso e pilares da Torre Z (Rio de Janeiro/RJ)



Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1634203&page=12>

Figura 84 – Detalhe das placas de limestone que revestem os pilares da Torre Z



Fonte: Acervo particular, 2016

Por ser aplicado em pilares internos através de inserts metálicos, o limestone utilizado no projeto da Torre Z provavelmente terá suas feições estéticas preservadas e, conseqüentemente, sua durabilidade estendida.

Apesar de não terem sido observados manchas nas obras visitadas, encontraram-se algumas trincas em paredes e pisos, as quais podem ter sido ocasionadas por fraturamentos pré-existentes ou impactos no piso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise petrográfica e difração de raios-x

Tabela 4 - Análise petrográfica dos limestones Crema Paraná e Crema Brasil

Nome comercial	Descrição petrográfica
Limestone Crema Paraná 	Rocha sedimentar aloquímica de coloração creme clara, com matriz calcítica microcristalina composta por oólitos, pallets e microfósseis. Textura micrítica de fina a muito fina ($\leq 0,025\text{mm}$), pouco laminada e pouco anisotrópica, com granulometria muito próxima à fração argilosa. Há ocorrência de cristais de dolomita, os quais são identificados a partir da cintilância, bem como minerais escuros de estrutura hexagonal.
Limestone Crema Brasil 	Rocha sedimentar aloquímica de coloração creme amarelada, com matriz calcítica microcristalina composta por biomicritos, microfósseis e foraminíferos. Textura micrítica muito fina submilimétrica e inequigranular. Há presença de recristais de calcita, manchas de oxidação e minerais escuros pontuais.

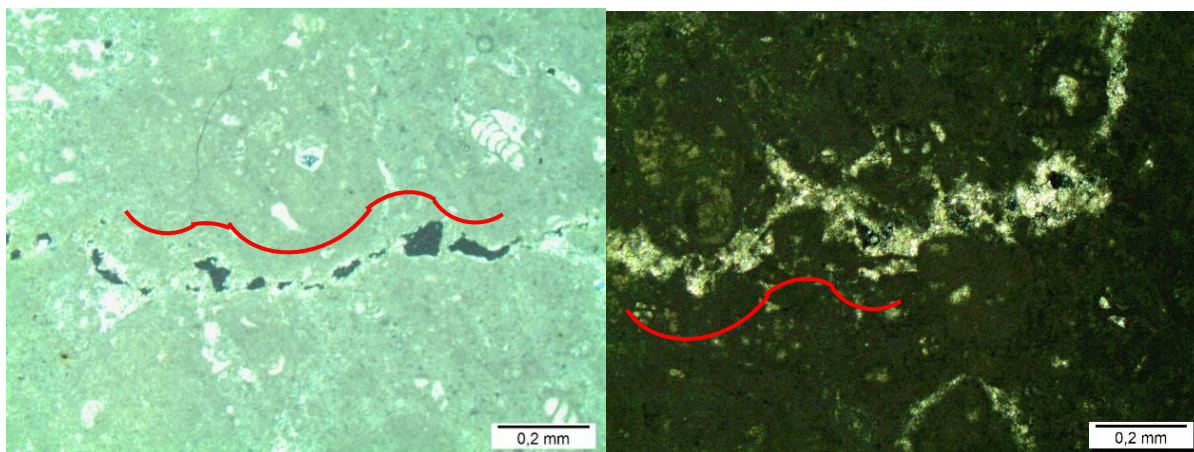
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Para esta pesquisa, foram analisadas duas lâminas delgadas de cada um dos limestones, obedecendo as exigências da NBR 15.845-1 (ABNT, 2015).

A partir da análise da Lâmina 1 do limestone Crema Paraná foi possível identificar características do seu processo de formação. A Figura 85 retrata a presença de campos sigmoides nos cristais, indicando que a rocha manteve sua forma dúctil no processo de recristalização, sem sofrer ruptura. Trata-se, portanto, de um material pétreo com poucas microfissuras. Além disso, conforme indica a Figura 86, foram encontrados alguns traços no corpo da rocha que podem indicar a presença de argilas, bem como uma pequena orientação do material, indicada por minerais de recristalização que chegam a 1mm de comprimento. Cabe destacar a presença de minerais escuros de forma trigonal, os quais provavelmente correspondem ao mineral siderita. No entanto, devido à granulometria extremamente fina do mineral e a sua

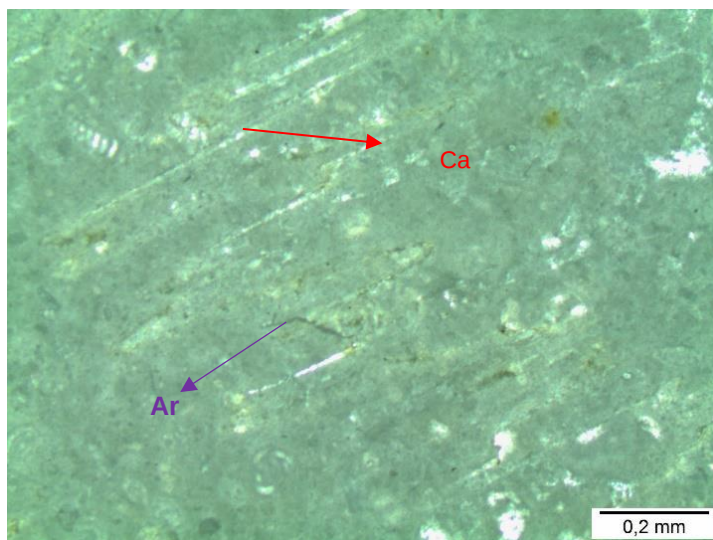
pouca incidência, não foi possível obter sua identificação a partir da lâmina petrográfica.

Figura 85 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: campos sigmoidais identificados (lâmina 1)



Fonte: Acervo particular, 2016

Figura 86 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: traços de argila e cristais de calcita (lâmina 1)

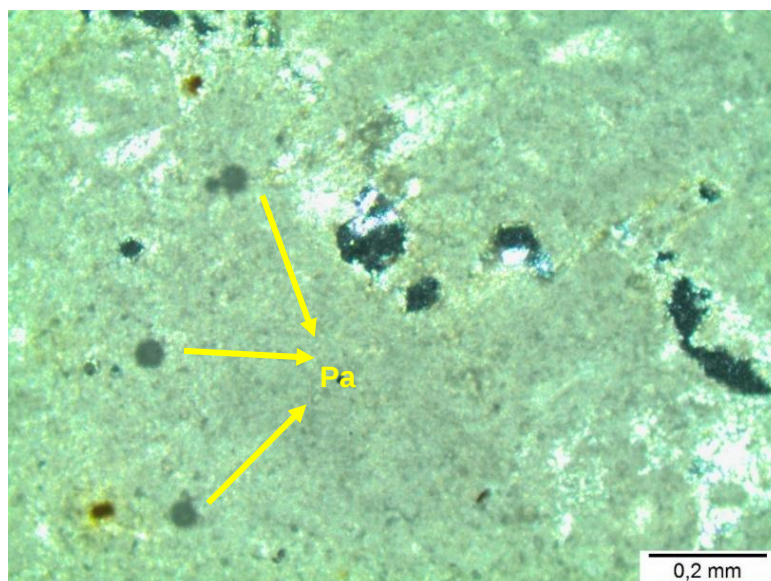


Fonte: Acervo particular, 2016

Legenda: Ca – calcita; Ar - argila

Ainda na lâmina 1, observaram-se pontos de coloração acinzentada sem forma cristalina, os quais correspondem a um tipo de grão aloquímico denominado *pallet* (Figura 87), formado a partir de pelotas fecais. Percebe-se também a variação de nitidez do relevo de alguns cristais, propriedade chamada de cintilância, característica da dolomita (Figura 88).

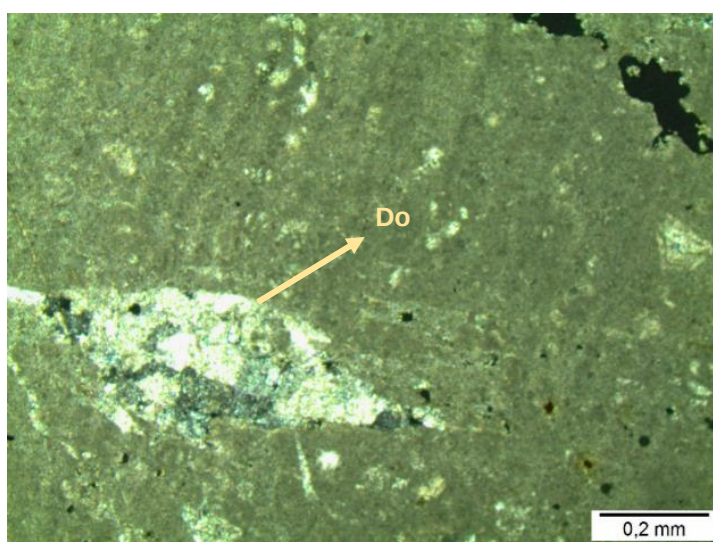
Figura 87 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: pallets identificados (lâmina 1)



Fonte: Acervo particular, 2016

Legenda: Pa - pallets

Figura 88 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: cristal de dolomita (lâmina 1)



Fonte: Acervo particular, 2016

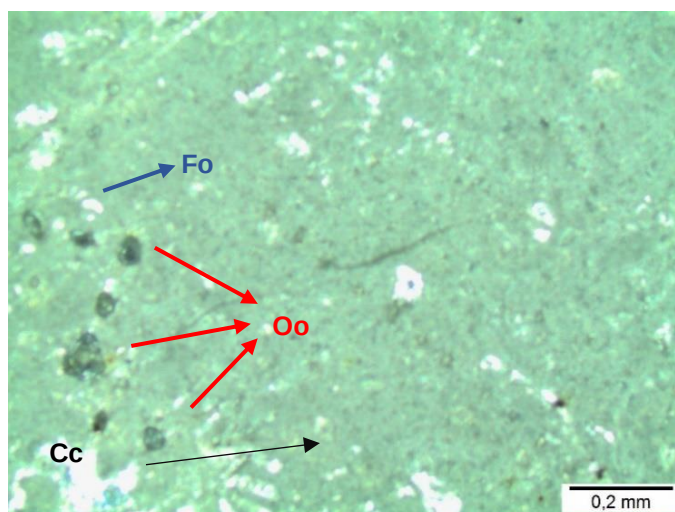
Legenda: Do - dolomita

As análises da lâmina 2 do limestone Crema Paraná foram essenciais para traçar as características da textura do material. Inicialmente, na porção central da lâmina, identifica-se 3 tipos de minerais: coloridos (amarelados e azulados), incolores e granulares pretos. O de maior incidência foi o mineral incolor (argila carbonática), o qual compõe cerca de 90% da parte analisada e possui tamanho menor ou igual a

0,025mm. Pela sua granulometria, é possível afirmar que os minerais incolores definem a matriz do limestone, a qual é muito próxima da fração argilosa. Trata-se, portanto, de uma rocha de baixa cristalinidade. Os minerais coloridos (cristais de carbonato recristalizados) compõem de 6 a 7% da rocha, com granulometria menor ou igual a 0,125mm, já o mineral granular possui menor ocorrência (3% da composição da rocha) e coloração avermelhada quando analisado na luz paralela; entretanto, sob luz polarizada a coloração passa a ser preta. Isso indica que é um mineral opaco, característica dos minerais ferrosos.

A Figura 89 indica a presença de oólitos e foraminíferos na rocha.

Figura 89 - Análise petrográfica do limestone Crema Paraná: oólitos e foraminíferos identificados (lâmina 2)

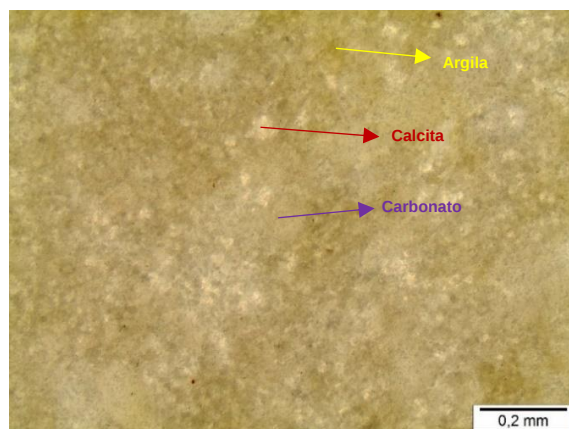


Fonte: Acervo particular, 2016

Legenda: Oo – oólitos; Fo – foraminíferos; Cc – cristais de calcita recristalizados

Em se tratando do limestone Crema Brasil, a análise da lâmina 1 contribuiu para a descrição textural da rocha. Em sua porção central, foi identificada uma matriz mais fina do que a do Crema Paraná (Figura 90), indicando uma formação rochosa em temperaturas mais baixas, da ordem de 200°C. Observou-se 3 tipos de materiais: um mais escuro (0,015 a 0,020mm), o qual corresponde à argila, um mais acinzentado, indicando carbonato (0,050mm) e um mais branco, característico dos recristais de calcita. Interessante destacar que, em relação ao Crema Paraná, o Crema Brasil possui uma menor variedade de grãos aloquímicos, podendo ser justificada pela formação em águas mais calmas. Afinal, de acordo com Suguio (2012), a deposição de oólitos e foraminíferos depende principalmente da agitação das águas.

Figura 90 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: matriz identificada (lâmina 1)

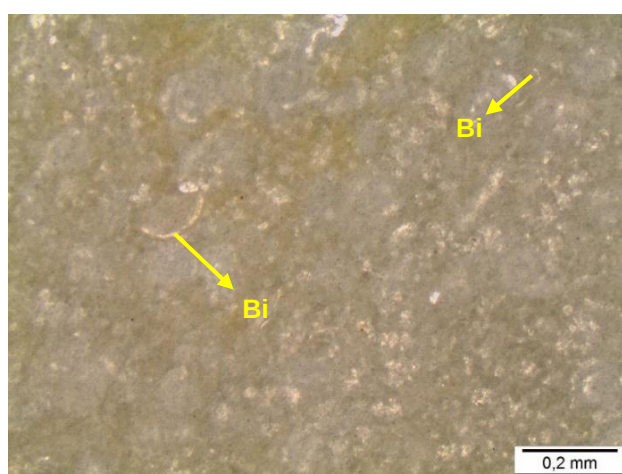


Fonte: Acervo particular, 2016

A coloração mais amarelada do material é consequência de uma composição mineralógica rica em ferro, o qual pode estar presente tanto na argila existente na matriz, como nos minerais escuros pontuais identificados. Apesar da granulometria submilimétrica não permitir o reconhecimento do tipo de argila presente, acredita-se que a matriz seja formada, predominantemente, por illita, um filossilicato rico em ferro e magnésio e bastante comum em rochas sedimentares. Cabe destacar, inclusive, que a illita é um produto da ação intempérica de outros minerais, fato que pode justificar sua coloração.

Na extremidade da lâmina 1, utilizando nicóis cruzados, nota-se a presença de biomicritos, sendo estes predominantemente formados por conchas (Figura 91).

Figura 91 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: biomicritos (lâmina 1)

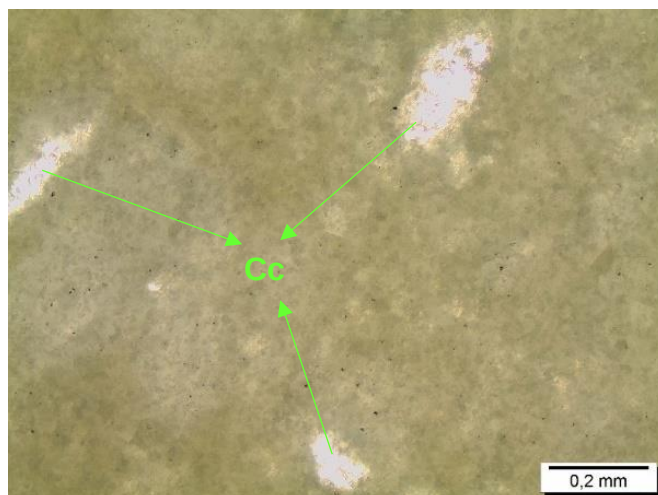


Fonte: Acervo particular, 2016

Legenda: Bi - biomicritos

Utilizando a lupa de aumento de 10x com luz paralela, observam-se cristais de carbonato com estrutura rômbrica de dimensões 0,200mm x 0,100mm (Figura 92).

Figura 92 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: cristais de carbonato

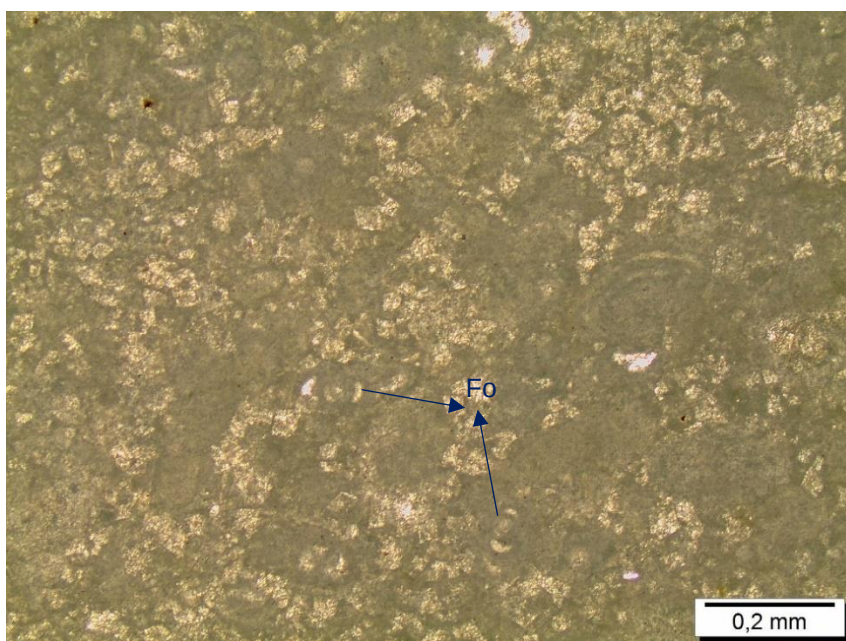


Fonte: Acervo particular, 2016

Legenda: Cc - Carbonato

Analisando a extremidade da lâmina 2, percebe-se uma maior presença de cristais (37% da composição), os quais chegam a ter dimensões de 0,375mmx0,200mm. Também foram encontrados foraminíferos, conforme Figura 93. Percebe-se, portanto, que o limestone Crema Brasil é uma rocha inequigranular, fato que influencia diretamente a resistência à compressão uniaxial do material.

Figura 93 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: foraminíferos identificados

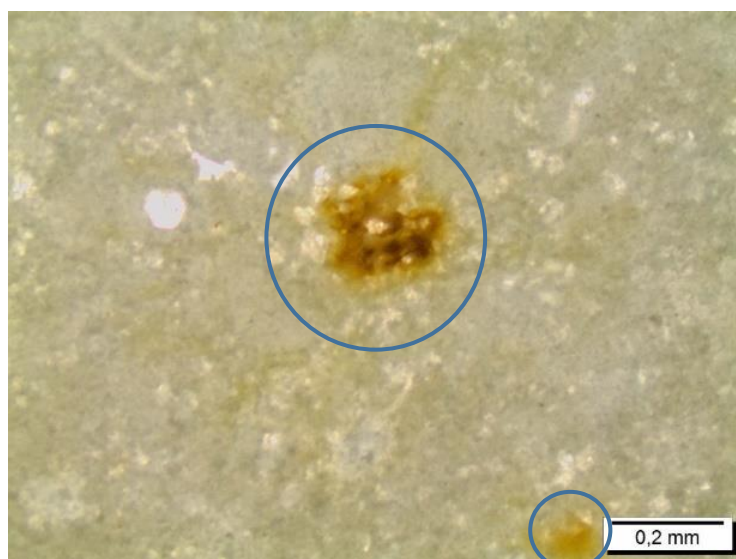


Fonte: Acervo particular, 2016

Legenda: Fo - foraminíferos

Foram identificados pontos de oxidação medindo cerca de 0,25mm (Figura 94), sem um mineral central ao qual se possa atribuir a alteração. Tal oxidação pode ser atribuída à alteração da própria ilita, conforme citado anteriormente.

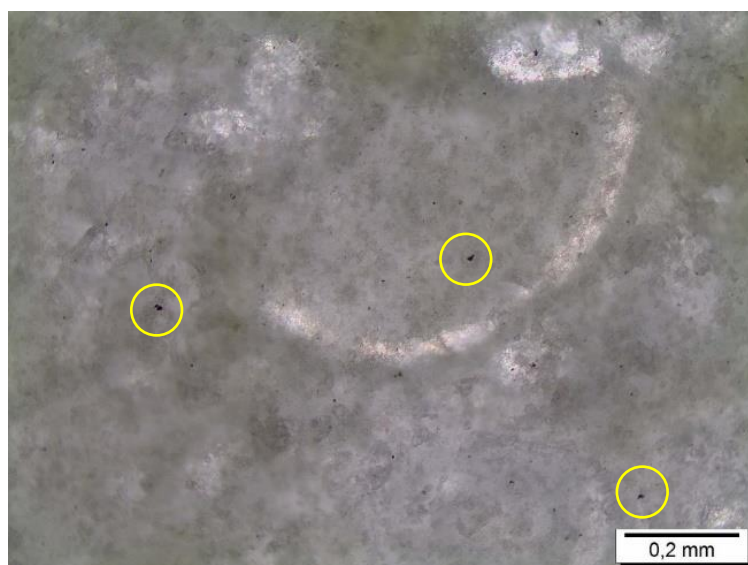
Figura 94 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: pontos de oxidação identificados (lâmina 2)



Fonte: Acervo particular, 2016

Analizando com nicóis cruzados e um aumento de 20x uma das conchas encontradas, destaca-se a presença de pontos escuros com dimensões de 0,015 a 0,020mm (Figura 95).

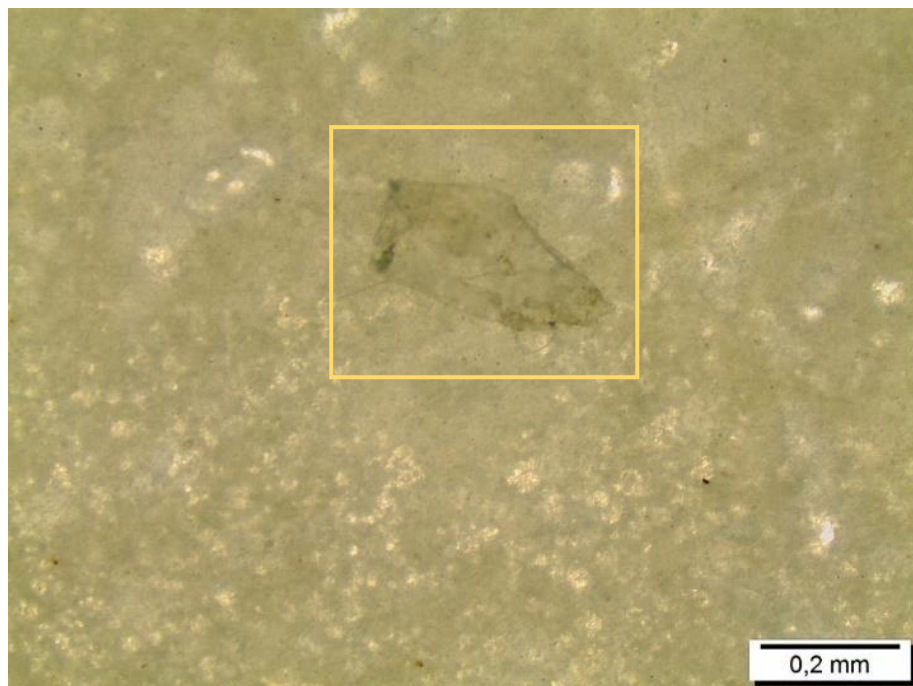
Figura 95 - Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: concha recristaliada com aumento de 20x (lâmina w)



Fonte: Acervo particular, 2016

Ainda na lâmina 2, foi identificado um material transparente de relevo fraco que não apresenta cintilância, provavelmente correspondendo a um vegetal petrificado (Figura 96).

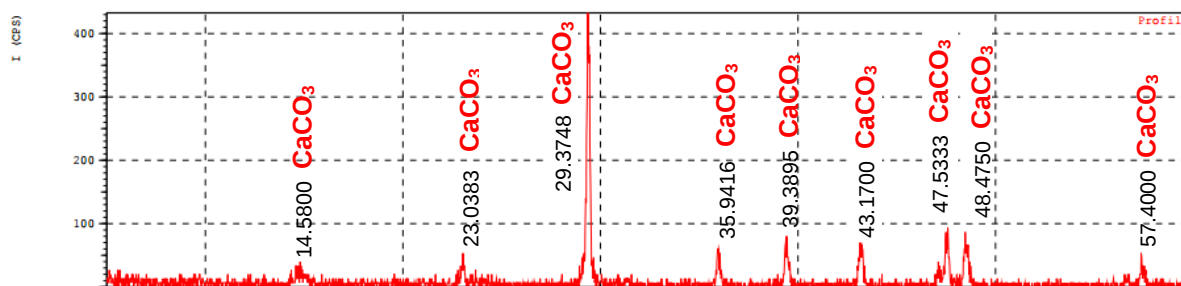
Figura 96 – Análise petrográfica do limestone Crema Brasil: material vegetal petrificado (lâmina 2)



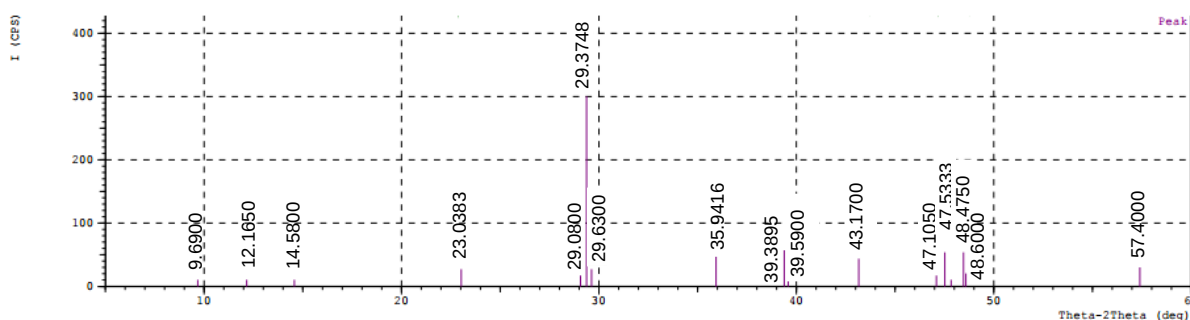
Fonte: Acervo particular, 2016

A difração de raio x confirma a composição calcítica de ambas as rochas, não sendo identificado traços de minerais ferro-magnesianos. No limestone Crema Paraná, os picos mais intensos foram o 29.3444, o 39.3820 e 48,4916. (Figuras 97 e 98). Já no Crema Brasil, os picos de maior intensidade foram o 29.3748, o 39.3895 e o 47.5333 (Figuras 99 e 100). Não foram encontrados picos comuns entre as duas rochas.

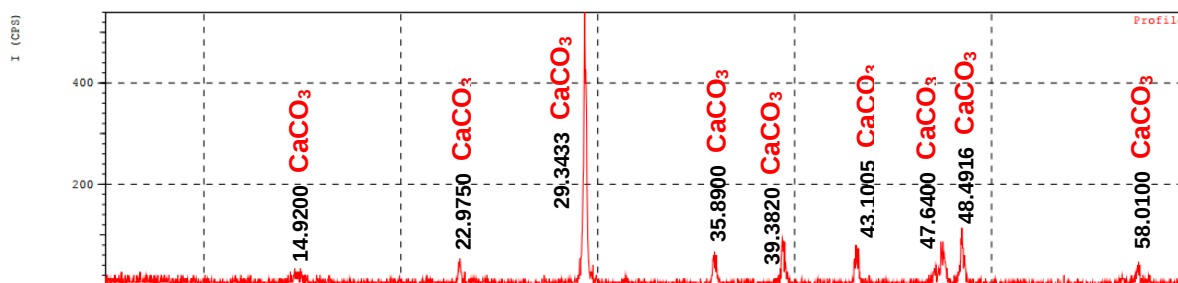
Figura 97 – Difração de raio x do limestone Crema Paraná: perfil identificado



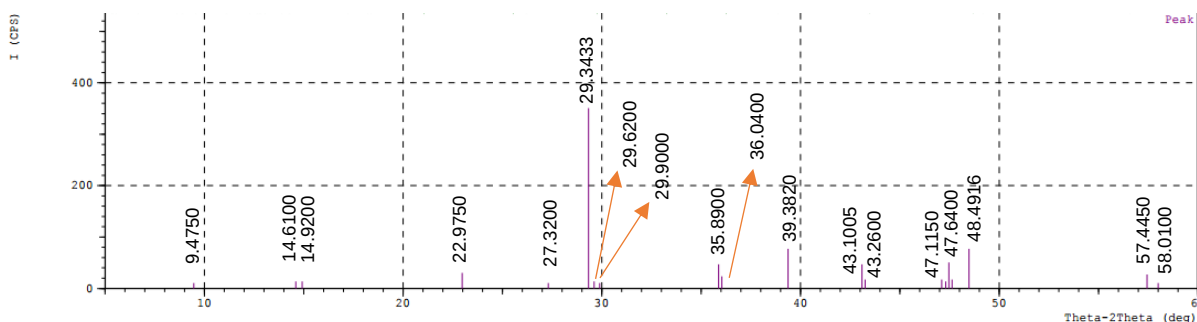
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 98 – Difração de raio x do limestone Crema Paraná: picos traçados

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 99 – Difração de raio x do limestone Crema Brasil: perfil identificado

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 100 – Difração de raio x do limestone Crema Brasil: picos traçados

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Ressalta-se que a composição predominantemente calcítica dos limestones Crema Paraná e Crema Brasil irá facilitar a alteração por dissolução desses materiais. De acordo com Santos (2007), a reatividade do calcário (termo utilizado para descrever a velocidade de dissolução) depende principalmente da granulometria da rocha. Por isso, espera-se que o Crema Brasil, por sua textura submilimétrica apresente uma maior reatividade do que o Crema Paraná. Devem-se evitar, portanto, aplicações destes materiais em edificações próximas ao litoral, principalmente em fachadas, as quais podem estar sujeitas ao ataque da névoa salina e também dos

gases poluentes que se dissolvem na água tornando-a ácida, e que irão atuar na dissolução do calcário.

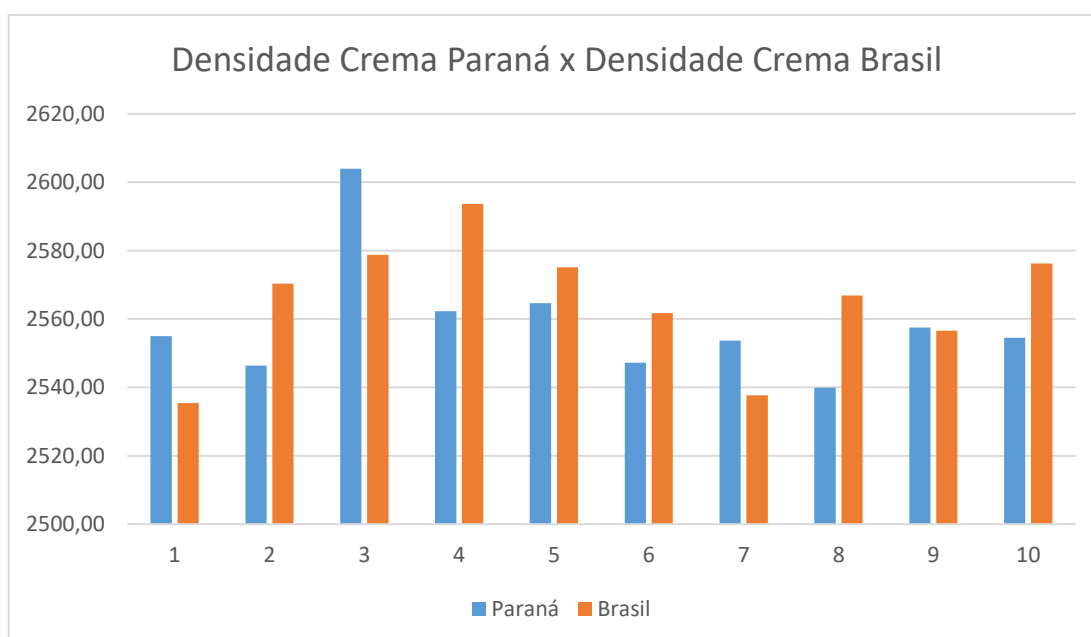
4.2 Índices Físicos

A densidade, porosidade e absorção são parâmetros relacionáveis entre si que definem as propriedades físicas das rochas, as quais irão justificar, junto à composição química, as resistências mecânicas apresentadas.

Conforme explicado, uma rocha de textura mais fina e mais densa possui um grau de compactação maior, responsável pela diminuição dos vazios existentes em seu interior. Portanto, quanto maior a densidade do material, menor será sua porosidade e, conseqüentemente, sua absorção.

A Figura 101 compara as densidades apresentadas pelas amostras do Crema Paraná e do Crema Brasil. Em conformidade com os resultados da petrografia, em média, o Crema Brasil indica valores mais altos, uma vez que se trata de uma rocha com textura submilimétrica.

Figura 101 – Gráfico de densidade limestone Crema Paraná x Limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

A ASTM C568 determina os requisitos mínimos para aplicação de calcários ornamentais de acordo com o nível de densidade da rocha (baixa, média e alta densidade). Conforme listado na Tabela 5, o Limestone Crema Brasil é classificado como um calcário de alta densidade ($\rho \geq 2.560 \text{ kg/m}^3$), enquanto o Limestone Crema Paraná (Tabela 6), como um calcário de média densidade ($\rho \geq 2.160 \text{ kg/m}^3$).

Tabela 5 – Índices físicos do limestone Crema Brasil

Referência	Densidade (kg/m^3)	% Porosidade (ρ)	% Absorção (α)
Crema Brasil	2565,22	9,56	3,59
ASTM C568	≥ 1760 (baixa)	n.e	≤ 12
	≥ 2160 (média)	n.e	$\leq 7,5$
	≥ 2560 (alta)	n.e	≤ 3
NBR 15.845 (granitos)	≥ 2550	≤ 1	$\leq 0,4$

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado

Tabela 6 – Índices físicos do limestone Crema Paraná

Referência	Densidade (kg/m^3)	% Porosidade (ρ)	% Absorção (α)
Crema Paraná	2.558,50	10,29	3,87
ASTM C568	≥ 1760 (baixa)	n.e	≤ 12
	≥ 2160 (média)	n.e	$\leq 7,5$
	≥ 2560 (alta)	n.e	≤ 3
NBR 15.845 (granitos)	≥ 2550	≤ 1	$\leq 0,4$

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado

No que diz respeito à absorção, o limestone Crema Paraná apresentou um percentual médio de 3,87%, enquadrando-se dentro dos parâmetros definidos pela ASTM para calcários de média densidade ($\leq 7,5$). Já o Crema Brasil, com 3,59% de absorção de água, ultrapassou os valores exigidos pela referida norma para calcários de alta densidade (≤ 3). Apesar da ASTM não tratar da porosidade, sabe-se que se trata de um parâmetro diretamente proporcional à absorção, que diminui com o aumento da densidade. Á vista disso, deve-se evitar a aplicação do limestone Crema Brasil em áreas internas molhadas (banheiro, cozinha, varandas e/ou terraços e área de serviço) e ambientes externos expostos à chuva e/ou umidade, como fachadas, muros, jardins, entre outros. Cabe destacar, inclusive, que apesar do Crema Paraná

apresentar uma porosidade dentro dos limites estabelecidos pela norma, a aplicação desta rocha deve ser feita de maneira cautelosa, uma vez que sua composição calcítica, como dito anteriormente, facilita a alteração por dissolução do calcário em ambientes onde a umidade é elevada.

Embora inexista normativa brasileira para regulamentação da aplicação de calcários como revestimento ornamental, destaca-se que, comparando os valores encontrados aqueles estabelecidos pela NBR 15845 (ABNT, 2015), a qual discorre sobre as propriedades necessárias que um granito deve possuir para ser aplicado como rocha ornamental, no que diz respeito à densidade, ambos os calcários apresentam valores acima do limite estabelecido ($\geq 2550 \text{ kg/m}^3$). Já a porosidade de ambos os limestones possui valores superiores aos definidos para granitos ($\leq 1\%$), fato que chama a atenção para a maior susceptibilidade dos calcários às intempéries. O mesmo se repete para a absorção de água que, de acordo com a norma, deve ser $\leq 0,4\%$.

4.3 Resistências mecânicas

Os cálculos das resistências mecânicas realizados estão detalhados no Apêndice A deste trabalho.

4.3.1 Resistência à compressão uniaxial

Conforme visto anteriormente, o desempenho de uma rocha depende principalmente de sua origem e composição química e mineralógica. Os limestones Crema Paraná e Crema Brasil são rochas carbonáticas detríticas classificadas como calcários de origem aloquímica, ricos em calcita e pobres em minerais silicáticos. Sendo assim, as propriedades mecânicas de cada um dos limestones variam principalmente de acordo com sua granulometria e compactação dos sedimentos.

A física estática trata da pressão como uma razão entre a força exercida e a área de aplicação. Logo, quanto mais fina a granulometria de uma rocha, maior deverá ser a força aplicada para causar sua ruptura. O limestone Crema Brasil, portanto,

deveria apresentar uma maior resistência à compressão comparado ao Crema Paraná. No entanto, a energia de ruptura do primeiro, na condição seca (74,43MPa), mostrou-se inferior à do segundo (109MPa). Tal fato pode ser justificado pela textura inequigranular do Crema Brasil. Afinal, a presença de grãos de diferentes tamanhos provoca uma redução na referida resistência.

As Tabelas 7 e 8 comparam os valores das resistências nas condições secas e saturadas aos requisitos exigidos pela ASTM C568 e pela NBR 15.845.

Tabela 7 – Resistência à compressão uniaxial do limestone Crema Brasil

Referência	RCU (MPa) – seca	RCU (MPa) – saturada
Crema Brasil	74,43	57,06
ASTM C568 (alta densidade)	≥55	n.e
NBR 15.845 (granitos)	≥100	n.e

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado; RCU = Resistência à Compressão Uniaxial

Tabela 8 – Resistência à compressão uniaxial do limestone Crema Paraná

Referência	RCU (MPa) – seca	RCU (MPa) – saturada
Crema Paraná	109	n.e
ASTM C568 (média densidade)	≥28	n.e
NBR 15.845 (granitos)	≥100	n.e

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado; RCU = Resistência à Compressão Uniaxial

Percebe-se que, neste quesito, ambas as rochas se enquadram dentro dos limites determinados. Interessante destacar que, em relação à NBR 15.845/2015, apenas o Crema Paraná apresentou valores superiores aqueles determinados para granitos ornamentais.

É importante salientar que os dados listados do Crema Paraná se referem aos testes realizados pelo NUTEC (Anexo A), no ano de 2011, o qual contempla apenas resultados para a condição seca.

4.3.2 Resistência à flexão em 4 pontos

Este ensaio determina a resistência de placas a se curvar ou flexionar, quando submetidas aos esforços de ventos, cargas ou outros, em edificações. Por isso, é particularmente importante para dimensionamento de materiais rochosos a serem utilizados no revestimento de fachadas, especialmente com o uso de sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação (FRASCÁ, 2003).

Na resistência à flexão, a propriedade mais influente é a clivagem. Esta, segundo a geologia, é a organização de certos minerais em planos preferenciais, estabelecendo ligações mais fortes entre suas moléculas. Minerais que apresentam clivagem, como as micas, por exemplo, são mais resistentes tanto à compressão, quanto à flexão, quando a força exercida é perpendicular ao plano de orientação. A calcita presente nos calcários possui arranjo trigonal, hábito cristalino romboédrico e clivagem em 3 planos.

Em função da inexistência de requisitos para a flexão em 4 pontos na ASTM C568, os resultados obtidos foram comparados aos valores determinados pela ASTM C503, a qual discorre sobre as características de mármore ornamentais, e a NBR 15.845/2015. Na condição seca, portanto, os resultados apontam para rochas de boa resistência à flexão. O Crema Paraná apresentou um módulo de ruptura médio de 11,10MPa (Tabela 9) e o Crema Brasil 9,19MPa. Já na condição saturada, cuja resistência é geralmente inferior à condição seca, apesar de não serem definidos limites pelas referidas normativas, os valores foram maiores do que aqueles determinados pela ASTM C503 (9,30MPa para o Crema Paraná e 7,20MPa para o Crema Brasil). Em relação à NBR, apenas o Crema Paraná apresentou um módulo de ruptura acima de 8MPa para a condição saturada.

Tabela 9 – Resistência à flexão em 4 pontos dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná

Referência	RF4p (MPa) – seca	RF4p (MPa) – saturada
Crema Brasil	9,19	7,20
Crema Paraná	11,10	9,30
ASTM C568	n.e	n.e

ASTM C503 (mármore)	≥ 7	n.e
NBR 15.845 (granitos)	≥ 8	n.e

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado; RF4p = Resistência à Flexão em 4 pontos

É importante ressaltar que, assim como a resistência à compressão uniaxial, a granulometria da rocha influencia diretamente na resistência à flexão, seja ela em 3 ou 4 pontos. No caso do limestone Crema Brasil, a textura inequigranular é um fator determinante para uma resistência mais baixa do que o Crema Paraná.

4.3.3 Resistência ao impacto de corpo duro

Rochas ornamentais que compõem fachadas, pisos e bancadas estão sujeitas ao impacto de objetos que, dependendo da altura de queda, podem provocar fissuras e/ou rupturas no material. Para tanto, realiza-se o ensaio de resistência ao impacto de corpo duro, no intuito de estabelecer a altura máxima de impacto suportada pela rocha.

Segundo Pazeto e Artur (2015), as propriedades petrográficas que mais influenciam no controle da resistência ao impacto das rochas são a natureza composicional e os aspectos texturais e estruturais como anisotropia, dimensões e imbricamento mineral, microfissuramento e grau de alteração mineral. O referido autor explica que as rochas anisotrópicas apresentam planos de fraqueza dados pela orientação mineral, o que as tornam mais frágeis que as rochas isotrópicas. Da mesma forma, materiais de granulação mais grossa tendem a apresentar maior grau microfissural e imbricamento mineral menos coeso, o que também diminui a resistência da rocha. O mesmo pode ser dito de materiais que apresentam grau de alteração mineral considerável, uma vez que os cristais deteriorados são consequentemente mais porosos e friáveis, exercendo assim influência direta na fragilização, perda de coesão e resistência ao impacto da rocha.

A Tabela 10 lista as energias de ruptura dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná.

Tabela 10 – Resistência ao impacto dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná

Referência	Energia de Ruptura (J)	Altura de impacto (m)
Crema Brasil	2,51	0,25
Crema Paraná	2,02	0,20
ASTM C568	n.e	n.e
ASTM C503 (mármore)	n.e	n.e
NBR 15.845 (granitos)	n.e	≥0,30

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado

Analisando as características petrográficas, a expectativa seria de que o Crema Brasil apresentasse uma resistência menor do que o Crema Paraná levando em consideração o grau de alteração verificado e sua textura inequigranular. No entanto, percebe-se que a diferença de energia necessária para ruptura dos limestones é de apenas 0,49J, com o Crema Brasil apresentando o valor mais alto (2,51J). Tal fato pode ser justificado pela diferença de espessura (3cm no Crema Brasil e 2,5cm no Crema Paraná), que confere mais massa à placa do Crema Brasil, fornecendo mais inércia e contribuindo, portanto, para melhor desempenho desta rocha. Cabe destacar que a diferença na espessura das placas dos dois litotipos torna difícil a comparação desta propriedade dos materiais. No entanto, percebe-se que ambos apresentam resultados abaixo daqueles exigidos para rochas graníticas, as quais geralmente apresentam uma maior resistência.

4.3.4 Resistência ao desgaste Amsler

A resistência ao desgaste depende, principalmente, da dureza dos minerais que compõem a rocha. A escala de dureza de Mohs (1812) mede a resistência do mineral ao risco (retirada de partículas da sua superfície) e está dividida em valores que vão de 1 a 10, sendo 1 o mineral menos duro (talco). Nessa escala, a calcita ocupa a 3ª posição, sendo considerada um mineral de baixa dureza. Por possuírem a calcita como mineral predominante, ambos os limestones estudados apresentaram

baixa resistência ao desgaste Amsler. Após o percurso de 500m, o Crema Brasil (Tabela 11) apresentou um desgaste médio de 0,78mm, enquanto o Crema Paraná teve sua espessura reduzida em 1,10mm.

Tabela 11 – Resistência ao desgaste Amsler dos limestones Crema Brasil e Crema Paraná

Referência	Desgaste 500m (mm)	Desgaste 1000m (mm)
Crema Brasil	0,78	1,45
Crema Paraná	1,10	2,27
ASTM C568	n.e	n.e
ASTM C503 (mármore)	n.e	n.e
NBR 15.845 (granitos)	n.e	≤ 1

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Legenda: n.e = não especificado

A normativa americana não define valores para o desgaste Amsler em calcários, nem em mármore. Já a NBR, que regulamenta os granitos, define uma perda menor ou igual a 1mm após um percurso de 1000m.

De acordo com Pazeto e Artur (2015), além da dureza dos minerais, outros aspectos petrográficos influentes no desgaste abrasivo são textura (arranjo e granulação dos constituintes minerais), anisotropia do material rochoso, estado e tipo de microfissuramento e grau de alteração mineral. Conforme explicado, o limestone Crema Paraná possui uma granulometria mais homogênea do que a do Crema Brasil, fato que o torna mais susceptível à remoção dos minerais. Tal fato justifica a baixa resistência deste tipo de limestone. No entanto, como ambos apresentaram um desgaste superior a 1mm, deve-se evitar a aplicação deles em pisos, principalmente aqueles destinados ao alto tráfego de pessoas e/ou equipamentos pesados.

4.4 Resistência ao ataque químico

A Anvisa (2010) explica que todos os produtos utilizados na limpeza e conservação de ambientes (casas, escritórios, lojas, hospitais) são considerados saneantes e tem como finalidade a limpeza, desinfecção e conservação destes locais,

sendo importantes no controle de bactérias. Os produtos selecionados para o teste de resistência ao ataque químico foram água sanitária, desinfetante, sabão em pó, limão, vinagre, saponáceo cremoso, multiuso com álcool, saponáceo cremoso com cloro ativo, detergente neutro e limpador a seco.

A referida agência classifica os detergentes, sabões e saponáceos como “substâncias capazes de produzir espuma quando misturadas a água e agitadas” (ANVISA, 2010, p.31). De acordo com Misirli (2002), o detergente e o sabão são substâncias tensoativas anfipáticas que auxiliam na remoção química das gorduras. Basicamente, estes dois produtos possuem, em sua composição, moléculas com um lado polar e o outro apolar que a permitem ligar-se tanto com a água como a gordura, realizando desta forma a limpeza. Além disso, possuem característica tensoativa, responsável por quebrar a tensão superficial da água, possibilitando o aumento do contato entre as superfícies da água e do objeto a ser limpo. O referido autor explica ainda que o Linear Alquil Benzeno Sulfonato é o tensoativo aniônico mais utilizado para a fabricação de detergentes e sabões, uma vez que se trata de um excelente agente molhante, promotor de espuma e emulsificante, sendo bastante resistente em águas duras (ricas em sais de Ca^{2+} e Mg^{2+}). Esta resistência é bastante importante por impedir a formação de sais insolúveis precipitados.

Percebe-se que, tanto no detergente neutro quanto no sabão em pó utilizados no experimento, o tensoativo Linear Alquil Benzeno Sulfonato de sódio está presente. Espera-se, portanto, que as amostras de rochas utilizadas para o ensaio de ataque químico respondam de maneira semelhante para ambos os produtos. Cabe destacar que a escolha pelo detergente neutro (pH entre 5,5 e 8) teve como finalidade evitar a ação cáustica provocada por detergentes básicos. Deve-se lembrar que sabões e detergentes são formados pela reação entre uma soda (hidróxido de sódio ou de potássio) e uma gordura ou óleo que pode ser de origem animal, vegetal, ou até mesmo sintética, como no caso dos derivados de petróleo.

O saponáceo cremoso possui propriedades semelhantes às dos sabões e detergentes. O tensoativo encontrado no produto utilizado é o Alquil Benzeno Sulfonato de sódio, o qual difere daquele encontrado no detergente neutro e no sabão em pó no que diz respeito à estrutura da molécula. No caso do saponáceo cremoso, trata-se de uma molécula de cadeia ramificada, enquanto nos outros é de cadeia linear. Esta propriedade interfere apenas no caráter biodegradável do produto, o qual

é maior em cadeias lineares. Em uma solução de 10%, o saponáceo cremoso apresenta pH entre 9,80 e 10,80, pouco maior do que o do detergente e bastante próximo ao do sabão em pó (pH entre 10,5 e 11,5).

Apesar de possuírem composição semelhante, os resultados de alterabilidade das rochas podem se manifestar de maneiras distintas para o detergente, o sabão em pó e o saponáceo cremoso. Isto porque tanto o saponáceo cremoso quanto o sabão em pó possuem alguns adicionais como abrasivos, atenuadores de espuma, alcalinizantes e até mesmo outros tensoativos não-iônicos como o álcool graxo etoxilado, os quais possuem caráter mais básico, podendo agredir mais o material pétreo.

Interessante destacar a diferença da composição entre o saponáceo cremoso e o saponáceo cremoso com cloro ativo. Neste segundo produto, além dos tensoativos aniônicos Laurato de sódio e lauril éter sulfato de sódio, e o não iônico álcool graxo etoxilado, há a presença do hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio como princípios ativos. Seu pH é entre 12 e 12,8, mostrando uma formulação muito mais básica do que a do saponáceo cremoso sem cloro ativo, logo terá uma ação mais cáustica do que o saponáceo cremoso sem o cloro ativo e facilitará a formação de precipitados.

Além desses, outro produto cuja composição principal é um tensoativo aniônico é o multiuso com álcool. O produto escolhido possui como princípio ativo o Lauril Éter Sulfato de Sódio, obtido através da reação de álcoois graxos etoxilados, e que atua de maneira semelhante ao Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio, seja ele de cadeia linear ou ramificada. Seu pH é entre 10 e 11, e está associado a solventes e coadjuvantes, fato que pode acarretar em uma maior alteração do que o detergente neutro, mas inferior as do sabão em pó e saponáceo cremoso. Conforme explica Kálix (2011, p.61), este produto “apresenta taxa de evaporação do solvente elevada de modo a minimizar o contato da substância com os minerais das rochas, acarretando assim baixa reatividade, e prevenindo o manchamento superficial”.

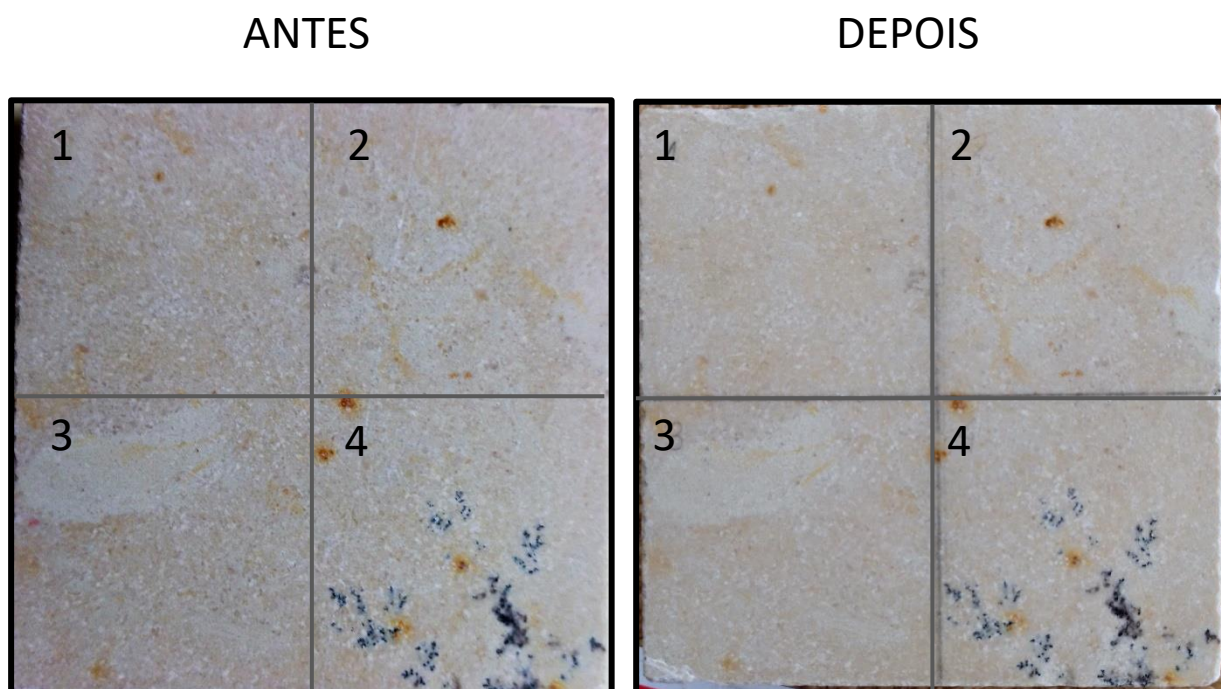
Em se tratando do limpador a seco, o principal componente é o tensoativo catiônico Amina quaternária etoxilada, também denominada quaternário de amônio, de pH 10. Ao contrário do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio, o quaternário de amônio não possui um bom desempenho em água dura ou presença de ferro, podendo formar precipitados.

A água sanitária selecionada é composta por hipoclorito de sódio com teor de cloro ativo entre 2,0 e 2,5%. O produto puro possui um pH de, no máximo, 13,5. Apesar do hipoclorito de sódio ser um sal hidrolisável, forte sequestrador de oxigênio e formador de ácidos quando em contato com o ar, espera-se que a água sanitária não provoque grandes alterações nos limestones, uma vez que estará dissolvida em água em uma solução de 20%. Da mesma maneira ocorre com o desinfetante escolhido, composto por amina óxida e álcool etoxilado. Em uma solução de 1% possui pH entre 4,5 e 7. Devido à sua composição, pH e por ser uma substância dissolvida em água para aplicação, espera-se que seja um dos agentes mais fracos de alteração da rocha.

Já o limão e vinagre são, respectivamente, ácido cítrico e ácido acético. Tratam-se de ácidos fracos, porém corrosivos, que podem ocasionar principalmente a perda de brilho.

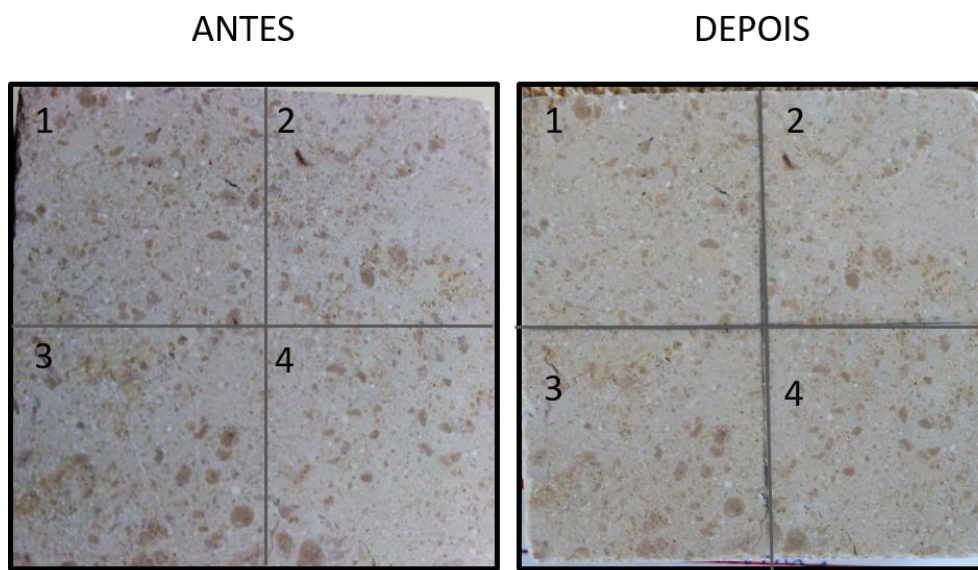
As considerações acima foram apreciadas com relação aos resultados obtidos através do ensaio de alteração acelerada por ataque químico. As Figuras de 102 e 103 mostram o antes e depois do ataque químico dos limestones com água sanitária.

Figura 102 – Ataque químico com água sanitária: limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 103 – Ataque químico com água sanitária: limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

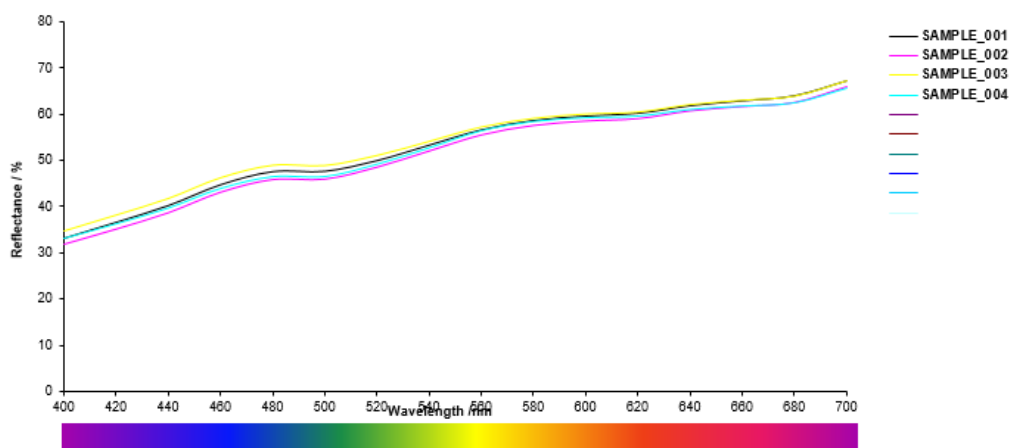
Como esperado, a água sanitária não provocou grandes alterações nos dois tipos de rocha, não sendo identificada a formação de precipitados ou películas esbranquiçadas. Deve-se lembrar, no entanto, que dependendo da concentração deste produto em água é possível obter resultados visíveis de alteração em uma escala de tempo menor.

Foram realizadas medições das curvas espectrais das amostras no intuito de complementar as observações feitas a olho nu, principalmente no que diz respeito ao escurecimento ou clareamento das rochas. Segundo Sausen (1999 apud Barrêto 2012, p.95), quanto maior for o pico de refletância, mais clara será a cor do objeto caracterizado na imagem. Por extensão, quanto menor for o pico de refletância, mais escura será a cor do objeto caracterizado na imagem.

A Figura 104 representa o gráfico da curva espectral da amostra do Crema Brasil na qual foi aplicada a água sanitária, antes do ataque. É possível observar que o maior pico de reflectância foi entre os comprimentos de onda de 620nm a 700nm (60,16% a 67,16%), enquanto o menor pico compreende os intervalos de 400 a 440nm (30,22% a 40,27%). As demais linhas espectrais mantiveram seus índices de refletância máximas compreendidas em 44,76% a 49,97% nos intervalos de 460nm e 520nm, 52,30% a 59,55% entre 540 e 600nm. Observando o gráfico após o ataque (Figura 105), percebe-se que o intervalo de maior reflectância antes do experimento (620nm a 700nm) sofreu uma queda apresentando valores de 54,60% a 64,29%. Os

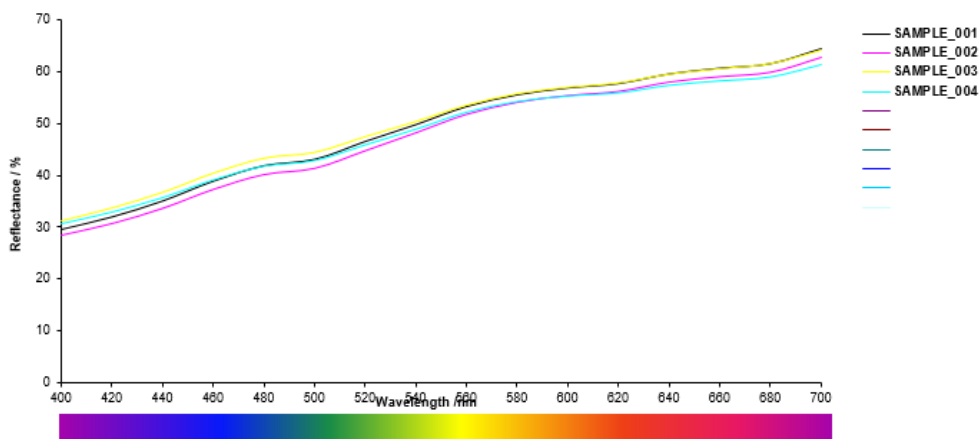
demais comprimentos de onda apresentaram as seguintes reflectâncias: 20,90% a 35,06% nos intervalos de 400 a 440nm; 38,87% a 46,49% nos intervalos de 460nm e 520nm; e 49,72% a 56,76% entre 540 e 600nm.

Figura 104 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Brasil antes do ataque com água sanitária



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 105 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Brasil após o ataque com água sanitária

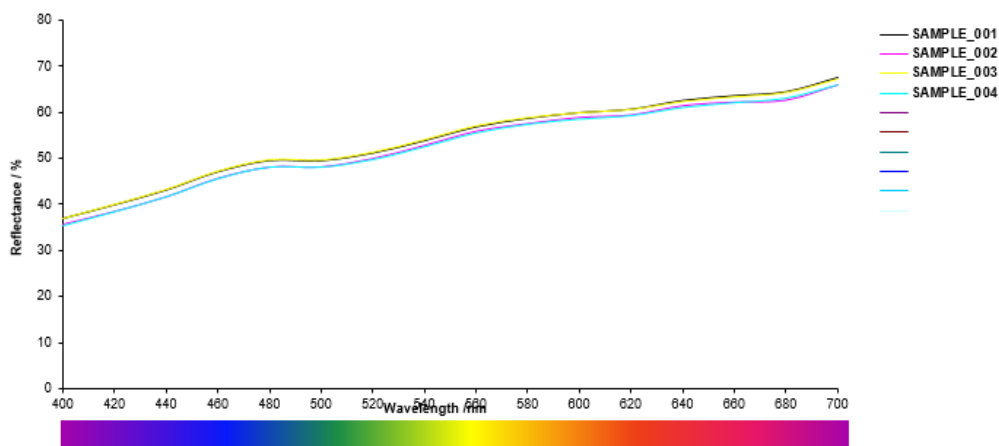


Fonte: Elaboração da autora, 2016

Já no Crema Paraná, antes do ataque (Figura 106) o maior pico de reflectância foi entre os comprimentos de onda de 620nm a 700nm (60,07% a 66,76%), enquanto o menor pico compreende os intervalos de 400 a 420nm (36,31% a 39,27%). As demais linhas espectrais mantiveram seus índices de reflectância máximas compreendidas em 42,49% a 48,91% nos intervalos de 440nm e 500nm, 50,62% a 59,39% entre 520 e 600nm. Observando o gráfico após o ataque (Figura 107), percebe-se que o intervalo de maior reflectância antes do experimento (620nm a

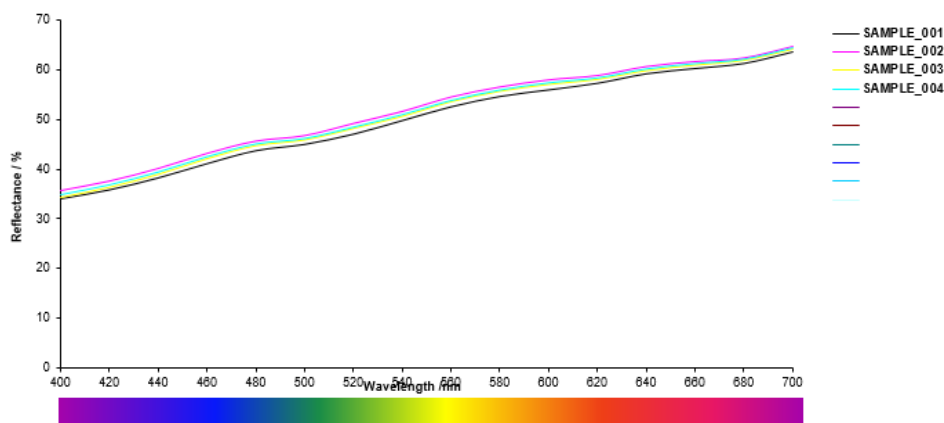
700nm) sofreu uma queda apresentando valores de 58,14% a 64,21%. Os demais comprimentos de onda apresentaram as seguintes reflectâncias: 34,70% a 39,17% nos intervalos de 400 a 440nm; 42,21% a 48,21% nos intervalos de 460nm e 520nm; e 50,74% a 59,95% entre 540 e 640nm.

Figura 106 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Paraná antes do ataque com água sanitária



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 107 – Curva espectral da amostra 1 do limestone Crema Paraná após o ataque com água sanitária



Fonte: Elaboração da autora, 2016

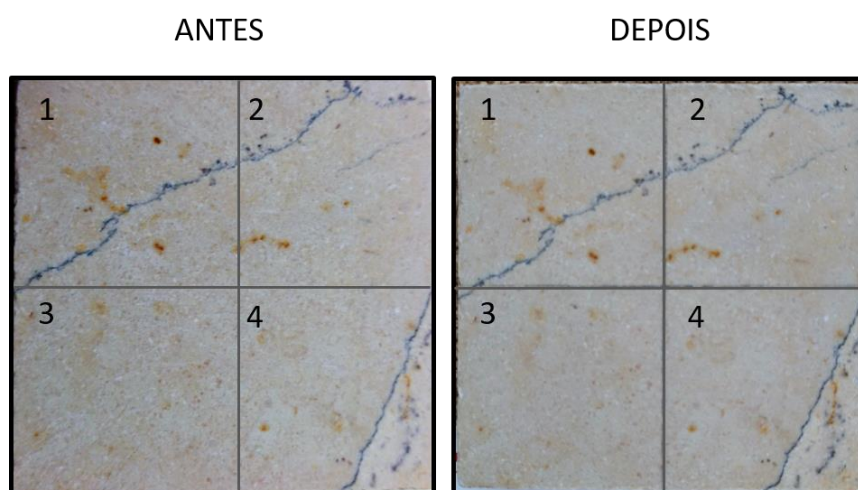
É importante assinalar que, de acordo com o CRQ-IV (2009, apud Silva 2014), além da curva de reflectância, as mudanças na percepção da cor podem ser analisadas através dos valores de X,Y,Z, L*,a* e b*. O eixo vertical representa a luminosidade variando do nível zero (preto) a 100 (branco). O eixo “a” varia de “+a” (vermelho) até “-a” (verde), e o eixo b, de “+b” (amarelo) ao “-b” (azul).

Na análise de colorimetria, o limestone Crema Brasil apresentou valor médio de luminosidade (L*) de 78,49% antes do ataque, e 76,25% depois, o que comprova

o escurecimento apontado pela curva espectral. O a^* teve um pequeno aumento em seu componente vermelho, com o valor inicial de 2,50% e final de 2,90%. Já o b^* apresentou inicialmente um valor de 2,70% e 14,94% após o período de 40 dias. No limestone Crema Paraná, os valores antes do ataque foram 78,78% (L^*), 2,51% (a^*) e 10,65% (b^*). Após o ataque, obteve-se 77,21% (L^*), 2,83% (a^*) e 12,18% (b^*).

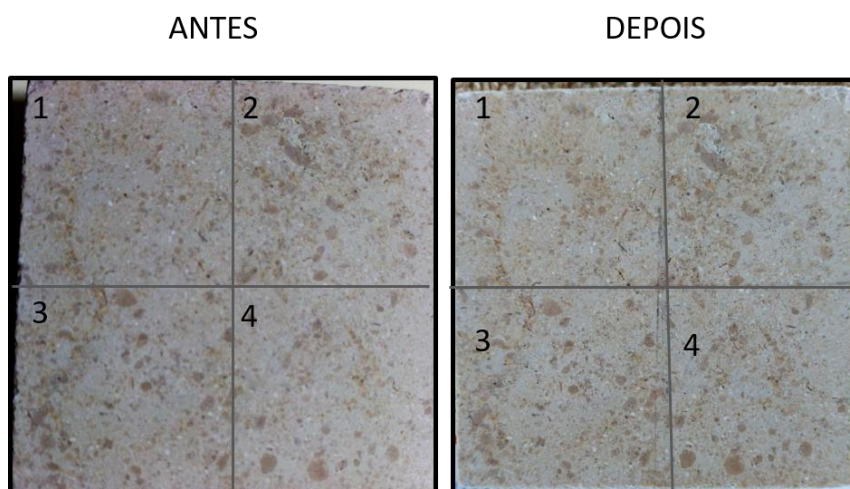
Apesar dos dados indicarem o escurecimento, visualmente, a rocha não apresentou um escurecimento significativo a ponto de comprometer suas feições estéticas. Sugere-se, portanto, o uso deste produto para manutenção de acordo com instruções da embalagem, a qual define a proporção adequada da solução. Da mesma maneira ocorre com o desinfetante (Figuras 108 e 109).

Figura 108 – Ataque químico com desinfetante: limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

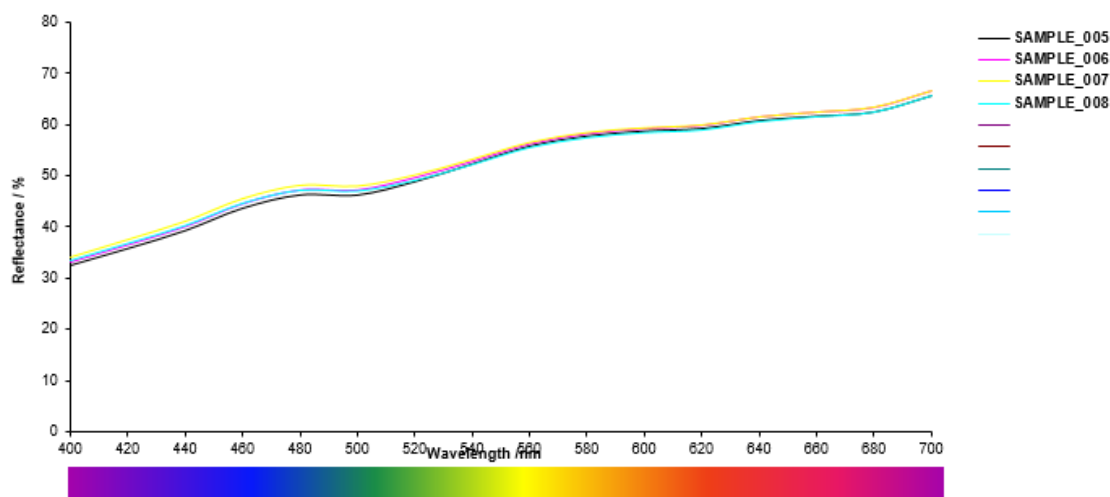
Figura 109 – Ataque químico com desinfetante: limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

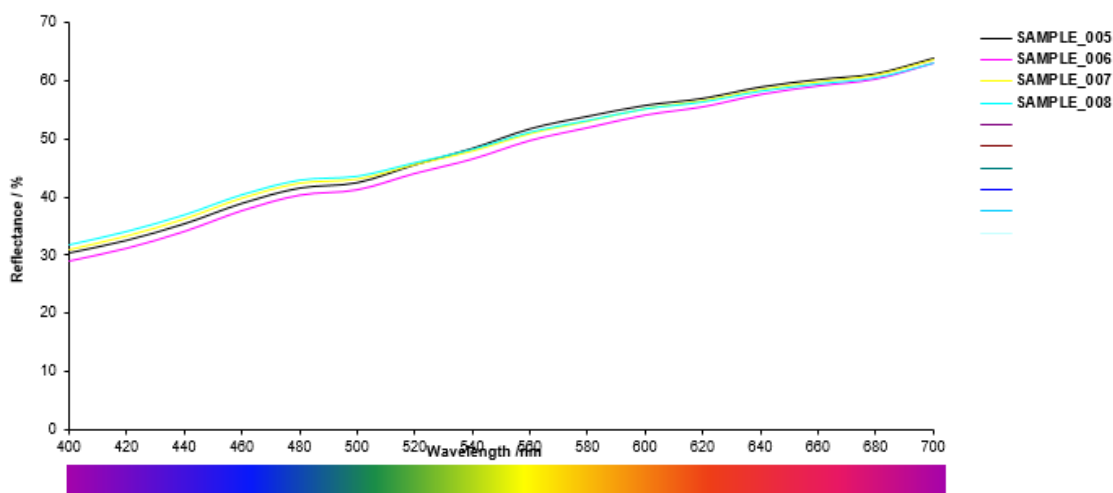
A Figura 110, referente às condições do Crema Brasil antes da aplicação do desinfetante, mostra uma maior refletância nos trechos de comprimento de onda de 640nm a 700nm (61,16% a 66,19%) e 540 a 620nm (52,66% a 59,54%). Os menores valores estão entre 400 e 420nm (33,25% a 36,32%), e 440 a 520nm (40,16% a 49,44%). Após o ataque (Figura 111), as refletâncias passaram a ser 58,32% a 63,39% (640nm a 700nm), 47,78% a 56,36% (540 a 620nm), 35,70% a 45,31% (440 a 520nm), e 30,58% a 32,82% (400 e 420nm). Os valores de L^* , a^* e b^* antes do ataque foram, respectivamente, 78,32%, 2,57% e 12,28%. Após o período de 40 dias, mediu-se 75,57%, 3,49% e 13,42%.

Figura 110- Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Brasil antes do ataque com desinfetante



Fonte: Elaboração da autora, 2016

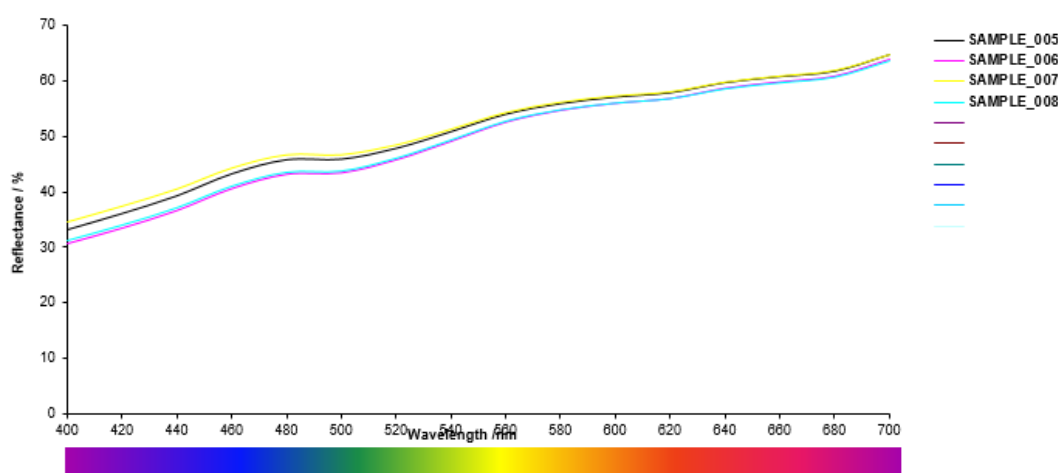
Figura 111 - Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Brasil após o ataque com desinfetante



Fonte: Elaboração da autora, 2016

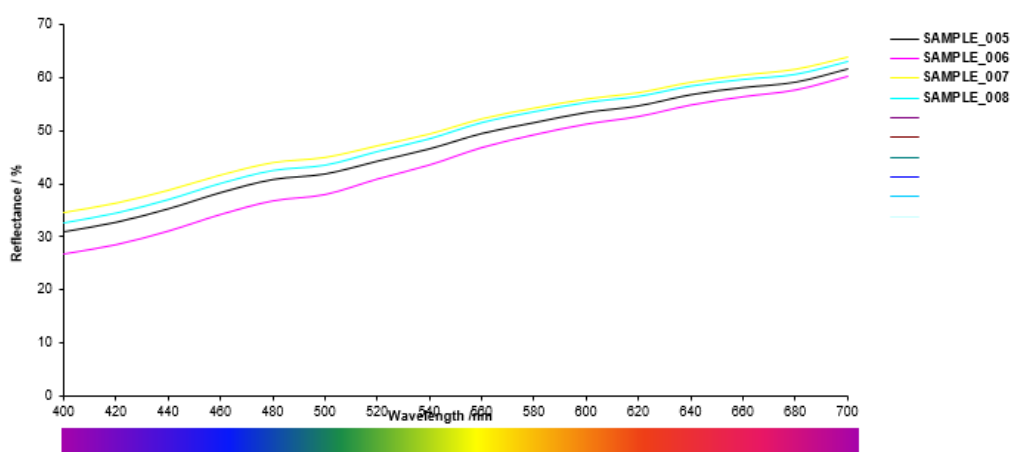
As Figuras 112 e 113 expõem a situação do Crema Paraná antes e após o ataque. Observa-se uma estabilidade da refletância, mantendo valores próximos ao intervalo de 60,31% a 64,29% (660nm a 700nm), 50,14% a 57,41% (540 a 640nm), 42,24% a 47,01% (460 a 520nm), e 32,33% a 38,34% (400 e 440nm), mesmo depois do ataque. Apenas o ponto de medição do quadrante 2 (sample 006) apresentou um escurecimento maior que os demais, principalmente nos comprimentos de 400nm (26,87%), 420nm (28,62%), 560nm (46,85%) e 580nm (49,24%).

Figura 112 - Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Paraná antes do ataque com desinfetante



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 113 - Curva espectral da amostra 2 do limestone Crema Paraná após o ataque com desinfetante

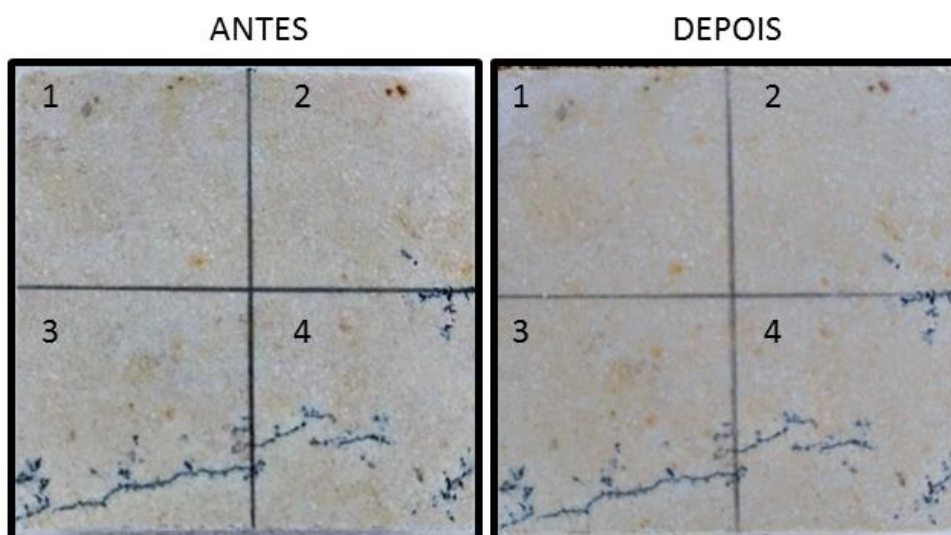


Fonte: Elaboração da autora, 2016

A luminosidade pré-ataque foi de 78,87%, enquanto o componente vermelho apresentou valor inicial de 2,57% e o amarelo 12,28%. Após o período de 40 dias, mediu-se 75,57%, 3,49% e 13,42%.

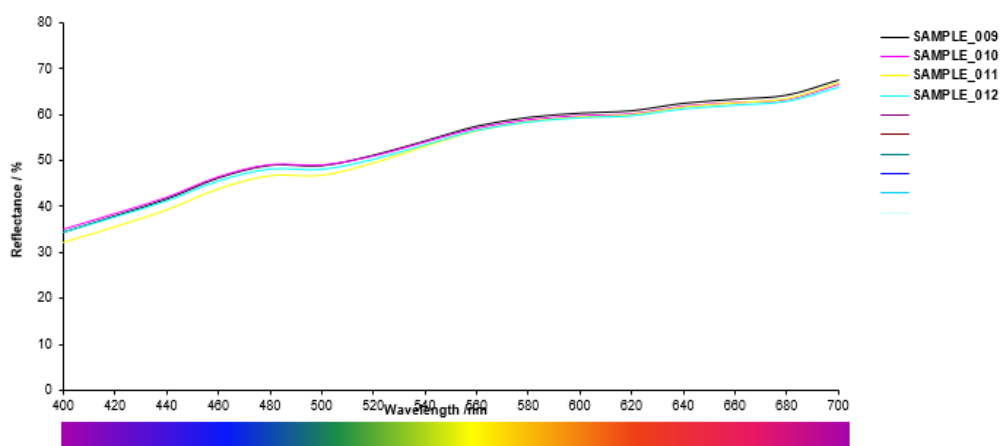
No que diz respeito ao sabão em pó, apesar de ser esperada uma maior agressividade desse produto devido a sua associação com abrasivos e alcalinizantes, a olho nu, as rochas apresentaram uma alteração bastante leve. A Figura 114 mostra o antes e depois do ataque do Crema Brasil. A curva espectral (Figuras 115 e 116) aponta uma redução de 6,91% (620nm a 700nm), 8,19% (520 a 600nm), 10,78% (440 a 500nm), e 8,60% (400 e 420nm). A luminosidade pré-ataque foi de 78,88%, enquanto o componente vermelho apresentou valor inicial de 2,28% e o amarelo 12,14%. Após o período de 40 dias, mediu-se 76,12%, 2,21% e 13,17%, respectivamente. Nota-se, portanto, que houve uma pequena diminuição no valor do a^* e um discreto aumento no b^* .

Figura 114 – Ataque químico com sabão em pó: limestone Crema Brasil



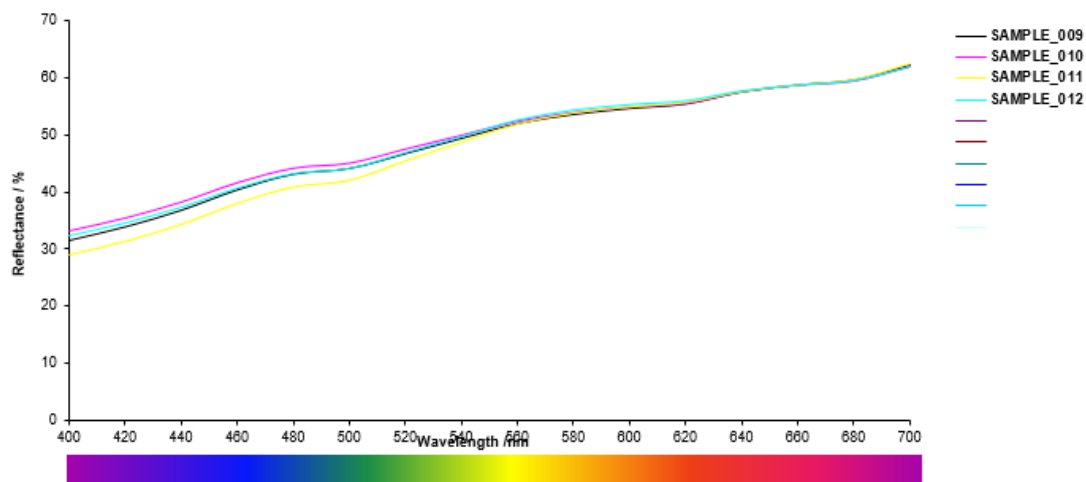
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 115 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Brasil antes do ataque com sabão em pó



Fonte: Elaboração da autora, 2016

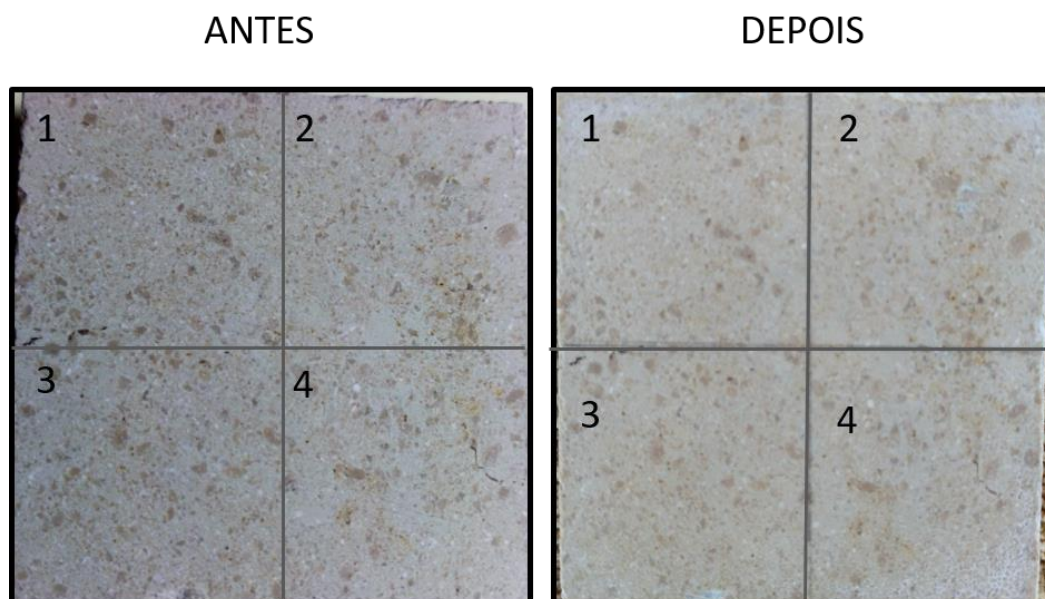
Figura 116 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Brasil após o ataque com sabão em pó



Fonte: Elaboração da autora, 2016

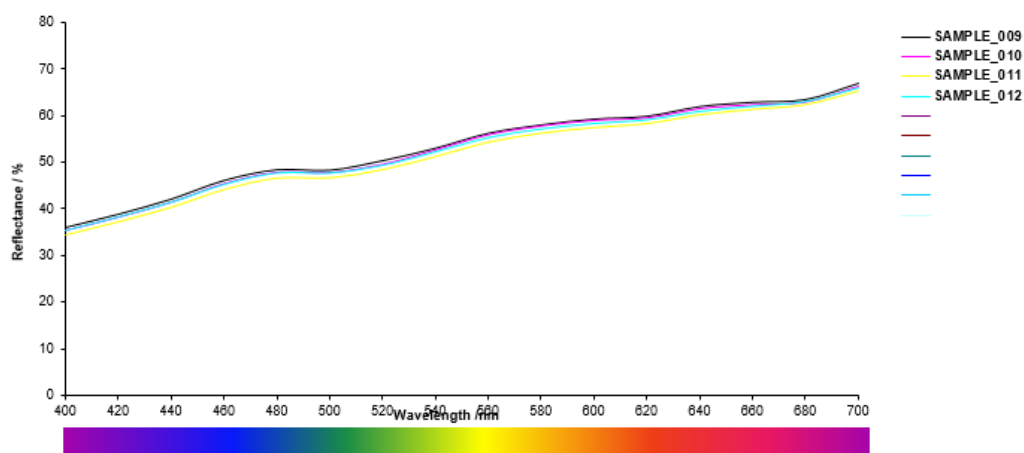
Após a aplicação de sabão em pó, o Crema Paraná (Figura 117) apresentou diminuição de 6,70% (640nm a 700nm), 8,28% (540 a 620nm), 10,22% (440 a 520nm), e 8,26% (400 e 420nm), observada nas Figuras 118 e 119. Os componentes L^* , a^* e b^* na rocha são 78,19%, 2,74% e 10,98%, respectivamente. Após o ataque, mediu-se 75,41%, 2,78% e 11,96%. Conforme assinalado anteriormente, o sabão em pó, quando exposto à luz solar direta pode apresentar alterações em sua composição prejudicando as feições da rocha. Sendo assim, faz-se uma ressalva quando ao uso deste produto em áreas externas.

Figura 117 – Ataque químico com sabão em pó: limestone Crema Paraná



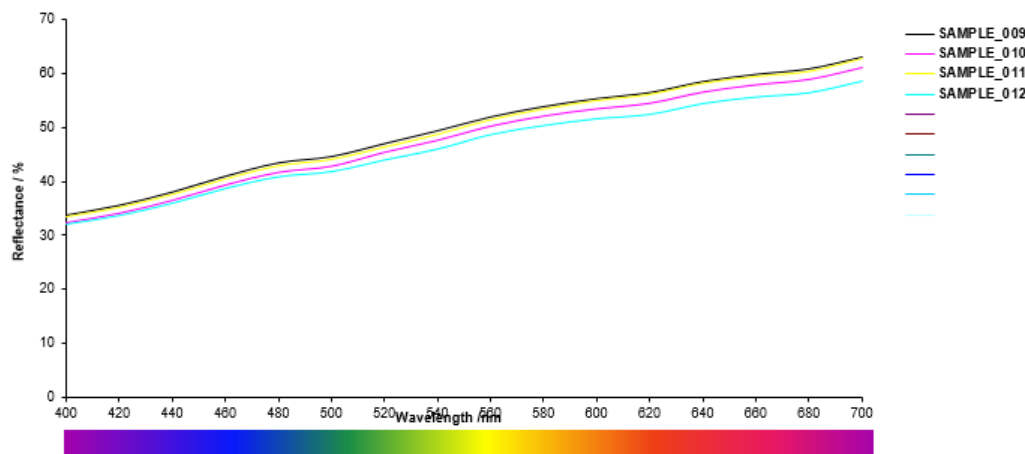
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 118 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Paraná antes do ataque com sabão em pó



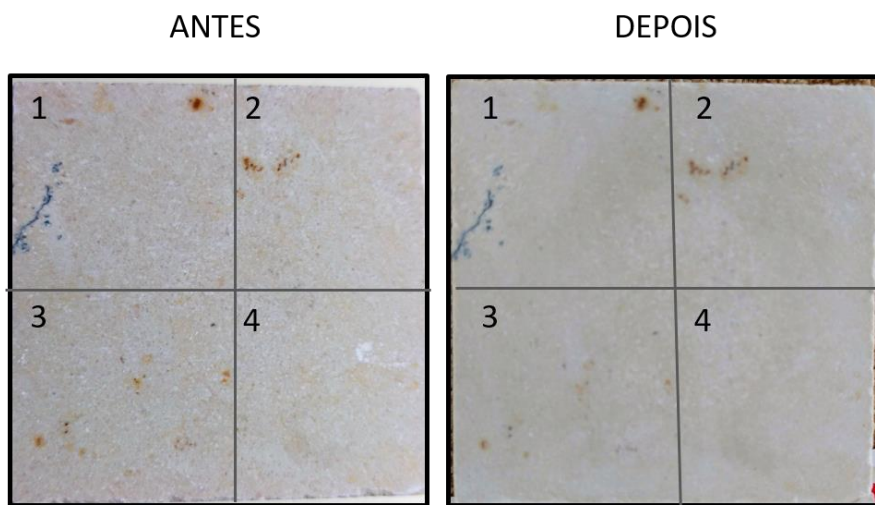
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 119 - Curva espectral da amostra 3 do limestone Crema Paraná após o ataque com sabão em pó

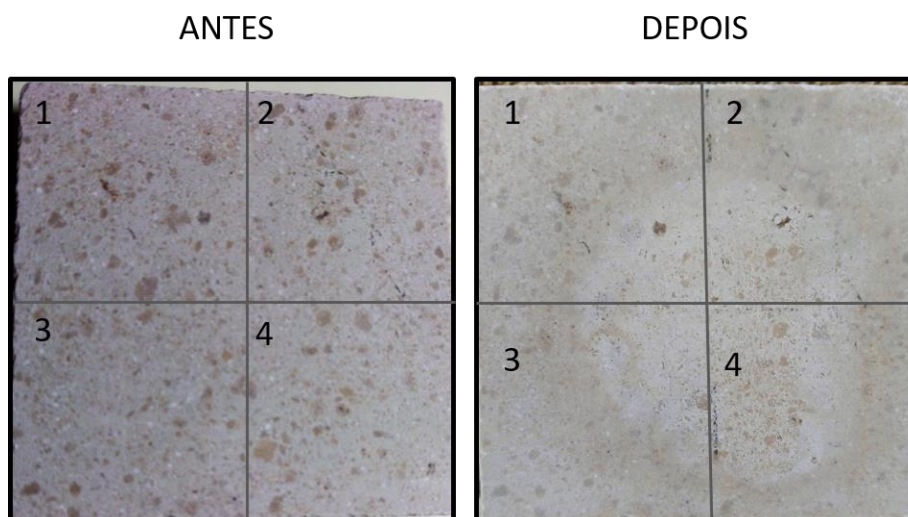


Fonte: Elaboração da autora, 2016

A aplicação do limão resultou em uma rápida perda do polimento das duas rochas com formação de uma película de sal esbranquiçada (Figuras 120 e 121). Conforme explica Kálix (2011), apesar de se tratar de um ácido fraco, após aplicado na superfície da rocha, penetra nas microfissuras com pouca ação reativa. A película formada é resultante da cristalização do soluto devido a sua rápida evaporação quando em contato com o ar. Ressalta-se que a área mais alterada no centro da amostra do Crema Paraná corresponde à área de concentração do produto quando aplicado, antes da sua distribuição ao longo da rocha. A rápida absorção, principalmente após a perda do polimento, contribuiu para a formação da mancha central.

Figura 120 – Ataque químico com limão: limestone Crema Brasil

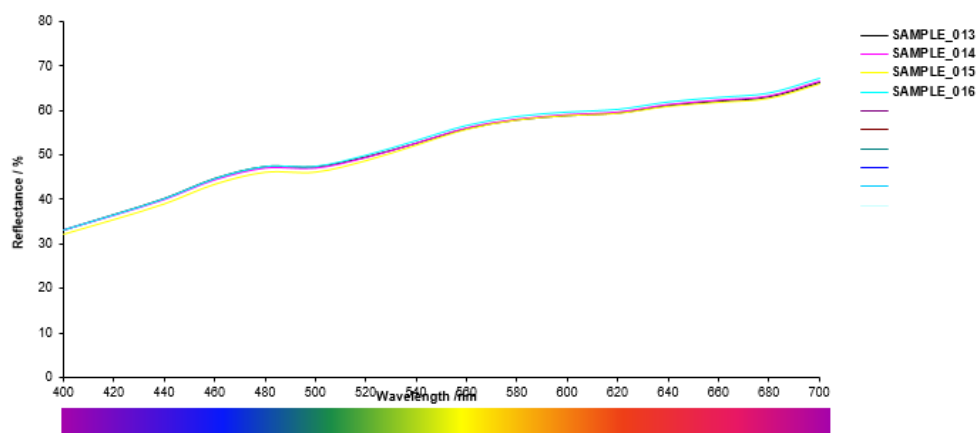
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 121 – Ataque químico com limão: limestone Crema Paraná

Fonte: Elaboração da autora, 2016

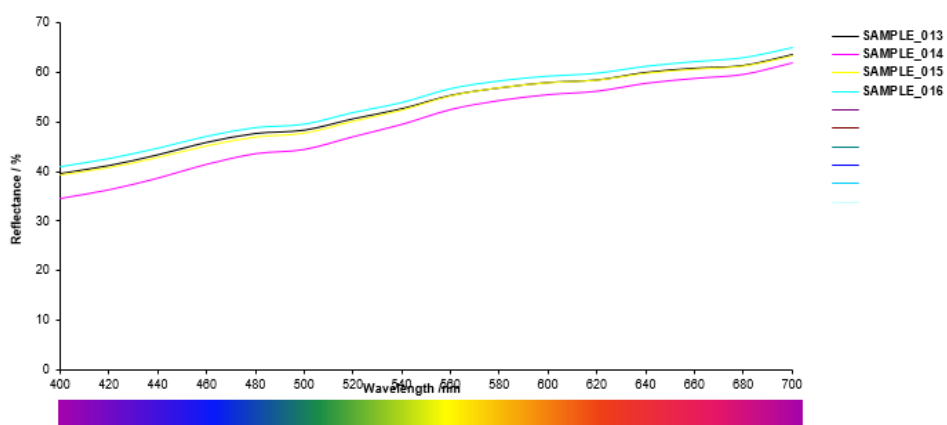
Em conformidade com as observações realizadas acima, houve um aumento nos picos do Crema Brasil (Figuras 122 e 123) após o ataque. Nos comprimentos entre 660nm a 700nm o crescimento foi, em média, 3,56%; de 540 a 640nm, 2,31%; de 420 a 520nm, e 17,33% no intervalo de 400 a 420nm. Quanto ao Crema Paraná (Figuras 124 e 125) também se observa uma maior reflectância pós-ataque. Registrou-se aumento de 3,16% (640nm a 700nm), 2,17% (540 a 620nm), 1,25% (440 a 520nm), e 11,54% (400 a 420nm). No que diz respeito à colorimetria, o Crema Brasil apresentou uma redução de luminosidade de 0,57%, 3,86% para o componente vermelho e um aumento de 20,23% do componente amarelo. Já o Crema Paraná teve sua luminosidade diminuída 0,55%, o a^* reduzido 4,36% e o b^* 19,60%.

Figura 122 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Brasil antes do ataque com limão



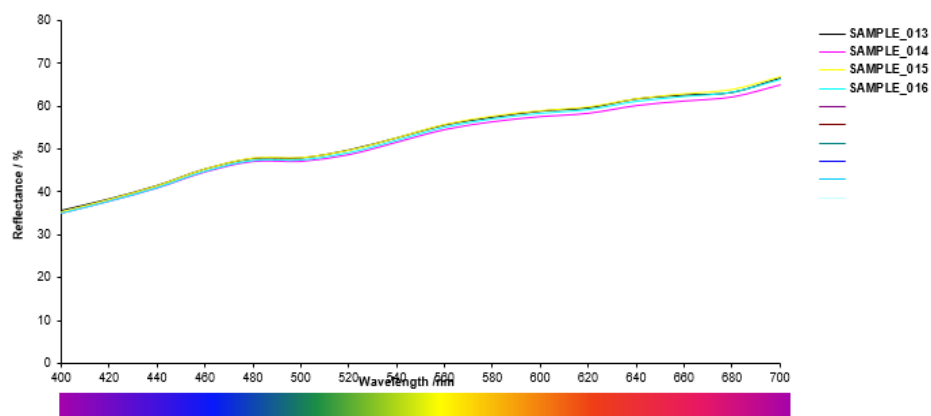
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 123 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Brasil após o ataque com limão



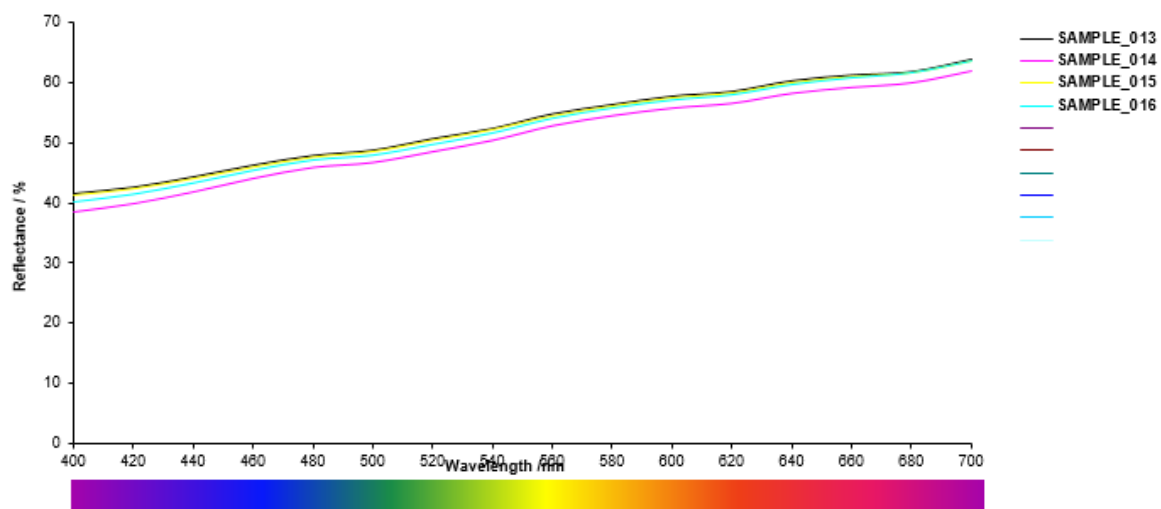
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 124 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Paraná antes do ataque com limão



Fonte: Elaboração da autora, 2016

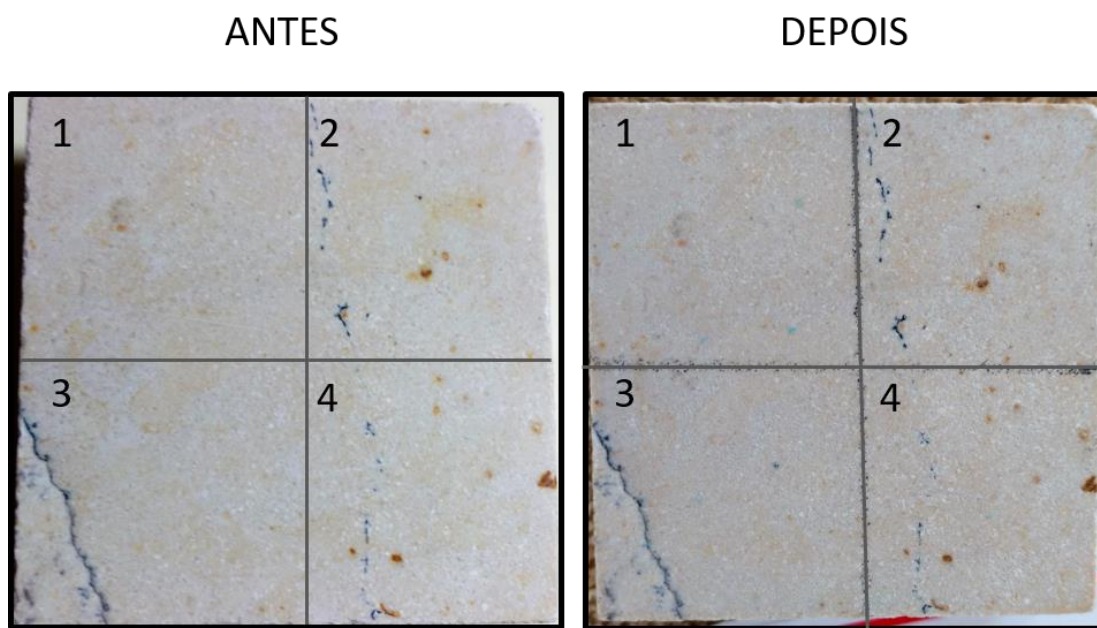
Figura 125 - Curva espectral da amostra 4 do limestone Crema Paraná após o ataque com limão



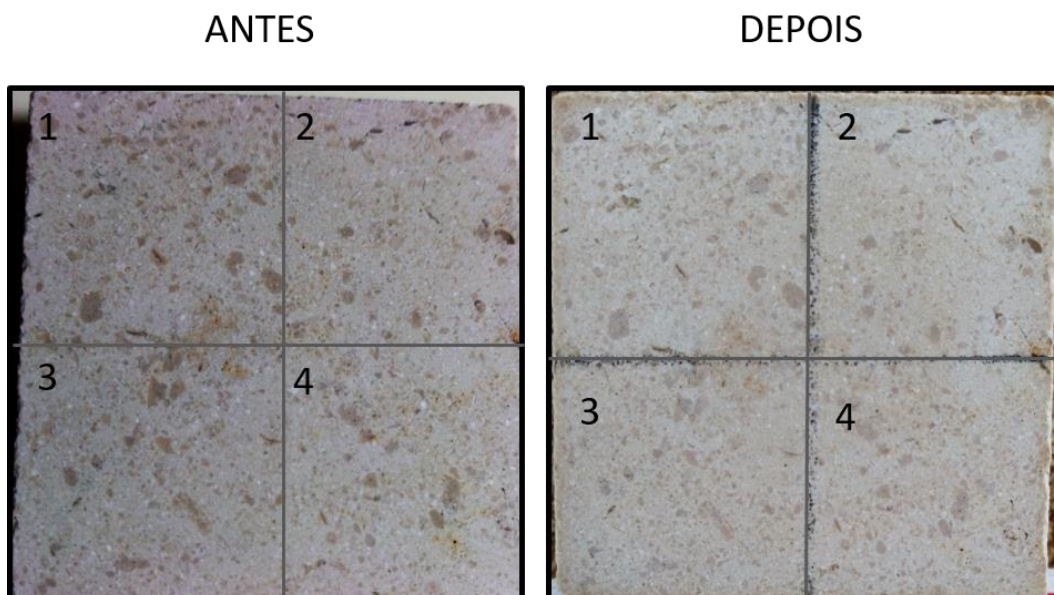
Fonte: Elaboração da autora, 2016

De maneira semelhante manifestaram-se as rochas frente à aplicação do vinagre (Figuras 126 e 127). Houve rápida perda do polimento, porém, de forma mais agressiva. O limão e o vinagre são produtos bastante utilizados para a remoção de manchas das mais diversas naturezas, mas que devem ser evitados em rochas calcárias devido à susceptibilidade desses materiais à corrosão e formação de precipitados.

Figura 126 – Ataque químico com vinagre: limestone Crema Brasil

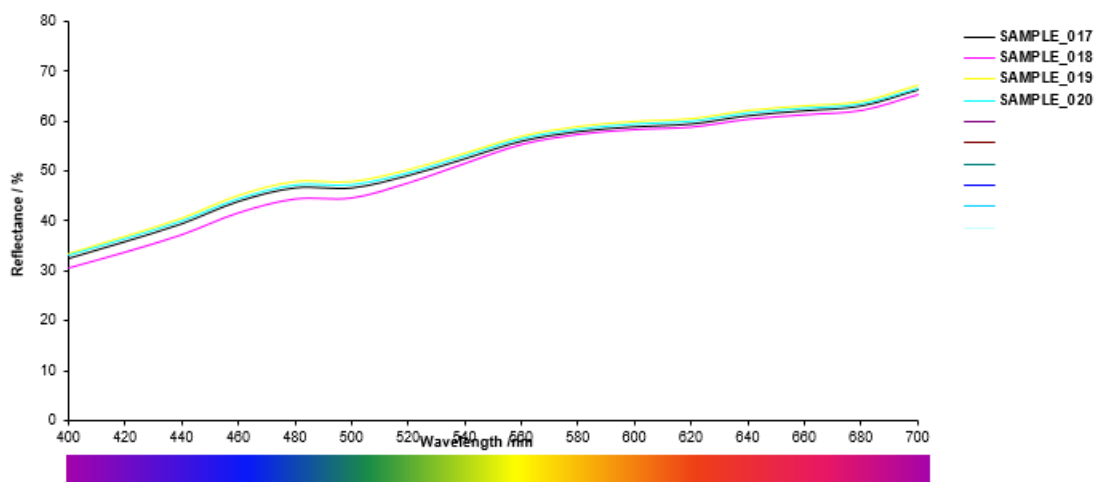


Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 127 – Ataque químico com vinagre: limestone Crema Paraná

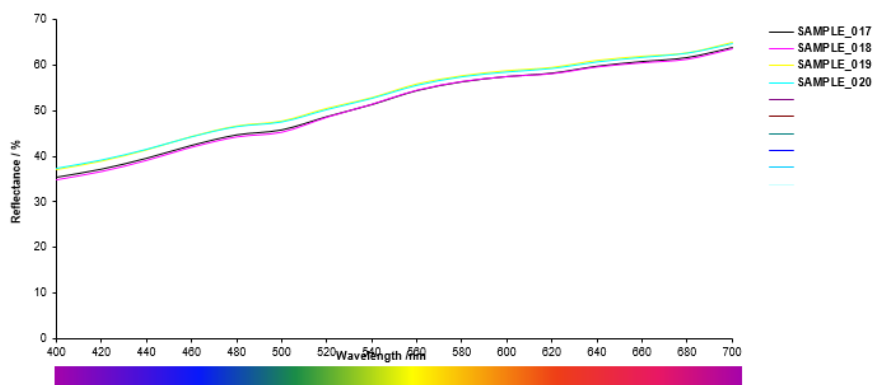
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Percebe-se, após o ataque, um aumento da reflectância tanto no Crema Brasil (Figuras 128 e 129), como no Crema Paraná (Figuras 130 e 131). No primeiro, a diferença foi, em média, 2,02% a mais de reflectância nos comprimentos de 640 a 700nm; 1,67% de 540 a 620nm; 0,66% de 460 a 520nm, e 6,87% no intervalo de 400 a 440nm. No segundo, registrou-se aumento apenas no intervalo de 400 a 420nm (7,61%). Os demais comprimentos apresentaram um maior escurecimento e consequente queda na reflectância. Os valores obtidos foram 6,95% (640nm a 700nm), 6,23% (540 a 620nm), e 3,15% (440 a 520nm).

Figura 128 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Brasil antes do ataque com vinagre

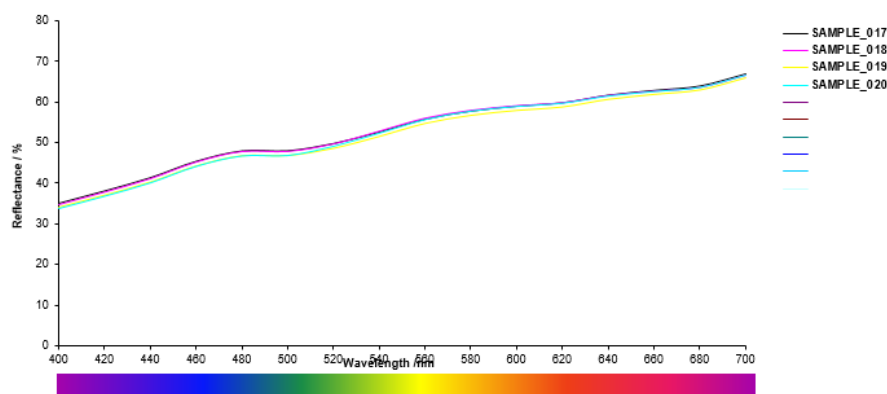
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 129 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Brasil após o ataque com vinagre



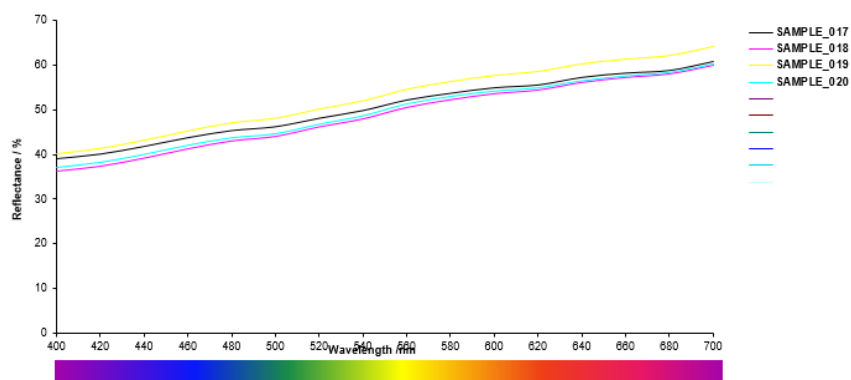
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 130 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Paraná antes do ataque com vinagre



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 131 - Curva espectral da amostra 5 do limestone Crema Paraná após o ataque com vinagre



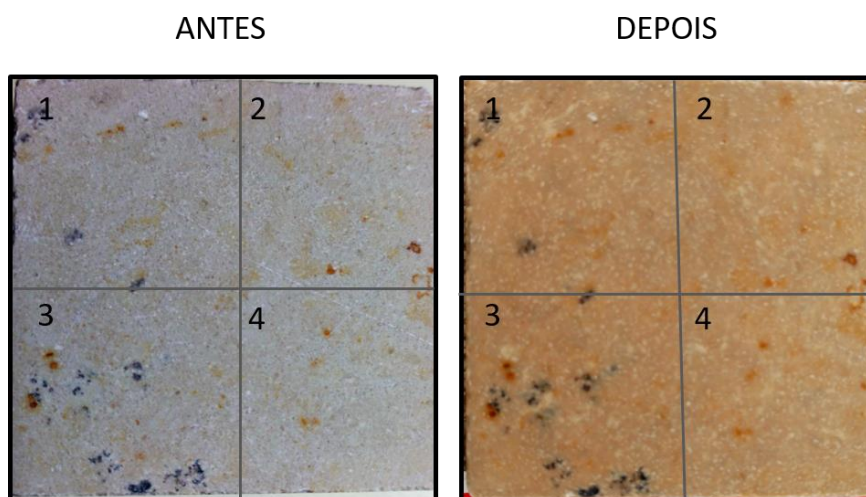
Fonte: Elaboração da autora, 2016

A colorimetria aponta para a redução dos três componentes (L^* , a^* e b^*), tanto no Crema Brasil quanto no Crema Paraná. Neste, o valor final representou uma queda

de 2,26 (L*), 3,91% (a*) e 18,90% (b*). Naquele, as diferenças foram de 0,49% (L*), 1.52% (a*) e 8,51% (b*).

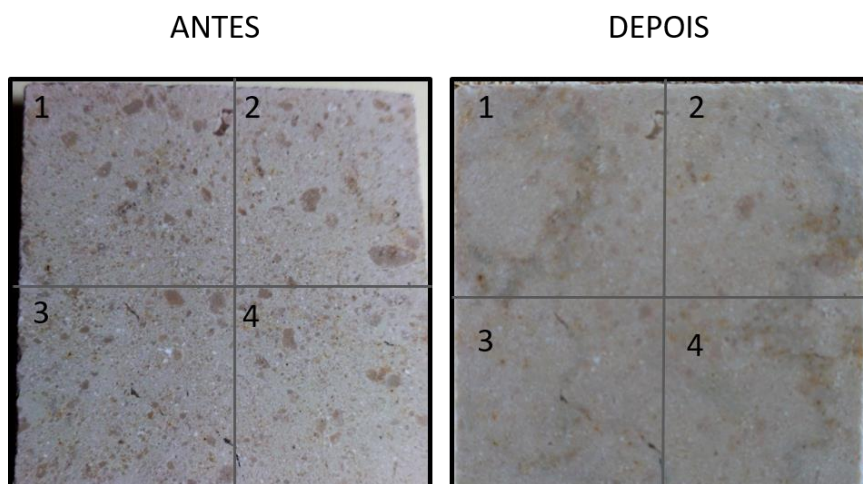
A aplicação do saponáceo cremoso, no limestone Crema Brasil (Figura 132), acarretou em seu escurecimento e acentuação das manchas de oxidação já existentes antes do ataque. Já no Crema Paraná (Figura 133), apesar de não terem sido notadas grandes alterações a olho nu, a análise de colorimetria aponta para um aumento considerável nos componentes vermelho e amarelo, mas ainda sim inferiores aos valores encontrados para o Crema Brasil. Tal fato pode ser justificado pela granulometria mais fina do Crema Brasil e a presença de argila ferro-magnésiana. Não foram encontradas manchas que indicassem a formação de precipitados.

Figura 132 – Ataque químico com saponáceo cremoso: limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

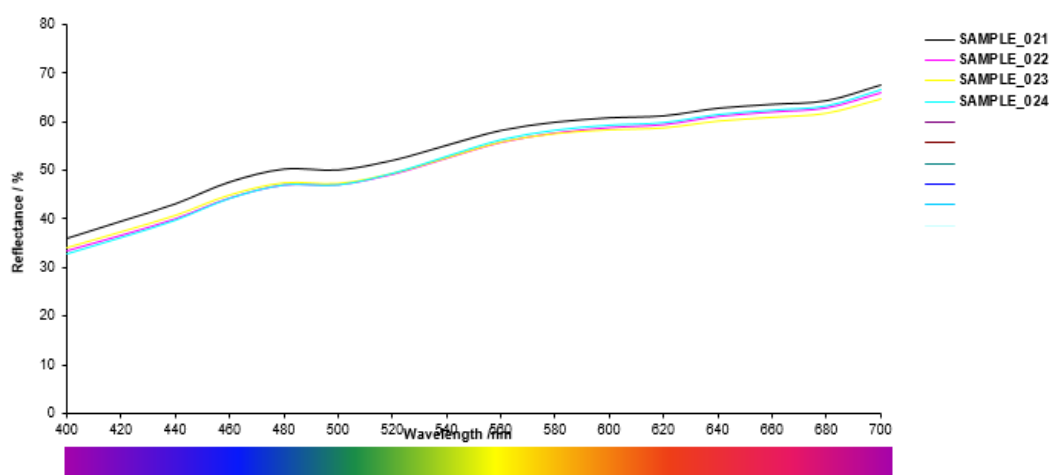
Figura 133 – Ataque químico com saponáceo cremoso: limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

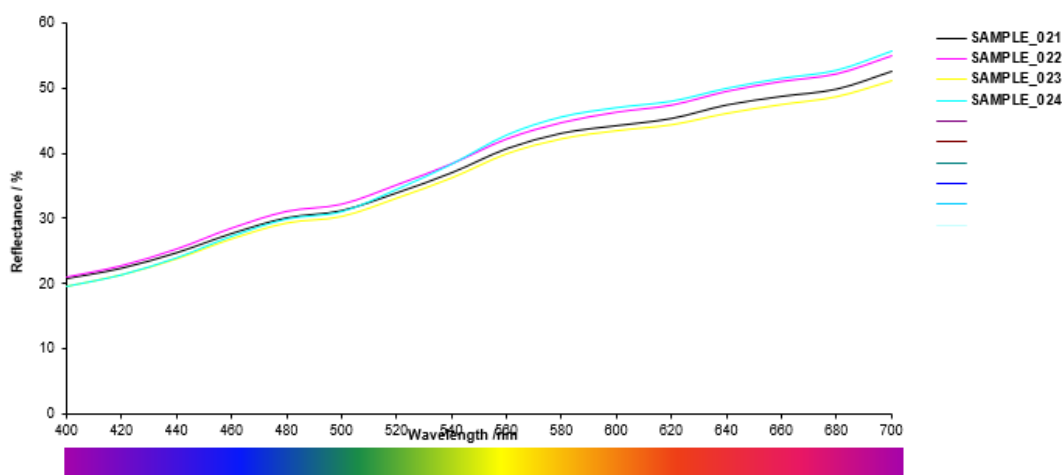
Nota-se uma grande queda na refletância das amostras do Crema Brasil (Figuras 134 e 135) e do Crema Paraná (Figuras 136 e 137). No primeiro, a diferença foi, em média, 6,95% nos comprimentos de 640 a 700nm; 25,46% de 540 a 620nm; 36,57% de 440 a 520nm, e 40,98% no intervalo de 400 a 420nm. No quesito colorimetria, destaca-se a notável redução da luminosidade, a qual inicialmente conferia um valor de 78,61% e, após o ataque, 68,71%. Houve aumento de 95% do componente vermelho e 50,37% do componente amarelo. No segundo, os valores obtidos foram 20,25% (640nm a 700nm), 25,04% (540 a 620nm), e 33,13% (440 a 520nm) e 35,70% (400 a 420nm). O Crema Paraná também apresentou uma redução do L^* (12%), e adição do a^* (57,70%) e b^* (35,7%).

Figura 134 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Brasil antes do ataque com saponáceo cremoso



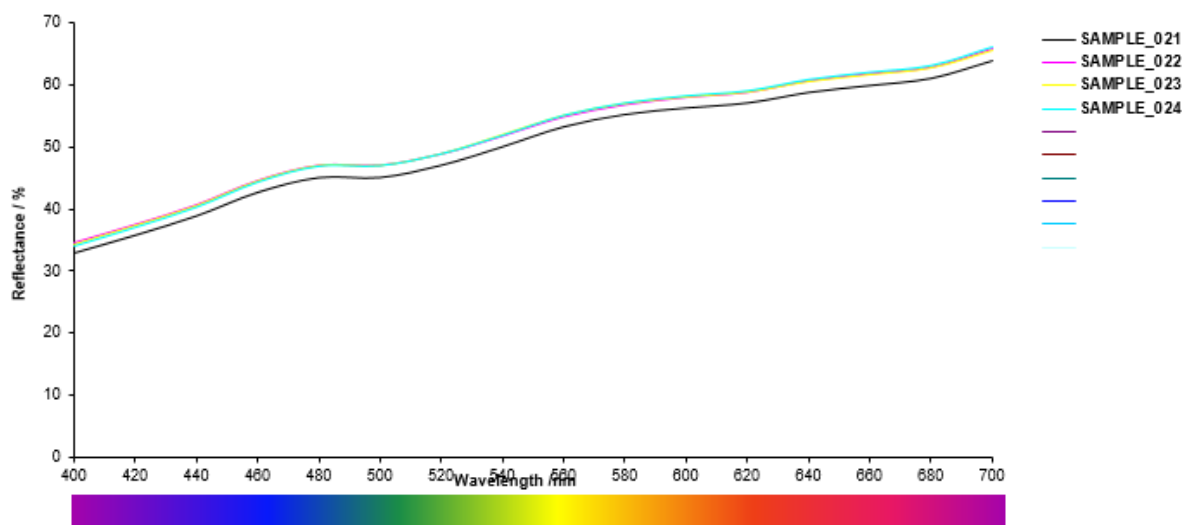
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 135 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Brasil após o ataque com saponáceo cremoso



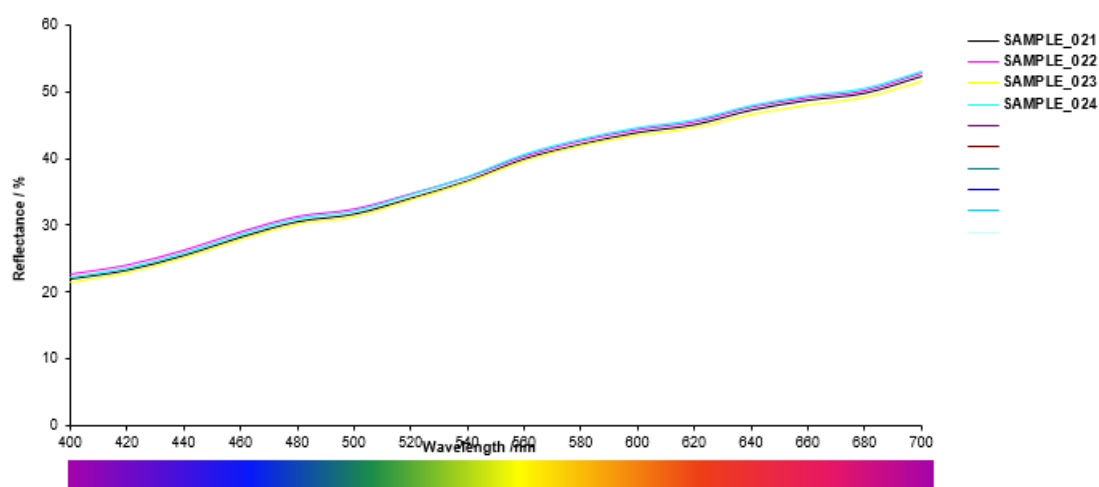
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 136 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Paraná antes do ataque com saponáceo cremoso



Fonte: Elaboração da autora, 2016

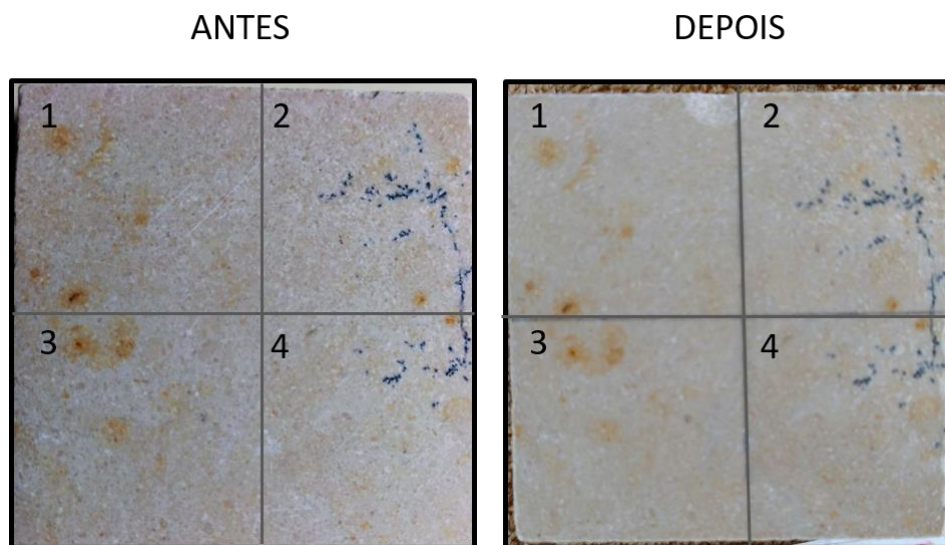
Figura 137 - Curva espectral da amostra 6 do limestone Crema Paraná após o ataque com saponáceo cremoso



Fonte: Elaboração da autora, 2016

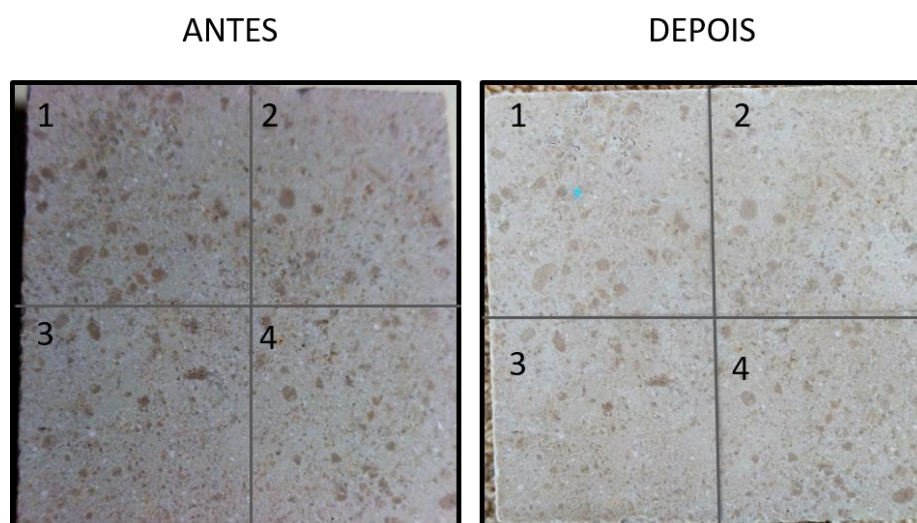
Ao contrário do esperado, o multiuso com álcool provocou escurecimento dos dois litotipos (Figuras 138 e 139), incluindo a acentuação das fissuras identificadas na superfície do Crema Paraná, além da manifestação de manchas nos quadrantes 1, 2 e 4 desta rocha. Deve-se lembrar que a presença de fissuras contribui para a penetração do líquido para o interior da rocha, causando uma maior alteração.

Figura 138 – Ataque químico com multiuso com álcool: limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

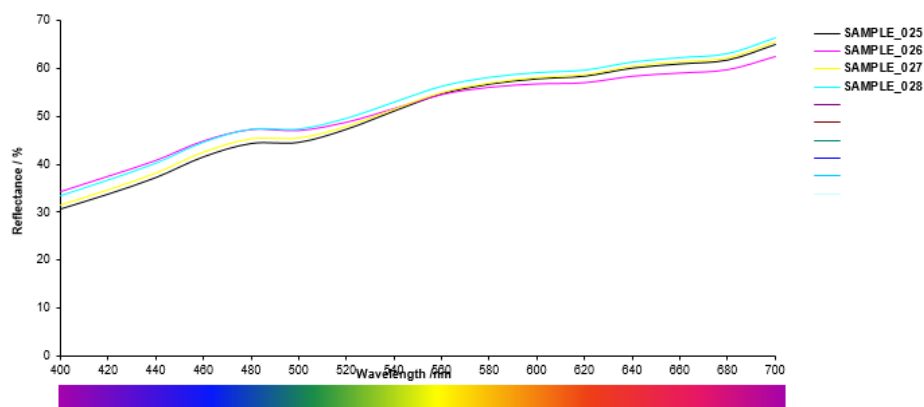
Figura 139 – Ataque químico com multiuso com álcool: limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

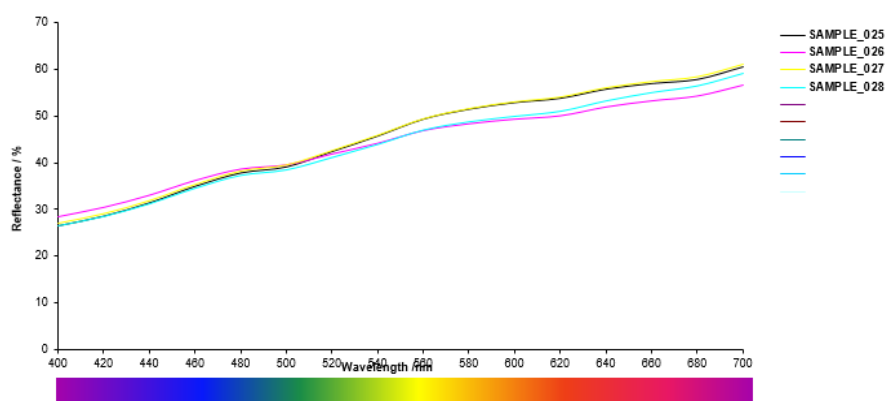
No que diz respeito à reflectância, no Crema Brasil (Figuras 140 e 141), obteve-se uma diminuição de 8,67% para os comprimentos entre 640nm e 700nm, 11,98% (540 a 620nm), 16,04% (460 a 520nm) e 17,58% (400 a 440nm). Para a luminosidade, a^* e b^* obteve-se valores iniciais de 77,70%, 2,51% e 12,59%, respectivamente; e finais de 73,48%, 2,98% e 14,87%, respectivamente. Já no Crema Paraná (Figuras 142 e 143), de maneira geral, percebe-se uma diferença da ordem de 7% em todos os comprimentos de onda. Os resultados iniciais da colorimetria foram 77,76% (L^*), 2,86% (a^*) e 11,52% (b^*). Já os finais foram 75,22% (L^*), 3,09% (a^*) e 12,58% (b^*), conferindo aumento dos componentes vermelho e amarelo.

Figura 140 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Brasil antes do ataque com multiuso com álcool



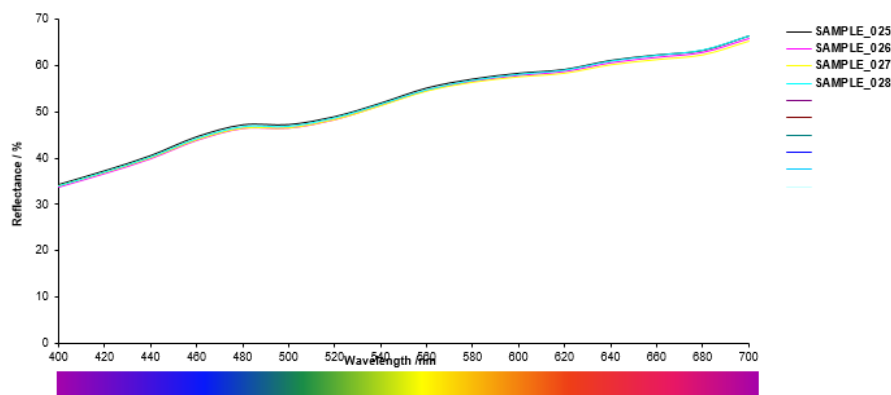
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 141 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Brasil após o ataque com multiuso com álcool



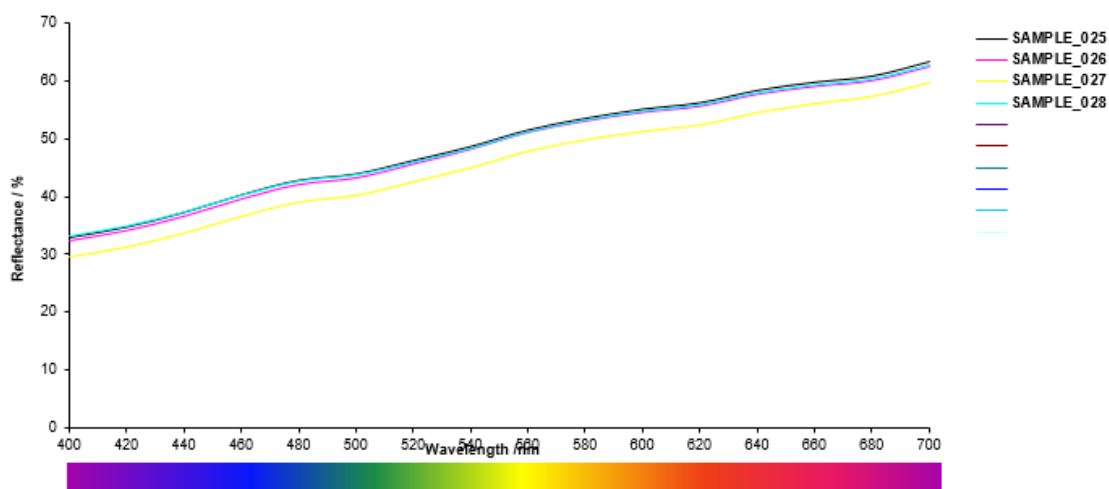
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 142 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Paraná antes do ataque com multiuso com álcool



Fonte: Elaboração da autora, 2016

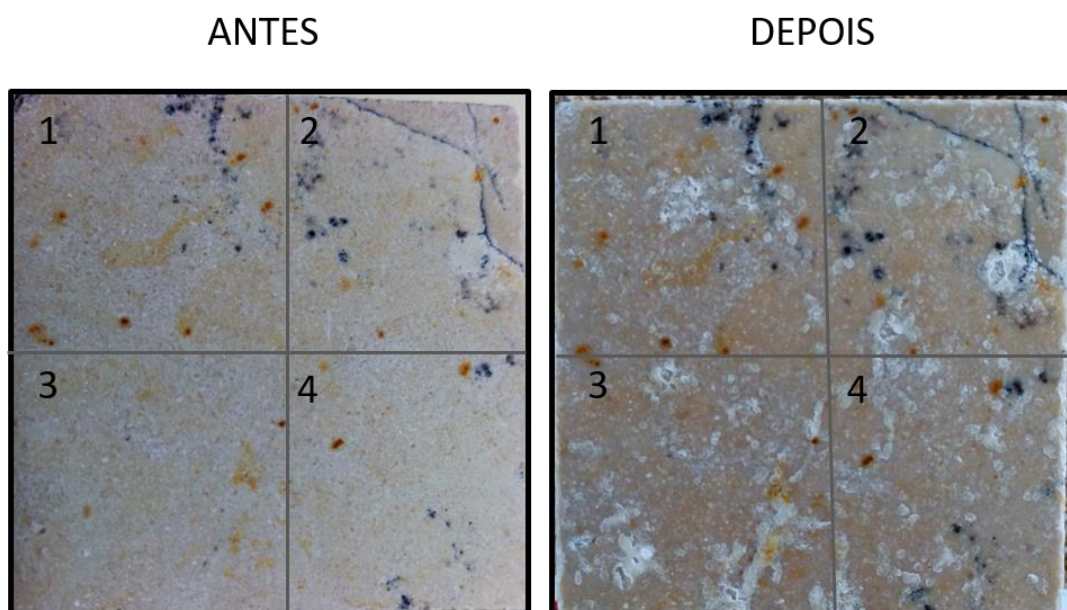
Figura 143 - Curva espectral da amostra 7 do limestone Crema Paraná após o ataque com multiuso com álcool



Fonte: Elaboração da autora, 2016

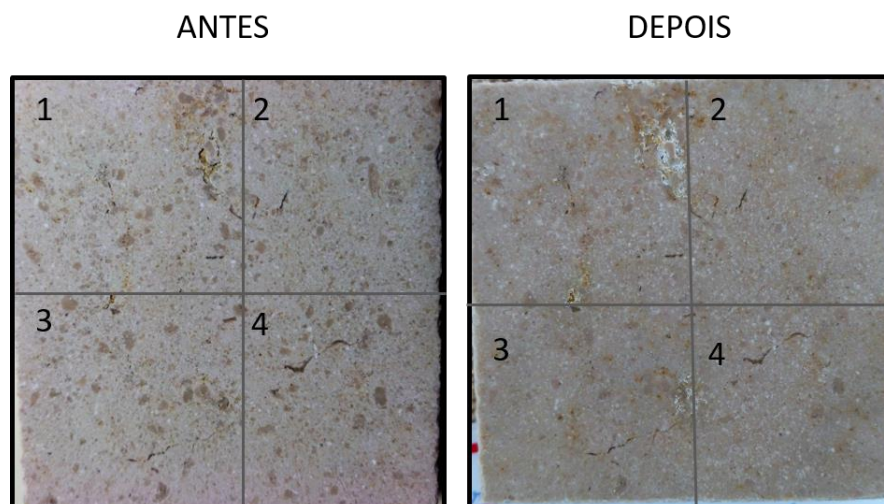
Devido a sua composição, o saponáceo cremoso foi um dos produtos que causou maior alteração dos limestones (Figuras 144 e 145). Observa-se escurecimento das amostras dos dois tipos de rocha, além da formação de precipitados no Crema Brasil e da acentuação de fissuras do Crema Paraná. Recomenda-se evitar produtos com cloro ativo em sua composição, os quais são bastante utilizados para a limpeza de banheiros e demais áreas propícias à proliferação de bactérias.

Figura 144 – Ataque químico com saponáceo cremoso com cloro ativo: limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

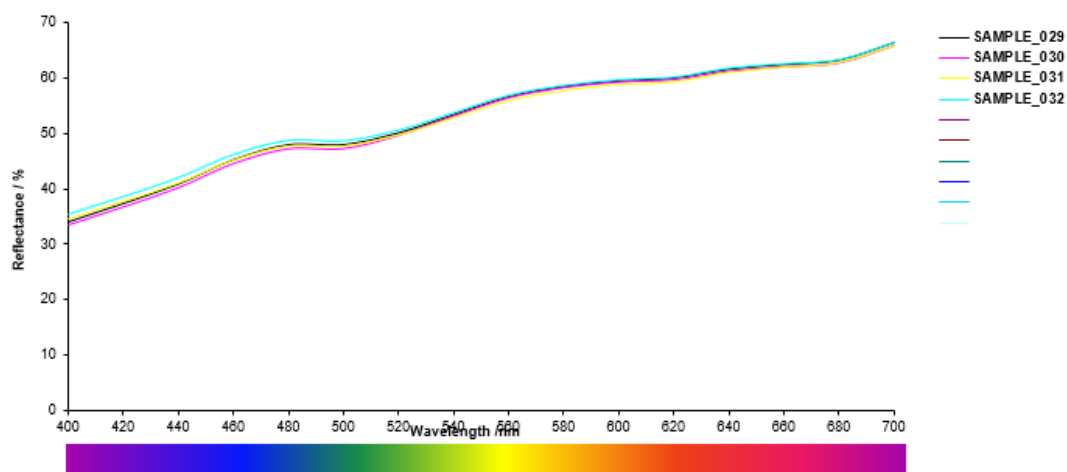
Figura 145 – Ataque químico com saponáceo cremoso com cloro ativo: limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

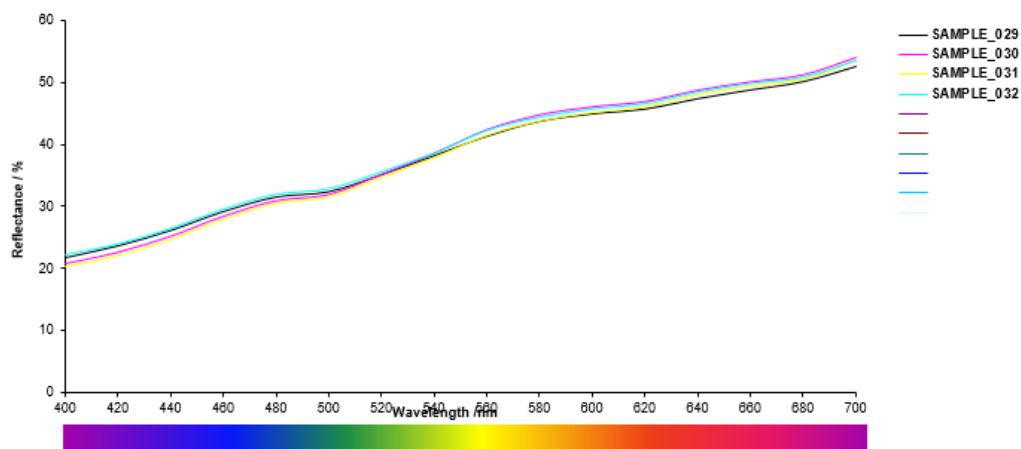
Nota-se uma grande queda na refletância das amostras do Crema Brasil (Figuras 146 e 147) e do Crema Paraná (Figuras 148 e 149). No primeiro, a diferença foi, em média, 20,15% nos comprimentos de 640 a 700nm; 24,76% de 540 a 620nm; 34,20% de 440 a 520nm, e 38,28% no intervalo de 400 a 420nm; enquanto a luminosidade foi reduzida em 12%, o componente vermelho acrescido 70,54%, e o amarelo em 42,02%. No segundo, as diferenças das curvas espectrais antes e após o ataque foram 17,23% (640nm a 700nm), 20,94% (540 a 620nm), 28,63% (440 a 520nm) e 31,37% (400 a 420nm); e do L*, a* e b* de -9,95%, +46,40% e +34,86%, respectivamente.

Figura 146 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Brasil antes do ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo



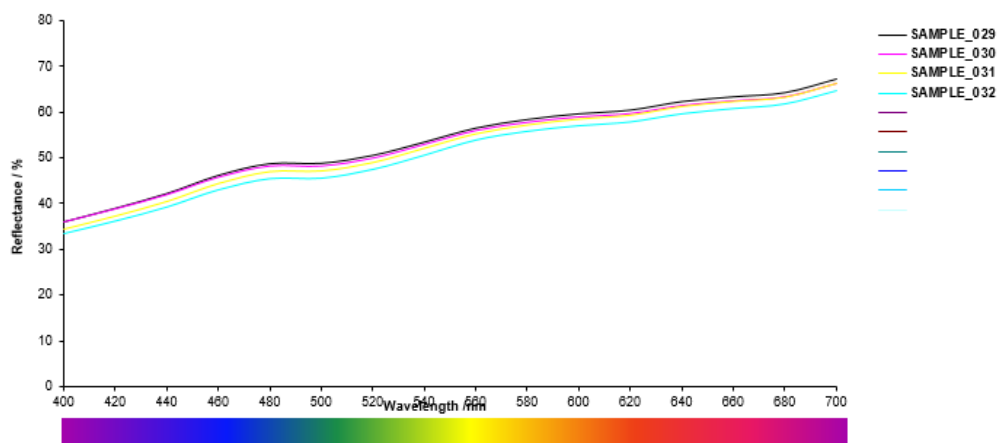
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 147 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Brasil após o ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo



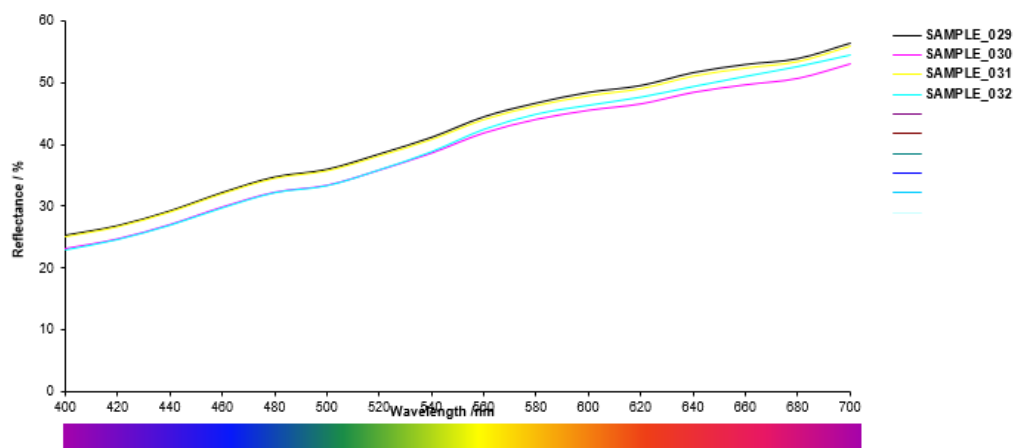
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 148 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Paraná antes do ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo



Fonte: Elaboração da autora, 2016

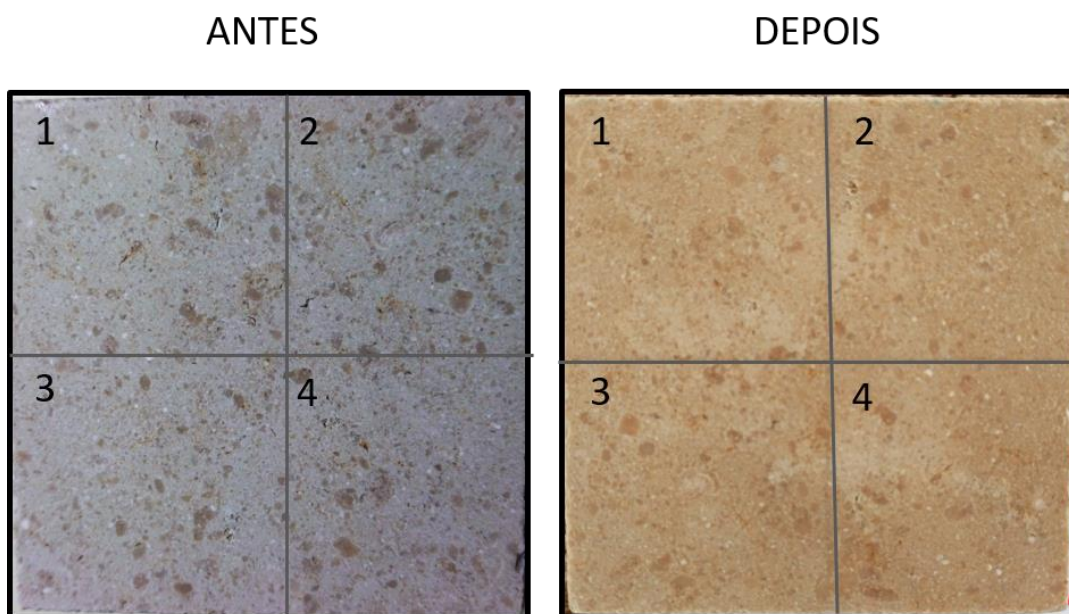
Figura 149 - Curva espectral da amostra 8 do limestone Crema Paraná após o ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo



Fonte: Elaboração da autora, 2016

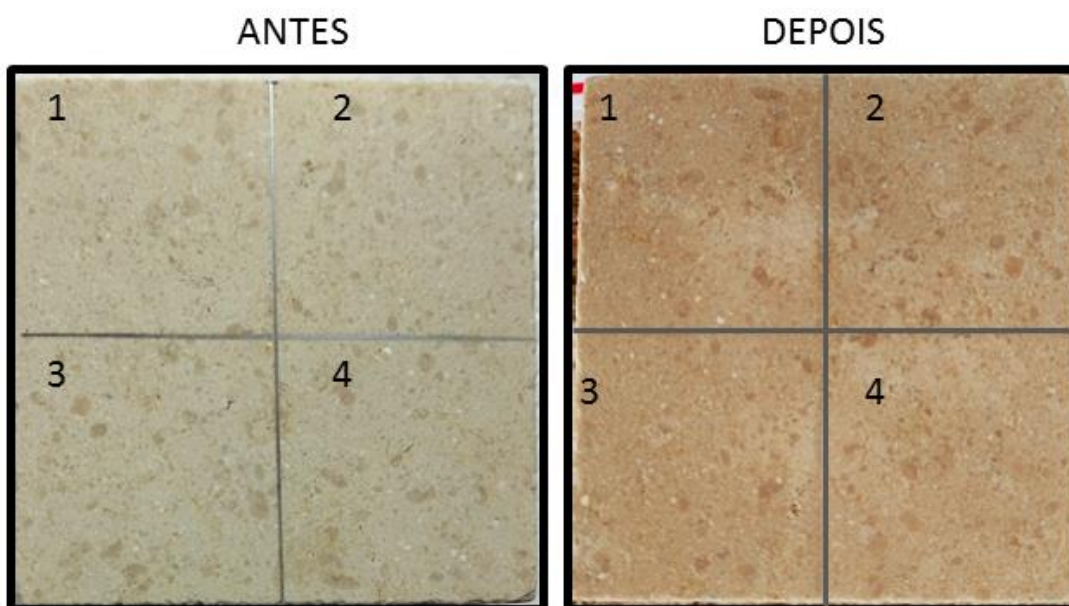
No limestone Crema Brasil (Figura 150), o detergente neutro, conforme esperado, não provocou alterações consideráveis. Já no Crema Paraná (Figura 151), percebe-se o escurecimento da rocha de maneira mais intensa que o sabão em pó, contrariando as expectativas.

Figura 150- Ataque químico com detergente neutro: limestone Crema Brasil



Fonte: Elaboração da autora, 2016

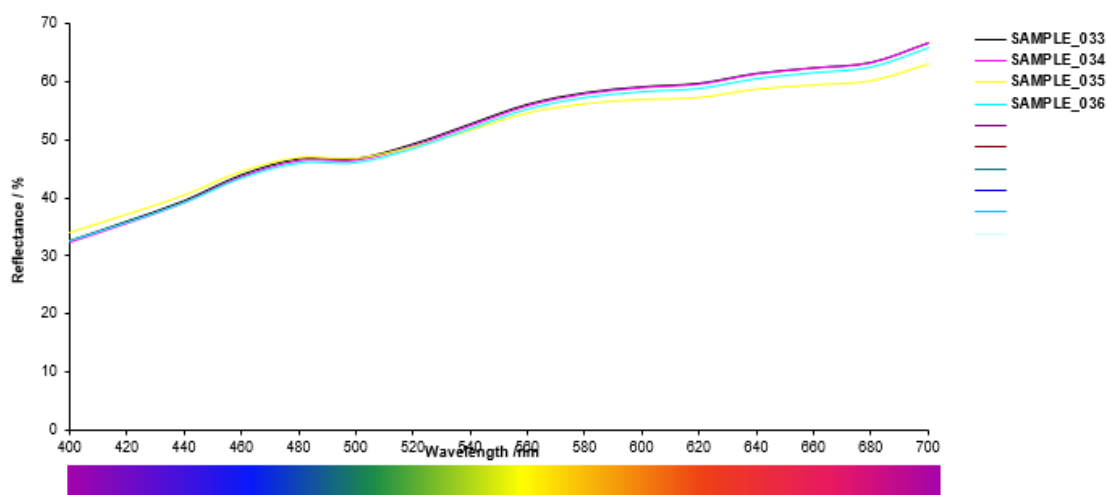
Figura 151 – Ataque químico com detergente neutro: limestone Crema Paraná



Fonte: Elaboração da autora, 2016

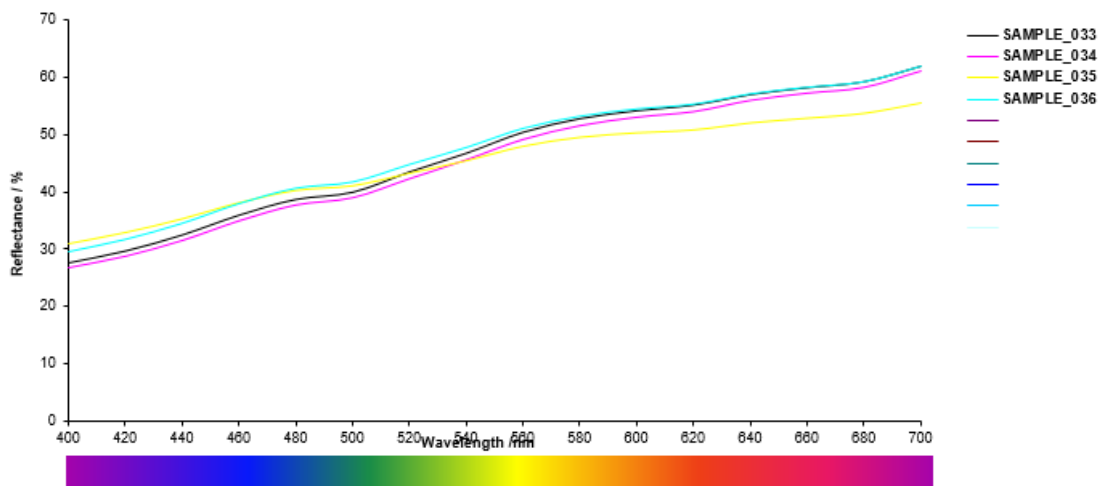
Os dados obtidos através do espectrofotômetro para o Crema Brasil (Figuras 152 e 153) mostram uma pequena redução no percentual de reflectância, sendo 7,86% nos comprimentos de 640 a 700nm; 9,74% de 540 a 620nm; 13,94% de 460 a 520nm, e 14,38% no intervalo de 400 a 440nm. A luminosidade foi reduzida em 4.55%, enquanto o componente vermelho aumentou 22,80% e o amarelo 17,53%. No Crema Paraná (Figuras 154 e 155), a diferença de reflectância foi de 9,70% (660nm a 700nm), 12,55% (560 a 640nm), 18,21% (460 a 540nm) e 21,95% (400 a 440nm); e a de luminosidade de -7,75%, do a^* de +49,08%, e do b^* de +30,56%, apontando para uma maior alterabilidade desta rocha em relação ao Crema Brasil.

Figura 152 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Brasil antes do ataque com detergente neutro



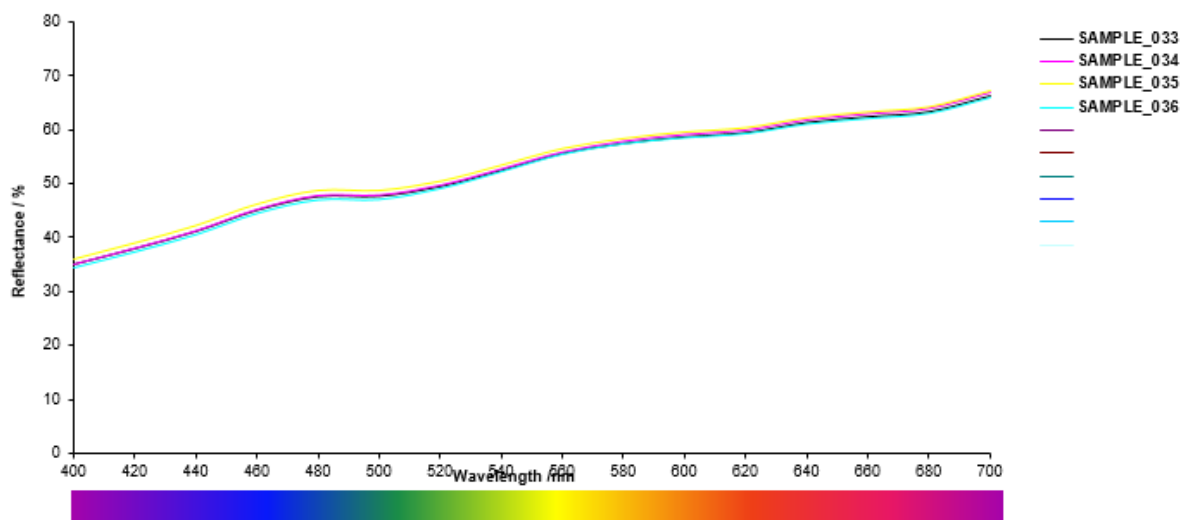
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 153 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Brasil após o ataque com detergente neutro



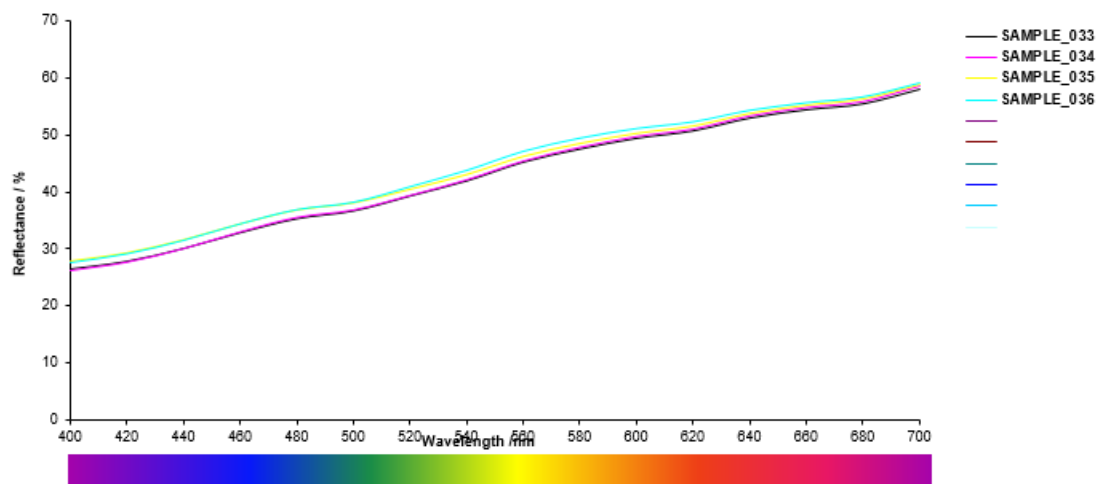
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 154 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Paraná antes do ataque com detergente neutro



Fonte: Elaboração da autora, 2016

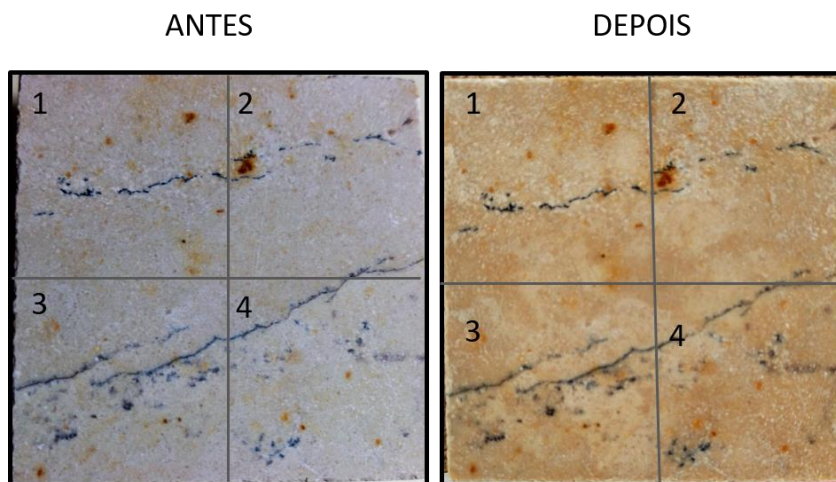
Figura 155 - Curva espectral da amostra 9 do limestone Crema Paraná após o ataque com detergente neutro



Fonte: Elaboração da autora, 2016

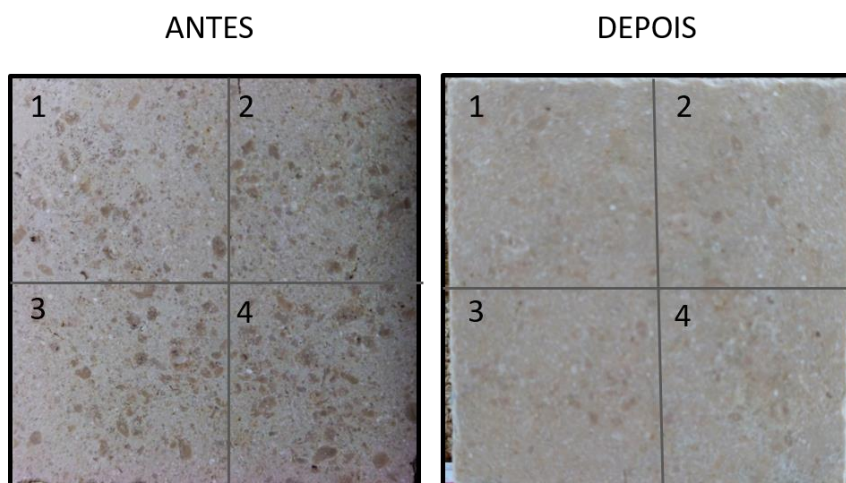
Assim como o saponáceo cremoso com cloro ativo, o limpador a seco mostrou ser um forte agente alterador dos limestones. A Figura 156 expõe o escurecimento da amostra do Crema Brasil, além da acentuação das manchas de oxidação existentes. Já a Figura 157 mostra a formação de uma película esbranquiçada no Crema Paraná. O escurecimento do Crema Brasil é comprovado através da análise da curva espectral antes e depois do ataque (Figuras 158 e 159), a qual apresentou uma redução de 14,95% (640nm a 700nm), 19,72% (520 a 620nm), 27,71% (460 a 500nm) e 29,79% (400 a 440nm).

Figura 156 – Ataque químico com limpador a seco: limestone Crema Brasil



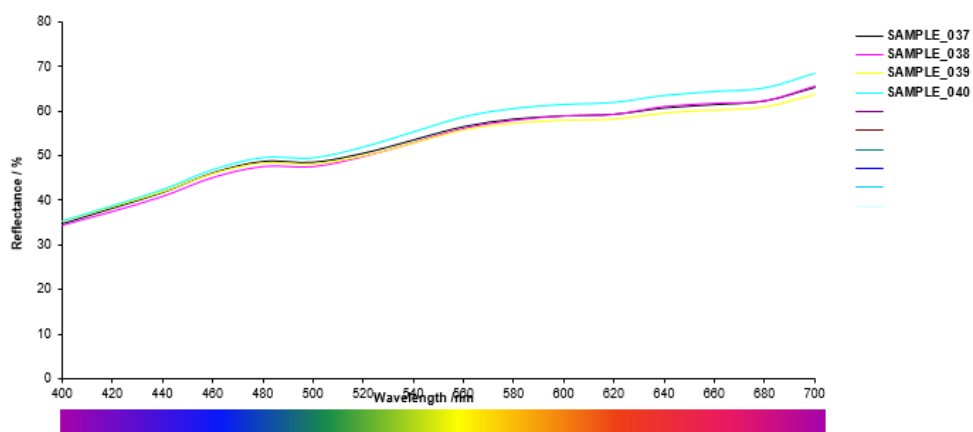
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 157 – Ataque químico com limpador a seco: limestone Crema Paraná



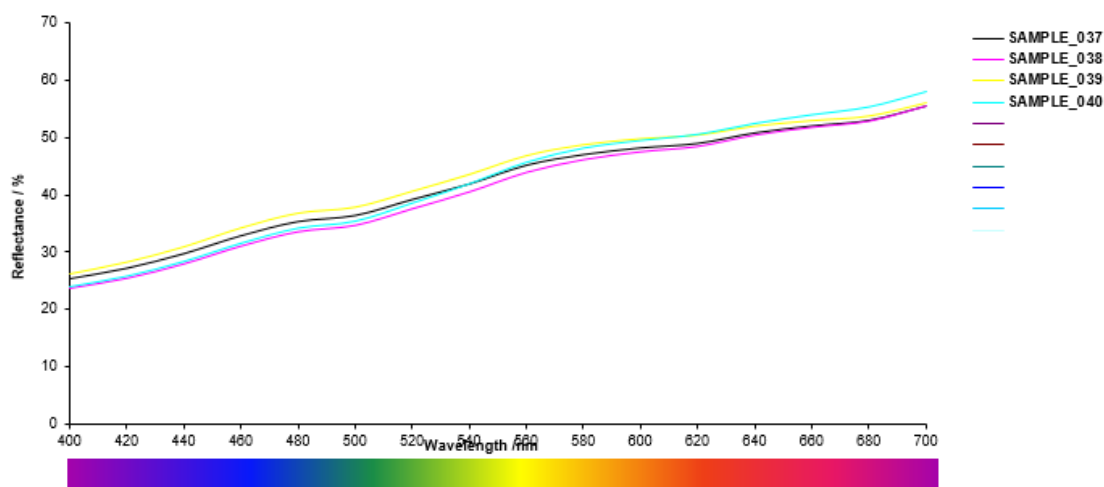
Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 158 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Brasil antes do ataque com limpador a seco



Fonte: Elaboração da autora, 2016

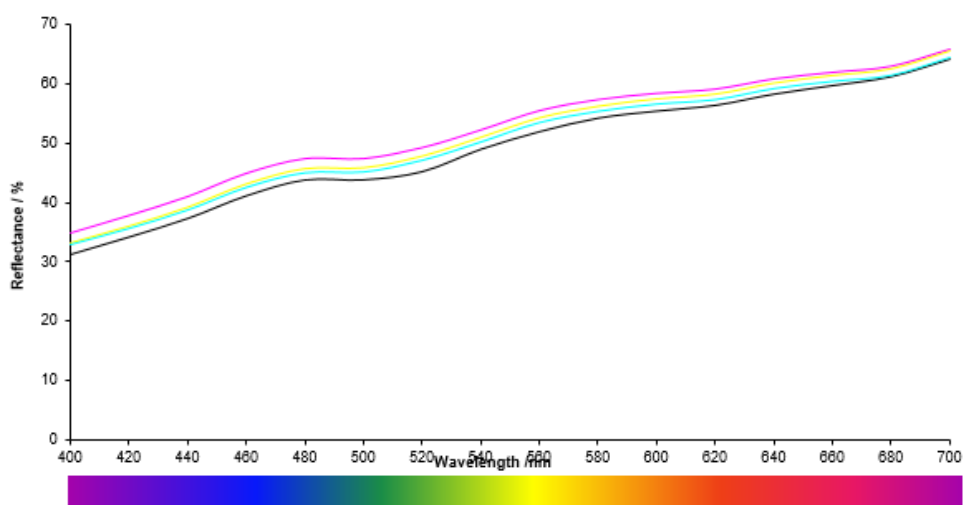
Figura 159 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Brasil após o ataque com limpador a seco



Fonte: Elaboração da autora, 2016

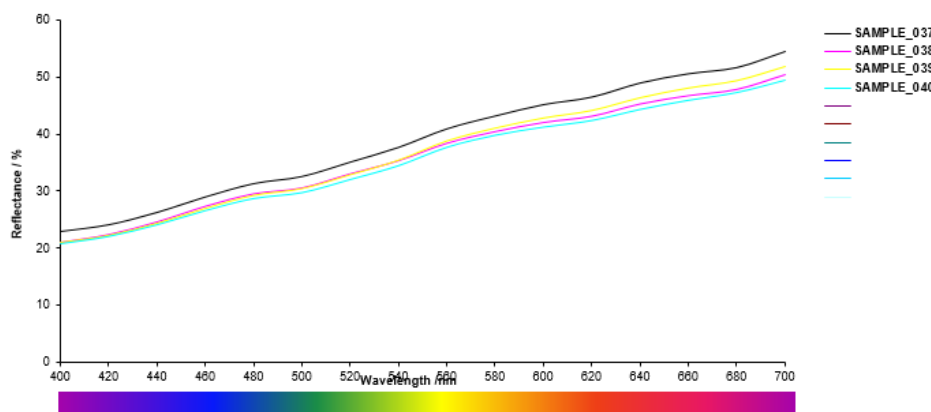
Em conformidade, a luminosidade diminuiu 0,09% ao término do experimento, enquanto o componente vermelho aumentou 63,85% e o amarelo 37,49%. Já no Crema Paraná (Figuras 160 e 161), apesar de visivelmente o escurecimento ter sido um pouco mais leve do que o Crema Brasil, com presença de pontos brancos que provavelmente correspondem à precipitação de sais, a curva espectral antes e após o ataque mostra uma redução de 18,14% (680nm a 700nm), 22,04% (560 a 660nm), 28,68% (480 a 540nm) e 28,32% (400 a 460nm). Já a colorimetria aponta para uma redução de 12,61% do L^* , e um aumento de 50,84% do a^* e 31,16% do b^* ,

Figura 160 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Paraná antes do ataque com limpador a seco



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Figura 161 - Curva espectral da amostra 10 do limestone Crema Paraná após o ataque com limpador a seco



Fonte: Elaboração da autora, 2016

Com exceção do multiuso com álcool e o detergente neutro cujas alterações mostraram-se mais acentuadas do que o sabão em pó para o Crema Paraná, os demais produtos produziram resultados consoantes com as expectativas. Cabe destacar inclusive, que apesar da água sanitária, desinfetante, sabão em pó e detergente estarem dissolvidos em água, podendo facilitar a penetração dos solutos nos vazios das rochas, suas ações podem ser reduzidas em virtude da quantidade de água presente na solução. Já produtos como o saponáceo cremoso com e sem cloro ativo, limpador a seco e multiuso com álcool entram em contato direto com os minerais das rochas agindo de maneira mais eficaz.

No intuito de sustentar as análises dos ataques químicos, foi feita a medição de brilho das amostras a cada intervalo de 5 dias. Os valores obtidos para o Crema Brasil estão listados na Tabela 12, a seguir.

Tabela 12 – Medição de brilho: limestone Crema Brasil

Amostra	Inicial	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias	35 dias	40 dias
R1	33,00	34,50	27,75	35,25	29,75	32,75	34,25	36,75	35,50
R2	26,50	32,00	33,00	37,75	33,25	34,50	33,25	35,50	35,50
R3	26,25	32,00	30,00	20,25	32,50	34,75	25,75	27,75	40,50
R4	28,00	5,50	12,00	7,75	9,50	11,75	10,00	7,00	13,50
R5	34,00	5,00	2,25	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
R6	23,50	23,25	15,25	18,75	14,25	18,00	12,75	15,50	14,50
R7	20,00	28,50	29,50	30,50	29,00	29,75	29,25	31,75	38,25
R8	23,50	28,25	32,50	32,75	25,50	27,00	29,50	27,50	35,00
R9	20,00	25,25	19,25	22,50	18,25	18,00	17,00	13,00	18,00
R10	23,00	29,75	29,00	32,75	26,25	5,25	23,25	27,50	28,00

Fonte: Elaboração da autora, 2016

As medições apontam para um aumento de 4,54% no brilho das amostras atacadas com água sanitária (R1) após o 5º dia, sofrendo um decréscimo até o 15º dia e um novo aumento após o 25º. Já o desinfetante (amostra R2) aumenta 20% no 5º dia, 14,39% após mais dez dias e mantém-se mais ou menos estável até o fim do experimento. O sabão em pó (amostra R3), nos primeiros 5 dias, sofre um acréscimo de brilho de 21,90%, voltando a crescer apenas no 20º dia. O limão (R4) e o vinagre (R5) acarretaram na rápida perda de brilho, sendo este mais forte que aquele. O limão, após uma queda de 80,36% de brilho no 5º dia, oscila de valores até o fim do experimento, enquanto o brilho do vinagre cai 85% nos 5 primeiros dias e mais 55% no 10º, mantendo-se constante a partir de então. As amostras sujeitas às ações do saponáceo cremoso (R6) diminuem de brilho a partir do 10º dia (34,40%), oscilando em +/- 3% até o término do ciclo. O multiuso com álcool (R7) aumenta de brilho até o 15º dia, mantendo-se mais ou menos estável até o 35º dia. O saponáceo cremoso com cloro ativo não causou grandes variações no brilho, com exceção do aumento registrado no 15º dia e da queda de 22,13% no 20º dia. Até o 15º dia, a amostra atacada com limpador a seco (R10) teve seu brilho mais intensificado, sofrendo uma queda até o 25º dia e aumentando novamente até o término do experimento. Cabe destacar que superfícies de cor mais escura tendem a refletir menos a luz. Como o Crema Brasil possui veios de minerais escuros, acredita-se que as variações encontradas nos valores dos brilhos podem estar associadas a este fator.

De maneira semelhante manifestou-se o Crema Paraná (Tabela 13), com exceção da amostra P7 (multiuso com álcool), a qual mostrou um aumento do brilho até o 10º dia, oscilando até o término do experimento; e do saponáceo cremoso com cloro ativo (P8) que apresentou brilho praticamente constante. O brilho da amostra atacada com vinagre (P5) manteve-se constante a partir do 5º dia, após uma queda de 93,37%. Interessante destacar que a amostra P10 (limpador a seco), assim como no Crema Brasil, teve um decréscimo de brilho de cerca de 76% no 25º dia, voltando a aumentar pós mais cinco dias. Tal fato pode ser associado à presença de precipitados.

Tabela 13 – Medição de brilho: limestone Crema Paraná

Amostra	Sem ataque	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias	35 dias	40 dias
R1	29,00	40,00	44,25	38,25	38,75	48,00	39,25	45,25	46,75
R2	35,25	48,75	48,50	54,00	52,25	52,50	48,25	52,25	48,75

R3	36,25	39,75	38,75	37,25	45,50	46,00	28,00	44,50	44,50
R4	33,75	4,50	8,75	9,25	11,50	12,25	4,50	11,50	13,50
R5	45,25	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00
R6	36,50	33,25	29,75	29,50	26,25	32,00	27,50	30,25	29,00
R7	44,50	54,75	57,50	51,75	54,50	59,50	55,00	59,00	63,75
R8	43,50	42,50	45,50	45,00	45,00	50,75	48,00	48,00	49,00
R9	39,00	39,25	32,50	29,50	31,00	31,75	29,25	31,75	32,75
R10	38,25	35,50	31,00	31,00	27,50	6,50	25,25	28,50	25,25

Fonte: Elaboração da autora, 2016

6 CONCLUSÃO

Apesar de os limestones Crema Paraná e Crema Brasil serem encontrados no mercado como Crema Riviera, os experimentos realizados comprovam que, embora se tratem de rochas calcárias sedimentares de origem aloquímica tendo a calcita como mineral predominante, divergem em aspectos como composição e tamanho dos grãos. Enquanto o limestone Crema Paraná possui uma maior quantidade de fósseis em seu arcabouço – perceptíveis inclusive a olho nu, conforme visto na obra do Museu do Amanhã -, uma matriz milimétrica (0,025mm) e cristais de dolomita; o limestone Crema Brasil apresenta uma textura submilimétrica inequigranular com presença de biomicritos. Além disso, devido à coloração, o Crema Brasil indica a presença de argila rica em ferro e magnésio, bastante susceptível à alteração, sendo notória a presença de manchas de oxidação. Cabe destacar que, de acordo com a classificação de Dunham (1962), ambos os limestones pertencem ao grupo dos *mudstones*, devido ao arcabouço suportado pela matriz e a ocorrência de menos de 10% de grãos em relação à composição total da rocha.

Os ensaios de caracterização tecnológica refletem a diferença entre os dois materiais. Os índices físicos e o comportamento mecânico, comparados com a ASTM C568, apontam para um calcário de média densidade ($2558,50\text{kg/m}^3$) com valores altos de resistência à compressão (109,04MPa) e flexão (11,10MPa), além de uma absorção de água bastante inferior ao limite determinado (3,87%), no caso do Crema Paraná. Os ensaios de impacto revelaram uma energia de ruptura de 2,02J para que a rocha apresente rupturas caso colida com algum objeto. Já os testes de desgaste revelam valores acima de 1mm, tanto para o percurso de 500m, como para o de 1000m, afinal, trata-se de um material de baixa dureza e, por consequência, não indicado para pisos.

Quanto ao Crema Brasil, os resultados indicam um calcário de alta densidade ($2565,22\text{kg/m}^3$), com adequada resistência à compressão (74,43MPa) e flexão (9,19MPa), ambas na condição seca. Apesar de se tratar de uma rocha mais densa do que o Crema Paraná, a resistência à compressão do Crema Brasil apresentou um valor menor devido a sua textura inequigranular. A absorção de água é pouco maior que o limite determinado, fato que pode acarretar em uma maior alterabilidade. A energia média necessária para ruptura da rocha foi de 2,51J, a qual confere um valor

maior do que o Crema Paraná em virtude da diferença de espessura (3cm para o Crema Brasil e 2,5cm para o Crema Paraná). Já os ensaios de desgaste apontam valores superiores a 1mm após o percurso final, tornando-o igualmente contraindicado para revestimentos de piso.

Levando em consideração os resultados e os relatos obtidos através das entrevistas selecionadas na Revista Rochas de Qualidade, sustenta-se a problemática levantada por Neves (2013) sobre a falta de conhecimento dos arquitetos acerca das propriedades e características das rochas, e comprova-se o aumento da demanda por este material. Apesar das diferenças, tanto o limestone Crema Paraná como o Crema Brasil não são rochas indicadas para piso, principalmente aqueles de alto tráfego, como o caso do Museu do Amanhã ou até mesmo do Hospital Sírio Libanês. Também se destaca que a elevada solubilidade da calcita é um fator contra indicativo para aplicação em áreas de piscina ou demais ambientes nos quais seja necessária a aplicação de produtos de limpeza abrasivos.

Os ensaios de ataque químico classificaram a água sanitária e o desinfetante como os produtos que menos causaram alteração nos dois litotipos. Os demais produtos provocaram um maior escurecimento das amostras com formação de precipitados no ataque com saponáceo cremoso com cloro ativo e limpador a seco. O Crema Paraná não apresentou manchas de oxidação ao fim dos testes.

Ressalta-se, mais uma vez, a importância do conhecimento das propriedades das rochas ornamentais no intuito de garantir o seu desempenho e feições estéticas, importantes para a arquitetura.

Sugere-se o acompanhamento das obras verificadas com o objetivo de identificar alterações ao longo do tempo, complementando o estudo feito sobre os limestones na arquitetura.

REFERÊNCIAS

AIRES-BARROS, L. 1991. **Alteração e Alterabilidade de Rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica. Centro de Petrologia e Geoquímica da Universidade de Lisboa. Lisboa. PT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.845-1/2015**: Rochas para revestimento, análise petrográfica. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.845-2/2015**: Rochas para revestimento, índices físicos: densidade aparente, porosidade aparente e absorção. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.845-5/2015**: Rochas para revestimento, resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.845-7/2015**: Rochas para revestimento, resistência à flexão em 4 pontos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.845-8/2015**: Rochas para revestimento, impacto de corpo duro. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15.575/2013**: Edificações habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12.042/2012**: Materiais inorgânicos, determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13.818/1997**: Placas cerâmicas para revestimento: especificações e métodos de ensaio, determinação da resistência ao ataque químico. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C568, 1998**: Standard Specification for Limestone Dimension Stone.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C530, 1998**: Standard Specification for Marble Dimension Stone.

BARBOSA, L., NEVES, R. O Uso do Limestone como Rocha Ornamental. In: **Anais do IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**; 2016; João Pessoa, Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MTC; 2016. p. - .

BASTOS, H. T.; FARINA, M.; PEREZ, C. **Psicodinâmica das cores em comunicação**. São Paulo, SP: Blucher, 2015. 173 p. ISBN 978-85-212-0546-3.

BEARD, D.C.; WEYL, P.K. (1973). **Influence of Texture on Porosity and Permeability of Unconsolidated Sand**. American Association of Petroleum Geologists Bull. 57 (2): 349-369.

BECERRA, J.E.B., COSTA, A.G. Ensaios de Alterabilidade Acelerada para Avaliação da Durabilidade de Seis Granitos Ornamentais Brasileiros. *Genomos* 15(2): 33 – 42. 2007.

BERTOLINI, C. Sistema para Medição de Cores Utilizando Espectrofotômetro, TCC Ciências da Computação da Universidade Regional de Blumenau, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.378, de 31 de dezembro de 2010. Regulamenta o exercício da Arquitetura e Urbanismo; cria o Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil - CAU/BR e os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo dos Estados e do Distrito Federal - CAUs; e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, edição extra, 31 dez. 2010. Seção I, p.1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Grupo Hospitalar Conceição. **Manual de toxicologia básica para agentes comunitários de saúde**. Alberto Nicoletta, Eliane Dallegrave e Maria da Graça Boucinha Marques (Org.). Porto Alegre, GHC/ANVISA, 2010.

BRELAZ, L. C. **Petrografia dos calcários betuminosos neoproterozóicos do sul do cráton amazônico, região de Mirassol D'Oeste, MT**. 2010. TCC (Graduação). Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

CHIODI F. C.; RODRIGUES, E. P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos**; Projeto Bula / Cid Chiodi Filho; Eleno de Paula Rodrigues. - São Paulo: ABIROCHAS, 2009

DOMINGUES, D. L. P. **Caracterização geológica e geomecânica de travertinos**. Dissertação (mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2011.

DUNHAM, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W.E. **Classification of carbonate rocks**. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1. pp. 108–121.

FIGUEIREDO, B. R. **Minérios e ambiente**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2ª reimpressão, 2014.

FONSECA, I.; PORTO, M. M. **Cor e luz na arquitetura, e suas possíveis influências**

sobre os usuários. Revista Lume Arquitetura, ed. 14, p. 24-29, 2005. Disponível em: http://www.lumearquitectura.com.br/pdf/ed14/ed_14_Aula.pdf (acessado em 30/09/2015).

FOLK, R. L. **Practical petrographic classification of limestones:** Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 43, n. 1, p. 1 – 38, 1959.

FOLK, R. L. Spectral subdivision of limestone types. In: Ham, W. E. (Ed.), **Classification of carbonate rocks.** Tulsa, American Association Petroleum Geologists Memoir 1, 1962, p. 62-84.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2003.

GOITIA, Fernando Chueca et al. **História Geral da Arte - Arquitetura vol. I.** Ediciones Del Prado, 1995.

GOITIA, Fernando Chueca et al. **História Geral da Arte - Arquitetura vol. II.** Ediciones Del Prado, 1995.

GOITIA, Fernando Chueca et al. **História Geral da Arte - Arquitetura vol. III.** Ediciones Del Prado, 1996.

GOITIA, Fernando Chueca et al. **História Geral da Arte - Arquitetura vol. IV.** Ediciones Del Prado, 1996.

HARRELL, James A. Turin Papyrus Map from Ancient Egypt. In: **Research on the Archaeological Geology of Ancient Egypt.** 2013. Disponível em: http://www.eeescience.utoledo.edu/Faculty/Harrell/Egypt/Turin%20Papyrus/Harrell_Papyrus_Map_text.htm.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2ª ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 945-984

HELLER, Eva. **A psicologia das cores: como as cores afetam a emoção e a razão.** Tradução por Maria Lúcia Lopes da Silva. 1ª edição, São Paulo, Gustavo Gili, 2013.

HUILLCA, C. A. L. **Estudo experimental do comportamento geomecânico do travertino.** Rio de Janeiro, 2014. 149p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

KÁLIX, T. M. F. **Estudo de caracterização tecnológica com ênfase em alterabilidade dos tipos comerciais do Granito Marrom Imperial.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

LOOS, A., 1870-1933. **Ornamento y delito:** y outros escritos. Barcelona: G. Gili, 1972. 276 p. (Colección arquitectura y crítica). ISBN (enc.).

MENEZES, R. G.; LARIZZATTI, J. H. **Rochas ornamentais e de revestimento:**

conceitos, tipos e caracterização tecnológica. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. 14p.

NACCACHE, Reynaldo. **A cor e os materiais no projeto arquitetônico.** Drops, São Paulo, ano 07, nº016.07, Vitruvius, Setembro, 2006. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/07.016/1698>

NEVES, Risale.. **Uso de Rochas na Arquitetura:** contribuições ao processo de especificação. 2012. Tese (Doutorado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências - UFPE.

OLLIER, C. D., 1975. **Z. Geomorphol.**, 19: 164-190.

PAZETO, A. A.; ARTUR, A. C. Correlação entre comportamento tecnológico e propriedades petrográficas das rochas ornamentais silicáticas branco galaxy, ocre itabira e diamante negro. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 34, n. 4, p.828-847, 2015. Disponível em: http://www.revistageociencias.com.br/34/volume34_4_files/34-4-artigo-07.pdf (Acesso em 08/11/2016).

PEITER, C.C. et al. **Rochas Ornamentais no Século XXI: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras.** Rio de Janeiro: CETEM/ABIROCHAS, 2001. 160p.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary rocks.** 3 ed. New York: Harper & row c1975. 628p.

PINTO, Alberto Cruz Reaes. et al. **Manual da Pedra Natural para Arquitectura.** Direção Geral de Geologia e Energia, Lisboa PT, 2006.

PRYOR, W. A. (1973) Permeability – porosity patterns and variations in some Holocene sand bodies. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. 57, 162 – 189.

REVISTA ROCHAS DE QUALIDADE. São Paulo. Edições 2010 a 2016.

SANTOS, F. B. F. **Dissolução do calcário no processo de dessulfurização de gases de combustão – abordagem experimental e numérica.** 149 p. Tese (Doutorado). Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SANTOS, R. B. **Estética e Aplicabilidade do Material Pétreo Preto São Marcos.** 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) UFPE – Recife, 2012.

SIEGESMUND, Siegfried; TÖRÖK, Ákos. Building Stones. In: SIEGESMUND, Siegfried; SNETHLAGE, Rolf. **Stone in Architecture: Properties, durability.** 4. ed. Berlin: Springer, 2011. Cap. 2. p. 11-96.

SILVA, S. M. B. **Estudo das características petrográficas, mecânicas e colorimétricas dos “granitos” vermelho Brasília e vermelho ventura.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Centro de Tecnologia e Geociências – UFPE.

SODRÉ, N. W. **Oscar Niemeyer / Nelson Werneck Sodré.** Rio de Janeiro: Edições

Graal, Coleção “Eu” v. n. 3, 1978.

SOUZA, A. A. Estudo de propriedades petrofísicas de rochas sedimentares por ressonância magnética nuclear. 2012. 236f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos. Instituto de Química de São Carlos e Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgar Blücher, 2012.

TUCKER, M. E. **Sedimentary petrology**: an introduction to the origin of sedimentary rocks. 2nd. ed.- Oxford: Blackwell, 1991. 1v. ISBN 0-632-02961-7.

VALDO, L., CASTRO, N. F. **Normalização do Ensaio de Resistência ao Escorregamento para Rochas Ornamentais**. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 5. Rio de Janeiro, Anais. CETEM/MCTIC, 2016.

VIANA, A. O. **O Princípio do Revestimento em Gottfried Semper e a Questão da Policromia na Arquitetura**. Mneme (Caicó. Online). V. 13, p. 34-47, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/mneme/article/view/1827> (Acessado em 09/09/2016).

VIDAL, F.W.H. et al. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI, 2013. 700p.

VITRUVIO. **Tratado de Arquitetura**. 1. ed. São Paulo: Martins, 2007.

APÊNDICE A – TABELAS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

Tabela 14 – Índices físicos do limestone Crema Paraná

Limestone Crema Paraná						
Amostra	Msec	Msub	Msat	Densidade	Porosidade (%)	Absorção (%)
P1	141,16	91,61	146,86	2554,93	10,32	3,88
P2	142,06	92,25	148,04	2546,33	10,72	4,04
P3	143,40	94,16	149,23	2603,96	10,59	3,91
P4	143,77	93,01	149,12	2562,29	9,53	3,59
P5	143,08	92,31	148,10	2564,62	9,00	3,39
P6	142,62	92,51	148,50	2547,24	10,50	3,96
P7	142,93	92,80	148,77	2553,69	10,43	3,93
P8	142,16	92,53	148,50	2539,93	11,33	4,27
P9	142,71	92,73	148,53	2557,53	10,43	3,92
P10	141,52	91,70	147,10	2554,51	10,07	3,79
MÉDIA	142,54	92,56	148,28	2558,50	10,29	3,87

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 15 – Índices físicos do limestone Crema Brasil

Limestone Crema Brasil						
Amostra	Msec	Msub	Msat	Densidade	Porosidade (%)	Absorção (%)
R1	168,40	109,82	176,24	2535,38	11,80	4,45
R2	174,60	113,07	181,00	2570,29	9,42	3,54
R3	171,54	110,32	176,84	2578,77	7,97	3,00
R4	173,72	111,02	178,00	2593,61	6,39	2,40
R5	175,75	113,78	182,03	2575,09	9,20	3,45
R6	174,25	112,77	180,79	2561,75	9,61	3,62
R7	169,21	110,26	176,94	2537,64	11,59	4,37
R8	175,37	113,86	182,18	2566,89	9,97	3,74
R9	172,72	112,35	179,91	2556,54	10,64	4,00
R10	174,49	112,83	180,56	2576,26	8,96	3,36
MÉDIA	173,01	112,01	179,45	2565,22	9,56	3,59

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 16 – Resistência à compressão uniaxial: limestone Crema Brasil (condição seca)

Limestone Crema Brasil (condição seca)					
Amostra	Comp.	Larg.	Área (m²)	Força (KN)	Tensão de Ruptura (MPa)
R1	4,958	4,9	0,00242942	0,17652	72,66
R2	4,926	4,982	0,002454133	0,1627904	66,33
R3	4,978	4,891	0,00243474	0,1598484	65,65
R4	4,823	4,845	0,002336744	0,193191	82,68
R5	4,956	4,851	0,002404156	0,2039783	84,84
MÉDIA					74,43

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 17 – Resistência à compressão uniaxial: limestone Crema Brasil (condição saturada)

Limestone Crema Brasil (condição saturada)					
Amostra	Comp.	Larg.	Área (m²)	Força (KN)	Tensão de Ruptura (MPa)
R1	4,94	4,953	0,002446782	0,1412158	57,71
R2	4,987	4,958	0,002472555	0,1314091	53,15
R3	4,902	4,956	0,002429431	0,1412158	58,13
R4	4,967	4,931	0,002449228	0,1451384	59,26
MÉDIA					57,06

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 18 – Resistência à flexão: limestone Crema Paraná (condição seca)

Limestone Crema Paraná (condição seca)				
Amostra	Comp.	Esp.	Força (KN)	Módulo de Ruptura (MPa)
P1	0,10247	0,02313	0,003236195	8,854781984
P2	0,1018	0,0217	0,003236195	10,12648279
P3	0,08574	0,02103	0,002941995	11,63780738
P4	0,08542	0,02118	0,002843929	11,1326474
P5	0,08313	0,02163	0,003432328	13,23759713
P6	0,10168	0,02119	0,003530394	11,59890481
MÉDIA				11,10

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 19 – Resistência à flexão: limestone Crema Brasil (condição seca)

Limestone Crema Brasil (condição seca)				
Amostra	Comp.	Esp.	Força (KN)	Módulo de Ruptura (MPa)
R1	0,08556	0,02369	0,002549729	7,964974418
R2	0,08623	0,02329	0,004020727	12,89431953
R3	0,08625	0,0292	0,003726527	7,600999861
R4	0,1019	0,02347	0,003824594	10,22059498
R5	0,10244	0,02289	0,002451663	6,851580871
R6	0,1015	0,02394	0,003726527	9,609066454
MÉDIA				9,19

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 20 – Resistência à flexão: limestone Crema Paraná (condição saturada)

Limestone Crema Paraná (condição saturada)				
Amostra	Comp.	Esp.	Força (KN)	Módulo de Ruptura (MPa)
P1	0,10195	0,02131	0,002843929	9,214161139
P2	0,102	0,02053	0,002745862	9,580582069
P3	0,10211	0,02101	0,002745862	9,137966992
P4	0,10221	0,02101	0,002647796	8,802989943
P5	0,10218	0,02054	0,002843929	9,895623326
P6	0,10248	0,0213	0,002843929	9,175116955
MÉDIA				9,30

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 21 – Resistência à flexão: limestone Crema Brasil (condição saturada)

Limestone Crema Brasil (condição saturada)				
Amostra	Comp.	Esp.	Força (KN)	Módulo de Ruptura (MPa)
R1	0,10116	0,02327	0,002549729	6,98206191
R2	0,10213	0,02346	0,002549729	6,80418221
R3	0,10239	0,02249	0,002647796	7,669008956
R4	0,1022	0,02328	0,002549729	6,905075553
R5	0,10185	0,02391	0,002647796	6,821117225
R6	0,1022	0,02278	0,002843929	8,043620962
MÉDIA				7,20

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 22 – Resistência ao impacto: limestone Crema Brasil

Limestone Crema Brasil					
Amostra	Comp.	Larg.	Esp.	Altura de queda	Energia de ruptura (J)
R1	18,804	20,625	2,336	0,25	2,4515
R2	20,02	18,535	2,536	0,25	2,4515
R3	20,125	19,603	2,434	0,25	2,4515
R4	19,05	20,657	2,329	0,25	2,4515
R5	20,703	20,694	2,468	0,25	2,4515
R6	18,656	19,899	2,481	0,3	2,9418
R7	20,149	20,147	2,464	0,25	2,4515
R8	19,11	18,925	2,365	0,25	2,4515
MÉDIA					2,51

Fon Fonte: Elaboração da autora, 2016

te: Elaboração própria, 2016

Tabela 23 – Resistência ao impacto: limestone Crema Paraná

Limestone Crema Paraná					
Amostra	Comp.	Larg.	Esp.	Altura de queda	Energia de ruptura (J)
P1	20,703	19,07	2,123	0,2	1,9612
P2	20,63	20,77	2,133	0,2	1,9612
P3	18,906	20,703	2,141	0,25	2,4515
P4	20,703	20,703	2,118	0,2	1,9612
P5	18,788	19,09	2,106	0,2	1,9612
P6	20,702	19,069	2,138	0,2	1,9612
P7	19,037	18,951	2,13	0,2	1,9612
P8	18,954	20,702	2,12	0,2	1,9612
MÉDIA					2,02

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 24 – Resistência ao desgaste Amsler: limestone Crema Brasil

Limestone Crema Brasil						
Amostra	Ponto	Inicial	500m	1000m	Desgaste 500m	Desgaste 1000m
1	1	2,569	2,531	2,491	-0,04	-0,078
	2	2,58	2,571	2,475	-0,096	-0,105
	3	2,629	2,604	2,491	-0,113	-0,138

	4	2,601	2,58	2,509	-0,071	-0,092
				MÉDIA	-0,08	-0,10325
Amostra 2	1	2,588	2,481	2,436	-0,045	-0,152
	2	2,623	2,5	2,415	-0,085	-0,208
	3	2,64	2,512	2,443	-0,069	-0,197
	4	2,599	2,508	2,402	-0,106	-0,197
				MÉDIA	-0,07625	-0,1885

Fonte: Elaboração da autora, 2016

Tabela 25 – Resistência ao desgaste Amsler: limestone Crema Paraná

Limestone Crema Paraná						
	Ponto	Inicial	500m	1000m	Desgaste 500m	Desgaste 1000m
Amostra 1	1	2,13	2,036	1,905	-0,131	-0,225
	2	2,127	2,031	1,932	-0,099	-0,195
	3	2,161	2,015	1,918	-0,097	-0,243
	4	2,126	2,005	1,888	-0,117	-0,238
				MÉDIA	-0,111	-0,22525
Amostra 2	1	2,129	2,007	1,874	-0,133	-0,255
	2	2,133	2,003	1,886	-0,117	-0,247
	3	2,133	2,014	1,959	-0,055	-0,174
	4	2,129	2,023	1,888	-0,135	-0,241
				MÉDIA	-0,11	-0,22925

Fonte: Elaboração da autora, 2016

ANEXO A – RESULTADO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL DO CREMA PARANÁ (NUTEC, 2011)



FUNDAÇÃO NÚCLEO DE
TECNOLOGIA INDUSTRIAL
DO CEARÁ



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
*Secretaria da Ciência, Tecnologia
e Educação Superior*

DIVISÃO: DIMAT	ÁREA: ENSAIOS FÍSICOS	RE: N° 3931/11 1 de 2
----------------	-----------------------	--------------------------

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO: 135102.
 CLIENTE: Mineração Apodi LTDA.
 ENDEREÇO: Sit. Agv. São Manoel, 200 Assentamento Canto de Vara- Zona Rural –Apodi-RN.
 NATUREZA DO SERVIÇO: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial na condição seca.
 OBJETO DO SERVIÇO: Realização de ensaios em corpos-de-prova de rocha.

1 - IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO

- 1.1. Codificação da Divisão: 15
- 1.2. Data de entrada no laboratório: 08/06/2011
- 1.3. Referência da amostra: DIMAT AM-04/11
- 1.4. Informações fornecidas pelo interessado:
 - Procedência: Assentamento São Manoel.
 - Registro do DNPM: 848.081/2007.
 - Nome Comercial: Crema Paraná.
- 1.5. Descrição dos corpos-de-prova: 05 (cinco) corpos-de-prova rocha, com dimensões de 7x7x7 cm. Rocha de coloração creme esbranquiçada em condição seca, que ganha tonalidade mais escura quando úmida. A composição da rocha é dominada por carbonatos. Apresenta estrutura maciça com presença de estrias (Estilólitos), onde a granulação varia de fina a muito fina, dando destaque para pequenos cristais transparentes os quais, não podem ser identificados a vista desarmada. Quando submetida ao ácido HCl (10%) a temperatura ambiente apresenta efervescência de moderada a alta.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e aplicam-se tão somente ao objeto do serviço.
 Sua reprodução para outros fins só poderá ser feita de forma integral, sem nenhuma alteração.

Rua Prof. Rômulo Proença, s/n - Campus do Pici - CEP: 60455-700 - Fortaleza - Ceará
 Fone: (85) 3101.2445 / 2446 - Fax: (85) 3101.2436 / CNPJ: 09.419.789/0001-94 - Ins. Estadual: 06932816-1
www.nutec.ce.gov.br | e-mail: cac@nutec.ce.gov.br / Ouvidoria | Fone: (85) 3101.2456 | e-mail: ouvidoria@nutec.ce.gov.br



FUNDAÇÃO NÚCLEO DE
TECNOLOGIA INDUSTRIAL
DO CEARÁ



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
*Secretaria da Ciência, Tecnologia
e Educação Superior*

DIVISÃO: DIMAT	ÁREA: ENSAIOS FÍSICOS	RE: N° 3931/11 1 de 2
----------------	-----------------------	--------------------------

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO: 135102.
CLIENTE: Mineração Apodi LTDA.
ENDEREÇO: Sit. Agv. São Manoel, 200 Assentamento Canto de Vara- Zona Rural –Apodi-RN.
NATUREZA DO SERVIÇO: Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial na condição seca.
OBJETO DO SERVIÇO: Realização de ensaios em corpos-de-prova de rocha.

1 - IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO

- 1.1. Codificação da Divisão: 15
- 1.2. Data de entrada no laboratório: 08/06/2011
- 1.3. Referência da amostra: DIMAT AM-04/11
- 1.4. Informações fornecidas pelo interessado:
 - Procedência: Assentamento São Manoel.
 - Registro do DNPM: 848.081/2007.
 - Nome Comercial: Crema Paraná.
- 1.5. Descrição dos corpos-de-prova: 05 (cinco) corpos-de-prova rocha, com dimensões de 7x7x7 cm. Rocha de coloração creme esbranquiçada em condição seca, que ganha tonalidade mais escura quando úmida. A composição da rocha é dominada por carbonatos. Apresenta estrutura maciça com presença de estrias (Estilólitos), onde a granulação varia de fina a muito fina, dando destaque para pequenos cristais transparentes os quais, não podem ser identificados a vista desarmada. Quando submetida ao ácido HCl (10%) a temperatura ambiente apresenta efervescência de moderada a alta.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e aplicam-se tão somente ao objeto do serviço.
Sua reprodução para outros fins só poderá ser feita de forma integral, sem nenhuma alteração.

Rua Prof. Rômulo Proença, s/n - Campus do Pici - CEP: 60455-700 - Fortaleza - Ceará
Fone: (85) 3101.2445 / 2446 - Fax: (85) 3101.2436 / CNPJ: 09.419.789/0001-94 - Ins. Estadual: 06932816-1
www.nutec.ce.gov.br | e-mail: cac@nutec.ce.gov.br / Ouvidoria | Fone: (85) 3101.2456 | e-mail: ouvidoria@nutec.ce.gov.br