

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
*Campus de Rio Claro*

ABILIANE DE ANDRADE PAZETO

**CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS E  
COMPORTAMENTO TECNOLÓGICO E DE ALTERABILIDADE  
DAS ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS DIAMANTE NEGRO  
(BA), OCRE ITABIRA E BRANCO GALAXY (ES)**

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Rio Claro - SP  
2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
*Campus de Rio Claro*

ABILIANE DE ANDRADE PAZETO

CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS E  
COMPORTAMENTO TECNOLÓGICO E DE ALTERABILIDADE  
DAS ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS DIAMANTE NEGRO  
(BA), OCRE ITABIRA E BRANCO GALAXY (ES)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Rio Claro - SP  
2011

Para minha amada mãe Lília,  
por me ensinar que o amor é necessário em tudo que se propõe a fazer.

## **AGRADECIMENTOS**

---

Ao escrever estas linhas os sentimentos são confusos. Não sei ao certo se o que prevalece é o gosto da vitória por enfim chegar ao fim desta grande etapa de minha vida, ou se é a nostalgia, trazida pelo inevitável momento de se olhar para trás e sentir de novo a saudade vivida nestes dois longos anos longe da casa materna. Aparece também a comoção de se deixar aqui boas lembranças e amizades, agora que é preciso seguir adiante.

Sinto-me no dever de manifestar o meu agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho e conseqüentemente para o meu crescimento profissional e pessoal:

A Ti meu Jesus, volto primeiramente minha gratidão. Sei que sem Tua benção nada disso teria sido possível. Obrigada por me carregar em Teus braços, nos muitos momentos em que eu já não podia mais.

À minha família, o meu rochedo, pelas orações, pelo encorajamento e por suportar e compreender meu choro incessante ao telefone.

À “Juba”, por simplesmente existir e, assim sendo, proporcionar mesmo na distância o sorriso nas horas tristes, a esperança diante o impossível, as lembranças de um tempo bom e a indescritível sensação de saber que há alguém muito especial esperando sua volta. Amo-te incondicionalmente!

Ao meu namorado Otávio, pelo amor companheiro, por sempre “estar lá por mim” e por administrar tão bem minha ausência e falta de tempo. Essa conquista também é sua!

Ao professor Dr. Antonio Carlos Artur, pela orientação, pelo apoio, pela ajuda sempre disponível, por todo inestimável conhecimento transmitido nesse tempo, e por ser, além de orientador, grande amigo.

Ao Dr. Fabiano Cabañas Navarro, por me proporcionar inestimável aprendizado na pesquisa com rochas ornamentais, pela compreensão, pelo fornecimento de precioso material didático, mas acima de tudo por mostrar que “nem sempre as coisas são como parecem” e me inspirar a buscar cada vez mais conhecimento.

À professora Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck pelos esclarecimentos, sugestões, ajuda nos artigos científicos e pela personalidade inspiradora.

À professora. Dra. Maria Margarita Torres Moreno pelas idéias, conversas, caminhadas, pela paciência para ensinar Métodos Analíticos, mas sobretudo por me ajudar a compreender que era necessário amadurecer.

À Dra. Mônica Castoldi Borlini, por despertar em mim o amor pela pesquisa e por toda amizade e aprendizado proporcionados no nosso convívio desde a iniciação científica.

Ao geólogo Daniel Bravo pelo incentivo na busca pelo conhecimento, pelo exemplo de pessoa, ajuda sempre disponível, críticas, inúmeros empréstimos didáticos e pela amizade desde a faculdade.

Ao Dr. Antônio Rodrigues de Campos pela crescente amizade, pela acolhida e apoio durante minha permanência no CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro.

Aos técnicos Adilson Rossini e Adilson Fontanelli pela imensa ajuda durante a realização da bateria de ensaios tecnológicos, mas sobretudo pelos momentos de descontração, mesmo quando um sorriso era impossível.

Ao CETEM, na pessoa do Dr. Francisco Wilson Holanda Vidal e Dr. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro pelo uso das câmaras de envelhecimento acelerado e ao Dr. Otávio Gomes pelo uso do MEV.

Aos demais funcionários do CETEM: Izabel, Elton, Júlio, Michele, Joedy, Felipe, Antonieta e Regina pela ajuda essencial à concretização dessa pesquisa.

Ao Carlos Eduardo Artur (Tooper) pela imensa ajuda no desenho dos mapas.

À funcionária do DPM Maria Antônia pelas palavras encorajadoras.

À Dona Helena que tão gentilmente me acolheu em sua pensão, pelo carinho, preocupação e por ser uma verdadeira mãezona nos momentos difíceis.

Aos amigos que fiz durante o período da Pós: Fanny, Cássio, Dani, Fred, Leo, Homero, Thiago, Camila e Amanda, por tornarem esse tempo mais feliz.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro prestado a esta pesquisa através do processo 132279/2009-6.

*“A alegria está na luta,  
na tentativa,  
no sofrimento envolvido.  
Não na vitória propriamente dita.”*

*Mahatma Gandhi*

*"Eu sou a videira, vós os ramos; quem está  
em Mim, e Eu nele, esse dá muitos frutos  
porque sem Mim nada podeis fazer."*

*Jo 15, 4-5.*

## RESUMO

---

O objetivo da presente pesquisa foi estabelecer a correlação entre as propriedades petrográficas e o comportamento tecnológico e de alterabilidade de três materiais utilizados como rochas ornamentais e para revestimento. Os tipos petrográficos correspondem a um microgabro (Diamante Negro), um hornblenda sienito pórfiro com quartzo (Ocre Itabira) e um granito pegmatóide com granada e sillimanita (Branco Galaxy), sendo o primeiro proveniente do estado da Bahia e os dois últimos do estado do Espírito Santo. Os materiais foram caracterizados petrograficamente e submetidos a uma bateria de ensaios físico-mecânicos e de alteração acelerada que compreenderam determinações de índices físicos, desgaste abrasivo Amsler, compressão uniaxial simples, resistência à flexão 3 e 4 pontos, impacto de corpo duro, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, coeficiente de dilatação térmica linear e resistência ao ataque químico sob efeito de compostos agressivos e em câmaras saturadas em atmosfera salina e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Os resultados demonstram que o comportamento tecnológico das rochas está intrinsecamente relacionado aos aspectos mineralógicos, estruturais e texturais inerentes a cada tipo petrográfico. O Diamante Negro é o material detentor dos maiores índices físico-mecânicos, uma vez que suas características petrográficas são marcadas por granulação fina, bom entrelaçamento mineral, e baixo grau de microfissuramento. Quanto à alteração acelerada, no entanto, apresentou variações cromáticas consideráveis, dado seu elevado teor de minerais máficos. O tipo comercial Ocre Itabira também apresentou boas propriedades tecnológicas, com valores inferiores ao Diamante Negro devido principalmente à sua granulação média-grossa e elevado grau de microfissuramento relativo. A coloração acastanhada dos pórfiros de feldspato potássico presente em sua composição mineralógica tornou os efeitos causados pelos reagentes químicos menos evidentes. O Branco Galaxy no geral apresentou os menores valores de resistência mecânica, reflexo principalmente de seu aspecto pegmatóide e alto microfissuramento. Por outro lado, apresentou pouca variação cromática para os testes de alteração acelerada, dado seu maior teor em quartzo e feldspatos de coloração clara.

**PALAVRAS-CHAVE:** rochas ornamentais, propriedades petrográficas, caracterização tecnológica, alterabilidade.

## ABSTRACT

---

The objective of this research was correlating petrographical properties to the technological and alterability behavior of three materials used as ornamental and building stones. The samples correspond to a microgabbro (Diamante Negro), a hornblende porphyritic syenite with quartz and (Ocre Itabira) a pegmatoid granite with garnet and sillimanite (Branco Galaxy), being the first sample originating from the Bahia state and the last one from Espírito Santo state. The materials were petrographically analyzed and submitted to physical mechanics tests and chemical alterability including measurements of physical indexes, abrasion resistance, compressive strength, modulus of rupture, flexural strength, impact strength, ultrasonic pulse velocity, linear thermal expansion coefficient and resistance to the chemical attack accomplished by aggressive compositions and chambers which simulate both sea-salt and sulphur dioxide weathering. The results reveal the influence of minerals, textural and structural features over the studied stones behavior during the performed tests. Diamante Negro is the material which showed the highest physical-mechanics properties, once their petrographical parameters correspond to fine grain size, good mineral interlacement, and low microcrack degree. However, relating to the chemical alterability it showed considerable chromatic deterioration, given its high content of mafic minerals. The commercial type Ocre Itabira also presented good technological properties, with inferior values than Diamante Negro due to its large grain size granulation and high degree of relative microcracking. The brownish coloration of potash feldspars porphyries present in its mineralogical composition turned the effects caused by the chemical reagents less evident. In general, Branco Galaxy presented the smallest values of mechanical strength, mainly due to its pegmatoid aspect and high microcracks density. On the other hand, it showed small chromatic decay to the alterability tests, given its both high quartz and feldspar contents.

**KEY-WORDS:** ornamental stones, petrographical properties, technological test, alterability.



## ÍNDICE DAS FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Mapa esquemático de localização rodoviária da pedreira do material Diamante Negro – BA.....	5
<b>Figura 1.2.</b> Mapa esquemático de localização rodoviária das pedreiras dos materiais Ocre Itabira e Branco Galaxy – ES.....	6
<b>Figura 2.1.</b> Principais solicitações de rochas aplicadas como revestimento.....	10
<b>Figura 2.2.</b> Tipos de bordas/contatos entre os grãos minerais.....	13
<b>Figura 2.3.</b> Câmara de exposição cíclica à névoa salina.....	26
<b>Figura 2.4.</b> <i>Gloss meter</i> com sistema de medida de brilho em três ângulos.....	27
<b>Figura 2.5.</b> Colorímetro.....	27
<b>Figura 2.6.</b> Coordenadas no sistema CIELAB, L*, a*, b* (1976).....	28
<b>Figura 2.7.</b> Câmara de exposição ao dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	29
<b>Figura 4.1.</b> Frente de lavra do material Diamante Negro (Floresta Azul – BA).....	40
<b>Figura 4.2.</b> Frente de lavra do material Ocre Itabira (Venda Nova do Imigrante – ES).....	42
<b>Figura 4.3.</b> Frente de lavra do material Branco Galaxy (Colatina – ES).....	45
<b>Figura 4.4.</b> Esboço Geológico do Estado da Bahia.....	46
<b>Figura 4.5.</b> Esboço Geológico do estado do Espírito Santo.....	47
<b>Figura 5.1.</b> Placas polidas da rocha ornamental Diamante Negro.....	49
<b>Figura 5.2.</b> Fotomicrografias da rocha ornamental Diamante Negro. (A) Microfissuramento e alteração do piroxênio (Px); (B) Plagioclásio (Pl) com microfissuras preenchidas por anfibólio; (C) Sericitização em plagioclásio (Pl); (D) Textura subofítica e microinclusões de piroxênio dando coloração amarronzada em plagioclásio, a nicóis descruzados (Pl).....	53
<b>Figura 5.3.</b> Placas polidas da rocha ornamental Ocre Itabira.....	54
<b>Figura 5.4.</b> Fotomicrografias do material Ocre Itabira. (A) Contatos lobulados entre feldspato potássico (FK) e biotita (Bt); (B) Detalhe de feldspato potássico com alteração incipiente; (C) Plagioclásio mimerquítico (Pl); e (D) Microfissuras em FK preenchidas por sericita; Nicóis cruzados.....	57
<b>Figura 5.5.</b> Placas polidas da rocha ornamental Branco Galaxy.....	58
<b>Figura 5.6.</b> Fotomicrografias da rocha ornamental Branco Galaxy. (A) Microfissuramento aberto em quartzo (Qtz) e variedade de contatos entre os cristais; (B) Feldspato potássico (FK) com fratura cicatrizada; (C) Contato serrilhado entre grãos de quartzo (Qtz) e feldspato potássico (FK); (D) Mesopertitas em feldspato potássico (FK) e cristal hexagonal de sillimanita.....	61
<b>Figura 5.7.</b> Diagrama QAP dos materiais estudados segundo proposto pela IUGS.....	62
<b>Figura 6.1.</b> Correlação entre massa específica seca aparente (colunas) e teor de máficos (linha cheia) das rochas estudadas.....	65
<b>Figura 6.2.</b> Correlação entre massa específica seca aparente (colunas) e	

porosidade aparente (linha cheia) das rochas estudadas.....	66
<b>Figura 6.3.</b> Correlação entre porosidade (colunas da esquerda), absorção d'água (colunas da direita) e microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.....	66
<b>Figura 6.4.</b> Correlação entre resistência à compressão uniaxial (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (linha cheia) das rochas estudadas.....	68
<b>Figura 6.5.</b> Esquema ilustrando a resistência mecânica de uma rocha em relação aos aspectos composicionais, estruturais e texturais.....	70
<b>Figura 6.6.</b> Correlação entre resistência à compressão após ciclos de congelamento e degelo (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (linha cheia) das rochas estudadas.....	71
<b>Figura 6.7.</b> Correlação entre resistência à compressão ao natural (colunas azuis), resistência à compressão após congelamento e degelo (colunas amarelas) e coeficiente de enfraquecimento (linha cheia) das rochas estudadas.....	72
<b>Figura 6.8.</b> Correlação entre resistência à flexão 3 pontos (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (linha cheia) das rochas estudadas.....	74
<b>Figura 6.9.</b> Correlação entre resistência à flexão 4 pontos (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (linha cheia) das rochas estudadas.....	74
<b>Figura 6.10.</b> Correlação entre o tamanho máximo dos grãos (colunas) e resistência à flexão 3 pontos (linha cheia) das rochas estudadas.....	77
<b>Figura 6.11.</b> Correlação entre desgaste abrasivo Amsler (colunas) e teor de quartzo (linha cheia) das rochas estudadas.....	77
<b>Figura 6.12.</b> Correlação entre energia de ruptura (colunas), tamanho médio dos grãos (linha vermelha) e espessura média dos corpos de prova (linha verde) das rochas estudadas.....	79
<b>Figura 6.13.</b> Correlação entre as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas na compressão uniaxial (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.....	81
<b>Figura 6.14.</b> Correlação entre as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas na Flexão 3 Pontos (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.....	81
<b>Figura 6.15.</b> Correlação entre as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas na Flexão 4 Pontos (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.....	82
<b>Figura 6.16.</b> Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (colunas) e microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.....	84
<b>Figura 7.1.</b> Perda de brilho das rochas estudadas após ataque químico com reagentes agressivos.....	87
<b>Figura 7.2.</b> Reflexão especular da luz a partir de uma superfície rugosa.....	89
<b>Figura 7.3.</b> Correlação entre perda de brilho e teor de minerais máficos das rochas estudadas após ataque com reagentes químicos (A) hipoclorito de sódio, (B) ácido cítrico, (C) ácido clorídrico, (D) hidróxido de potássio e (E) cloreto de amônia.....	90
<b>Figura 7.4.</b> (A) Pequenas pontuações esbranquiçadas provenientes da dissolução da apatita e (B) corrosão das biotitas.....	92

<b>Figura 7.5.</b> Tardoz da placa do material Branco Galaxy atacado com ácido clorídrico.....	93
<b>Figura 7.6.</b> Critérios adotados para a classificação da resistência ao ataque químico dos materiais estudados.....	94
<b>Figura 7.7.</b> Placas polidas da rocha Diamante Negro após ataque com reagentes químicos. (A) padrão, (B) hipoclorito de sódio, (C) ácido cítrico, (D) ácido clorídrico, (E) hidróxido de potássio e (F) cloreto de amônia.....	96
<b>Figura 7.8.</b> Placas polidas da rocha Ocre Itabira após ataque com reagentes químicos. (A) padrão, (B) hipoclorito de sódio, (C) ácido cítrico, (D) ácido clorídrico, (E) hidróxido de potássio e (F) cloreto de amônia.....	97
<b>Figura 7.9.</b> Placas polidas da rocha Branco Galaxy após ataque com reagentes químicos. (A) padrão, (B) hipoclorito de sódio, (C) ácido cítrico, (D) ácido clorídrico, (E) hidróxido de potássio e (F) cloreto de amônia.....	98
<b>Figura 7.10.</b> Corpos de prova das rochas (A) Diamante Negro, (B) Ocre Itabira e (C) Branco Galaxy no interior da câmara de exposição à névoa salina.....	100
<b>Figura 7.11.</b> Corpos de prova das rochas Diamante Negro (A), Ocre Itabira (B) e Branco Galaxy (C) após ciclos de exposição à névoa salina.....	100
<b>Figura 7.12.</b> Variação de peso nos corpos de prova do material Diamante Negro após ciclos de exposição à névoa salina.....	102
<b>Figura 7.13.</b> Variação de peso nos corpos de prova do material Ocre Itabira após ciclos de exposição à névoa salina.....	102
<b>Figura 7.14.</b> Variação de peso nos corpos de prova do material Branco Galaxy após ciclos de exposição à névoa salina.....	103
<b>Figura 7.15.</b> Variações cromáticas ( $\Delta L^*$ , $\Delta a^*$ , $\Delta b^*$ ) e diferenças totais de cores ( $\Delta E^*$ ) determinadas nas amostras das rochas, após o envelhecimento acelerado por exposição à névoa salina.....	105
<b>Figura 7.16.</b> Fotomicrografias do material Diamante Negro evidenciando desagregação de partículas de corpo de prova. Aumento de 400 (A) e 600 vezes (B).....	107
<b>Figura 7.17.</b> Fotomicrografias do material Ocre Itabira evidenciando desagregação de partículas de corpo de prova. Aumento de 600 (A) e 1200 vezes (B).....	108
<b>Figura 7.18.</b> Fotomicrografias do material Branco Galaxy evidenciando estufamento de partículas de corpo de prova. Aumento de 90 (A) e 200 vezes (B)...	109
<b>Figura 7.19.</b> Corpos de prova das rochas estudadas no interior da câmara de exposição ao dióxido de enxofre.....	110
<b>Figura 7.20.</b> Corpos de prova da rocha Diamante Negro: padrão (A) e após ensaio de exposição ao SO <sub>2</sub> (B).....	111
<b>Figura 7.21.</b> Corpos de prova da rocha Ocre Itabira: padrão (A) e após ensaio de exposição ao SO <sub>2</sub> (B).....	111
<b>Figura 7.22.</b> Corpos de prova da rocha Branco Galaxy: padrão (A), após ensaio de exposição ao SO <sub>2</sub> face polida (B) e tardoz (C).....	112
<b>Figura 7.23.</b> Variações cromáticas ( $\Delta L^*$ , $\Delta a^*$ , $\Delta b^*$ ) e diferenças totais de cores ( $\Delta E^*$ ) determinadas nas amostras das rochas, após exposição ao SO <sub>2</sub> .....	114

<b>Figura 7.24.</b> Perda de brilho das rochas estudadas após ciclos de exposição ao SO <sub>2</sub>	115
<b>Figura 7.25.</b> Esquema do sistema de cores CIELAB contendo medidas colorimétricas da rocha Diamante Negro antes (▲) e após (●) o ensaio de exposição ao SO <sub>2</sub>	115
<b>Figura 7.26.</b> Esquema do sistema de cores CIELAB contendo medidas colorimétricas da rocha Ocre Itabira antes (▲) e após (●) o ensaio de exposição ao SO <sub>2</sub>	116
<b>Figura 7.27.</b> Esquema do sistema de cores CIELAB contendo medidas colorimétricas da rocha Branco Galaxy antes (▲) e após (●) o ensaio de exposição ao SO <sub>2</sub>	117
<b>Figura 7.28.</b> Variação de peso nos corpos de prova do material Diamante Negro após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre	117
<b>Figura 7.29.</b> Variação de peso nos corpos de prova do material Ocre Itabira após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre	118
<b>Figura 7.30.</b> Variação de peso nos corpos de prova do material Branco Galaxy após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre	118
<b>Figura 7.31.</b> Fotomicrografias do material Diamante Negro ilustrando feições de corrosão na superfície do corpo de prova (destaque). Aumento de 200 (A) e 400 vezes (B)	120
<b>Figura 7.32.</b> Fotomicrografias do material Ocre Itabira ilustrando biotitas alteradas. Aumento de 1000 vezes	121
<b>Figura 7.33.</b> Fotomicrografias do material Branco Galaxy ilustrando sillimanita alterada. Aumento de 250 (A) e 500 vezes (B)	122
<b>Figura 8.1.</b> Indicações de uso para as rochas estudadas, segundo suas propriedades tecnológicas. (DN) Diamante Negro, (OI) Ocre Itabira e (BG) Branco Galaxy. (H) horizontal e (V) vertical. As interrogações (? ou ?) indicam que para que tal rocha seja utilizada no ambiente indicado, estudos mais aprofundados devem ser realizados	127

## ÍNDICE DAS TABELAS

<b>Tabela 2.1.</b> Reagentes utilizados no ensaio de alterabilidade e correspondentes concentrações, tempo de exposição e aplicações.....	24
<b>Tabela 3.1.</b> Classificação comercial das rochas ornamentais.....	31
<b>Tabela 3.2.</b> Principais importadores de rochas brasileiras, por categoria.....	35
<b>Tabela 3.3.</b> Faturamento (US\$) dos estados brasileiros referentes ao 1º semestre de 2009 e ranking (%) nas exportações.....	36
<b>Tabela 5.1.</b> Síntese das principais propriedades petrográficas das rochas estudadas.....	50
<b>Tabela 6.1.</b> Síntese dos resultados dos ensaios físico-mecânicos.....	63
<b>Tabela 6.2.</b> Valores referenciais conforme especificado pela ASTM C 615 (2003) e ABNT NBR 15844 (2010).....	64
<b>Tabela 6.3.</b> Classificação das rochas de acordo com a resistência à compressão uniaxial .....	71
<b>Tabela 7.1.</b> Medidas de brilho e porcentagem de perda de brilho obtida nos materiais estudados submetidos ao ensaio de ataque químico.....	86
<b>Tabela 7.2.</b> Resultados da determinação das classes de resistência ao ataque químico dos materiais estudados, segundo critérios apresentados por Meyer et al. (2003) .....	95
<b>Tabela 7.3.</b> Relação das alterações mais representativas observadas nas rochas estudadas após término dos ciclos de exposição à névoa salina.....	100
<b>Tabela 7.4.</b> Valores dos parâmetros colorimétricos medidos para as rochas estudadas antes e após os ciclos de exposição à névoa salina.....	104
<b>Tabela 7.5.</b> Relação das alterações observadas nas rochas estudadas após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre.....	111
<b>Tabela 7.6.</b> Valores dos parâmetros colorimétricos medidos para as rochas estudadas antes e após os ciclos de exposição ao SO <sub>2</sub> .....	113
<b>Tabela 7.7.</b> Medidas de brilho das rochas estudadas antes e após ensaio de exposição ao dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	114

# SUMÁRIO

---

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Contexto Geral do Estudo</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3. Localização dos Materiais de Estudo</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. Rochas Utilizadas</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. Métodos de Trabalho</b> .....	<b>8</b>
2.2.1 Revisão Bibliográfica.....	8
2.2.2 Obtenção de Amostras.....	8
<b>2.3. Caracterização Tecnológica</b> .....	<b>9</b>
2.3.1 Ensaios de Caracterização Tecnológica .....	10
2.3.1.1 <i>Análise Petrográfica</i> .....	11
2.3.1.2 <i>Índices Físicos</i> .....	15
2.3.1.3 <i>Desgaste Abrasivo Amsler</i> .....	16
2.3.1.4 <i>Impacto de Corpo Duro</i> .....	16
2.3.1.5 <i>Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais</i> .....	17
2.3.1.6 <i>Compressão Uniaxial</i> .....	18
2.3.1.7 <i>Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão Uniaxial</i> .....	19
2.3.1.8 <i>Ensaio de Flexão pelo Método 3 Pontos</i> .....	19
2.3.1.9 <i>Ensaio de Flexão pelo Método 4 Pontos</i> .....	20
2.3.1.10 <i>Coefficiente de Dilatação Térmica Linear</i> .....	21
<b>2.4. Alteração, Alterabilidade e Durabilidade de Rochas</b> .....	<b>22</b>
2.4.1 Ensaios de Alteração Acelerada .....	23
2.4.1.1 <i>Resist. ao Ataque Químico Sob Efeito de Compostos Agressivos</i> .....	24
2.4.1.2 <i>Resist. ao Ataque Químico em Câmaras Com Atmosfera Saturada em</i> <i>Névoa Salina e SO<sub>2</sub></i> .....	25
2.4.1.2.1 <i>Exposição à Névoa Salina</i> .....	25
2.4.1.2.2 <i>Exposição ao SO<sub>2</sub></i> .....	29

### **CAPÍTULO 3**

PANORAMA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS ..... 30

**3.1. Perfil Econômico Mundial ..... 32**

**3.2. Perfil Econômico Nacional..... 34**

### **CAPÍTULO 4**

CONTEXTO GEOLÓGICO DOS MATERIAIS ESTUDADOS ..... 37

**4.1. Diamante Negro - Suíte Intrusiva Itabuna..... 37**

**4.2. Ocre Itabira - Maciço Venda Nova..... 40**

**4.3. Branco Galaxy - Complexo Paraíba do Sul/Domínio Cambuci ..... 43**

### **CAPÍTULO 5**

ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS MATERIAIS ESTUDADOS ..... 48

**5.1. Diamante Negro (*Microgabro*)..... 48**

**5.2. Ocre Itabira (*Hornblenda Sienito Pórfiro com Quartzo*) ..... 53**

**5.3. Branco Galaxy (*Granito Pegmatóide com Granada e Sillimanita*) ..... 57**

### **CAPÍTULO 6**

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E DISCUSSÃO DOS DADOS ..... 62

**6.1. Índices Físicos ..... 65**

**6.2. Resistência à Compressão Uniaxial ..... 68**

6.2.1 Res. à Compressão Uniaxial Após Ciclos de Congelamento e Degelo..... 70

**6.3. Resistência à Flexão 3 e 4 Pontos ..... 73**

**6.4. Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler ..... 77**

**6.5. Resistência ao Impacto de Corpo Duro ..... 78**

**6.6. Determ. Velocidade Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais ..... 80**

**6.7. Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear..... 83**

### **CAPÍTULO 7**

ENSAIOS DE ALTERAÇÃO ACELERADA E DISCUSSÃO DOS DADOS ..... 85

**7.1. Resistência ao Ataque Químico Sob Efeito de Reagentes Agressivos..... 86**

7.1.1 Perda de Brilho ..... 88

7.1.2 Variação Cromática ..... 91

**7.2. Resistência ao Ataque Químico em Câmaras Com Atmosfera Saturada em Névoa Salina e SO<sub>2</sub> ..... 99**

7.2.1 Resistência ao Ataque Químico Sob Ação de Névoa Salina..... 99

7.2.1.1 <i>Análise geral</i> .....	99
7.2.1.2 <i>Variação de peso</i> .....	101
7.2.1.3 <i>Alteração cromática</i> .....	103
7.2.2 Resistência ao Ataque Químico Sob Ação de Dióxido de Enxofre .....	110
7.2.2.1 <i>Análise geral</i> .....	112
7.2.2.2 <i>Alteração cromática</i> .....	113
7.2.2.3 <i>Variação de peso</i> .....	117
<b>CAPÍTULO 8</b>	
CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS E INDICAÇÕES DE USO .....	123
<b>CAPÍTULO 9</b>	
CONCLUSÕES .....	128
<b>CAPÍTULO 10</b>	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	132
<b>ANEXOS</b> .....	<b>143</b>
<b>ANEXO A</b> – Tabelas Contendo os Resultados dos Ensaios Físico-Mecânicos .....	144
<b>ANEXO B</b> – Tabelas de Medidas de Brilho das Amostras Submetidas ao Ataque Químico por Reagentes Agressivos .....	168
<b>ANEXO C</b> – Tabelas de Medidas Colorimétricas e de Brilho em Glossmeter de Três Ângulos Efetuadas nas Amostras Submetidas ao Ataque Químico em Câmaras Simulando Névoa Salina e SO <sub>2</sub> .....	170



## 1

## INTRODUÇÃO

---

## 1.1. Contexto Geral do Estudo

As rochas ornamentais e para revestimento são materiais conhecidos há muito pela sua nobreza (CAVALCANTI, 1951), sendo tipificados por uma longa lista de características que valorizam seu uso, destacando-se o efeito estético, a durabilidade, a resistência mecânica, diversidade cromática e sobretudo a flexibilidade no uso, o que possibilita a obtenção de produtos com dimensões e formatos diversos, para as mais variadas aplicações (CHIODI FILHO, 1995; PEITER & CHIODI FILHO, 2001; CHIODI FILHO, 2002; SPÍNOLA et al., 2004).

Através dos tempos, cada civilização usou e trabalhou a rocha de acordo com as suas necessidades. Inicialmente, como instrumento de trabalho e para sua própria defesa, e posteriormente na área da construção civil, empregando-a como constituintes estruturais (colunas e pilares), na matéria prima para confecção de obras de arte e em elementos de arquitetura (pias, bancadas, soleiras). Atualmente destaca-se a utilização do material rochoso como <sup>1</sup>revestimentos horizontais e <sup>2</sup>verticais, aplicadas em interiores e exteriores de edificações.

A ABNT NBR 15012 (ABNT, 2003) define rocha ornamental como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruto, aparelhado, apicoado, esculpido ou polido) utilizado para exercer uma *função estética*. Por sua vez, rocha para revestimento defini-se como material natural que, submetido a processos

---

<sup>1</sup> Pisos.

<sup>2</sup> Paredes.

diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizado no *acabamento de superfícies*, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil.

Segundo Chiodi Filho (1995), as rochas ornamentais e para revestimento são ainda designadas como pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, e abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc.

O setor de rochas ornamentais cresceu muito nas últimas décadas e vem se consolidando como um importante segmento econômico, gerando empregos e divisas. O Brasil, pelo seu potencial geológico e com uma grande variedade de granitos, tem sido um importante exportador de blocos e vem se destacando nos últimos anos também como produtor de chapas (PEITER & CHIODI FILHO, 2001; CHIODI FILHO, 2008a; 2009a).

O padrão estético definido pela cor, componentes mineralógicos, textura e estrutura da rocha, derivados do seu ambiente genético e da maneira como esses minerais se organizam, constitui o fator preponderante na comercialização e utilização dos produtos derivados desses materiais (CHIODI FILHO, 1995; FRASCÁ, 2004). No entanto, o aproveitamento dos materiais rochosos para fins ornamentais e de revestimento depende, além das características estéticas, de fatores intrínsecos a eles, tais como propriedades físicas, químicas e mecânicas (FRAZÃO & QUITETE, 1999) e presença de alterações e/ou capacidade de alteração, uma vez que estas são particularidades que condicionam seu comportamento tecnológico.

Como decorrência do incremento na utilização de rochas para revestimentos e, conseqüentemente, da crescente diversidade de materiais hoje disponíveis no mercado, está cada vez mais freqüente o surgimento de problemas patológicos, cuja causa fundamental está na especificação errônea do material, exatamente pelo desconhecimento das propriedades físicas, mecânicas e de suscetibilidade a alteração das rochas destinadas aos diversos ambientes.

De um modo geral, os processos de deterioração têm sido empiricamente relacionados à interação das características físicas, mecânicas e petrográficas das rochas com os agentes ambientais e aos procedimentos de fixação, limpeza e manutenção desses materiais, cujos resultados se manifestam nas superfícies expostas das rochas, observáveis tanto pelas modificações de seus aspectos estéticos (perda de brilho, cor, manchamentos, etc.) como pela desagregação ou ainda pela perda de resistência mecânica (FRASCÁ, 2003).

Deve-se assumir que os materiais rochosos, similarmente aos demais materiais de construção e as próprias obras em que são empregados, não são eternos. Entretanto, devem

permanecer por um período de vida economicamente razoável (<sup>3</sup>LÓPEZ JIMENO, 1996 apud FRASCÁ, 2003). Desta forma, torna-se fundamental o conhecimento das características tecnológicas e petrográficas que cada tipo de rocha apresenta para que haja uma adequada especificação, valorizando assim seu valor estético e respeitando suas características funcionais.

## 1.2. Objetivos

Diante do exposto acima, a presente pesquisa buscou:

- ✓ Gerar novos dados de caracterização tecnológica e de alteração acelerada para as rochas ornamentais brasileiras;
- ✓ Utilizar informações obtidas por meio de caracterização tecnológica e ensaios de alteração acelerada de rochas ornamentais, detentoras de diferentes aspectos mineralógicos, texturais e estruturais, visando a definição de parâmetros petrográficos capazes de explicar e/ou prever o comportamento físico-mecânico e químico dessas rochas durante o uso em obras civis.
- ✓ Desenvolver pesquisas que permitam a discussão, absorção e transmissão das técnicas variadas sobre a caracterização de rochas ornamentais, visando disseminar a necessidade de aprimoramento técnico como subsídio para o seu melhor aproveitamento;
- ✓ Contribuir com orientações para a correta especificação dos materiais pétreos.

## 1.3. Localização dos Materiais de Estudo

A presente pesquisa enfocou três rochas ornamentais e para revestimento. A primeira, representada pelo tipo comercial Diamante Negro, pertencente à Suíte Intrusiva Itabuna, a qual se localiza no sudeste do estado da Bahia. A referida Suíte fica a 82 km de Ilhéus, sendo que o acesso se dá através da BR-415 até Floresta Azul (Figura 1.1). As cidades mais importantes da área são Ilhéus a leste e Vitória da Conquista a oeste.

---

<sup>3</sup> LÓPEZ JIMENO, C. Manual de Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación. Madrid: Entorno. 696 p., 1996.

A segunda rocha, representada pelo tipo comercial Ocre Itabira, pertence ao Maciço Intrusivo Venda Nova, situado na macrorregião sudoeste do estado do Espírito Santo (Figura 1.2). A borda sul do referido Maciço encontra-se a noroeste da cidade homônima, próxima a BR-262, a qual liga as capitais Belo Horizonte e Vitória. O acesso a área pode ser feito pela rodovia Presidente Costa e Silva (BR-262), distando cerca de 100 km da cidade de Vitória. As principais cidades do entorno da área são Vitória e Vila Velha, a leste, e Castelo ao sul.

Por fim, a terceira rocha é representada pelo tipo comercial Branco Galaxy, o qual corresponde ao Complexo Paraíba do Sul, aflorante na porção noroeste também do estado do Espírito Santo, no município de Colatina (Figura 1.2). A área dista cerca de 150 km, partindo-se de Vitória. O acesso se dá pela rodovia BR-101 até a altura de João Neiva (percurso de ~90 km), e deste ponto em diante pela rodovia BR-259, cerca de 60 km. As principais localidades na área de estudo correspondem à cidade de Aracruz, situada a leste da área, e às cidades de Vitória, Vila Velha e Cariacica, ao sul.

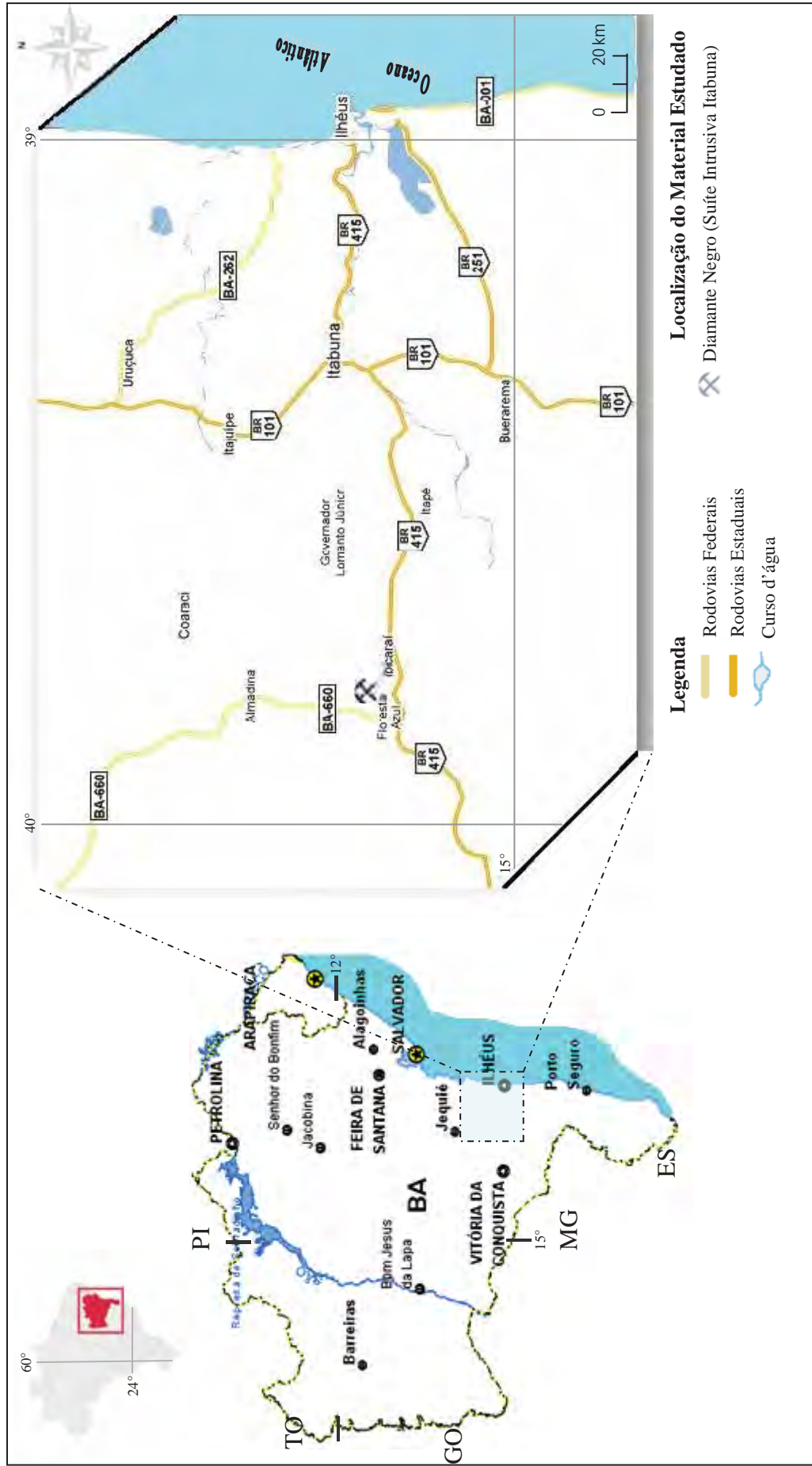
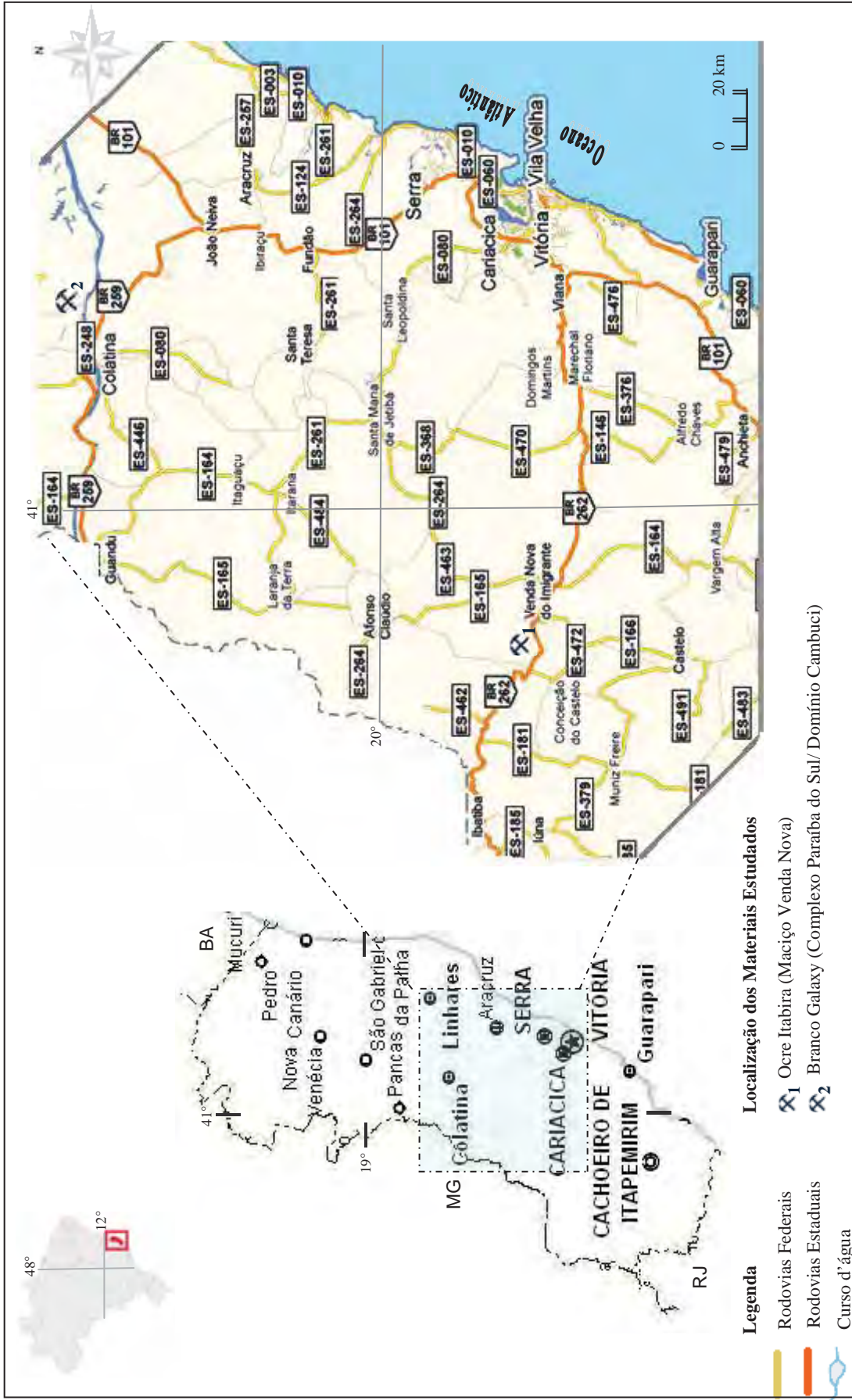


Figura 1.1. Mapa esquemático de acesso rodoviário à pedra ornamental Diamante Negro – BA (Google Maps, 2010a, adaptado).



**Figura 1.2.** Mapa esquemático de acesso rodoviário às pedreiras das rochas Ocre Itabira e Branco Galaxy – ES (Google Maps, 2010b, adaptado).

# 2

## MATERIAIS E MÉTODOS

---

### 2.1. Rochas Utilizadas

A escolha das rochas utilizadas nesta pesquisa foi definida de forma a atender os objetivos do projeto, ou seja, coletar materiais de distintas linhagens petrográficas, com diferentes comportamentos tecnológicos, para então correlacioná-los com suas propriedades petrográficas intrínsecas. Além disso, sendo considerada a facilidade para obtenção de amostras, procurou-se adotar materiais pouco, ou não estudados, de forma a contribuir com o aumento do banco de dados das rochas ornamentais brasileiras.

Dessa forma, foram selecionadas amostras de um granito crustal peraluminoso afetado por evento metamórfico dinamotermal (denominado comercialmente Branco Galaxy), um sienito (denominado comercialmente Ocre Itabira) e um gabróide (denominado comercialmente Diamante Negro).

O granito Branco Galaxy, o qual faz parte do embasamento do Complexo Paraíba do Sul/Domínio Cambuci, provém do município de Colatina, no estado do Espírito Santo, sendo o direito de lavra pertencente à Mineração Marianelli Ltda. Porém, as amostras foram obtidas na empresa Ideal Stones, sediada na cidade de Bragança Paulista – SP, e na empresa Pemagran Pedras Mármore Granitos Ltda., sediada na cidade de Cachoeiro do Itapemirim – ES, ambas compradoras dos blocos da Mineração Marianelli Ltda.

O sienito Ocre Itabira também é proveniente do estado do Espírito Santo, porém extraído do Maciço Venda Nova, localizado no município homônimo. As amostras foram fornecidas pela empresa AGRAM Altoé Mármore e Granitos Ltda., sediada no município de Vargem Alta – ES.

O gabro Diamante Negro é proveniente da Suíte Intrusiva Itabuna, no município de Floresta Azul – BA, sendo extraído e beneficiado pela empresa capixaba MM2 Mármore e Granitos Ltda., a qual também forneceu as amostras utilizadas.

## **2.2. Métodos de Trabalho**

Para o desenvolvimento da presente pesquisa adotou-se a interação das atividades de coleta de materiais nas empresas, laboratório e escritório, visando à construção de um esboço geológico, (realizada através de revisão da literatura), caracterização petrográfica, tecnológica e de alteração acelerada das variedades rochosas Diamante Negro, Ocre Itabira e Branco Galaxy, utilizadas para fins ornamentais e para revestimento.

### **2.2.1 Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica constou basicamente da leitura e levantamento da problemática enfocada e de informações geológicas sucintas envolvendo as rochas adotadas na pesquisa. Neste sentido foi compilada uma síntese geológica acerca da Suíte Intrusiva Itabuna (BA), do Maciço Venda Nova e do Complexo Paraíba do Sul (ES), sendo abrangido neste último caso apenas o contexto geológico da área de proveniência do material estudado.

Concomitante, e ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foram levantadas informações da literatura acerca das metodologias aplicadas na caracterização tecnológica e de alteração acelerada de rochas ornamentais e de revestimento, e do próprio setor em si, enfocando publicações relacionadas aos aspectos técnicos, mercadológicos e de utilização dos materiais rochosos em obras civis.

### **2.2.2 Obtenção de Amostras**



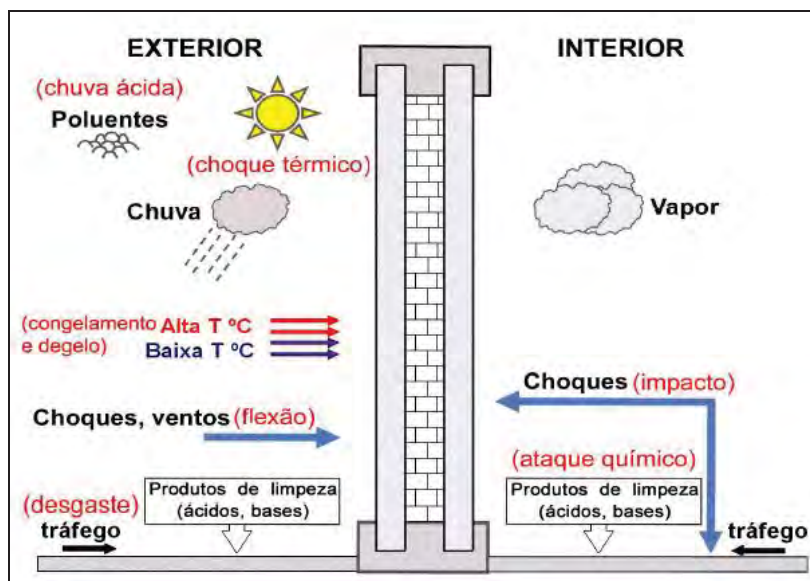
A coleta de amostras limitou-se, de fato, a visitas nas empresas fornecedoras das rochas estudadas, não sendo, portanto, realizado nenhum trabalho *in loco* nas pedreiras destes materiais. Sendo assim, o material Diamante Negro foi coletado na empresa MM2 Mármore e Granitos Ltda., sediada no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES, o Ocre Itabira coletado na empresa Agram Mármore e Granitos Ltda., do município de Vargem Alta – ES, e por fim, as amostras do Branco Galaxy coletadas na Ideal Stones, sediada em Bragança Paulista – SP e na Pemagran Pedras Mármore e Granitos Ltda., sediada no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES.

### 2.3. Caracterização Tecnológica

O emprego das rochas ornamentais na construção civil, principalmente como elementos de revestimento horizontal e vertical, vem se expandindo a cada ano, desde o período conhecido como “Nova Idade da Pedra”, em meados dos anos 80 (CHIODI FILHO, 2008a). Por outro lado, apesar desse crescente consumo, não há na maioria das vezes o conhecimento das propriedades tecnológicas do material rochoso, tornando sua aplicação empírica.

Rotineiramente, a qualificação comercial das rochas ornamentais baseia-se essencialmente nas características estéticas do material, definidas pela interação de diferentes estruturas (foliação/bandamento), texturas (dimensão e arranjo dos cristais constituintes) e feições cromáticas (dependentes da mineralogia). Em geral, a cor é o principal atributo para inserção e manutenção de um material pétreo no mercado (FRASCÁ, 2004).

Apesar de o aspecto estético dominar na escolha de um material pétreo por parte de seus consumidores, especificadores, *designers*, arquitetos e etc., estudos mostram que este é um critério subjetivo e pouco eficaz (FRASCÁ, 2003; 2004; TORQUATO, 2004; CHIODI FILHO, 2008b), pois os materiais rochosos tendem a se modificar e deteriorar naturalmente com o tempo, de formas diferenciadas, variando de acordo suas propriedades petrográficas intrínsecas e com as solicitações do ambiente no qual foi empregado. A Figura 2.1 ilustra algumas dessas principais solicitações para rochas aplicadas como revestimentos.



**Figura 2.1.** Principais solicitações de rochas aplicadas como revestimento (FRASCÁ, 2004).

As características intrínsecas do material podem ser avaliadas através da realização de ensaios de caracterização tecnológica, os quais fornecem informações valiosas sobre as propriedades físico-mecânicas das rochas de interesse, oferecendo assim subsídios para uma correta especificação, de acordo com as solicitações à que o material estará submetido, e evitando o surgimento de possíveis degradações.

Surge aí a necessidade de se conhecer previamente as propriedades físico-mecânicas da rocha de forma a possibilitar o uso adequado, e conseqüentemente, a manutenção de seus aspectos qualitativos como durabilidade e estética, uma vez empregadas como materiais de construção.

Todos os ensaios de caracterização tecnológica devem ser executados segundo procedimentos padronizados, os quais são determinados por entidades nacionais e internacionais como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, a American Society for Testing and Materials - ASTM, o Deutsches Institut für Normung - DIN, a International Society for Rocks Mechanics - ISRM, entre outros.

### 2.3.1 Ensaios de Caracterização Tecnológica

Conforme descrito anteriormente, os ensaios tecnológicos são técnicas apropriadas que determinam as propriedades das rochas e, segundo Frascá (2001), os valores obtidos são

úteis como referências para avaliar as características e prever o desempenho do material rochoso quando empregado em construção civil.

Destaca-se que todos os ensaios físico-mecânicos envolvidos nesta pesquisa foram executados no laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Rio Claro (SP).

Os ensaios de caracterização tecnológica realizados nesta pesquisa são pormenorizados a seguir.

### *2.3.1.1 Análise Petrográfica*

A análise petrográfica fundamentou-se nas observações macroscópicas e de seções delgadas das rochas sob microscópio ótico de luz transmitida (Leitz, modelo 12 POL S), seguindo-se as orientações constantes na norma ABNT NBR 12768 (ABNT, 1992a), sendo esta complementada pelas considerações apresentadas por Rodrigues et al. (1996; 1997) e Navarro (1998).

A finalidade desta ferramenta é fornecer a composição mineralógica, aspectos texturais e estruturais bem como o estado microfissural e de alteração da rocha, parâmetros estes que poderão comprometer seu comportamento tecnológico.

A análise da composição mineralógica permite definir a natureza da assembléia mineral, quantificá-la, identificar o estado microfissural, tipo e grau de alteração, assim como minerais deletérios, friáveis e solúveis que possam comprometer o brilho, a durabilidade ou o desempenho das rochas (RODRIGUES et al., 1997).

A textura também é um parâmetro fundamental na previsão do desempenho e durabilidade dos materiais rochosos (HUDEC, 1998; NAVARRO, 1998; FRASCÁ, 2004; SOUSA et al., 2005). Esta corresponde ao aspecto microscópico geral da rocha, no qual se incluem a forma dos minerais, sua granulação e a maneira como se relacionam e distribuem, aspectos importantes para se prever a durabilidade da rocha em solicitações de atrito, esforços compressivos e fletores, além da probabilidade de propagação de líquidos, dependendo do microfissuramento. Nesse sentido, a granulação e o imbricamento dos grãos da rocha exercem um papel fundamental no seu comportamento tecnológico.

A estrutura por sua vez é outra condicionante petrográfica que exerce forte influência no comportamento tecnológico das rochas. Segundo Wernick (1975), a estrutura corresponde às feições globais ostentadas pelas rochas sem levar em consideração a natureza

de seus constituintes mineralógicos. As estruturas, quando presentes sob a forma de foliação de fluxo, xistosidade, gnaissificação, etc., representam discontinuidades físicas que interferem principalmente na percolação de fluidos, na resistência mecânica e velocidade de propagação de ondas longitudinais dos materiais rochosos.

A fim então de se realizar uma análise petrográfica pormenorizada, de acordo com os objetivos dessa pesquisa, alguns aspectos acerca da textura e quantificação mineralógica das rochas foram adotados na descrição e serão detalhados abaixo, segundo compilação de Meyer (2003a):

#### ↳ Quantificação Mineralógica (composição modal):

A sistemática adotada para a determinação da composição modal das rochas estudadas leva em consideração a granulação e aspectos texturais da rocha, visando à classificação das amostras segundo o diagrama QAP proposto pela IUGS (STRECKEISEN, 1976). Assim, as rochas de granulação fina a média foram determinadas através da contagem dos minerais em lâminas delgadas utilizando-se ocular de integração (Carl Zeiss, modelo KPL), com número de pontos aferidos ao redor de 1.000.

Para as rochas de granulação grossa, além da quantificação microscópica, foi feita também a contagem dos minerais através de seções macroscópicas coloridas por ataque com ácido fluorídrico, seguido por tratamento com cobaltonitrito de sódio, segundo técnica aplicada por Moraes e Rodrigues (1978), permitindo o reconhecimento do feldspato potássico, o que auxilia na distinção dos outros minerais. A contagem dos pontos foi efetuada sobre malhas de 0,5 e 1,0 cm, lançadas sobre folha plástica transparente, sendo o resultado integrado à determinação microscópica.

#### ↳ Classificação das rochas em relação aos aspectos texturais/tamanho relativo dos cristais:

- **equigranular**: textura de rochas onde os grãos minerais têm o mesmo tamanho ou podem variar dentro de uma estreita faixa;
- **inequigranular**: textura de rochas onde os grãos minerais apresentam diferenças de tamanho de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores;

- **porfirítica**: textura das rochas que apresentam megacristais no mínimo cinco vezes maiores que a dimensão média dos grãos da matriz, possuindo esta granulação fina.
- **porfiroide**: textura das rochas que apresentam megacristais no mínimo cinco vezes maiores que a dimensão média dos grãos da matriz, possuindo esta granulação média/grossa.
- **pórfira**: textura das rochas cujos fenocristais perfazem mais de 50% de seu volume.

↪ Classificação quanto à granulação presente na rocha

<i>Classificação</i>	<i>Diâmetro Médio dos Grãos</i>
<b>Fina</b>	< 1,0 mm;
<b>Média-fina</b>	entre 1 e 3 mm;
<b>Média</b>	entre 3 e 7 mm;
<b>Média-grossa</b>	entre 7 e 10 mm.

↪ Relação de contato entre os minerais

Os contatos entre os minerais, verificados ao microscópico, foram classificados e divididos em três tipos básicos, a saber: contato plano, côncavo-convexo e serrilhado (Figura 2.2). Cada tipo é quantificado de acordo com a média das contagens executadas em microscópio, cujo aumento foi determinado de acordo com a granulação da rocha: aumento de 40x para granulações média/grossa e de 100x para as granulações finas.



**Figura 2.2.** Tipos de bordas/contatos entre os grãos minerais (MESQUITA, 2002, adaptado).

### ↳ Grau de alteração mineral

O grau de alteração observado em microscópio foi quantificado para cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásios (saussuritização, sericitização, epidotização e transformação para carbonatos), feldspato potássico (sericitização, argilominerais) e minerais máficos (cloritização, epidotização e transformações para óxidos e hidróxidos). De acordo com a intensidade do mesmo foram classificados em:

<b>Grau de Alteração</b>	<b><i>Intenso</i></b>	<b><i>Moderado</i></b>	<b><i>Incipiente</i></b>	<b><i>Ausente</i></b>
<b>Porcentagem</b>	> 60%	30 a 60 %	< 30 %	0 %

É interessante ressaltar que a classificação apresentada acima é de caráter ilustrativo, pois na maioria das vezes a alteração mineral se manifesta de forma pulverulenta sobre os grãos minerais, ou seja, normalmente não consome totalmente o grão mineral – embora possa ocorrer em alguns casos.

### ↳ Microfissuras

O microfissuramento mineral foi expresso em número de microfissuras por  $\text{mm}^2$ , equivalente a média das contagens efetuadas através de microscópio (10 campos visuais). As microfissuras são discriminadas em termos de: vazias ou preenchidas, neste caso, tipo de preenchimento; comunicabilidade entre si, sendo inter ou intragranulares, e existência de orientação preferencial.

É interessante ressaltar que a determinação e classificação das microfissuras ainda não são normatizadas, de forma que sua realização segue métodos muito subjetivos. A classificação adotada abaixo é sugerida por Meyer (2003a).

<b>Classificação</b>	<b>Microfissuramento (<math>\text{mm}^2</math>)</b>
<b>Alto</b>	> 0,25
<b>Moderado</b>	0,1 a 0,25
<b>Baixo</b>	< 0,1

### 2.3.1.2 Índices Físicos

Os índices físicos são as propriedades de massa específica seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água da rocha, obtidas segundo as diretrizes da norma ABNT NBR 12766 (ABNT, 1992b).

O ensaio fornece uma idéia sobre a incidência de espaços vazios e microdescontinuidades nas rochas, sendo que os valores de absorção d'água e porosidade são correlacionados com os de resistência mecânica da rocha (NAVARRO, 1998; TUĞRUL e ZARIF, 1999; FRANKLIN & DUSSEAULT, 1991<sup>4</sup> apud TUĞRUL, 2004; SOUSA et al., 2005). Tal correlação constitui-se do fato de que uma rocha porosa apresentará maior quantidade de espaços vazios, o que pode configurar uma menor resistência mecânica.

O índice de absorção d'água constitui, por sua vez, elemento de avaliação preliminar de compactação, resistência e durabilidade da rocha, sendo um fator decisivo na escolha do material para uso em ambientes úmidos.

A massa específica seca aparente dos materiais é importante para compatibilizar a dimensão das placas com a resistência dos dispositivos de ancoragem quando utilizadas em fachadas, por exemplo (MEYER, 2003a).

De acordo com a norma ABNT NBR 12766 (ABNT, 1992b), para a determinação dos índices físicos são necessários 10 corpos de prova de qualquer formato, obtidos por meio de quebra natural. Nesta pesquisa optou-se por serrar os corpos de prova em formato cúbico, a fim de facilitar sua confecção.

Após a obtenção de amostras, efetua-se a lavagem em água corrente e os corpos de prova são então submetidos a uma secagem em estufa ventilada a 110° C, por 24 horas. Em seguida é efetuada a pesagem, obtendo-se a massa **A**. Num próximo passo, procede-se a saturação dos corpos de prova por 24 horas em dissecador com bomba a vácuo ligada por 30 minutos. Decorrido o tempo necessário, efetua-se a secagem dos corpos de prova com o auxílio de um pedaço de pano levemente úmido, para retirar o excesso d'água, e novamente pesa-se a amostra obtendo-se a massa **B**. Por fim, os corpos de prova são pesados dentro de um recipiente com água, obtendo-se assim a massa **C**.

Os valores dos índices físicos são obtidos de acordo com as seguintes expressões:

---

<sup>4</sup> Franklin, J. A., Dusseault, M. B. Rock Engineering Applications. McGraw-Hill: New York, 600 p. 1991.

<i>Índice</i>	<i>Expressão</i>
Massa Específica Aparente Seca	$A/B-C \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Massa Específica Aparente Saturada	$B/B-C \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Porosidade Aparente	$B-A/B-C \times 100\%$
Absorção d'água	$B-A/A \times 100\%$

### 2.3.1.3 Desgaste Abrasivo Amsler

O ensaio, executado de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 12042 (ABNT, 1992c) visa verificar a redução de espessura da rocha, quando submetida a um percurso de 1000 metros num equipamento denominado Amsler, o qual simula situações de atrito. O abrasivo utilizado é areia normatizada essencialmente quartzosa número 50 (0,3 mm) (NBR – 7214).

Embora pouco estudado e insuficiente como critério de especificação, o resultado deste ensaio fornece subsídios relativos para auxiliar na escolha de materiais pétreos a serem empregados como revestimentos de ambientes com alto tráfego.

Segundo a norma pertinente da ABNT, o ensaio é realizado utilizando-se dois corpos de prova, de dimensões 7 x 7 x 3 cm que, após submetidos a dois percursos abrasivos na máquina Amsler, de 500 metros cada, são aferidas suas perdas de espessura (mm) em relógio comparador. Obtém-se o desgaste total a partir da fórmula:

$$\text{Desgaste abrasivo} = H_i \text{ (espessura inicial)} - H_f \text{ (espessura final) (mm)}$$

### 2.3.1.4 Impacto de Corpo Duro

Este ensaio avalia a tenacidade da rocha através da determinação da altura de queda de uma esfera de aço, a qual provoca ruptura do corpo de prova, sendo também determinada a energia de ruptura.

É um ensaio voltado diretamente para um produto da rocha, no caso ladrilhos, quando da sua utilização em revestimentos horizontais de interiores e exteriores, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Quanto menores os valores encontrados, menos resistente ao choque é o material, tornando-se, no caso, imprescindíveis os cuidados redobrados no transporte e na sua colocação.



Para este ensaio especificamente, utilizou-se instruções contidas na nova norma ABNT NBR 15845 - Anexo H (ABNT, 2010), a fim de se otimizar a interpretação dos resultados obtidos. Assim, para a execução dos testes são necessários no mínimo 5 corpos de prova na forma de placas de 20 x 20 cm, com acabamento e espessura comum de uso, as quais são apoiadas em um colchão de areia de 10 cm de espessura e submetidas ao impacto pela queda de uma esfera de aço de 1 kg. O resultado é expresso pelo produto da média aritmética das alturas de queda que fraturam as placas e pela energia de ruptura, calculado segundo a expressão:

$$W = m.g.h$$

Onde:

**W**= energia de ruptura (J)

**m**= massa da esfera (kg)

**g**= aceleração da gravidade (9,806 m/s<sup>2</sup>)

**h**= altura de ruptura (m)

Embora executado com bastante frequência, há críticas quanto ao modo de execução desse ensaio. Há de se considerar que as constantes quedas da esfera metálica certamente provocam uma fadiga na placa pétreo ensaiada, culminando numa dada altura com seu rompimento. O que ocorre, portanto, não é exatamente a avaliação do comportamento do material sob ação de esforços dinâmicos. No caso, o ensaio correspondente à fadiga da rocha, devido ao fato das quedas serem cíclicas.

### *2.3.1.5 Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais*

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas, pois os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos de prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores (Frascá, 2001). A anisotropia também pode exercer influência na velocidade de propagação, no sentido de que os planos de

foliação funcionam como barreiras ao percurso da onda ultrassônica, o que diminui sua velocidade.

O ensaio, executado segundo a norma D 2845 (ASTM, 2008), é determinada em todos os corpos de prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial e de tração na flexão, e auxilia a interpretação dos resultados obtidos nestes ensaios. De fácil execução, nesse ensaio obtém-se o tempo que a onda ultrassônica leva para atravessar o corpo de prova, o qual é dado em  $\mu\text{s}$  (micro-segundos) e, dispondo da distância percorrida pela onda, calcula-se a velocidade da onda ultrassônica:

$$V_p = d / t \cdot 10^{-6}$$

Onde:

**$V_p$**  = velocidade da onda ultrassônica longitudinal (**m/s**)

**$d$**  = distância percorrida pela onda de ultrassom (**m**)

**$t$**  = tempo do percurso da onda de ultrassom ( **$\mu\text{s}$** )

### 2.3.1.6 Compressão Uniaxial

Determina a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural, além de obter um parâmetro indicativo de sua integridade física.

O ensaio é realizado conforme o preconizado pela ABNT NBR 12767 (ABNT, 1992d). Utilizam-se 5 corpos de prova no formato cúbico ou cilíndrico, de aproximadamente 7,5 cm de aresta, nas condições seca e/ou saturada em água. Nesta pesquisa todas as amostras de rocha foram ensaiadas no estado seco. Para rochas gnáissicas ou com alguma orientação mineral visível, a tensão de ruptura é obtida em duas direções: concordante e normal ao plano de orientação. Os corpos são então submetidos a esforços compressivos (taxa de carregamento de 600 kPa/s) em uma prensa hidráulica com capacidade de 200 toneladas.

A tensão de ruptura é obtida através da fórmula:

$$\sigma = F/A$$

Onde:

$\sigma$  = tensão de ruptura (MPa)

$F$  = força de ruptura (kN)

$A$  = área de carga do corpo-de-prova (m<sup>2</sup>)

### 2.3.1.7 Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão Uniaxial

O ensaio é executado principalmente em rochas destinadas ao revestimento de edificações, destaque para os materiais de exportação, os quais estarão sujeitos a drásticas variações de temperatura, características de países de climas temperados.

Segundo preconizado pela norma ABNT NBR 12769 (ABNT, 1992e), o ensaio consiste em submeter a rocha a 25 ciclos de congelamento e degelo e em seguida verificar eventuais quedas de resistência, através da tensão de ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos ao natural e após os ciclos de congelamento e degelo. O coeficiente de enfraquecimento ( $K$ ) do material é então obtido pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural, segundo a fórmula:

$$K = \frac{\sigma_{\text{congelamento e degelo}}}{\sigma_{\text{em estado seco sem congelamento e degelo}}}$$

Onde:

$K$  = coeficiente de enfraquecimento da rocha

$\sigma$  = tensão de ruptura (MPa)

### 2.3.1.8 Ensaio de Flexão pelo Método 3 Pontos

Também conhecido como módulo de ruptura este ensaio é determinado seguindo-se as instruções contidas na norma ABNT NBR 12763 (ABNT, 1992f). O teste determina a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores e permite avaliar sua aptidão para uso em pavimentos, ou elemento estrutural, possibilitando o

cálculo de parâmetros, como a espessura. Também é um dado indicativo da resistência do material pétreo à tração.

Para a execução do ensaio são necessários 5 corpos de prova retangulares de dimensões de 20 x 10 x 5 cm, no estado seco ou saturado. As amostras são então posicionadas em um dispositivo acoplado à prensa hidráulica constituído de dois cutelos inferiores, de aço, e um cutelo superior, de reação, com os quais será simulado um esforço fletor de taxa de carregamento de 4450 N/min, até que ocorra a ruptura do corpo de prova.

A tensão de ruptura é obtida segundo a fórmula:

$$R = \frac{3.P.L}{2.b.d^2}$$

Onde:

**R** = tensão de ruptura na flexão (MPa)

**P** = força de ruptura (KN)

**L** = distância entre os cutelos de ação (m)

**b** = largura do corpo de prova (m)

**d** = espessura do corpo-de-prova (m)

#### 2.3.1.9 Ensaio de Flexão pelo Método 4 Pontos

O ensaios utilizado para a determinação da resistência à flexão pelo método 4 pontos procura determinar qual a tensão (MPa) que provoca a ruptura de uma placa de rocha quando submetida a esforços de tração. Este valor vai determinar qual o maior tamanho e/ou a menor espessura que uma placa deverá ter para suportar as condições estruturais e climáticas locais. Tem relevância particular no caso de revestimentos exteriores, especialmente quando sob a forma de placas que estarão sujeitos a força produzida pela ação do vento (TORQUATO, 2004).

Segundo a norma C 880 (ASTM, 2009) o ensaio é realizado em 5 placas de rocha de dimensões de 38 x 10 x 3 cm. Os corpos de prova são apoiados sobre um dispositivo contendo dois cutelos inferiores de aço e dois superiores de reação, sendo a taxa de carregamento da prensa hidráulica é 535 N/min.

O valor da tensão de ruptura é dado através da seguinte expressão:

$$R = \frac{3.P.L}{4.b.d^2}$$

Onde:

**R** = tensão de ruptura na flexão (MPa)

**P** = força de ruptura (kN)

**L** = distância entre os cutelos de ação (m)

**b** = largura do corpo de prova (m)

**d** = espessura do corpo-de-prova (m)

#### 2.3.1.10 Dilatação Térmica Linear

O ensaio de dilatação térmica linear é uma técnica cuja determinação baseia-se no pressuposto de que a rocha sofre consideráveis mudanças lineares, uma vez submetidas às variações de temperatura.

Essas alterações, ou coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m. °C), são avaliadas utilizando-se dois corpos de prova cilíndricos, de medidas 30 mm de diâmetro x 90 mm de extensão, os quais são submetidos a um aquecimento que varia de 0 a 50° (taxa de aquecimento de 0,3 °C/min), e logo em seguida a um resfriamento de 50 a 0°, no interior de um dilatômetro, segundo norma ABNT NBR 12756 (ABNT, 1992g).

A importância desse ensaio concentra-se na definição das juntas dos materiais pétreos aplicados como revestimentos de interiores e exteriores, principalmente em ambientes cuja variação da temperatura é pronunciada.

Na execução do ensaio obtém-se a variação do comprimento do corpo de prova durante aquecimento e resfriamento da amostra, e então a partir desses dados calcula-se a dilatação térmica linear, dada pela expressão:

$$\beta = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T}$$

Onde:

$\beta$  = coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m °C)

$\Delta L$  = incremento de comprimento de corpo-de-prova (m)

$L_0$  = comprimento inicial do corpo-de-prova (m)

$\Delta T$  = incremento de temperatura (°C)

## 2.4. Alteração, Alterabilidade e Durabilidade de Rochas

As rochas ornamentais e de revestimento estão sujeitas a inúmeras solicitações quando empregadas na construção civil. Conforme visto anteriormente (Figura 2.1), estas solicitações podem ser incidência de radiação solar, pluviosidades, oscilações de temperatura, pressões de vento, exposição a gases poluentes, desgaste provocado por atrito e impacto de partículas em suspensão durante o vento, ação agressiva de produtos de limpeza, dependendo do tipo de ambiente (exteriores ou interiores) no qual estão aplicadas (FEASCÁ, 2004)

Há então de se considerar que os processos de deterioração ocorrem devido a um conjunto de fatores intrínsecos e extrínsecos, a saber, a interação das características petrográficas, físico-mecânicas e químicas das rochas, com os agentes do meio ambiente e os procedimentos de limpeza e conservação do material, respectivamente.

Caso seja negligenciado o conhecimento das características tecnológicas e de suscetibilidade à alteração do material pétreo de forma prévia a sua utilização, a rocha poderá sofrer alterações dos mais diversos tipos, como a perda de brilho, manchamentos, desintegração de minerais, alterações cromáticas, diminuição da resistência mecânica, escamações, esfoliações, entre outros fatores (MEYER et al., 2003b).

Há uma considerável diferença no que tange aos conceitos de alteração e alterabilidade de rochas. Segundo Aires-Barros (1991), a alteração de uma rocha é a sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físico-químicos naturais, que transformam essa rocha noutro produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente. Essas alterações podem ser hidrotermais ou meteóricas, cabendo aqui, para os fins da pesquisa, apenas o entendimento do segundo tipo.

Ainda segundo o autor supracitado, a alteração meteórica traduz a adaptação do sistema rochoso a determinado ambiente geológico exógeno. Isto equivale a dizer que os processos de alteração de minerais e rochas correspondem a um ajustamento destes aos

ambientes em que se encontram na crosta terrestre, que se dá através de transformações físico-químicas para que os mesmos possam se adequar às suas novas condições, as quais diferem daquelas existentes quando de sua cristalização, tornando-os assim novos produtos estáveis às condições exógenas presentes.

Por outro lado, a *alterabilidade* define-se como a aptidão de uma rocha em se alterar com o tempo, uma vez expostas às condições exógenas reinantes. Desta forma, pode se estabelecer que o tempo, que é considerado na alteração intempérica como um “tempo geológico”, na alterabilidade é um “tempo humano”, à escala do homem e das suas obras de engenharia (AIRES-BARROS, 1991).

Por sua vez, a norma C 119 (ASTM, 2001) define *durabilidade* (do inglês, *durability*) como a medida da capacidade da rocha ornamental de manter as características essenciais e distintas de estabilidade, resistência à degradação e a aparência. Segundo Frascá (2001), a durabilidade da rocha está baseada no período de tempo em que ela pode manter suas características inatas em uso, sendo consequência das condições do ambiente de aplicação e dos caracteres físicos mecânicos das litologias empregadas. Em última análise, pode-se concluir então que a alterabilidade de uma rocha está ligada a sua durabilidade, a qual poderá, por sua vez, ser ampliada por processos de conservação.

Durante esta pesquisa foram realizados vários ensaios de alterabilidade química, os quais simularam tanto o comportamento das rochas ornamentais quando expostas a atmosferas externas, quanto frente a agentes de limpeza cotidianos.

#### 2.4.1 Ensaios de Alteração Acelerada

Os ensaios de alteração acelerada, de uma forma geral, buscam simular solicitações às quais os materiais rochosos estarão sujeitos quando empregados na construção civil sejam elas as condições do meio ambiente (variações climáticas, atmosferas poluídas) ou produtos de limpeza e manutenção.

Destaca-se que o ensaio de resistência ao ataque químico sob efeito de compostos agressivos foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP – Rio Claro (SP), enquanto que os ensaios de alteração acelerada por exposição à névoa salina e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, localizado na Cidade Universitária (RJ).

A seguir são apresentados os pormenores dos ensaios de alteração acelerada efetuados nesta pesquisa.

#### 2.4.1.1 Resistência ao Ataque Químico Sob Efeito de Compostos Agressivos

O ensaio de resistência ao ataque químico consiste na exposição, por tempos predeterminados, da superfície polida da rocha a alguns agentes agressivos, comumente utilizados no cotidiano, como produtos de limpeza, refrigerantes, bebidas alcoólicas, sucos de fruta, vinagre, etc. Essas substâncias podem prejudicar a estética da rocha ocasionando manchas, descolorações, chegando até mesmo à corrosão (MEYER, 2003a).

O ensaio é baseado na norma ABNT NBR 13818, anexo H (ABNT, 1997) cuja especificação do ataque químico é voltada para placas cerâmicas, sendo então modificada e adaptada pra as rochas ornamentais e de revestimento.

Os reagentes utilizados, suas respectivas aplicações, tempo de contato e concentrações estão relacionados na tabela abaixo:

**Tabela 2.1.** Reagentes utilizados no ensaio de ataque químico e correspondentes concentrações, tempo de exposição e produtos do cotidiano que contém estas substâncias (ABNT, 1997, adaptada).

Reagentes	Concentração	Tempo de Contato	Produtos que contém os reagentes agressivos
Cloreto de Amônia (NH <sub>4</sub> Cl)	100g/l	24h	Produtos químicos de uso domésticos como detergentes e sabões
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	20mg/l	24h	Produtos de tratamento de água de piscina, água sanitária e produtos anti-mofo
Ácido Cítrico (C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	100g/l	24h	Sucos de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes
Ácido Clorídrico (HCl)	3% v/v	96h	Ácido muriático
Hidróxido de Potássio (KOH)	100g/L	96h	Sabões em geral

Nesta pesquisa utilizou-se 6 placas de rochas polidas de 10 x 10 x 2 cm, sendo uma mantida como padrão. Antes do ensaio é efetuada a limpeza da superfície dos corpos de prova com um pano umedecido em álcool, e estes são então submetidos a medidas de brilho



(três medidas na região a ser atacada) no aparelho denominado *Gloss Meter* (HORIBA, Modelo IG-3010), o qual apresenta sistema fixo de incidência da luz refletida de 60° em relação à superfície polida da placa.

Após o tempo de contato específico de cada reagente (área de ataque de ~ 65 cm<sup>2</sup>), os corpos de prova são lavados em água corrente, secos ao natural e submetidos a uma avaliação visual acompanhada de uma nova medida do lustro (três medidas na região atacada) e efetuada a avaliação da resposta do material aos agentes.

#### *2.4.1.2 Resistência ao Ataque Químico em Câmaras Com Atmosfera Saturada em Névoa Salina e SO<sub>2</sub>*

Os ensaios de alteração acelerada realizados em câmaras de alterabilidade visam a avaliação da durabilidade da rocha em relação aos agentes intempéricos e atmosferas agressivas, além de auxiliar na determinação do mecanismo de degradação para cada caso. As simulações das degradações procuram verificar as respostas das denominadas características intrínsecas à exposição a ambientes potencialmente degradadores.

Estes ensaios também funcionam como apoio aos diagnósticos de durabilidade das rochas, já que tentam prever ou avaliar o comportamento das mesmas quando aplicadas nas obras civis, com o objetivo de evitar uma degradação prematura (LIMA, 2006).

##### *2.4.1.2.1 Exposição à Névoa Salina*

O ensaio de intemperismo artificial por exposição à névoa salina baseia-se na norma ABNT NBR 8094 (ABNT, 1983a) e na B 117 (ASTM, 2009) e simula ambientes costeiros, ricos em sais (spray marinho), os quais são potencialmente degradadores de materiais rochosos.

A técnica consiste na exposição cíclica da rocha à névoa salina (pH entre 6,5 e 7,0) em uma câmara climática (BASS, Modelo] USX-5000/2006, Figura 2.3).



**Figura 2.3.** Câmara de exposição cíclica à névoa salina.

Para isso, 6 corpos de prova cúbicos, de 5 cm de aresta, são dispostos em suportes no interior da câmara de modo que a névoa tenha livre acesso a todos eles. O tempo de exposição ainda não é padronizado, mas adotou-se um mínimo de 30 dias, segundo sugestão de Frascá (2003), correspondentes a 30 ciclos de 18 horas cada, sendo 6 horas de exposição à névoa e 12 horas de secagem.

De forma prévia e após o ensaio, os corpos de prova foram pesados, fotografados e submetidos à medidas de brilho em *gloss meter* (Trycor Systems, Modelo 4528-T Micro-Tri Gloss, Figura 2.4) com geometria de medição em três ângulos: 20, 60 e 85°. Optou-se por este sistema, uma vez que ele apresenta ângulos de medidas otimizadas na detecção de pequenas variações em superfícies com alto brilho (20°) e resolução melhorada para superfícies com baixo brilho (85°), além do ângulo de medida universal (60°), conforme norma D 523 (ASTM, 1999).

Os corpos de prova também tiveram seu índice de cor avaliado num equipamento denominado colorímetro (TECHNIDYNE, Modelo 523 Jet, Figura 2.5), de modo a tornar as posteriores comparações visuais menos empíricas.



**Figura 2.4.** *Gloss meter* com sistema de medida de brilho em três ângulos.



**Figura 2.5.** Colorímetro.

Neste equipamento a determinação numérica da cor é realizada com base nas coordenadas colorimétricas do sistema colorimétrico CIE 1931, no espaço cromático uniforme CIELAB (1976) (Figura 2.6).

Este sistema de cor é baseado em três dimensões: o *tom*, que corresponde à tonalidade da cor (vermelho, verde, azul e amarelo) e relaciona-se com a longitude da onda de luz; o *croma*, pureza ou saturação que corresponde ao grau de intensidade da cor e a *claridade* ou luminosidade, que corresponde à cor e relaciona-se com a intensidade luminosa e a reflectância da luz.

Pelo sistema, a cor é expressa a partir de um conjunto de coordenadas que se constituem nos seguintes parâmetros:

- ↳ **L\*** - indica a localização da cor no eixo claro-escuro (preto para  $L^* = 0$  e branco para  $L^* = 100$ );

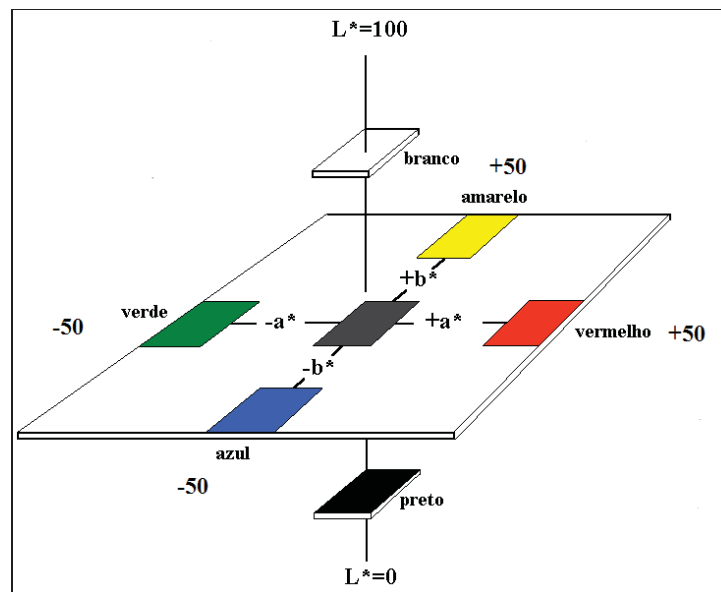
↪ **a\*** e **b\*** - representam as variações que envolvem o *tom* e o *chroma* e que podem ser consideradas como sendo de cor e cujos eixos se dispõem com formas ortogonais entre si, sendo que o eixo **a\*** situa-se entre -50 (verde) e +50 (vermelho) e o **b\*** entre -50 (azul) e +50 (amarelo).

A diferença total de cor neste sistema ( $\Delta E^*$ ) é expressa pelo módulo do vetor que indica a diferença entre os dois vetores que representam as cores em comparação, sendo este valor definido com base na seguinte expressão:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Onde:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{final}} - L^*_{\text{inicial}}; \quad \Delta a^* = a^*_{\text{final}} - a^*_{\text{inicial}}; \quad \Delta b^* = b^*_{\text{final}} - b^*_{\text{inicial}}$$



**Figura 2.6.** Coordenadas no sistema CIELAB,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (1976).

As inspeções foram realizadas no fim do ensaio (30 ciclos completos), após os corpos de prova permanecerem três dias imersos em água deionizada para remoção completa do sal. Em seguida, os corpos de prova foram novamente fotografados, pesados e efetuadas novas medidas de brilho, registrando-se as modificações. Conjuntamente foram

obtidas imagens ao MEV<sup>5</sup> (FEI, Modelo Quanta 400) pertencente ao Setor de Caracterização Mineralógica (SCM) do CETEM, a fim de se observar as alterações ocorridas em escala de detalhe e com maior qualidade.

#### 2.4.1.2.2 Exposição ao Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)

O ensaio por exposição ao dióxido de enxofre baseia-se nas normas ABNT NBR 8096 (ABNT, 1983b) e DIN 50018 (DIN, 1997), e busca simular a exposição de revestimentos externos horizontais e verticais a atmosferas poluídas dos centros urbanos. Consiste na exposição de 5 corpos de prova polidos, de 10 x 10 x 2 cm de dimensão, a um ciclo também de 30 dias, de 24 horas cada, nos quais a câmara específica (BASS, Modelo UK-01-ESP/2006, Figura 2.7) é mantida aquecida por 8 horas a  $40 \pm 3$  °C, com umidade relativa de 100%, desligada e aberta, para posterior ventilação por 16 horas. Após isso a água da câmara (concentração de SO<sub>2</sub> de 0,67%) é renovada e inicia-se novo ciclo. Antes da entrada na câmara os corpos de prova são também pesados, fotografados, efetuadas medidas de brilho e medido o índice de cor no colorímetro.

As inspeções foram realizadas de forma análoga ao ensaio de exposição á névoa salina, e ao fim do ensaio obtidas imagens ao MEV.



**Figura 2.7.** Câmara de exposição ao dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

---

<sup>5</sup> Microscópio Eletrônico de Varredura.

# 3

## PANORAMA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

---

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas rochas lapídeas, rochas dimensionais, materiais de cantaria ou ainda materiais naturais de ornamentação e para revestimento incluem diferentes tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e tendo suas faces beneficiadas através de esquadrejamento, polimento, lustro, apicoamento e flameamento (CHIODI FILHO, 1995).

Os materiais assim designados podem ser utilizados sob as mais variadas formas, como esculturas, balcões, pias, tampos de mesa e arte funerária, mas sempre tendo seu grande emprego em edificações, como revestimentos horizontal e vertical de interiores e exteriores.

Mais do que por suas excelentes propriedades funcionais, os materiais rochosos naturais distinguem-se dos produtos industrializados pelos atributos estéticos, extremamente diferenciados a partir da combinação de estruturas (desenhos, movimentos), texturas (dimensão e arranjo de cristais) e padrões cromáticos.

A diversidade dos ambientes geradores das rochas sejam sedimentares, magmáticos ou metamórficos, bem como a singularidade de sua história evolutiva em diferentes regimes geotectônicos e períodos geocronológicos da crosta terrestre, conferem padrões estéticos únicos a cada tipo de rocha, a cada afloramento no terreno e até a cada amostra coletada em um mesmo afloramento.

No entanto, do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore. Como granitos, enquadram-se, genericamente, as rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam, *lato sensu*, as rochas

carbonáticas, sejam elas de origem sedimentar ou metamórfica. Alguns outros tipos litológicos incluídos no campo das rochas ornamentais são os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, também muito importantes setorialmente.

O padrão cromático é o principal atributo considerado para a qualificação comercial de uma rocha. Em função das diferentes cores, os materiais são classificados como clássicos, comuns ou excepcionais (Tabela 3.1). Os materiais clássicos, consagrados no mercado, não sofrem influência de modismos. Materiais comuns correspondem àqueles de largo emprego em obras como revestimento. Por sua vez, as rochas tidas como excepcionais são normalmente utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, dado seu alto valor de comércio.

**Tabela 3.1.** Classificação comercial das rochas ornamentais.

Classificação Comercial	Cor da Rocha	
	<i>Mármore</i> s	<i>Granitos</i>
<b>Clássicos</b>	Vermelhos, brancos, amarelos e negros	Negros e vermelhos
<b>Comuns</b>	Beges e acinzentados	Acinzentados, rosados e amarronzados
<b>Exóticos ou Excepcionais</b>	Azuis, violetas e verdes	Azuis, amarelos, brancos e multicores

O padrão de textura classifica os materiais rochosos em dois grupos: os homogêneos e os movimentados. Os granitos movimentados correspondem aos gnaisses e migmatitos que apresentam algum tipo de estrutura ou textura definida pela concentração ou orientação preferencial de seus constituintes minerais, estruturas migmatíticas, bandamento e foliação, enquanto os granitos homogêneos correspondem às rochas que não apresentam padrão de desenho (MEYER, 2003a).

Com toda essa diversidade, as rochas ornamentais e para revestimento apresentam-se como materiais consolidados no mercado e que, segundo estimativa de Chiodi Filho (2008c), as atuais transações comerciais do setor movimentam globalmente US\$ 80 bilhões a US\$ 100 bilhões/ano, incluindo-se aí os negócios com máquinas, equipamentos, insumos e serviços. Tal incremento foi determinado tanto por novos tipos de utilização das rochas ornamentais

nas paisagens urbanas, principalmente no que se refere às obras de revestimento, quanto por novas tecnologias de extração, manuseio, transporte e beneficiamento de blocos. Os avanços tecnológicos permitiram o aproveitamento e difusão de diversas rochas anteriormente não comercializadas, enquanto as novas utilizações viabilizaram soluções estéticas e funcionais muito interessantes e confiáveis na construção civil.

### **3.1. Perfil Econômico Mundial**

O setor de rochas ornamentais e para revestimento representa um dos segmentos com maior relevância econômica em nível global. Projeções de consumo/produção e exportações mundiais indicam a manutenção da tendência de crescimento do setor registrada nas últimas duas décadas, sendo que segundo previsões apresentadas por Chiodi Filho et al. (2004) a produção mundial deverá atingir a casa dos 320 milhões t/ano até 2025.

Não obstante as projeções otimistas, o setor mineiro-industrial vem experimentando sucessivas oscilações que contradizem as perspectivas. A retração na economia causada pela crise do mercado imobiliário ocorrida nos Estados Unidos da América e subsequente crise financeira mundial, observadas desde o ano de 2008, influenciaram substancialmente na condição de ascensão contínua do mercado de rochas ornamentais, diminuindo assim a produção física, os volumes comercializados, e conseqüentemente o faturamento.

Há de se considerar, no entanto, que os efeitos da crise representam um processo momentâneo, ocorrendo o restabelecimento do setor tão logo se retome as condições econômicas globais. Ressalta-se que o mercado de rochas ornamentais e de revestimento ainda continua ativo, sinalizando para novos nichos de mercado.

O comércio de rochas ornamentais envolve transações com materiais brutos (blocos) e produtos acabados ou semi-acabados. Os preços médios internacionais dos blocos de mármore e granito situam-se, segundo dados de Chiodi Filho (2009a), em torno de US\$ 400 a US\$ 1.200/m<sup>3</sup>, enquanto que para o produto final (chapas de granito polidas) o preço médio é de US\$ 848/t.

Segundo Montani (2009), a produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento totalizou 105 milhões de toneladas em 2008, mantendo-se pouco acima do patamar de 2007 (103,5 milhões t), o que conforme afirmado acima interrompe a sequência de avanços significativos registrados a partir do ano de 2001.



O Brasil colocou-se em 2009 como o 6º maior produtor mundial (6,4 milhões de t), atrás da China (27,5 milhões t), Índia (13,5 milhões t), Turquia (8,25 milhões t), Itália (7,9 milhões t) e Irã (6,9 milhões t). Segundo estimativas de Chiodi Filho (2009), a produção brasileira teria, no entanto, somado 7,8 milhões t, superior, portanto, à do Irã e muito próxima à da Itália.

A produção mundial em 2008 corresponderia a cerca de 1,15 bilhões m<sup>2</sup> equivalentes de chapas, com 2 cm de espessura. Segundo Montani (2009), deste total, 70% seriam destinados para o revestimento de edificações (pisos, paredes, fachadas, degraus e trabalhos especiais) e 30% a outros usos (paisagismo, arte funerária, etc).

As exportações mundiais de 2008 teriam por sua vez somado 45,19 milhões t, das quais 20,8% correspondentes a rochas carbonáticas brutas, 23,9% a rochas silicáticas brutas, 8,2% a rochas processadas simples, 43,8% a rochas processadas especiais e 3,3% a produtos de ardósia. Frente as 46,23 milhões t exportadas em 2007, registrou-se, portanto, recuo de 2,25% no volume físico das transações internacionais em 2008.

A China coloca-se a frente do *ranking* dos maiores exportadores, respondendo por 26,1% das exportações, seguida pela Índia (12,0%), Turquia (10,8%), Itália (7%), Espanha (5,4%) e Egito (4,6%). O Brasil coloca-se como 6º maior exportador, com 1,99 milhões de toneladas exportadas, o que corresponde a 4,4 % do total.

Quanto aos materiais silicáticos brutos, a Índia aparece como maior exportador, com um volume de 4.136 mil toneladas, seguida do Brasil (906 mil t), China (713 mil t), Turquia (178 mil t) e Itália (170 mil t). Ainda no contexto dos materiais brutos, tem-se a China como tradicional importador de blocos: no ano de 2008 foi o segundo maior importador e, somente nos meses de janeiro e fevereiro de 2009, comprou um volume correspondente a US\$ 7 bilhões. Atualmente, quase 50% das exportações de blocos destinam-se à China (MAMERI, 2009).

Para os produtos acabados (rochas processadas especiais), tem-se a China como maior exportador, respondendo por um volume físico de 9.756 mil toneladas, seguida da Índia (1.038 mil t), Itália (1.784 mil t), Turquia (2.360 mil t) e Brasil (744 mil t). De forma sintética, percebe-se que os exportadores que não inovaram seus produtos ou não procuraram mercados alternativos, dependendo basicamente das exportações para os Estados Unidos, sofreram significativamente com a recessão da economia mundial.

### 3.2. Perfil Econômico Nacional

O Brasil é mundialmente reconhecido pela excepcional geodiversidade mineral, inclusive nas rochas ornamentais, com destaque para seus materiais silicáticos (granitos e similares) e silicosos (quartzitos e similares). A produção e exportação desses granitos e quartzitos, além de ardósias e outras rochas menos comuns, traduzem a capacidade brasileira de transformar recursos minerais em negócios mínero-industriais.

No Brasil são registradas atividades de extração em cerca de 400 municípios, assumindo-se a existência de 1.800 frentes ativas de lavra e a produção de 1.200 variedades comerciais de rochas (CHIODI FILHO, 2008a). As cerca de 11.300 empresas integradas à cadeia produtiva do setor são responsáveis por aproximadamente 140 mil empregos diretos e 420 mil empregos indiretos. Ainda segundo o autor supracitado, do total de empresas, cerca de 600 são exportadoras. O parque de beneficiamento interno apresenta-se com quase 1.600 teares, tendo capacidade para desdobrar 70 milhões de m<sup>2</sup>/ano.

Chiodi Filho (2008a) ainda salienta que entre negócios relativos aos mercados interno e externo, o setor brasileiro de rochas ornamentais movimenta cerca de US\$ 4,1 bilhões/ano em transações comerciais.

A produção brasileira de rochas é destinada tanto ao mercado interno, quanto externo. Atualmente, frente aos desafios provocados pela crise econômica global, o mercado interno tem sido uma alternativa interessante, pois a construção civil está aquecida principalmente em decorrência das medidas pontuais tomadas pelo governo.

O Espírito Santo responde por mais de 56% da produção brasileira de rochas (CHIODI FILHO, 2009a) e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos. O Estado de Minas Gerais responde pela quase totalidade da produção e exportação de ardósias, quartzitos foliados (tipo Pedra São Tomé) e pedra-sabão. A maior parte da produção dos chamados granitos exóticos provém dos estados de Minas Gerais e Bahia, concentrando-se neste último a produção das novas variedades de quartzito maciço exportadas pelo Brasil (CHIODI FILHO, 2008a).

Segundo Chiodi Filho (2010), as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais fecharam o ano de 2009 com um faturamento de US\$ 724 milhões, referentes à comercialização de cerca de 1.7 milhões t de produtos diversos.

As rochas processadas, envolvendo produtos acabados e semi-acabados, somaram US\$ 581 milhões, correspondendo a um volume de 863 mil toneladas. As rochas silicáticas brutas,

que incluem blocos e chapas apenas serradas de numerosas variedades de granitos e quartzitos perfizeram US\$ 142 milhões e 803.950 toneladas, enquanto as rochas carbonáticas brutas somaram apenas US\$ 896 mil e 5.646 toneladas.

Ainda segundo Chiodi Filho (2009b), manteve-se em torno de 60% a participação de chapas polidas de granito no total das exportações brasileiras de rochas de 2009, evoluindo para 18,6% a de blocos de granito e recuando para 9,2% a dos produtos de ardósia. Também se manteve ao redor de 3,8% a participação dos produtos de quartzitos foliados no total das exportações.

Estados Unidos, China e Itália continuam sendo os principais compradores de rochas brasileiras, sendo que os Estados Unidos permanecem liderando com as importações de chapas polidas. A China já representa mais de 50% do faturamento das exportações brasileiras de blocos de granito, enquanto a Itália representa pouco mais de 21% (ROCHAS DE QUALIDADE, 2009a).

A Tabela 3.2 abaixo relaciona os principais países importadores de rochas brasileiras (em valor) por tipo de material.

**Tabela 3.2.** Principais importadores de rochas brasileiras, por categoria (Rochas de Qualidade, 2009a).

País	Chapas de Granito (% em valor)	País	Blocos de Granito (% em valor)
Estados Unidos	74,88	China	53,15
Canadá	4,71	Itália	21,45
Venezuela	3,84	Hong Kong	7,55
México	3,33	Taiwan - Formosa	5,88
Colômbia	1,27	Bélgica	2,06
Argentina	1,00	Espanha	1,78
Espanha	0,90	França	1,76
Líbia	0,73	Argentina	0,69
Emirados Árabes Unidos	0,65	Polônia	0,61
Itália	0,54	Síria	0,60
Coréia do Sul	0,48	Alemanha	0,58
Polônia	0,47	Coréia do Sul	0,54

Apesar da variação negativa do crescimento, em comparação com o ano de 2008, as exportações ao longo do primeiro semestre de 2009 demonstraram que as vendas estão aumentando, ainda que em patamares tímidos, mas já refletindo uma recuperação no mercado.

Segundo a revista Rochas de Qualidade (2009b), no contexto dos estados o Espírito Santo liderou as exportações brasileiras no setor referentes ao primeiro semestre, com um

faturamento total de US\$ 43.502.114, seguido de Minas Gerais (US\$ 16.012.580), São Paulo (US\$ 1.266.572), Rio de Janeiro (US\$ 1.039.977), Ceará (US\$ 962.414), Paraná (US\$ 544.002) e Bahia (US\$ 540.399). A tabela 3.3 sintetiza o faturamento por tipo de material (US\$), bem como o *ranking* por porcentagem nas exportações.

**Tabela 3.3.** Faturamento (US\$) dos estados brasileiros referentes ao 1º semestre de 2009 e ranking (%) nas exportações (Rochas de Qualidade, 2009b).

Estado	<i>Blocos</i>	<i>Manufaturados</i>	<i>Outras Rochas</i>	% <i>Exportações</i>
<b>Espírito Santo</b>	7.512.689	35.609.238	380.187	65,39
<b>Minas Gerais</b>	5.591.420	273.593	10.147.567	24,07
<b>São Paulo</b>	112.152	1.102.423	50.997	1,90
<b>Rio de Janeiro</b>	7.051	1.013.183	19.743	1,56
<b>Ceará</b>	481.276	481.138	-	1,45
<b>Paraná</b>	543.054	-	948	0,82
<b>Bahia</b>	406.950	-	133.449	0,81

O setor de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo ocupa grande destaque no cenário nacional e internacional, apresentando um grande potencial geológico com cerca de 200 variedades de rochas, incluindo materiais exóticos. Atualmente, 60% do que é produzido no Brasil sai do Espírito Santo, que responde ainda por 75% das exportações brasileiras. Este mercado representa 8% do PIB capixaba (CENTROROCHAS, 2010). O setor no estado possui um universo composto de 1.200 empresas, além de contar com o Arranjo Produtivo Local (APL) de Cachoeiro de Itapemirim que engloba 15 municípios, sendo o principal núcleo de desenvolvimento do setor no estado, concentrando 60% das empresas. Mais de 90% dos investimentos do parque industrial brasileiro do setor de rochas ornamentais são realizados no Espírito Santo. Ressalta-se que o estado se tornou referência mundial em mármore e granito e líder absoluto na produção nacional de rochas, abrigando a cadeia produtiva completa, além de fabricantes de equipamentos e insumos, bem como prestadores de serviços (REGAZZI, 2010).

Apesar da importância do setor, diversidade de materiais e jazidas com grande capacidade de produção, o “custo Brasil” ainda dificulta a competitividade no exterior. Os gargalos são muitos e referem-se ao custo de produção, infra-estrutura, logística, política cambial e diversidade de mercados. A superação da crise e a adaptação a esse novo estado de economia, conquista de novos parceiros comerciais, busca de financiamentos compatíveis com as necessidades do setor, soluções de gargalos que envolvem escoamento da produção e a questão ambiental são hoje os maiores desafios.

# 4

## CONTEXTO GEOLÓGICO DOS MATERIAIS ESTUDADOS

---

Os materiais adotados para estudo correspondem a uma rocha oriunda do estado da Bahia e duas do estado do Espírito Santo. A amostra do estado da Bahia corresponde a um microgabro (comercializado sob denominação de Diamante Negro) proveniente da Suíte Intrusiva Itabuna, aflorante no município de Floresta Azul. As do estado do Espírito Santo são representadas por um sienito (comercialmente denominado de Ocre Itabira) proveniente do Maciço Venda Nova, localizado no município homônimo, e pelo granito pegmatítico (comercializado sob denominação de Branco Galaxy) da região de Colatina pertencente ao Complexo Paraíba do Sul, segundo definições de Machado Filho et al. (1983) ou ao Domínio Cambuci/Terreno Oriental da Faixa Ribeira, segundo subdivisão litotectônica proposta por Heilbron et al. (2004a; 2004b) e mantida por Tupinambá et al. (2007).

### 4.1. Diamante Negro - Suíte Intrusiva Itabuna

A primeira rocha estudada é representada pelo microgabro Diamante Negro integrante da Suíte Intrusiva Itabuna, do município de Floresta Azul, estado da Bahia.

Vários corpos descontínuos de rochas alcalinas afloram no sul do estado da Bahia. Fujimori (1967) foi quem primeiro os descreveu, fazendo referência aos maciços de Santa Cruz da Vitória, Itaju do Colônia, Potiraguá e Itabuna.

Pedreira et al. (1975) mapearam mais detalhadamente a região de Itabuna, Ilhéus, Uruçuca e Itajuípe e conseguiram individualizar rochas alcalinas de composição sienítica, diorítica e gabróica, reunindo-as sob a denominação de Complexo de Itabuna. Neste complexo estão incluídos sienitos, traquitos, piroxênio sienitos, sienitos gnáissicos, nefelina sienitos, sodalita sienitos, dioritos, hornblenda dioritos, gabros, basalto e granodioritos. Os autores mencionados atribuíram origem ígnea para parte das rochas acima citada e admitiram a possibilidade de formação por ultrametamorfismo de rochas sedimentares e evaporitos, de acordo com sugestão de Fujimori (1972).

<sup>6</sup>Leonardos, Fyfe & Fuck, 1976, apud RADAMBRASIL, 1981, observaram que a presença de rochas alcalinas não deformadas na região sul do estado da Bahia associadas a diques de traquitos e fonolitos favoreciam uma origem intrusiva para estas rochas em lugar de origem metamórfica ligada a gnaisses e granulitos. Em oposição à Fujimori (1972), esses autores sugeriram origem por fusão de material crustal comum sob bordos cavalgados do manto ultramáfico.

Os sienitos, dioritos, gabros e diabásios de Itabuna foram posicionados no Proterozóico Médio (Ciclo Espinhaço) por correlação com datações em diques básicos nas vizinhanças de Salvador, Ilhéus e Una (<sup>7</sup>INDA & BARBOSA, 1978 apud RADAMBRASIL, 1981).

Maçços de composição granítica estão bem expostos em Floresta Azul, Itapebi e norte de Itaju do Colônia, os quais foram tentativamente incluídos nesta unidade em virtude de seus caracteres magmáticos (RADAMBRASIL, 1981), como também por terem sido identificados no maciço de Itabuna corpos de composição granítica, intimamente relacionados aos sienitos e dioritos.

Ainda segundo o RADAMBRASIL (1981), designa-se então por Suíte Intrusiva Itabuna todas as rochas de filiação alcalina já mencionadas, englobando parcialmente os corpos graníticos de Floresta Azul e Itapebi, uma vez que eles apresentam características intrusivas e quase não estão deformadas internamente.

A Suíte Alcalina Itabuna ocorre próxima das cidades de Itabuna-Itajuípe-Ilhéus. O pluton ocupa uma área de 430 km<sup>2</sup> com a maior dimensão paralela tectonicamente ao Rio do

---

<sup>6</sup> LEONARDOS, O.H., FYFE, W.S. & FUCK, R.A. Panafrican Thrusting and Melting Within the Brazilian Continental Margin. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 48: 153-8, 1976. Suplemento.

<sup>7</sup> INDA, H.A.V. & BARBOSA, J.F. Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia. Escala 1:1.000.000. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral, 122p., 1978.

Braço e às falhas Buerama NE-SW (<sup>8</sup>PEDREIRA et al., 1975 apud TEIXEIRA et al., 1997).

Segundo RADAMBRASIL (1981), a Suíte Intrusiva Itabuna está relacionada a duas grandes feições estruturais, como sejam Alinhamento Ilhéus – Itabuna e Lineamento Itapebi – Boninal, mostrando-se intensamente cisalhados, tanto na direção NE – SW como NW – SE, cujas evidências de campo sugerem que estes últimos sejam mais novos. Postula-se deste modo que a origem destes magmatitos possa relacionar-se a falhamentos de blocos.

As rochas da Suíte Intrusiva Itabuna cortam os litotipos do Complexo Jequié e Caraíba – Paramirim, de idade Proterozóica inferior a Arqueana (CORDANI; IYER, 1979 apud RADAMBRASIL, 1981) e estão sotapostos aos sedimentos da bacia do rio Almada, de idade Cretácea. Os dados geocronológicos disponíveis sugerem um posicionamento no Pré-Cambriano Superior (RADAMBRASIL, 1981).

Teixeira, Kamo & Arcanjo (1997) denominam Suíte Sienítica Itabuna, a Suíte Intrusiva Itabuna, sendo que esta faria parte da Província Alcalina do sul da Bahia, situada na zona de transição entre o Cráton do São Francisco e a faixa marginal Araçuaí. Os autores supracitados defendem que a província é composta por vários *stocks* e batólitos, cuja intrusão é condicionada a importantes sistemas de fraqueza regionais, sendo que a suíte Itabuna, constituída em sua maioria por sienitos, é intrusiva nos terrenos de alto grau metamórfico do Cinturão Itabuna, cuja evolução crustal ocorreu durante o Paleoproterozóico. Isócronas Rb-Sr em rocha total existentes para vários corpos alcalinos desta província possuem idades entre 660 e 570 Ma, aparentemente sugerindo que a Província Alcalina foi formada por meio de vários pulsos magmáticos.

Na Suíte Intrusiva Itabuna são encontrados sienitos, feldspatóide sienitos, dioritos, monzodioritos, granitos e diques de basaltos alcalinos, traquitos, fonólitos e de básicas subalcalinas.

Petrograficamente serão descritos somente os diques alcalinos e subalcalinos da referida Suíte, haja vista estes englobarem o contexto da amostra de rocha estudada (Diamante Negro).

Em quase todos os maciços sieníticos do sul da Bahia são encontrados diques de natureza alcalina. Em Itabuna eles estão representados por basaltos alcalinos, nefelinitos, fonólitos, traquitos e microsienitos.

Estes diques cortam as rochas alcalinas plutônicas e os gnaisses do embasamento. A orientação geral obedece às estruturas das rochas encaixantes, sendo que em Itabuna os diques também estão alinhados segundo a zona de cisalhamento homônima.

---

<sup>8</sup> PEDREIRA, A.J.C.L. et al. Projeto Bahia: Relatório Final (inédito) - Geologia da Bacia do Rio das Contas. CPRM-DNPM, Salvador. 1975.

Os basaltos são melanocráticos, porfiríticos ou não, às vezes amigdaloidais e contém o anfibólio kaersutita com máfico principal; raramente se observam titano-augita e olivina magnésiana. O plagioclásio tem a composição de andesina tanto nos fenocristais como na mesóstase, sendo o conteúdo de anortita um pouco menor neste. Biotita e opacos aparecem disseminados juntamente com minerais secundários como carbonatos e serpentina; zeólitas e argilo-minerais preenchem as vesículas.

As rochas dos diques subalcalinos estão orientadas preferencialmente para NNE–SSW e secundariamente para NE–SW e NW–SE (RADAMBRASIL, 1981; GOMES et al., 1998). Elas são cinza escuro e negras, apresentam granulação fina a média e estão quase todas transformadas em uma associação de anfibólio verde e marrom, biotita, plagioclásio, opacos e algum quartzo, titanita, feldspato alcalino, clorita e carbonato. Ocasionalmente se observa o piroxênio augita nas amostras com feições magmáticas preservadas. As texturas variam de granoblástica a blastofítica e ofítica, predominando as duas primeiras variedades.

A Figura 4.1 abaixo ilustra a frente de lavra do material Diamante Negro, enquanto o esboço geológico do estado da Bahia, com a respectiva localização da amostra estudada encontra-se na Figura 4.4 ao final do capítulo.



**Figura 4.1.** Frente de lavra do material Diamante Negro (Floresta Azul – BA). *Fonte:* MM2 Mármore e Granitos Ltda.

## 4.2. Ocre Itabira - Maciço Venda Nova

Segundo Mendes et al. (2002), o Maciço Venda Nova se localiza entre os municípios de Conceição do Castelo e Venda Nova do Imigrante, região centro-sul do Espírito Santo. Corresponde a um pluton de forma circunscrita exibindo cerca de 75 km<sup>2</sup> de área de



exposição, encaixado em unidades metassedimentares tidas por Signorelli et al. (1993, PLGBa) como pertencentes ao Complexo Paraíba do Sul (gnaisses bandados e quartzitos) e ortognaisses granodioríticos a tonalíticos que possuem xenólitos de paragnaisses, ou ao Domínio Cambuci conforme divisão litotectônica apresentada por Heilbron et al. (2004a) e Tupinambá et al. (2007). O corpo intrusivo é caracterizado por zonamento inverso, dado por gabros no centro e sienomonzonitos e granitos na borda.

Informações do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB (1993a) descrevem que “o Maciço Venda Nova situa-se a noroeste da cidade homônima, com sua borda sul situada próxima a BR-262, que liga Belo Horizonte a Vitória. Ocupa uma área de cerca de 80 km<sup>2</sup>, de forma aproximadamente circular”.

Para Machado Filho et al. (1983 apud PLGB, 1993a, pag. 74), o Maciço Venda Nova é um dos diversos corpos intrusivos individualizados que constituem a Suíte Intrusiva Santa Angélica, cuja distribuição ocorre desde o extremo nordeste do estado do Rio de Janeiro, até a metade do sul do estado do Espírito Santo.

Por ser o corpo de Santa Angélica o mais estudado dentre a literatura, Machado Filho et al. (op. cit.) propuseram a denominação “Suíte” Intrusiva Santa Angélica” para o conjunto formado por este maciço e os de Afonso Cláudio, Venda Nova e Jacutinga – Torre.

Os dados radiométricos disponíveis no momento para o Maciço Santa Angélica permite, com reservas, considerar a Suíte como de idade Eobrasiliana, e a presença de catáclase moderada em suas rochas reforçaria de certo modo essa opinião, já que se encontra em área medianamente afetada pela tectônica brasileira (RADAMBRASIL, 1983).

Wiedemann et al. (2002) e Mendes et al. (2002) consideram que o Maciço Venda Nova integra o magmatismo pós-colisional do final do Ciclo Brasileiro ocorrido na porção norte da Faixa Ribeira, aproximadamente entre 535 e 490 Ma., caracterizado por vários plutons de zonação complexa que se intrudiram nos migmatitos e gnaisses de alto grau metamórfico do Complexo Paraíba do Sul. Ainda segundo Wiedemann et al. (2002), os plutons gerados nesta fase apresentam zonamento inverso formado pela interdigitação de magmas básicos a intermediários no centro e sienomonzonitos a granitos na borda, mostrando em todos eles inúmeras evidências de mistura de magmas.

Silva et al. (1976 apud RADAMBRASIL, 1983, p. 182) descrevem o Maciço Venda Nova como um pluton circundado em sua maior parte pela unidade migmatítica do Complexo Paraíba do Sul, com a qual apresenta contatos bruscos e, em menor proporção, por rochas granitóides do mesmo complexo. O corpo mostra um relevo alçado nas bordas e um pouco

rebaixado na sua parte central. Colocam que tanto as rochas encaixantes quanto as da borda da intrusão possuem foliações com mergulhos de sua superfície para o interior do corpo.

Segundo o PLGB (1993a), o Maciço, na sua porção externa, é representado por um domínio de sienitos (sienomonzonitos) e quartzo monzonitos, com granitos, granodioritos e dioritos subordinados e seu núcleo é representado por gabros. Ainda segundo a informação supracitada, sugere-se que exista uma transição, do centro leste para a borda sudoeste do maciço, entre tipos mais básicos e intermediários a sieníticos, respectivamente do centro para a borda.

Maiores detalhes sobre o referido maciço intrusivo e rochas associadas podem ser obtidos em Silva et al. (1976), RADAMBRASIL (1983), Wiedemann et al. (2002) e Mendes et al. (2002).

Destaca-se que no presente trabalho o estudo de caracterização tecnológica restringiu-se a uma única amostra, representada por um sienito, o qual é comercialmente denominado Ocre Itabira, sendo a localização representada na Figura 4.5 ao final do capítulo. Trata-se de um sienito com textura do tipo pórfiro de coloração acinzentada, com megacristais de feldspato de tamanho médio de 2 cm x 1 cm, imersos numa matriz de granulação média a grossa. Em seção delgada exhibe textura inequigranular, xenomórfica e uma composição mineralógica essencial constituída por ortoclásio, plagioclásio (oligoclásio), quartzo, biotita, e hornblenda. A fração acessória consta de magnetita, apatita, titanita e zirconita. Carbonato e sericita são os minerais de alteração (PLGB, 1993a). A Figura 4.2 abaixo ilustra a frente de lavra do material Ocre Itabira, enquanto sua caracterização petrográfica detalhada é apresentada no capítulo 5.



**Figura 4.2.** Frente de lavra do material Ocre Itabira (Venda Nova do Imigrante – ES). *Fonte:* gentilmente cedida por Daniel Bravo.

### **4.3. Branco Galaxy - Complexo Paraíba do Sul ou Domínio Cambuci**

O tipo comercial Branco Galaxy, um granito pegmatóide fracamente gnaissificado, provém do município de Colatina, região central do estado do Espírito Santo (Figura 4.5).

Levantamentos da literatura geológica mostram que há polêmicas quanto ao posicionamento e situação de sua unidade litoestratigráfica no âmbito da compartimentação tectônica da Faixa de Dobramentos Ribeira da região envolvida no presente estudo. Assim, tomando-se por base considerações de Machado Filho et al. (1983) a região estaria representada pela sequência metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul. Por outro lado, considerações litotectônicas apresentadas por Tupinambá et al. (2007) permitem enquadrar a região no Domínio Cambuci pertencente ao Terreno Oriental da Faixa Paraíba do Sul (HEILBRON et al., 2000, 2004a, 2004b).

Segundo Machado Filho et al. (1983), o Complexo Paraíba do Sul corresponderia uma unidade litoestratigráfica composta por um conjunto de gnaisses e migmatitos bandados e muito deformados com intercalações de rochas granitóides, charnockíticas, gnaisses kinzigitos, metabásicas e supracrustais ocorrentes desde a porção noroeste do estado do Espírito Santo até o Rio de Janeiro, prolongando-se, porém para o sul até o estado do Paraná.

Segundo estes autores todo o conjunto é o resultado de um imbricamento tectônico entre diferentes unidades submetido a eventos tectonotermiais ao longo de praticamente todo o Pré-cambriano. Neste contexto, Rosier (1957) já o tinha considerado um sistema de *nappes* superpostas de longa vida crustal.

O Complexo Paraíba do Sul é considerado pelo projeto RADAMBRASIL (1983), ao menos em parte, originalmente Arqueano, retrabalhado por eventos tectonometamórficos posteriores, responsáveis pelo seu rejuvenescimento isotópico até o Proterozóico Superior. Neste período, as rochas foram submetidas a intensas deformações, oriundas de esforços compressivos de direção SE-NW e, certamente, de movimentos tangenciais, dele resultantes. No mesmo período sucederam também intrusões graníticas, granitização e potassificação generalizadas, eventos estes que transformaram quase por completo as características anteriores das rochas.

Por outro lado, tomando-se por base nova proposta da compartimentação tectônica para a região noroeste fluminense e sul capixaba apresentada por Tupinambá et al. (2007), a área de estudo se enquadraria no Domínio Cambuci, mais especificamente na Unidade Cambuci, integrante do Terreno Oriental da Faixa Ribeira. O Terreno Oriental englobaria os *Klippes* Paraíba do Sul e de Cambuci. O Domínio Cambuci representa um terreno justaposto tectonicamente ao Domínio Juiz de Fora (TUPINAMBÁ et al., 2007), que se inicia na região central do Rio de Janeiro e se estende para o estado do Espírito Santo.

Segundo Tupinambá et al. (2007), até o momento não foram encontrados registros de rochas do embasamento pré- 1,7 Ga nas sequências litológicas do Domínio Cambuci. O referido domínio compreende uma sucessão metavulcanossedimentar metamorfizada em fácies anfibolito alto a granulito invadida por diversas gerações de rochas graníticas. São descritos que a parte superior da sequência é constituída por gnaisses bandados contendo granada, biotita e alguma sillimanita com intercalações de mármore e calcissilicáticas, além de gonditos, e que a porção inferior é representada por gnaisses migmatíticos. Também é colocado que a migmatização dos gnaisses e metassedimentos das porções basais da Unidade Cambuci atinge o grau de anatexia avançada a ponto de gerar rochas diatexíticas, podendo conter ortopiroxênios, bem como apresentar ocorrências de complexos plutônicos gnaissificados.

Especificamente na área de estudo, os mapeamentos geológicos disponibilizados devem-se ao “Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, a escala 1:100.000” - PLGB (1993b). Segundo o referido projeto a região centro-sul do estado do Espírito Santo estaria representada pelo Complexo Paraíba do Sul, o qual poderia ser subdividido em duas

seqüências de caráter distintos: uma de gnaisses aluminosos e biotita gnaisses, e outro composto por gnaisses graníticos a tonalíticos com intercalações frequentes de lentes de quartzitos, mármore, xistos e rochas calcissilicáticas.

Ainda segundo o PLGB (1993b), na porção NE da Folha Colatina ocorre uma extensa faixa alongada segundo SE-NW de ortognaisses (Ortognaisse Colatina) em contatos concordantes com gnaisses aluminosos e seqüências metarenocarbonáticas. É colocado que a medida que se desloca da cidade de Colatina em direção a Vitória, já na parte urbana, as rochas aluminosas vão se enriquecendo em bandas quartzo-feldspáticas, à semelhança de um migmatito estromático. Assim chega-se a um ponto em que a rocha se transforma em ortognaisse, com uma forte anisotropia, mas preservando a foliação gnáissica original. São descritos que é muito comum encontrar-se no seio do ortognaisse “restitos” de paragnaisses regionais, ainda conservando toda a estruturação original da rocha com e bandas restíticas de biotita, mostrando que a rocha não foi totalmente fundida por processo de anatexia.

Consideram desta forma que esses “granitóides anatóxicos” sofreram ação de cisalhamento tanto dúctil quanto rúptil, assumindo feições ortognáissicas. Assim, é descrito que nos locais onde se evidencia a ação do cisalhamento dúctil, a rocha exibe minerais estirados, e em rotação, muitos *shear-bands* estão presentes formando sigmóides com sentido de movimentação sinistral, com reflexo também no comportamento dos veios pegmatóides e/ou quartzo-feldspáticos que cortam a rocha. A presença de cisalhamento rúptil é constatada pelos pequenos falhamentos observados em escala de afloramento.

Informações do PLGB (1993b) ainda salientam que a foliação desses granitóides reflete a ação dos cisalhamentos tanto de baixo quanto de alto ângulo, que afetaram a maioria das rochas da região e deixaram impressos na litologia foliação de baixo e alto ângulo.

A localização da amostra do granitóide Branco Galaxy estudado no presente trabalho está representada na Figura 4.5. Pelas suas características petrográficas dada pela composição quartzo-feldspática grossa a pegmatóide contendo restitos localizados de sillimanita e aspecto geral gnaissificado, provavelmente se relacione a um corpo de granito crustal peraluminoso mais ou menos deformado gerado pela fusão parcial (anatexia) de metassedimentos aluminosos em conformidade com o descrito acima (PLGB, 1993b) para a seqüência rochosa da região de Colatina.

A ilustração da frente de lavra do material Branco Galaxy encontra-se na Figuras 4.3.



**Figura 4.3.** Frente de lavra do material Branco Galaxy (Colatina – ES).*Fonte:* Mineração Guidoni Ltda.

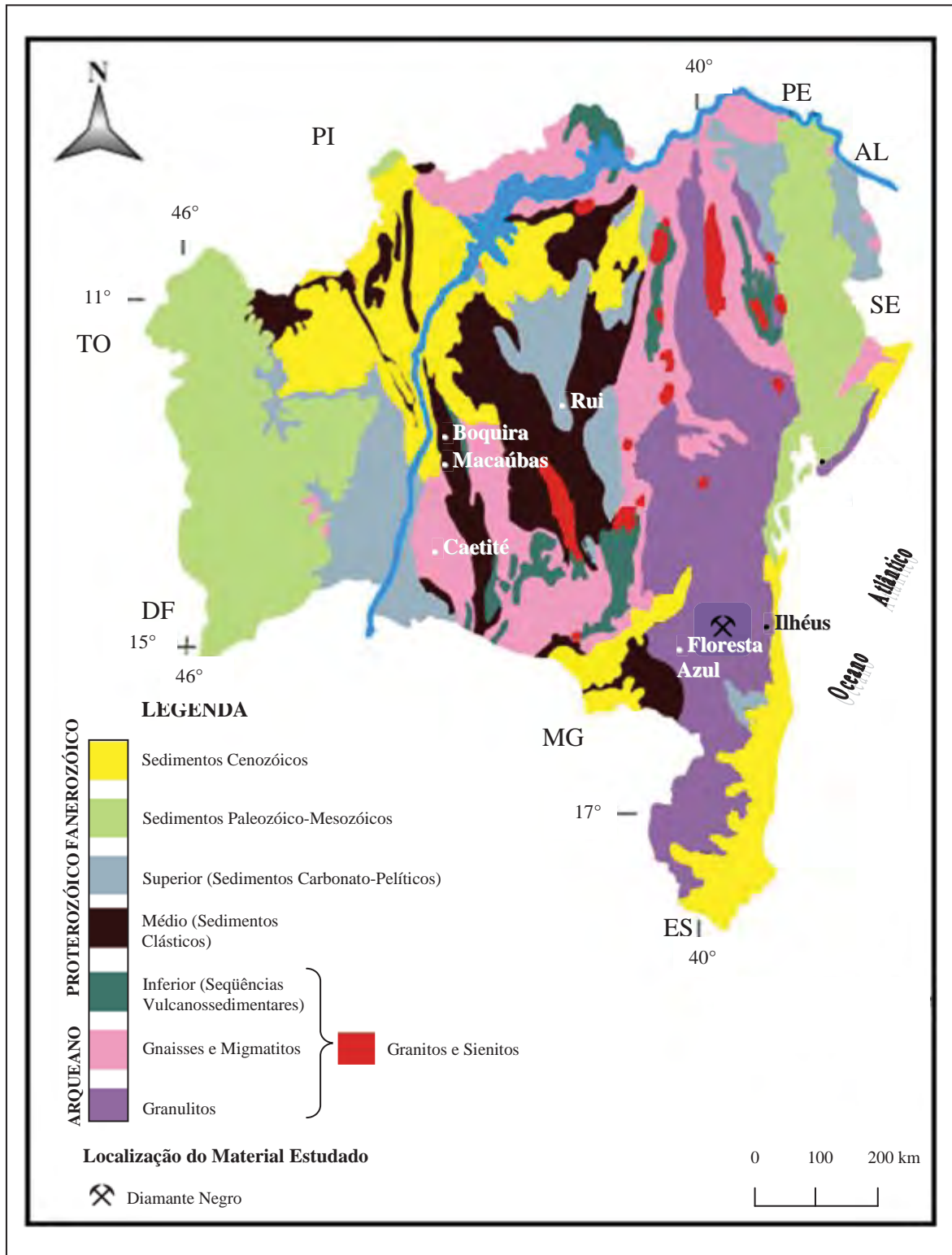


Figura 4.4. Esboço Geológico do Estado da Bahia (SGM, 1994, modificado).

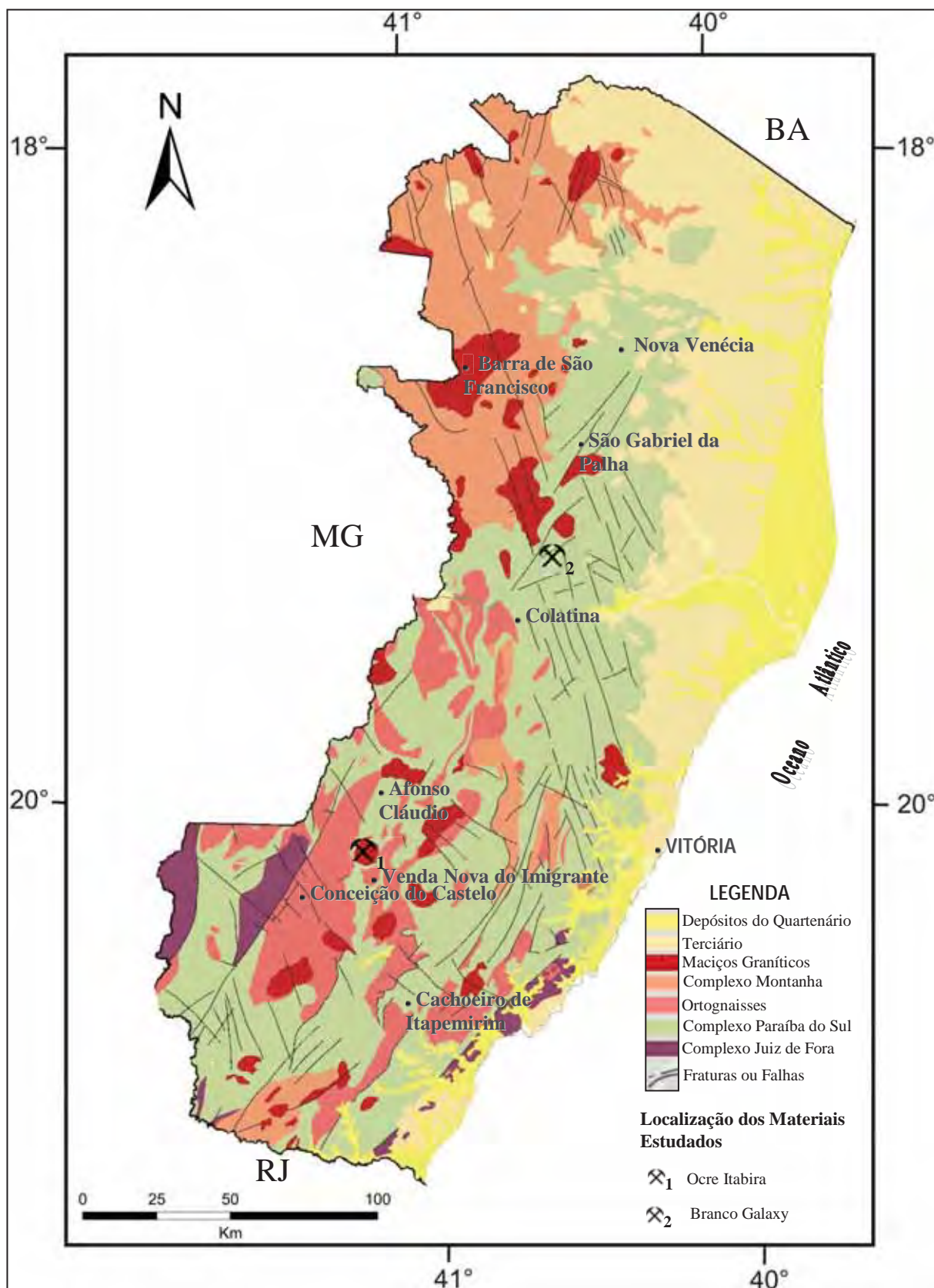


Figura 4.5. Esboço Geológico do estado do Espírito Santo (CPRM, 2001, modificado).



## 5

**ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS MATERIAIS ESTUDADOS**

A seguir são apresentadas as análises petrográficas dos materiais estudados, os quais são comercializados como rochas ornamentais e para revestimento e representam tipos litológicos pertencentes ao Maciço Venda Nova e ao Complexo Paraíba do Sul, aflorantes no estado do Espírito Santo, além da Suíte Intrusiva Itabuna do Estado da Bahia. A síntese das principais características petrográficas dos materiais estudados é apresentada na Tabela 5.1.

Os dados petrográficos abaixo apresentados serão, nos capítulos subseqüentes, comparados com os dados tecnológicos, visando uma correlação dos aspectos petrográficos (aspectos composicionais, texturais e estruturais) com o comportamento físico-mecânico e de alterabilidade química das rochas estudadas.

**5.1. Diamante Negro – Suíte Intrusiva Itabuna (Floresta Azul – BA)*****Microgabro***

Este tipo petrográfico corresponde a um microgabro holocristalino, fanerítico fino, de aparência geral homogênea e coloração essencialmente preta, demarcada pelo elevado teor de minerais máficos (Figura 5.1).

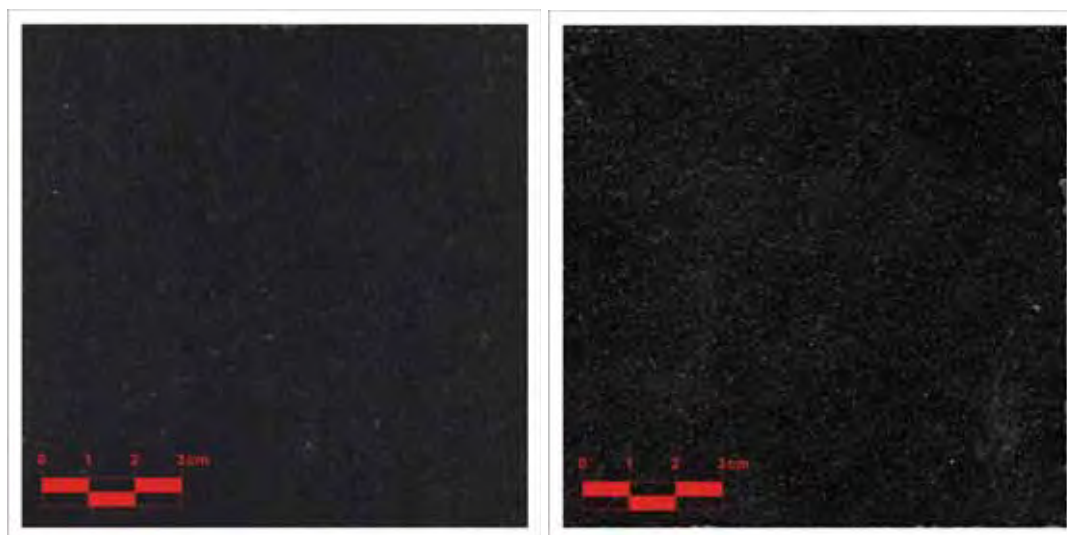
A olho nu apresenta estrutura isotrópica e padrão estético homogêneo, não sendo observado qualquer tipo de orientação mineral. Texturalmente a rocha apresenta-se com granulação média milimétrica a submilimétrica, determinada superficialmente no tardo da

placa analisada, uma vez tratando-se de rocha muito fina, de difícil determinação granulométrica.

A designação comercial deste tipo petrográfico denota bem seu aspecto cromático, mostrando-se marcadamente preta, tanto em estado seco quanto úmido.

A rocha é compacta, sendo difícil a determinação visual dos constituintes minerais. Pelo teste colorimétrico é possível observar elevadas quantidades de plagioclásio, de diminutas dimensões. Sob incidência da luz solar também identifica-se grande quantidade de magnetita, disseminada por toda amostra.

Destaca-se que alguns aspectos texturais não foram possíveis de se determinar à vista desarmada, devido a coloração extremamente escura do material, bem como sua granulação fina.



**Figura 5.1.** Placas polidas da rocha ornamental Diamante Negro, ilustrando sutis diferenças mineralógicas entre si.

**Tabela 5.1.** Síntese das principais propriedades petrográficas das rochas estudadas.

Características Petrográficas		Diamante Negro		Ocre Itabira		Branco Galaxy	
<b>Coloração</b>		Preta		Acastanhada		Branca	
<b>Estrutura</b>		Isotrópica		Isotrópica		Fracamente Anisotrópica	
<b>Textura</b>		Fanerítica Equigranular		Pórfira (cumulática?)		Granoblástica Inequi- a Pegmatóide	
<b>Granulação relativa</b>		Fina		Média a Grossa		Média a Grossa	
<b>Mineralogia (%)</b>	Quartzo	tr		2,5		29,5	
	Feldspato potássico	tr		66,0 (mega 55,0)		50,5	
	Plagioclásio	48,0		14,0		13,0	
	Biotita	1,0		4,0		1,5	
	Anfibólio	6,5		6,0		--	
	Piroxênio	36,0		--		--	
	Opacos	5,5		2,5		--	
	Sillimanita	--		--		1,5	
	Granada	--		--		3,5	
	Apatita	tr		1,5		--	
	Titanita	--		2,0		--	
	Zircão	tr		tr		--	
	Allanita	--		tr		--	
	Leucoxênio	--		0,5		--	
	Turmalina	--		--		tr	
	Sericita/Muscovita	tr		0,5		0,3	
	Epidoto	--		tr		--	
	Actinolita	3,0		--		--	
Carbonatos	tr		0,5		0,2		
<b>Total máficos (%)</b>		52,0		16,5		7,0	
<b>Granulação (mm)</b>	Variação	0,5 a 2,0		0,3 a 25,0		0,8 a 35,0	
	Predominância	0,6 a 1,0		5,0 a 15,0		2,0 a 8,0	
<b>Microfissuras</b>	Total/mm <sup>2</sup>	0,13		0,18		0,56	
		Abertas	Preenchidas	Abertas	Preenchidas	Abertas	Preenchidas
	Intragrão(%)	80,0	5,0	15,0	70,0	51,0	26,0
	Intergrão (%)	13,0	2,0	4,5	10,5	10,0	13,0
	Comunicabilidade	Baixa		Média		Média	
<b>Contato Mineral (%)</b>	Lobulado/engrenado	41,0		80,4		33,3	
	Plano	45,5		17,5		5,0	
	Côncavo-convexo	13,5		2,1		61,7	
<b>Alteração Mineral</b>	Feldspato K	--		Incipiente		Ausente a Incipiente	
	Plagioclásio	Incipiente		Ausente a Incipiente		Ausente	
	Biotita	Ausente		Ausente		Ausente	
	Piroxênio	Moderado		--		--	
<b>Classificação Petrográfica</b>		<i>Microgabro</i>		<i>Hornblenda Sienito Pórfiro com Quartzo</i>		<i>Granito Pegmatóide com Granada e Sillimanita</i>	

Quando observado ao microscópio óptico, o material apresenta teores de minerais máficos ao redor de 50% e encontram-se representados por augita (36,0%), opacos (5,5%), hornblenda (6,5%), actinolita (3,0%) e biotita (1,0%), sendo os três últimos secundários. Os minerais félsicos estão representados basicamente pelo plagioclásio e por traços de quartzo intersticial.

Apresenta estrutura isótropa, com granulação média-fina, mas com predomínio de grãos menores que 1,0 mm. A textura é predominantemente intergranular, localmente subofítica, ligeiramente inequigranular.

A alteração, apesar de classificar-se como incipiente (~30%), apresenta-se bastante demarcada, principalmente pela uralitização dos piroxênios. No plagioclásio é possível observar apenas sutil argilomineralização/sericitização.

O microfissuramento, em sua maioria aberto, é demarcado principalmente pelo intenso fraturamento dos piroxênios, exibindo baixa comunicabilidade entre si.

Quanto ao entrelaçamento mineral, este se dá basicamente por intercalações entre contatos lobulados/engrenados e planares, localmente côncavo-convexos, dado o formato ripiforme do plagioclásio, maior constituinte da rocha.

O plagioclásio é o mineral félsico predominante, exibindo evidente zonamento composicional, de núcleos identificados como labradorita, mas de bordas mais sódicas (andesina a oligoclásio). Localmente é possível distinguir tal zonamento de forma bastante pronunciada. Apresenta formatos subedrais a anedrais, sendo os menores cristais idiomórficos ripiformes. Perfazem dimensões entre 0,65 e 2,0 mm, com domínio de dimensões de aproximadamente 1,0 mm. A geminação polissintética é comum, localmente confundindo-se com a Carlsbad. O microfissuramento é baixo, praticamente sem comunicabilidade entre si, sendo a alteração incipiente, denotada por sutil argilomineralização e sericitização preenchendo as microfissuras. Preenchimento com anfibólio é perceptível localmente (Figura 5.2, fotomicrografias B e C). É interessante ressaltar que a superficial coloração acastanhada observada sob microscópio, denotando aspecto de sujidade, deve-se a milhares de inclusões submicrométricas, provavelmente de piroxênio. Tal feição, que configura textura poiquilítica, é bastante comum nas rochas magmáticas plutônicas (Figura 5.2, fotomicrografia D).

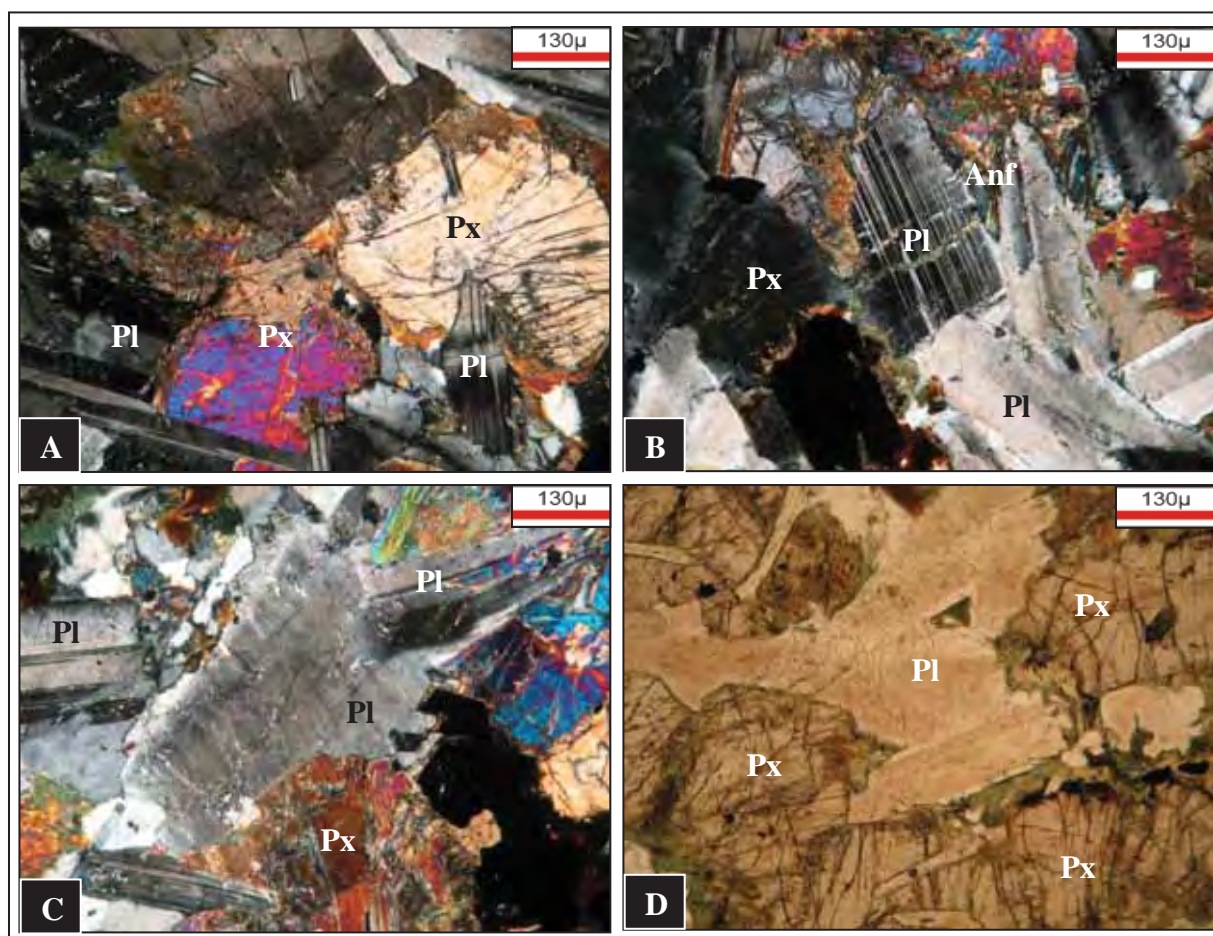
O clinopiroxênio, correspondente a augita, ocorre como cristais tabulares, com dimensões médias de ~1,0 mm, configurando textura intergranular a localmente subofítica com o plagioclásio. Seu fraturamento é moderado, com média de 0,13 microfissuras/mm<sup>2</sup>, estando cerca de 80% sem preenchimento. A alteração mineral é moderada, com os cristais

exibindo transformação para anfibólios e localmente para biotita, por vezes consumindo grande parte do cristal (Figura 5.2, fotomicrografia A).

O quartzo é de rara ocorrência, restrito a traços, em posições intersticiais, microgranulado.

A hornblenda e a actinolita ocorrem como minerais secundários, oriundos da uralitização do clinopiroxênio. O primeiro aparece como agregados disseminados tabulares, ou em finas palhetas isoladas, não alcançando 1,0 mm de dimensão. O tipo predominante apresenta pleocroísmo verde amarelado a verde oliva, ocorrendo também a variedade com pleocroísmo verde azulado, atribuída à presença da hastingsita. A actinolita, submilimétrica, apresenta formatos aciculares e encontra-se intimamente relacionada com a hornblenda, porém de ocorrência mais restrita.

Os minerais opacos estão representados pela magnetita, estando esta bastante disseminada pela lâmina sob a forma de cristais submilimétricos, quase sempre esqueléticos. Os de maiores dimensões atingem em média a casa dos 1,5 mm. É possível observar bordas oxidadas, com liberação de hidróxidos de ferro que se infiltram nas microfissuras e planos de clivagem dos minerais circunvizinhos. Localmente observa-se alguma biotita associada, apresentando-se sob a forma de palhetas intensamente deslocadas, de pleocroísmo castanho claro a marrom acastanhado.



**Figura 5.2.** Fotomicrografias da rocha ornamental Diamante Negro. (A) Microfissuramento e alteração do piroxênio (Px); (B) Plagioclásio (Pl) com microfissuras preenchidas por anfibólio; (C) Sericitização em plagioclásio (Pl); (D) Textura subofítica e microinclusões de piroxênio dando coloração amarronzada em plagioclásio, a nicóis descruzados (Pl).

## 5.2. Ocre Itabira - Maciço Venda Nova (Venda Nova do Imigrante – ES)

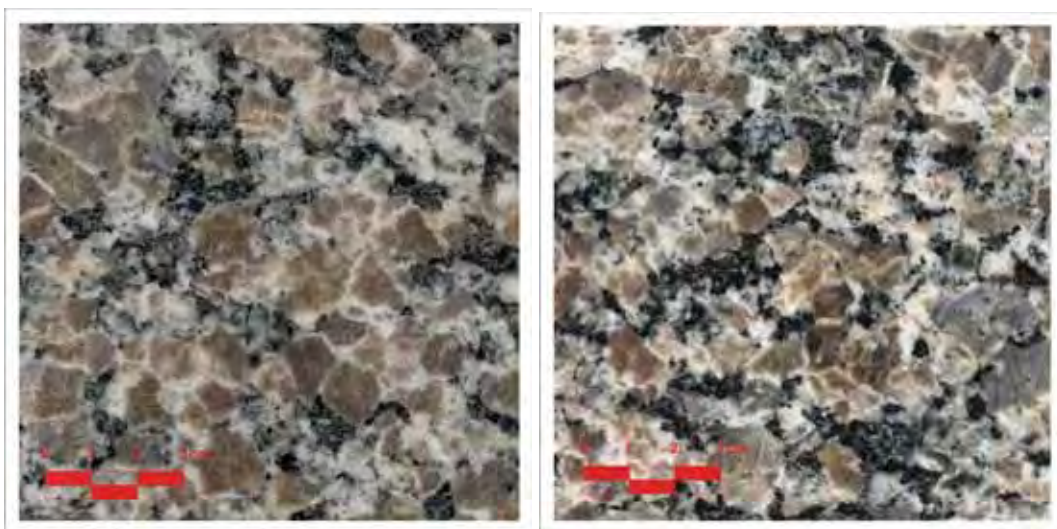
### *Hornblenda Sienito Pórfiro com Quartzo*

A variedade petrográfica estudada corresponde a um hornblenda sienito acastanhado com estrutura isotrópica a discretamente orientada de granulação grossa, inequigranular, sendo o aspecto geral bastante homogêneo (Figura 5.3). A sua textura é do tipo pórfiro serial (mais de 50% de megacristais), provavelmente derivada de processos de fracionamento magmático tais como cumuláticos ou de filtragem por compressão responsáveis pela concentração de megacristais de feldspato potássico. No geral exhibe certa

oscilação nos teores de megacristais, com a presença de porções ou manchas irregulares com dimensões até decimétrica caracterizadas pela coalescência de megacristais, ocasiões que perfazem mais de 90% do volume modal da rocha, heterogeneamente distribuídas pela massa rochosa de aspecto megaporfirítico onde os megacristais (média de feldspato potássico de 50 a 55%) constituem entre 40 e 60% do volume da rocha.

Os megacristais de feldspato potássico apresentam formas ovaladas a prismáticas, quadráticas ou ainda irregulares, com dimensões seriadas que podem atingir a casa dos 2,5 a 3,0 cm ao longo das maiores dimensões, na média entre 1,5 e 2,0cm, imersos em matriz (intercumulus?) marcadamente inequigranular com granulação predominantemente submilimétrica, podendo, entretanto, apresentar gradações para porções com cristais de feldspato potássico com dimensões ao redor de 1,0 cm e que se confundem com os megacristais.

Os megacristais coalescentes apresentam coloração relativamente homogênea, amarronzada a levemente rosada, com bordas normalmente desprovidas de zoneamento mineral e bastante pobres em inclusões de minerais máficos. Os megacristais isolados ou constituindo agregados menores e que são englobados pela matriz intersticial pouco mais pronunciada (fração intercumulus?) exibem discreto zonamento externo de coloração pouco mais clara ou, ainda, parcialmente envoltos por delgados anéis de plagioclásio (oligoclásio) esbranquiçados. Os megacristais são praticamente desprovidos de inclusões de minerais máficos, podendo, entretanto, conter vênulos ou filetes isolados ou desenvolvendo redes irregulares de plagioclásio esbranquiçado.



**Figura 5.3.** Placas polidas da rocha ornamental Ocre Itabira ilustrando variação na quantidade de megacristais de FK.

A matriz apresenta textura hipidiomórfica a localmente poligonizada, inequigranular, enriquecida em agregados mimerquíticos. É composta por plagioclásio (14%), feldspato potássico (11%), biotita (4%) e hornblenda (6%), além de quartzo (2%) e dos acessórios opacos (2,5%), apatita (1,5%), titanita (2%), zircão e allanita na qualidade de traços. A matriz é realçada ora pela coloração esbranquiçada dos cristais e anéis de plagioclásio ora pelas pontuações ou pequenas manchas pretas produzidas pelos agregados de cristais de biotita e de hornblenda.

No que diz respeito ao microfissuramento, a observação à lupa pode causar disparidades em relação àquela feita em amostras de mão, uma vez que a escala microscópica analisa apenas uma pequena porção de rocha, não expressando muitas vezes sua totalidade.

De forma geral, o microfissuramento é bastante pronunciado, mais notavelmente nos megacristais de feldspato potássico, sendo classificado como moderado (média de 0,18 microfissuras/mm<sup>2</sup>). Cerca de 85% dessas microfissuras são do tipo intragrãos, sendo cerca de 80% delas preenchidas por material filossilicático microcristalino, caracterizadas por média intercomunicabilidade.

A alteração mostra-se incipiente, correspondendo a discretos processos de sericitização de feldspatos, ora de plagioclásios, além de sutil argilomineralização dos mesmos, e biotitas apresentando cavidades ou bordas de reação do tipo simplectítica.

O entrelaçamento mineral é bastante coeso, dando-se em sua maioria por contatos lobulados a engrenados (Figura 5.4, fotomicrografia A). O tipo plano também está presente, sendo que este aparece mais frequentemente quando observado a relação entre cristais submilimétricos com textura poligonizada.

Microscopicamente os megacristais de feldspato potássico, representado pelo ortoclásio mesopertítico, exibem contornos irregulares de aspecto corroído que se caracteriza pelo intercrescimento com os demais minerais da matriz e/ou com anéis de plagioclásio que os envolvem, imprimindo ao conjunto um bom engrenamento mineral. Nestes casos os contatos são denteados, lobulados e, localmente, planos. Feições pertíticas em fios e filmes são comuns e marcantes, sendo uniformemente disseminadas pelos grãos. Os megacristais de feldspato potássico correspondem aos cristais com o maior grau de microfissuras, predominantemente do tipo intragrãos, dispostas ortogonalmente ao plano de maior alongação dos cristais. Predominam as microfissuras fechadas, sendo que cerca de 70% são preenchidas por sericita e as 30% restantes vazias (Figura 5.4, fotomicrografia B e D). A alteração dos megacristais é incipiente, demarcada por discreta sericitização ou argilomineralização superficial. Bordas mimerquíticas são comuns, bem como inclusões de biotitas submilimétricas.



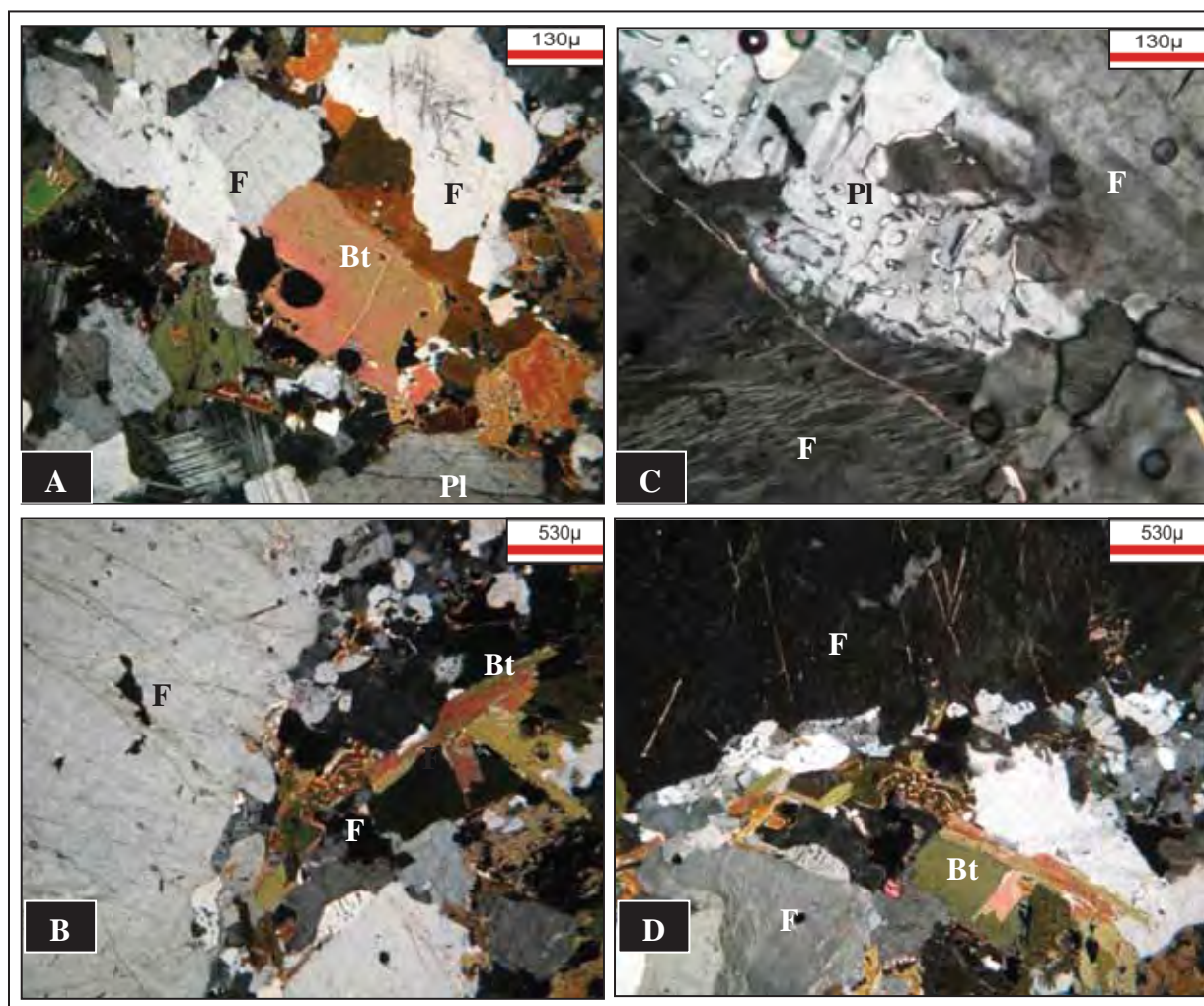
Cristais de ortoclásio matriciais são anedrais a localmente subedrais, de formato tabular. Exibem dimensões desde submilimétricas a 1,0 cm, estabelecendo contatos lobulados com plagioclásio e minerais máficos da matriz. Se a granulação diminui, nota-se predominância de contatos planos, tipicamente poligonizados. Os processos de argilomineralização são discretos, compreendendo tênue camada sobre o mineral.

O plagioclásio presente é o oligoclásio e ocorre tanto disperso pela matriz, muitas vezes desenvolvendo pequenos agregados, quanto formando delgados anéis ao redor dos megacristais de feldspato potássico. No primeiro caso predominam cristais subedrais, ripiformes, além de pequenas concentrações poligonizadas, no geral com dimensões predominantemente submilimétricas ( $\approx 0,3$  mm), sendo que os maiores cristais possuem 2,0 mm de comprimento. Os anéis que envolvem total ou parcialmente os megacristais constituem agregados de minúsculos cristais anedrais, muitas vezes poligonizados. Também são freqüentes cristais de plagioclásio ostentando marcantes feições mimerquíticas (Figura 5.4, fotomicrografia C). Os contatos com feldspato potássico são em sua maioria planos. Alteração mineral é perceptível somente de forma local, compreendendo discreta argilomineralização.

Hornblenda e biotita encontram-se intimamente associadas normalmente formando agregados com formas variadas, como alongadas a estiradas, irregulares ou contornando parcialmente os megacristais, com dimensões oscilando entre 1 a 2 mm até cerca de 1,0 cm. O anfibólio compreende formatos prismáticos, de 0,03-2,0 mm, estabelecendo contatos retos, localmente serrilhados com a matriz. A biotita ocorre tanto sob forma típica lamelar formando agregados com a hornblenda quanto em palhetas esparsas de tamanhos submilimétricos, sendo que as mais destacadas perfazem a casa dos 1,5 mm. Inclusões de zircão são comuns formando halos pleocróicos. A alteração é incipiente, limitando-se a bordas de reação com a hornblenda.

O quartzo é mineral escasso, disperso esporadicamente pelos interstícios da matriz sob a forma de cristais anedrais que perfazem aproximadamente 0,02-1,5 mm, ou sob forma vermicular no plagioclásio mimerquítico.

Como acessório, a apatita é bastante comum, ocorrendo predominantemente sob a forma granular variando de 0,3 a 1,0 mm. Sempre associada ao feldspato potássico, encontram-se ora dispersas homoganeamente pela lâmina ora concentradas em agregados irregulares.



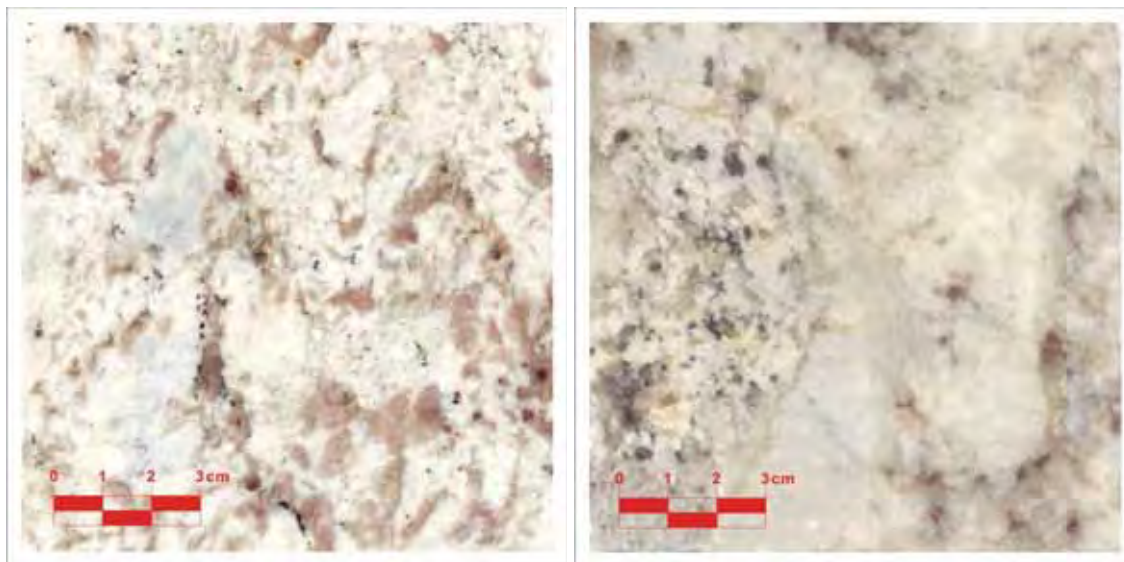
**Figura 5.4.** Fotomicrografias do material Ocre Itabira. (A) Contatos lobulados entre feldspato potássico (FK) e biotita (Bt); (B) Detalhe de feldspato potássico com alteração incipiente; (C) Plagioclásio mimerquíptico (Pl); e (D) Microfissuras em FK preenchidas por sericita; Nicóis cruzados.

### 5.3. Branco Galaxy – Complexo Paraíba do Sul/Domínio Cambuci (Colatina – ES)

#### *Granito Pegmatóide com Granada e Sillimanita*

A rocha comercialmente designada Branco Galaxy é um granito de coloração branca com aspecto geral pegmatóide, ligeiramente movimentado (Figura 5.5). Sua estrutura é isotrópica a levemente anisotrópica marcada pelo alinhamento de algumas concentrações de minerais máficos lineares ligeiramente encurvados (biotita; sillimanita) e certo estiramento mineral. Petrograficamente corresponde a granito peraluminoso crustal tipo-S, grosseiramente

gnaissificado em condições de fácies granulítica caracterizado pelos minerais índices ortoclásio mesoperítico, granada, sillimanita e traços de turmalina, além de biotita, quartzo e plagioclásio.



**Figura 5.5.** Placas polidas da rocha ornamental Branco Galaxy ilustrando variações texturais.

Apresenta textura bastante heterogênea, no geral de aspecto granítico de granulação média a grossa com graduações para porções tipicamente pegmatóides essencialmente quartzo-feldspáticas com cristais de feldspato potássico que atingem dimensões de até 5,0 a 6,0 cm de extensão, localmente exibindo texturas granofíricas.

A massa predominante, de aspecto granítico, é marcadamente inequigranular com granulação variando de alguns milímetros a mais de 1,0 cm, principalmente devido ao feldspato potássico. A granada forma cristais desde submilimétricos a no máximo atingindo 5 mm, predominantemente como grãos isolados distribuídos pela massa granítica ou, localmente, alinhadas em trilhas descontínuas ao longo de antigos planos cisalhados exibindo granulação mais fina que a média da rocha. Nestes locais a textura é de recuperação, tipicamente granoblástica. A sillimanita só é visível sob o microscópio e ocorrem em porções restíticas nebulíticas alongadas a contorcidas, subcentimétricas, macroscopicamente identificáveis pela granulação mais fina, coloração acinzentada e enriquecidas em biotita.

Localmente exhibe discretas manchas difusas de coloração acastanhada dada pela presença de hidróxidos de ferro que se infiltram ao longo de planos de microfissuras, de discontinuidades físicas e em clivagens minerais. Estes casos são mais frequentes nas

proximidades de agregados de cristais de granada e de biotita, ocasiões em que alguns cristais de quartzo adquirem coloração acastanhada.

O contato entre os minerais é predominantemente do tipo côncavo-convexo (~60%), aparecendo também o tipo lobulado (~33%) entre os cristais maiores de feldspato potássico e quartzo, e localmente o reto e serrilhado (~5%) (Figura 5.6, fotomicrografia C). A alteração é ausente a incipiente e manifesta-se principalmente nos cristais de feldspato potássico a partir de discretos processos de sericitização.

O microfissuramento é alto, com média de 0,56 microfissuras/mm<sup>2</sup>, representado principalmente por fissuras intragrãos (77%), na maioria das vezes sem preenchimento mineral. O quartzo representa o mineral com maior número de microfraturas, seguido pelos cristais de feldspato potássico. A comunicabilidade entre as microfissuras é variável, sendo que as porções graníticas texturalmente mais homogêneas apresentam baixa conexão entre si (Figura 5.6, fotomicrografia A), tornando-se consideravelmente mais elevada nas frações de granulação grossa a pegmatóide. Também cabe destacar que os cristais de feldspato potássico com as maiores dimensões, principalmente os das frações pegmatóides, apresentam planos de clivagens bem mais evidentes e mais frouxos comparativamente aos grãos menores.

O feldspato potássico corresponde ao ortoclásio mesoperítico (Figura 5.6, fotomicrografias C e D). e representam, no geral, os cristais de maiores dimensões quer da massa granítica, usualmente entre 3,0 a 8,0 mm, quer nas frações pegmatóides, quando podem ultrapassar a casa dos 5,0 ou 6,0 cm de extensão. Entretanto, ocorre também uma fração mais fina, milimétrica, em faixas microgranuladas e em posições intersticiais entre grãos minerais maiores. Todos possuem coloração branca e exibem formas anedrais, estando fraca a medianamente microfissurados.

Fraturas cicatrizadas são encontradas localmente (Figura 5.6, fotomicrografia B). Na fração pegmatóide podem apresentar texturas gráficas, caracterizada por teores variáveis de quartzo vermicular. Os contatos com os cristais de quartzo e plagioclásio são em sua maioria lobulados, mas podendo aparecer também o tipo reto, no conjunto denotando bom engrenamento mineral. A alteração nesse mineral é classificada como incipiente, predominando tênue sericitização, não sendo observados os processos de argilomineralização. São comuns microinclusões de plagioclásio e quartzo.

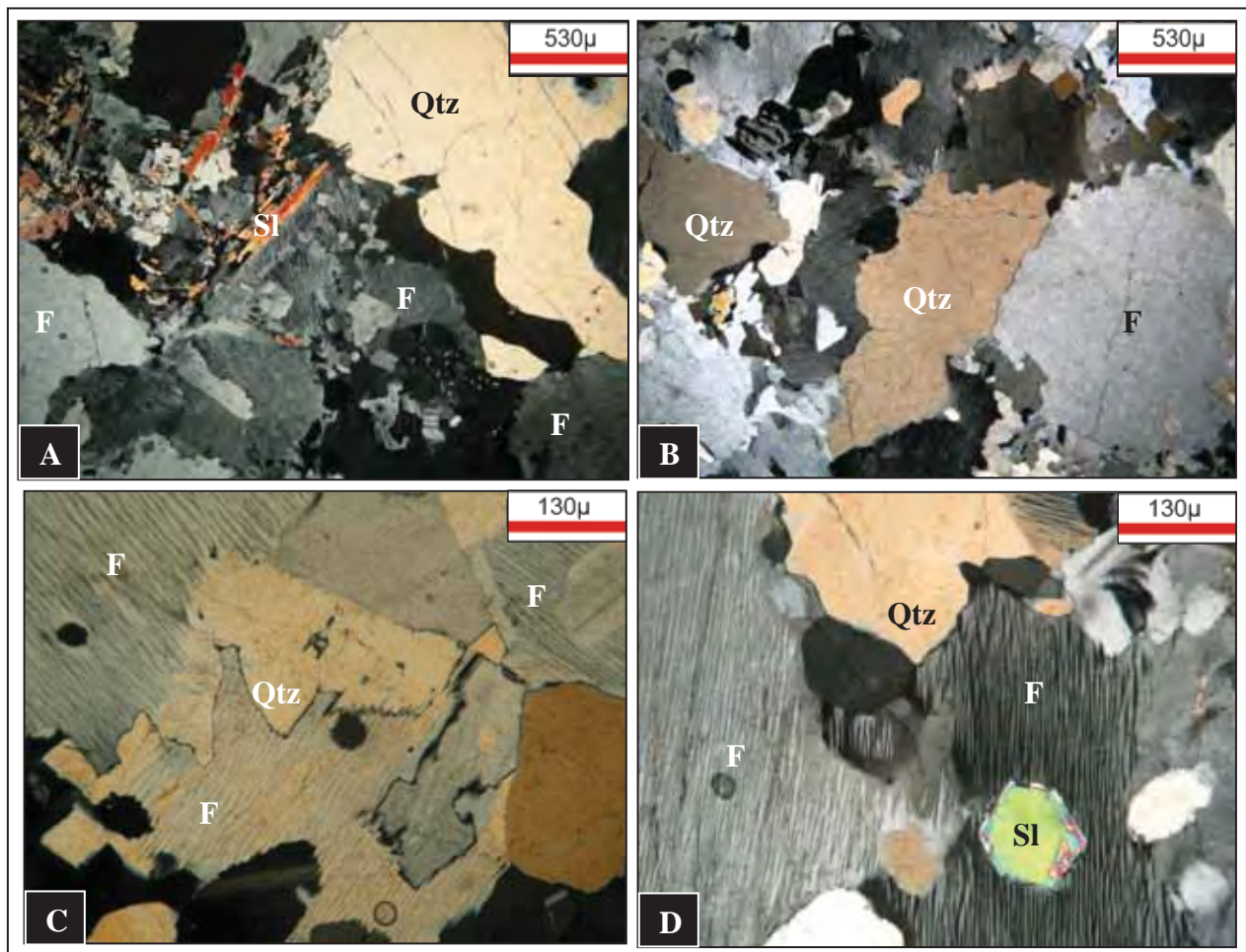
Os cristais de quartzo apresentam, na média, tamanhos inferiores aos dos feldspato potássico, embora localmente sejam similares e até pouco maiores. São anedrais, podendo ser arredondados, irregulares a achatados e vermicular nas inclusões granofíricas. Nas faixas de

granulação mais finas, normalmente microgranuladas, apresentam aspecto poligonizado. No geral são transparentes, e tanto mais microfraturados quanto maiores suas dimensões.

O plagioclásio (oligoclásio) aparece apenas na fração mais fina (possuem até 4,0 mm de comprimento), macroscopicamente confundido com o feldspato potássico por conta de sua coloração também branca e ausência de feições distintivas em escala macroscópica para esta granulação. Forma cristais subedrais a xenomórficos, com boa geminação polissintética, localmente apresentando antipertitas. O microfissuramento e alteração são praticamente ausentes, sendo esta marcada por sutil sericitização dispersa por toda extensão dos cristais.

A sillimanita se apresenta em pequenos agregados aciculares ou de bastonetes prismáticos, na maioria das vezes agrupadas em pequenos leitos, não ultrapassando os 2,0 mm de comprimento. Encontram-se na maioria das vezes entre os cristais de quartzo, e esporadicamente associadas com a granada acessória. Junto aos agregados ocorre também a variedade fibrolita.

A granada possui dimensões predominantemente submilimétricas a poucos milímetros, porém localmente é possível observar cristais com até 5,0 mm de diâmetro. A grande maioria dos cristais apresenta-se bem arredondada, podendo aparecer alguns exemplares subedrais, raramente associada á biotita. Sua coloração é vermelha rubi, sendo mais escura nos cristais de maiores dimensões, desprovidas de alterações deutéricas.



**Figura 5.6.** Fotomicrografias da rocha ornamental Branco Galaxy. (A) Microfissuramento aberto em quartzo (Qtz) e variedade de contatos entre os cristais; (B) Feldspato potássico (FK) com fratura cicatrizada; (C) Contato serrilhado entre grãos de quartzo (Qtz) e feldspato potássico (FK); (D) Mesopertitas em feldspato potássico (FK) e cristal hexagonal de sillimanita.

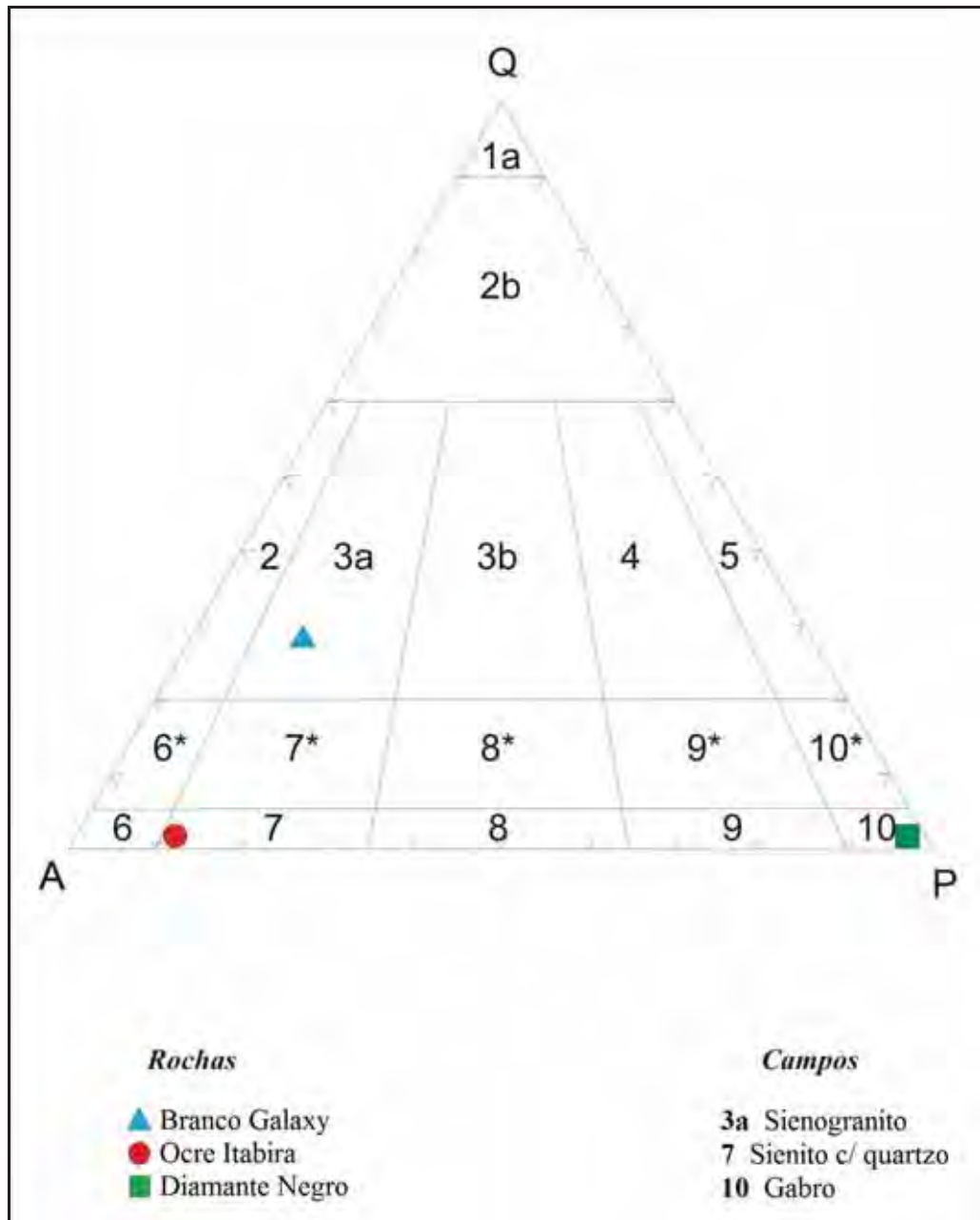


Figura 5.7. Diagrama QAP dos materiais estudados segundo proposto pela IUGS (STRECKEISEN, 1976).

# 6

## PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E DISCUSSÃO DOS DADOS

---

O presente capítulo expõe e discute os dados obtidos nos ensaios físico-mecânicos para as rochas ornamentais e de revestimento correspondentes aos tipos comerciais Diamante Negro (Microgabro), Ocre Itabira (Hornblenda Sienito Pórfiro com Quartzo) e Branco Galaxy (Granito Pegmatóide com Granada e Sillimanita).

Os ensaios físico-mecânicos incluíram determinações dos índices físicos, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais e dilatação térmica linear, e determinação das resistências ao desgaste abrasivo, compressão uniaxial, flexões pelos métodos 3 e 4 pontos e ao impacto de corpo duro realizados segundo preceitos ditados pelas normas ABNT/NBR, conforme descrito no Capítulo 2 – Materiais e Métodos, e tiveram por objetivo fornecer parâmetros tecnológicos para subsidiar uma correta utilização das referidas rochas como materiais de revestimento em obras civis.

A síntese dos resultados obtidos para as propriedades tecnológicas das rochas estudadas é apresentada na Tabela 6.1, enquanto os dados completos estão contidos em planilhas correspondentes anexas ao final do volume da dissertação.

A avaliação da qualificação tecnológica dos materiais estudados é, na medida do possível, efetuada através da análise comparativa entre os resultados obtidos nos respectivos ensaios com os valores especificados pela norma C 615 (ASTM, 2003) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010), conforme representados na Tabela 6.2, bem como as considerações realizadas no estudo de Mesones (2003).



Tabela 6.1. Síntese dos resultados dos ensaios físico-mecânicos.

C	DIAMANTE NEGRO	DP**	CV***	OCRE ITABIRA	DP	CV	BRANCO GALAXY	DP	CV
Índices Físicos	Massa Específica Seca Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	3.100	2,26E-06	2.705	0,01	3,70E-06	2.641	0,024	9,09E-06
	Massa Específica Saturada Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	3.103	2,26E-06	2.712	0,01	2,95E-06	2.649	0,024	9,06E-06
	Porosidade Aparente (%)	0,26	1,31E-01	0,73	0,24	3,25E-01	0,80	0,186	2,33E-01
	Absorção d'água (%)	0,08	1,38E-01	0,27	0,09	3,26E-01	0,30	0,071	2,37E-01
	Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	196	8,08E-02	137	11,56	8,44E-02	135	4,84	3,59E-02
	Resistência à Compressão Uniaxial após Ciclos de Congelamento e Degelo (MPa)	194	7,97E-02	134	9,02	6,73E-02	119	46,08	3,87E-01
	Resistência à Flexão 3 Pontos (MPa)	22	6,82E-02	12	0,85	7,08E-02	9	1,36	1,70E-01
	Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)	21	1,40E-01	8	0,58	7,25E-02	8	1,24	1,77E-01
Velocidade Ultrassônica (m/s)	Resistência à Compressão Uniaxial	6.189	6,36E-02	4.161	182,25	4,38E-02	3.693	385,38	1,04E-01
	Resistência à Compressão Uniaxial após Ciclos de Congelamento e Degelo (MPa)	6.290	5,35E-02	4.243	67,95	1,60E-02	3.275	75,65	2,31E-02
	Resistência à Flexão 3 Pontos	6.198	9,91E-02	4.390	56,13	1,28E-02	3.017	80,13	2,66E-02
	Resistência à Flexão 4 Pontos	6.381	4,61E-03	4.359	33,50	7,69E-03	3.668	70,26	1,92E-02
	Desgaste Abrasivo Amsler (mm/1.000m)	0,76	9,21E-02	0,99	0,11	1,11E-01	0,48	0,12	2,50E-01
	Coefficiente de Dilatação Térmica Linear (10 <sup>-3</sup> mm/m°C)	5,8	8,46E-02	5,2	0,42	8,16E-02	6,8	0,42	6,24E-02
	Resistência ao Impacto de Corpo Duro	3,9	1,05E-01	4,6	2,74	5,80E-02	5,4	3,54	6,40E-02
	Energia de Ruptura (J)	0,40	1,05E-01	0,50	2,74	5,80E-02	0,55	3,54	6,40E-02
	Altura de Ruptura (m)	2,6	1,33E-02	3,0	0,51	1,71E-02	3,2	0,15	4,86E-03

\*Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais (m/s) determinadas nos corpos de prova.

\*\*Desvio Padrão.

\*\*\*Coeficiente de Variação.

**Tabela 6.2.** Valores referenciais conforme especificado pela ASTM C 615 (2003) e ABNT NBR 15844 (2010).

Propriedades	ASTM C615 (2003)	ABNT NBR 15844 (2010)
Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	≥ 2560	≥ 2550
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0
Absorção d'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear (10 <sup>-3</sup> mm/m°C)	n.e.	≤ 8,0
Resistência ao Desgaste (mm/1.000m)	n.e.	≤ 1,0
Resistência á Compressão Uniaxial (MPa)	≥ 131	≥ 100
Módulo de Ruptura (Flexão 3 Pontos) (MPa)	≥ 10,34	≥ 10,0
Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)	≥ 8,27	≥ 8,0
Resistência ao Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	≥ 0,3

n.e: não especificado.

A abordagem de diferentes normas, bem como um importante estudo tomados como referência para a interpretação dos resultados das determinações físico-mecânicas a torna mais dinâmica, além de possibilitar uma visão menos determinista e mecanizada no processo de comparação entre os valores obtidos e àqueles sugeridos no trabalho pioneiro de Frazão e Farjallat (1995) desde sua publicação.

Ambas as normas adotadas são unânimes ao estabelecer que a comparação entre os valores especificados para os parâmetros tecnológicos e àqueles obtidos não deve ser tomada como absoluta, podendo também ser utilizados os materiais com valores abaixo dos requeridos, desde que suas características relevantes sejam avaliadas por profissional qualificado, de acordo com a função para qual será empregada. Nesse sentido, o estudo de Mesones (2003) enfatiza que “*não existem rochas boas ou ruins, mas sim rochas mal utilizadas*” (tradução nossa), atentando para o fato de que é possível adaptar a rocha para atender aos valores de resistência mecânica requeridos, tratando-se de uma questão de redimensionamento da espessura do material.

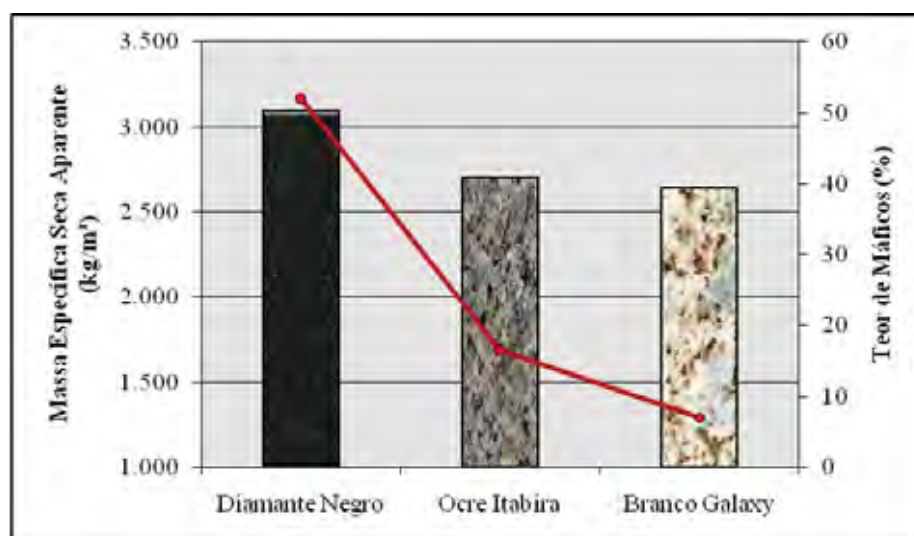
Além disso, tanto a C 615 (ASTM, 2003), quanto a recente ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010) ressaltam que os valores de resistência à compressão uniaxial e resistência a flexão por três e quatro pontos a serem consideradas para projetos devem ser a média mínima entre as quatro condições possíveis para os ensaios, ou seja, seca ou saturada em água e paralela ou perpendicular à estrutura presente. Deve-se, portanto, ter cautela na interpretação dos dados, a fim de não ser equívoco quanto à determinação da qualificação tecnológica do material.

Os resultados obtidos para os ensaios físico-mecânicos são correlacionados ainda com os respectivos dados petrográficos (aspectos mineralógicos, texturais e estruturais) previamente analisados para cada rocha ensaiada (Capítulo 5), almejando-se melhor compreensão da influência dos parâmetros petrográficos no comportamento tecnológico dos materiais estudados. Destaca-se que estudos correlacionando aspectos petrográficos e propriedades tecnológicas para rochas silicáticas são relativamente restritos na literatura brasileira, cabendo menção para os de Artur, Meyer & Wernick (2001), Navarro (2002a), Navarro & Artur (2002), Meyer (2003a) e Artur, Vigário e Navarro (2005).

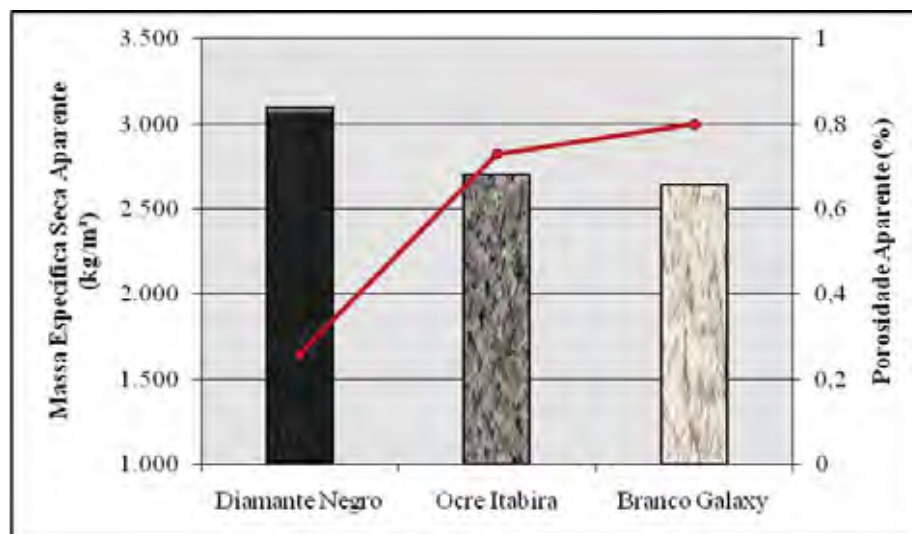
## 6.1. Índices Físicos

Os dados tecnológicos obtidos para o ensaio de índices físicos, compreendendo massa específica seca e saturada aparentes, bem como porosidade aparente e absorção d'água encontram-se listados na Tabela 6.1.

A porosidade identifica a proporção relativa entre sólidos e vazios, estando intimamente dependente desta a absorção d'água. Já a massa específica seca fornece informações acerca dos grãos ou constituintes minerais, no que diz respeito à densidade e grau de sanidade dos mesmos. Para melhor compreensão dos resultados apresentados, a massa específica seca foi correlacionada com o teor de minerais máficos e a porosidade dos materiais estudados, conforme apresentado nas Figuras 6.1 e 6.2 respectivamente.

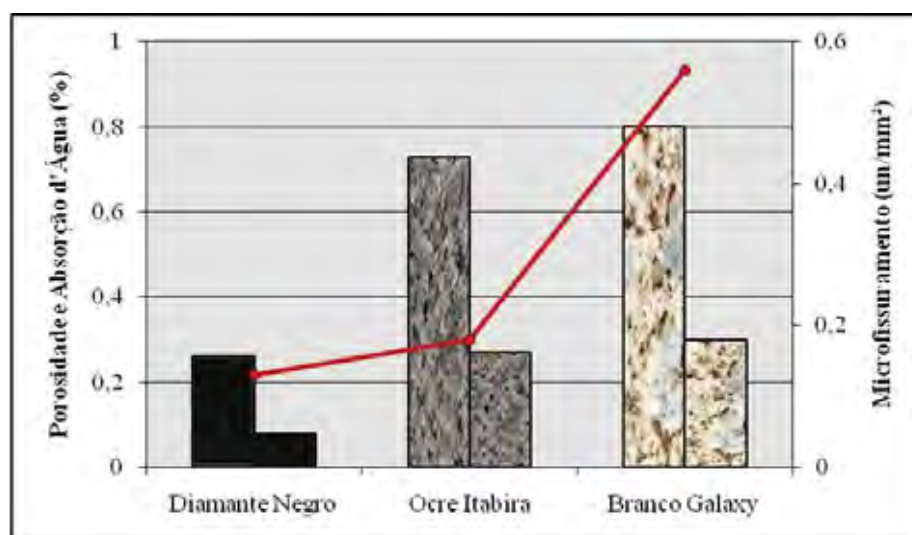


**Figura 6.1.** Correlação entre massa específica seca aparente (colunas) e teor de máficos (linha cheia) das rochas estudadas.



**Figura 6.2.** Correlação entre massa específica seca aparente (colunas) e porosidade aparente (linha cheia) das rochas estudadas.

Outra correlação possível reside entre os próprios parâmetros de índices físicos, correspondendo aos resultados de porosidade e absorção d'água, frente também ao microfissuramento das rochas analisadas (Figura 6.3).



**Figura 6.3.** Correlação entre porosidade (colunas da esquerda), absorção d'água (colunas da direita) e microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.

Conforme apresentado na Tabela 6.1 e nas Figuras 6.1 a 6.3 observa-se que as três rochas atendem os requisitos especificados pela C 615 (ASTM, 2003) e ABNT NBR 15844

(2010): os materiais apresentam valores de massa específica seca superior a  $2.560 \text{ kg/m}^3$ , porosidade aparente menor que 1% e absorção d'água inferior a 0,4%.

De forma generalizada, observa-se que as três variedades litológicas apresentam excelente correlação entre seu comportamento tecnológico e as características petrográficas intrínsecas.

Com relação à massa específica seca, tem-se que tal propriedade física é substancialmente influenciada pela composição mineralógica. A Tabela 6.3 mostra a densidade relativa dos principais minerais formadores de rocha.

Dessa forma, o Diamante Negro, um microgabro com mais de 50% de minerais máficos apresenta a maior massa específica seca aparente ( $3.100 \text{ kg/m}^3$ ). Por outro lado, o Branco Galaxy, correspondente a um granito pegmatóide, possui cerca de 7% de máficos, sendo o material de menor massa específica seca ( $2.641 \text{ kg/m}^3$ ). O Ocre Itabira, um sienitóide inequigranular com megacristais de ortoclásio possui 16,5% de minerais máficos, sendo a rocha com valor médio de massa específica seca aparente ( $2.705 \text{ kg/m}^3$ ).

A massa específica seca correlaciona-se também com a porosidade aparente, ou de uma forma indireta, com o grau de sanidade do material, apresentando relações inversamente proporcionais. Assim, o tipo petrográfico será tanto mais denso, quanto menor for sua porosidade aparente. Isso pode ser claramente notado a partir da análise da Figura 6.2. Do exposto, o Diamante Negro corresponde ao material de maior densidade ( $3.100 \text{ kg/m}^3$ ), pois é o que apresenta menor porcentagem de porosidade aparente (0,26%) e também menor grau de microfissuramento ( $0,13/\text{mm}^2$ ) e assim sucessivamente.

Com relação às propriedades de porosidade aparente e absorção d'água, tem-se que as rochas Branco Galaxy e Ocre Itabira apresentam valores bastante semelhantes entre si, porém ambos diferem significativamente do tipo petrográfico Diamante Negro. Este, apresentando 0,26% de porosidade aparente e 0,08% de absorção d'água, é a variedade litológica com melhor desempenho entre as três rochas estudadas, o que se explica através de suas características petrográficas inerentes. Trata-se de um material isotrópico, de granulação fina, baixo grau de microfissuramento com incipiente comunicabilidade entre si, além do bom engrenamento mineral, o que justifica os índices encontrados.

O Branco Galaxy apresenta coerentemente os maiores valores de porosidade (0,8%) e absorção d'água (0,3%) justificada pela sua relativa anisotropia, heterogeneidade textural dada por granulação grossa a pegmatóide e alto grau de microfissuramento, em sua maioria aberto. Cabe aqui ressaltar a relação direta entre granulação da rocha e grau de microfissuramento mineral, no sentido dos minerais mais desenvolvidos apresentarem maior

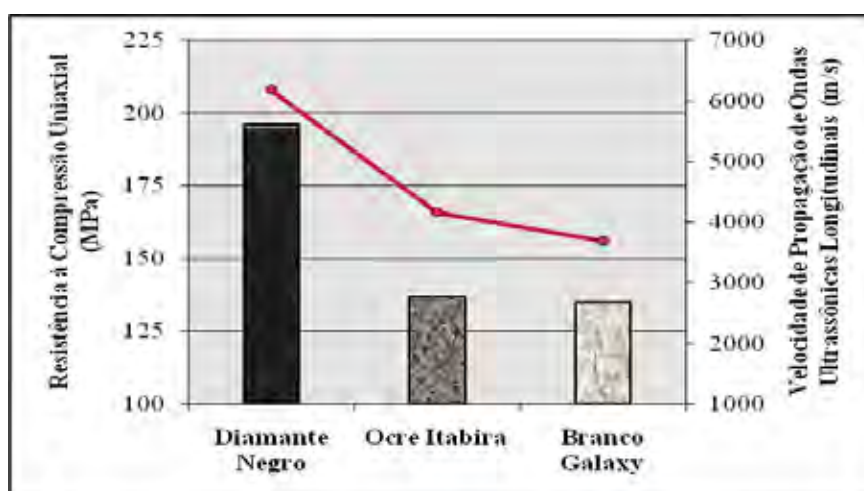
tendência ao microfraturamento. Este fator torna-se uma variável de importância ao se comparar as diferenças dos índices de porosidade, absorção d'água e microfissuramento entre as rochas analisadas.

O Ocre Itabira, por sua vez, apresenta índices de porosidade (0,27%) e absorção d'água (0,73%) intermediários aos materiais anteriores. Seus aspectos petrográficos tais como, textura inequigranular megaporfirítica, matriz média-grossa com megacristais de feldspato potássico, grau de microfissuramento intragrãos relativamente elevado justificam seu desempenho tecnológico, principalmente pelo fato de suas microfissuras estarem em maior parte preenchidas por material filossilicático microcristalino.

Ao contrário do parâmetro físico relacionado à massa específica seca aparente, o qual é controlado essencialmente pelo aspecto composicional, a análise petrográfica demonstra que os valores de porosidade e absorção d'água são diretamente controlados pela combinação de vários dos aspectos texturais e estruturais exibidos pelas rochas.

## 6.2. Resistência à Compressão Uniaxial

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão uniaxial estão listados na Tabela 6.1, enquanto que a sua respectiva representação gráfica encontra-se na Figura 6.4 onde são correlacionados com a velocidade de propagação de ondas (m/s) das rochas analisadas, seguindo-se critérios anteriormente aplicados por vários autores (NAVARRO, 1998; NAVARRO et al., 2003; ARTUR et al., 2005).



**Figura 6.4.** Correlação entre resistência à compressão uniaxial (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (linha cheia) das rochas estudadas.

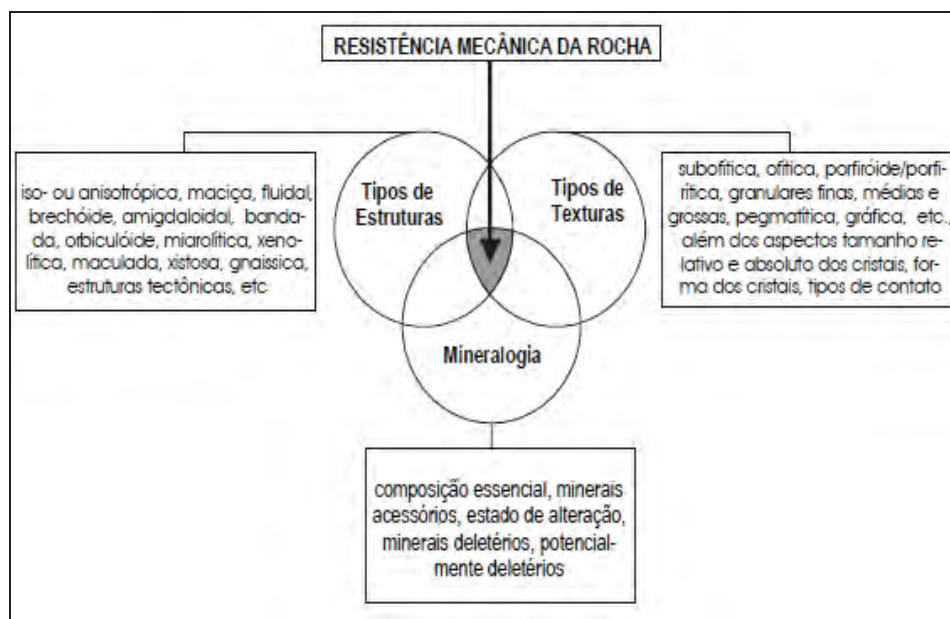
O Diamante Negro é o material que apresenta a maior tensão de resistência à compressão uniaxial (196 MPa), destacando-se dos outros dois tipos petrográficos. Seu resultado tecnológico justifica-se pelo seu forte caráter isotrópico, muito bom engrenamento mineral, que tende a mostrar maiores valores de resistência à compressão, granulação fina (maioria de seus cristais possui tamanho  $<1,0$  mm) e incipiente estado microfissural da rocha. O tamanho dos grãos exerce influência primordial na propriedade tecnológica discutida, de modo que quanto mais diminuto forem, maior será o imbricamento mineral e consequentemente maior a resistência mecânica.

O Ocre Itabira e o Branco Galaxy apresentam resultado tecnológico bastante semelhante estatisticamente, com o primeiro fornecendo valores de resistência correspondentes a 135 MPa, e o segundo 134 MPa. O Ocre Itabira caracteriza-se por sua textura inequigranular, de matriz média-grossa com megacristais de ortoclásio e maioria dos contatos minerais lobulados, enquanto que o Branco Galaxy apresenta discreta anisotropia, elevada heterogeneidade textural dada por granulação grossa a pegmatóide, além de um maior grau de microfissuramento (0,56 microfissuras/mm<sup>2</sup>) em sua maior parte aberto, evidenciado pela menor velocidade de seu pulso ultrassônico, o que justificaria sua ligeira diferença de resistência mecânica. A análise da Figura 6.4 permite concluir que a resistência à compressão uniaxial está intimamente relacionada aos aspectos físicos e petrográficos dos materiais, demonstrando uma interdependência complexa. A determinação da velocidade de propagação de ondas é um ensaio não destrutivo que permite prever indiretamente boa parte destes aspectos, possibilitando sua correlação com a resistência à compressão uniaxial, conforme estabelecido acima. Levando-se em consideração as respectivas massas específicas dos materiais estudados, observa-se que há boa correlação entre os parâmetros tecnológicos e suas propriedades petrográficas, pois quanto menor a velocidade de propagação, menor a resistência à compressão.

De uma forma geral, uma alta resistência mecânica está ligada à baixa porosidade, pois a primeira depende não apenas do grau de alteração e do estado microfissural dos cristais, mas também do tipo de contato e da granulação da rocha (NAVARRO, 1998). A porosidade especificamente, tomada não só pelos espaços vazios, mas também pelo estado microfissural da rocha, é uma das propriedades físicas mais importantes na determinação do comportamento de resistência mecânica, uma vez que diminui a integridade do material.

Por sua vez, os demais aspectos texturais (anisotropia, granulação da rocha e tipo de engrenamento mineral) desempenham também um importante papel no controle da resistência. Rochas que apresentam feições anisotrópicas tendem a possuir uma menor

resistência mecânica, uma vez que a anisotropia configura-se em planos de fraqueza/descontinuidade física dentro do material. Da mesma forma, granulações mais grosseiras e um grau de imbricamento não muito coeso podem influenciar substancialmente no comportamento mecânico dos litotipos. Assim, rochas que apresentam baixa anisotropia, granulações mais finas e bom entrelaçamento mineral, constituem materiais de maiores resistências à compressão uniaxial. A Figura 6.5 abaixo ilustra de forma mais abrangente a interdependência da resistência mecânica de uma rocha em relação aos seus aspectos petrográficos.



**Figura 6.5.** Esquema ilustrando a resistência mecânica de uma rocha em relação aos aspectos composicionais, estruturais e texturais (NAVARRO, 2002a).

Cabe ressaltar que os valores de resistência encontrados para os três tipos petrográficos situam-se acima daqueles estabelecidos pela C 615 (ASTM, 2003) (131 MPa) e muito superiores aos da ABNT NBR 15844 (2010), (100 MPa). A Tabela 6.3 apresenta a classificação de resistência determinada pela International Society for Rocks Mechanics (ISRM), permitindo qualificar os três materiais como muito resistentes.

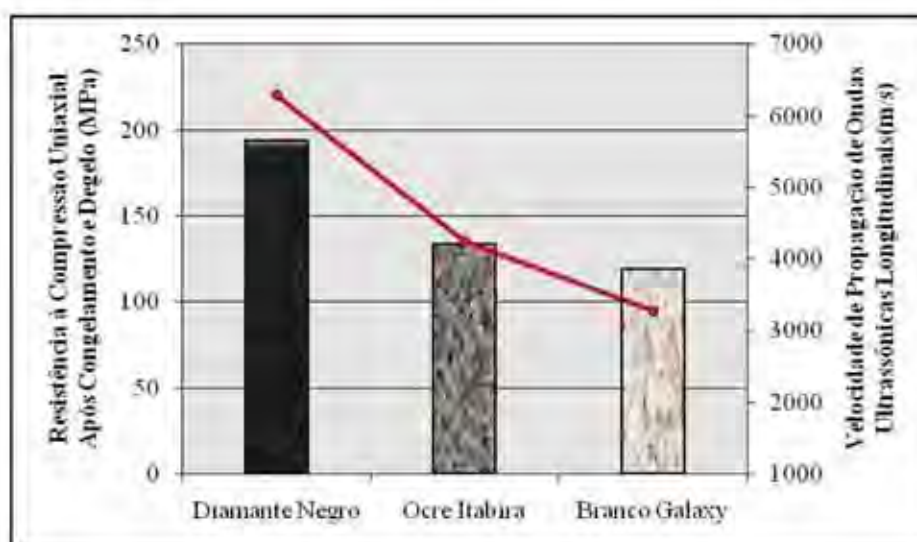


**Tabela 6.3.** Classificação das rochas de acordo com a resistência à compressão uniaxial (ISRM, 1978).

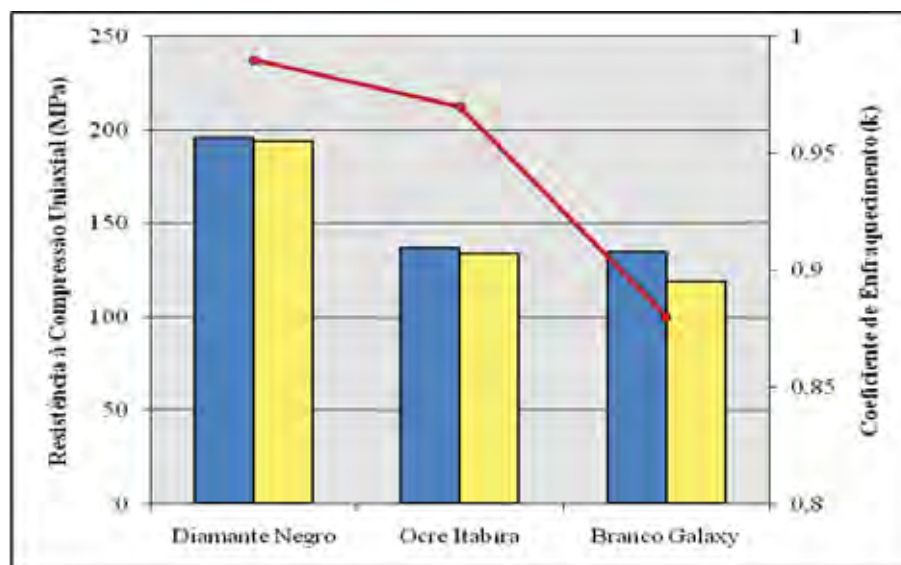
Classificação	$\sigma$ (MPa)
Extremamente branda (solo)	< 1
Muito branda	1 – 5
Branda	5 – 25
Resistência média	25 – 50
Resistente	50 – 100
Muito resistente	100 – 250
Extremamente resistente	> 250

### 6.2.1 Resistência à Compressão Uniaxial Após Ciclos de Congelamento e Degelo

Os valores obtidos para o ensaio de congelamento e degelo conjugado à compressão uniaxial estão discriminados na Tabela 6.1. Os resultados desse parâmetro são correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (Figura 6.6), como no item anterior, e também com a resistência à compressão ao natural e o respectivo coeficiente de enfraquecimento hidráulico (K) das rochas estudadas (Figura 6.7).



**Figura 6.6.** Correlação entre resistência à compressão após ciclos de congelamento e degelo (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (linha cheia) das rochas estudadas.



**Figura 6.7.** Correlação entre resistência à compressão ao natural (colunas azuis), resistência à compressão após congelamento e degelo (colunas amarelas) e coeficiente de enfraquecimento (linha cheia) das rochas estudadas.

Os resultados de queda na resistência à compressão após os ciclos de congelamento e degelo podem ser expressivos, haja vista que a água presente nos poros de uma rocha faz com que os mesmos se expandam durante o congelamento, o que gera uma tensão, e se distendam após o degelo, podendo provocar fadigamento e desagregação dos contatos intracristalinos (NAVARRO, 1998) e, conseqüentemente, o enfraquecimento gradual do material, após os ciclos. No entanto, as variações ocorridas foram mínimas, praticamente não afetando os três tipos petrográficos estudados.

O Diamante Negro apresentou um coeficiente de enfraquecimento (K) de apenas 0,99, o que significa que sua integridade física foi mantida após os 25 ciclos de congelamento e degelo. Este comportamento é reflexo de suas propriedades petrográficas, como baixíssima absorção d'água, homogeneidade textural, bom engrenamento mineral e baixo grau de microfissuramento. O Ocre Itabira por sua vez, apresenta um coeficiente de enfraquecimento (K) de 0,97 que se encontra muito próximo ao do Diamante Negro. Isto configura um resultado interessante, uma vez conhecidos os diferentes aspectos texturais desses materiais. A justificativa reside no fato de que o Ocre Itabira, apesar de possuir granulometria mais grossa, também é uma rocha homogênea, que apresenta bom imbricamento mineral e baixo estado microfissural relativo.

Ainda para as rochas Diamante Negro e Ocre Itabira, faz-se outra discussão pertinente. De acordo com as Figuras 6.6 e 6.4 (esta do item anterior), observa-se que houve um aumento

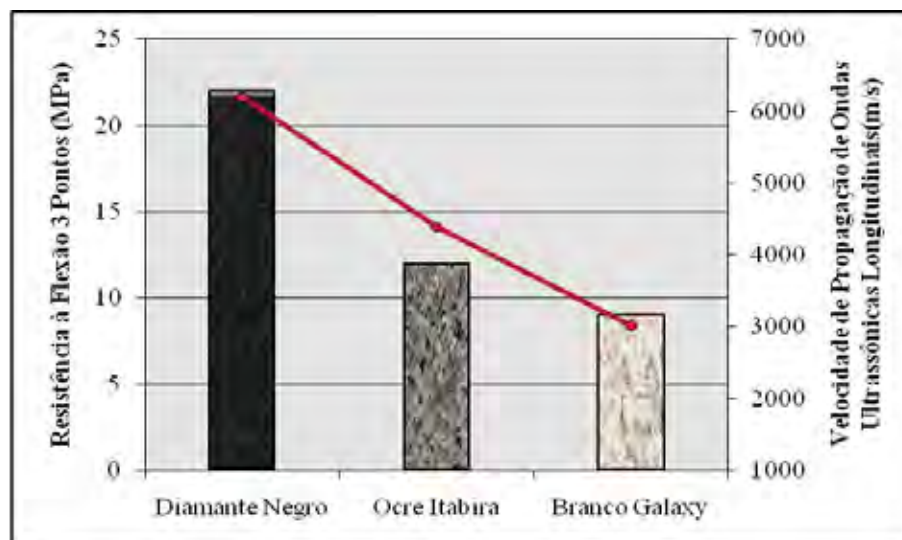
de aproximadamente 2% na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas após a ciclagem de congelamento e degelo para ambas, o que pode ser tanto uma incerteza das medidas, quanto uma variação natural do material, ou ainda um fato que ratifica a manutenção da integridade física dessas rochas. Neste caso, Artur et al. (2005) explicam que o aumento da velocidade do pulso estaria relacionado ao certo “encharcamento” dos corpos de prova em virtude do maior tempo de permanência dos mesmos sob condições de saturação. Isto porque a velocidade de propagação de ondas é maior na água do que no ar. Assim ao percorrer espaços saturados em água, a propagação será conseqüentemente mais veloz.

Quanto à variedade petrográfica Branco Galaxy, esta é a que apresenta maior variação na queda da resistência após a ciclagem, tendo coeficiente de enfraquecimento igual a 0,88, mas ainda assim não muito distante do Diamante Negro (0,99) e Ocre Itabira (0,97). Sob a perspectiva do estudo de Barroso & Barroso (2003), o Branco Galaxy é a rocha que sofreu maior degradação, pois quanto menor o valor de K, dentre as rochas consideradas, maior o dano sofrido. Este resultado justifica-se pela sua discreta anisotropia, aspecto textural heterogêneo e alto microfissuramento.

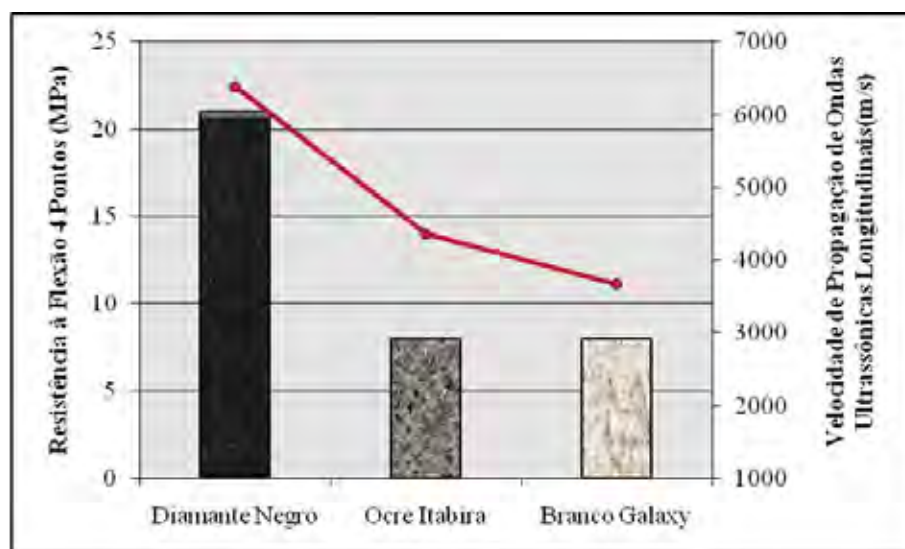
O estudo de Barroso & Barroso (2003) ainda salienta que em alguns casos há pouca correlação entre os resultados obtidos e o coeficiente de enfraquecimento (K), no sentido deste não descrever adequadamente os efeitos do ciclo de congelamento e degelo, haja vista que a variação cíclica da temperatura atuante ao longo do tempo é reconhecidamente um dos parâmetros deletérios mais efetivos na degradação das rochas (ARTUR et al., 2005).

#### **6.4 Resistência à Flexão 3 e 4 Pontos**

Os resultados para o ensaio de resistência à flexão 3 e 4 pontos, também denominados módulo de ruptura e tração na flexão, respectivamente, estão contidos na Tabela 6.1, enquanto suas correlatas representações gráficas encontram-se nas Figuras 6.8 e 6.9 seguintes.



**Figura 6.8.** Correlação entre resistência à flexão 3 pontos (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (linha cheia) das rochas estudadas.



**Figura 6.9.** Correlação entre resistência à flexão 4 pontos (colunas) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (linha cheia) das rochas estudadas.

Para a resistência à flexão 3 pontos, observa-se que os tipos petrográficos Ocre Itabira (12 MPa) e Diamante Negro (22 MPa) se enquadram perfeitamente entre os valores referenciais estabelecidos pela ASTM (2003) e ou seja, de 10,34 e 10,0 MPa, respectivamente. O tipo petrográfico Branco Galaxy (9 MPa) obteve resultado pouco abaixo dos valores referenciais, mas que estatisticamente é irrelevante.

Quanto à flexão 4 pontos, o material Diamante Negro (21 MPa) apresentou tensão de resistência bem superior às sugeridas tanto pela C 615 (ASTM, 2003) (8,27 MPa), quanto

pela ABNT NBR 15844 (2010) (8 MPa), ficando os materiais Ocre Itabira (8 MPa) e Branco Galaxy (8 MPa) também dentro dos valores referenciais.

De modo análogo à resistência à compressão uniaxial, a observação das Figuras 6.8 e 6.9 permite concluir que os resultados de flexão 3 e 4 pontos fornecidos pelos diferentes tipos petrográficos analisados mostram-se diretamente dependentes das relações texturais e estruturais por eles exibidas.

O Diamante Negro, material com melhor resultado tecnológico em ambos os ensaios, justifica tal comportamento pelo fato de apresentar caráter isotrópico marcante, granulação fina, bom engrenamento mineral e baixo grau de microfissuramento. Tuğrul & Zarif (1999) salientaram a primordial influência do tamanho e formato dos grãos, tipo de contato e engrenamento mineral nas propriedades mecânicas das rochas, enquanto Onodera & Kumara (1980) há muito relataram que conforme o tamanho dos grãos presentes na rocha diminui, há um considerável aumento em sua resistência mecânica. Tais estudos reforçam ainda mais a justificativa adotada para o comportamento tecnológico da variedade litológica Diamante Negro.

O Ocre Itabira por sua vez apresenta valores de tensão intermediários em relação aos outros dois tipos petrográficos analisados. Seu aspecto porfiróide (do tipo pórfiro) com matriz média-grossa, contendo megacristais de feldspato potássico, aliados ao seu moderado microfissuramento, influem substancialmente no seu comportamento tecnológico frente à resistência à flexão 3 (12 MPa) e 4 pontos (8 MPa). O exposto acima concorda com o estudo de <sup>9</sup>Willard & McWilliams (1969) apud Tuğrul & Zarif (1999), segundo o qual as microfissuras, limites de grãos e clivagem mineral são microestruturas que agem como superfícies de fraqueza podendo diminuir a resistência da rocha, inclusive controlando a direção de seu rompimento.

Para a flexão 3 pontos, o tipo comercial Branco Galaxy apresentou um resultado de tensão (9 MPa) inferior dentre o conjunto de rochas estudado. Porém, conforme estabelecido nas normas C 615 (ASTM, 2003) e ABNT NBR 15844 (2010), os valor de tensão apresentado não impede que este material seja utilizado em revestimento, sendo necessária a avaliação de outras propriedades relevantes. Além disso, ambas as normas estabelecem que o valor de resistência a ser considerado deve ser a média mínima entre as quatro condições de ensaio possíveis: seco ou saturado e paralelo ou perpendicular a estrutura existente, o que não

---

<sup>9</sup> Willard, R.J & McWilliams, J.R. Microstructural techniques in the study of physical properties of rocks. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. v.6, p.1-12, 1969.

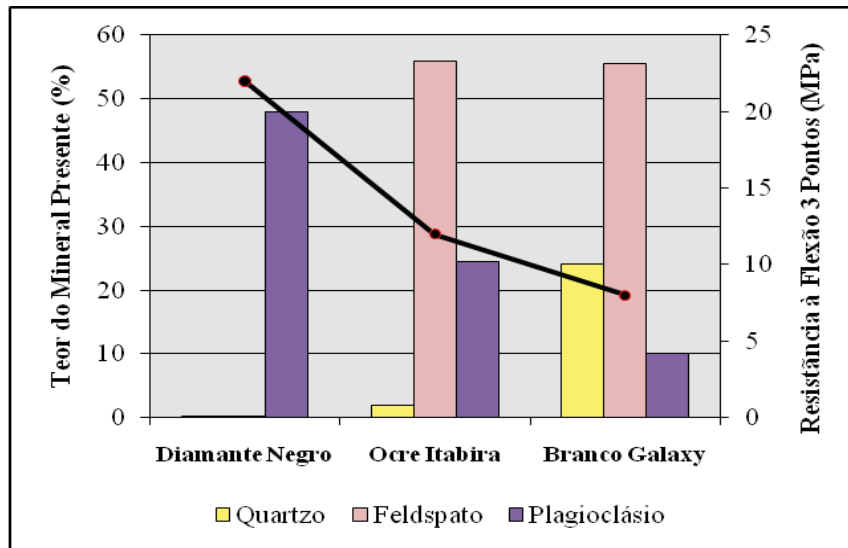
ocorreu nesta pesquisa, já que o ensaio foi executado somente com amostras em estado seco. Mesones (2003) reitera ainda que utilizando-se outras variáveis (cargas de tráfego, formato da peça e resistência à flexão) numa equação de equilíbrio é possível adaptar a rocha para qualquer uso através do redimensionamento de sua *espessura*.

Com relação à flexão 4 pontos, apesar de apresentar valor de tensão idêntico ao do tipo Ocre Itabira (8 MPa), a análise do coeficiente de variação apresentado na Tabela 6.1, revela que a resistência encontrada para o Branco Galaxy varia em uma proporção bem menor, sendo portanto um valor mais confiável.

De uma forma geral, e estabelecendo-se correlação com os aspectos petrográficos, tem-se que os resultados de tensão encontrados justificam-se pela discreta anisotropia do material, granulação grosseira a pegmatóide e alto grau de microfissuramento relativo (0,56 microfissuras/mm<sup>2</sup>).

Além da incontestável influência da anisotropia e do grau de microfissuramento, o estudo de Tuğrul & Zarif (1999) propõe uma correlação entre a resistência e o tamanho dos grãos de quartzo, feldspato e plagioclásio presentes na rocha. Segundo este estudo, quanto mais presente estiverem estes minerais na composição do material, em tamanhos consideráveis, a tendência é que seu microfissuramento seja também maior, o que determinaria um decaimento na resistência.

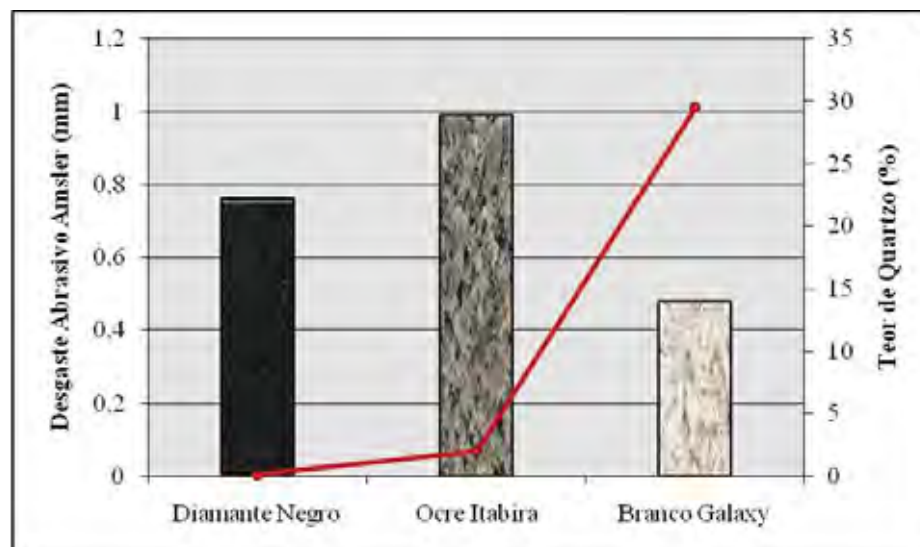
Levando-se em consideração a Figura 6.10 obtida para a resistência à flexão 3 pontos, observa-se que a correlação proposta (op. cit) é válida para as variedades petrográficas estudadas, sendo também um fator a influenciar os valores de tensão obtidos. No entanto, a correlação para o material Branco Galaxy na mesma figura é bastante ilustrativa, devendo sua interpretação levar em conta fatores como a granulação dos corpos de prova submetidos aos ensaios, uma vez que a rocha no todo apresenta, além da granulação natural grossa, porções tipicamente pegmatóides.



**Figura 6.10.** Correlação entre o tamanho máximo dos grãos (colunas) e resistência à flexão 3 pontos (linha cheia) das rochas estudadas.

### 6.5. Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler

Os resultados do ensaio de resistência à abrasão pelo método Amsler encontram-se na Tabela 6.1, enquanto a Figura 6.11 estabelece a correlação entre os respectivos dados obtidos e o teor de quartzo de cada rocha analisada.



**Figura 6.11.** Correlação entre desgaste abrasivo Amsler (colunas) e teor de quartzo (linha cheia) das rochas estudadas.

Com base na análise da figura acima, observa-se que os três tipos petrográficos estão dentro do valor referencial ( $\leq 1,0$  mm) constante na norma ABNT NBR 15844 (2010). Porém, cabe ressaltar que os valores obtidos têm significado relativo, permitindo somente comparar as rochas ensaiadas, uma vez que ainda há uma enorme lacuna entre os dados obtidos em laboratório e as solicitações reais às quais os materiais estarão submetidos.

Para interpretação dos dados referentes ao desgaste abrasivo, tem-se que os aspectos petrográficos mais influentes para os materiais são: dureza dos minerais presentes, textura (arranjo e granulação), teor de quartzo, e grau de alteração mineral.

O litotipo Diamante Negro, o qual apresentou desgaste abrasivo de 0,76 mm, explica seu resultado tecnológico pela combinação de vários fatores, destacando-se a granulação pronunciadamente fina e o bom engrenamento mineral. O tamanho diminuto de seus cristais tornaria a área exposta à abrasão relativamente menor do que os outros materiais ensaiados, o que elevaria sua resistência ao desgaste. Quanto à composição mineralógica, apesar do teor de quartzo ser praticamente nulo, apresenta plagioclásio e clinopiroxênio em grandes quantidades, minerais de dureza entre 5 e 6. Contudo, numa situação prática, a percepção visual empírica da perda de lustro devido ao desgaste abrasivo seria mais notada neste material, do que nos outros materiais estudados, dada a coloração marcadamente preta.

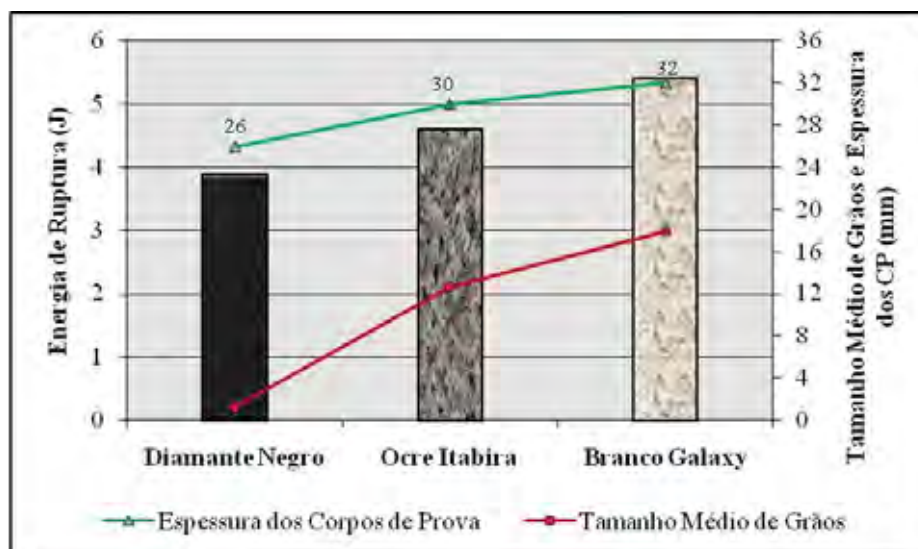
O Ocre Itabira por sua vez, apresenta o maior desgaste (0,99 mm) dentre os tipos estudados. Em relação ao Diamante Negro, apesar de conter 66% de feldspato potássico, mineral de dureza 6, apresenta granulação média grossa, além do baixo teor de quartzo, e de seu moderado microfissuramento, o qual pode facilitar a remoção de partículas durante o percurso abrasivo.

Em relação ao material Branco Galaxy, cujo desgaste foi de 0,48 mm, a justificativa reside essencialmente na sua composição mineralógica, a qual apresenta ao redor de 30% de quartzo em dimensões consideráveis, onde tais cristais representariam então pontos de resistência.

## **6.6. Resistência ao Impacto de Corpo Duro**

Os resultados das determinações de resistência ao impacto de corpo duro estão listados na Tabela 6.1, sendo representados comparativamente na Figura 6.12.





**Figura 6.12.** Correlação entre energia de ruptura (colunas), tamanho médio dos grãos (linha vermelha) e espessura média dos corpos de prova (linha verde) das rochas estudadas.

Conforme descrito anteriormente (*Capítulo 2 – Materiais e Métodos*), para este ensaio considerou-se o método contido na nova norma ABNT NBR 15845 – Anexo H normativo (ABNT, 2010), em que os resultados são expressos pela energia de ruptura (J). No entanto, em termos comparativos, a ABNT NBR 15844 (2010) ainda apresenta valores referenciais em metros, referentes à altura de ruptura. Assim, a Tabela 6.1 apresenta resultados sob ambas as formas (energia e altura de ruptura), destacando-se que os três materiais estudados encontram-se dentro da altura requisitada pela norma ( $\geq 0,3$  m).

A Figura 6.12 estabelece correlação com a espessura dos corpos de prova utilizados, por ser este um parâmetro que também influencia a altura de ruptura, além do tamanho de grãos. Outros aspectos petrográficos que podem exercer controle na resistência ao impacto das rochas são a anisotropia, textura (entrelaçamento/imbricamento mineral), microfissuramento e grau de alteração mineral.

O tipo comercial Diamante Negro, de granulação fina e caráter isotrópico, representaria o material com a maior resistência ao impacto, segundo os bons resultados obtidos para os outros ensaios de resistência (compressão uniaxial e flexão três e quatro pontos). No entanto, foi o material a apresentar a menor energia (3,9 J) e altura (0,4 m) de ruptura dentro o conjunto estudado. Supõe-se então que a espessura de seus corpos de prova (média de 2,6 cm), menor em relação às outras duas rochas, traduziria melhor o resultado obtido, uma vez que placas de espessuras mais finas necessitariam de menos energia para romper. A norma utilizada para este ensaio (ABNT NBR 15845, 2010) permite que os corpos de prova tenham

espessuras diferentes, o que dificulta a comparação entre os três materiais. Além disso, vale ressaltar que este é um ensaio executado num *produto* de rocha, de forma que este não traduz as características da rocha como um todo.

O Ocre Itabira apresentou resistência ao impacto intermediária dentre os três materiais tanto para a energia (4,6 J), quanto para a altura (0,5 m) de ruptura. Seguindo-se a lógica do caso anterior, a resistência ao impacto encontrada condiz com as espessuras utilizadas (3,0 cm), também medianas dentre os corpos de prova dos outros dois materiais. O resultado tecnológico também pode ser explicado pela sua estrutura isotrópica, o qual superaria as deficiências decorrentes da granulação variável e grau de microfissuramento.

Por sua vez, o Branco Galaxy é o material detentor da maior altura (0,6m) e energia (5,4 J) de ruptura. A correlação petrográfica que explica o resultado obtido reside no seu aspecto textural bastante heterogêneo, onde os cristais de maiores dimensões representariam áreas de exposição a atenuar a energia de impacto. Pela perspectiva da espessura, o resultado encontrado também é coerente, dado que as placas utilizadas possuíam espessuras maiores (3,2 cm) que as outras duas rochas estudadas, requerendo assim uma maior energia para ruptura.

## **6.7. Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais**

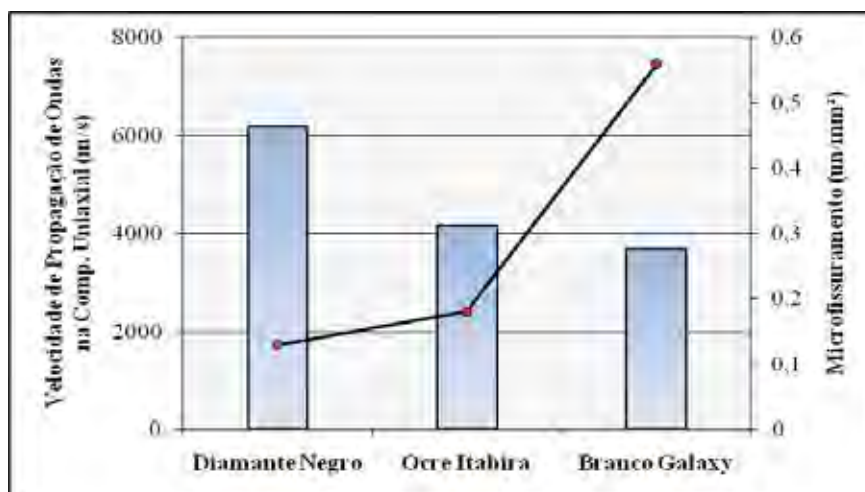
Os valores médios das velocidades de propagação das ondas ultrassônicas para os materiais estudados encontram-se reunidos na Tabela 6.1. Nas Figura 6.13 a 6.15 os resultados obtidos são correlacionados com o microfissuramento.

A utilização dos métodos ultrassônicos no campo da engenharia de materiais consiste principalmente na detecção e avaliação de descontinuidades superficiais (SANTIM, 1996). No estudo de rochas ornamentais, o emprego desta técnica é crescente, sendo utilizada para determinação das propriedades físicas (WEISS et al., 2000, 2001 apud NAVARRO et al., 2003), estrutura e tamanho de grãos das rochas (RUEDRICH et al, 2001a; 2001b, apud NAVARRO et al., 2003).

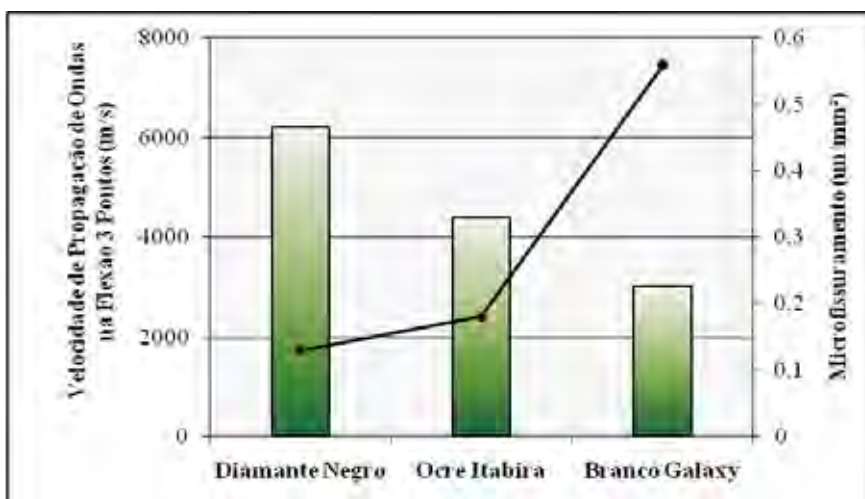
Estudos de Schön (1996), Kahraman (2002) e Meyer (2003a), dentre outros, estabelecem que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas está diretamente relacionada com muitas propriedades das rochas, como a anisotropia, aspectos texturais,

microfissuramento, grau de sanidade e coesão, configurando-se, desta forma, em um importante índice para qualificação e avaliação de seu comportamento físico e mecânico.

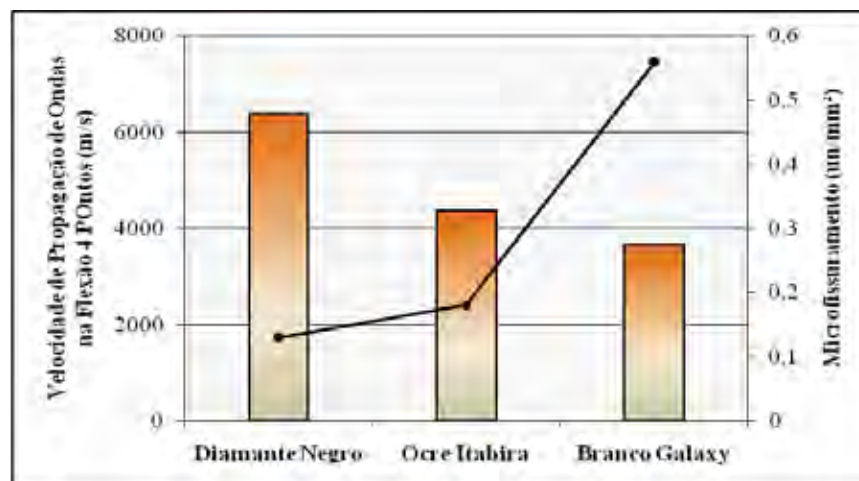
Schön (1996) e Rzhevsky & Novik (1971) complementam que a composição modal da rocha também influencia diretamente nesta técnica, uma vez que cada mineral apresenta uma velocidade de propagação de ondas específica, de modo que as rochas poliminerálicas configuram naturalmente meios heterogêneos que causam distúrbios de propagação.



**Figura 6.13.** Correlação entre as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas na compressão uniaxial (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.



**Figura 6.14.** Correlação entre as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas na Flexão 3 Pontos (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.



**Figura 6.15.** Correlação entre as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas na Flexão 4 Pontos (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.

Em termos comparativos, a norma ABNT NBR 15844 (2010) não traz valores referenciais para a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, sendo aqui utilizado aquele sugerido por Frazão e Farjallat (1995), ou seja,  $\geq 4.000$  m/s.

Dentro deste contexto, as variedades petrográficas Ocre Itabira e Diamante Negro apresentam valores de velocidade de propagação de ondas que se situam acima do sugerido, condizentes com suas resistências mecânicas e propriedades petrográficas avaliadas nos itens anteriores. O material Branco Galaxy apresentou valores inferiores às outras duas rochas para os três formatos de corpos de prova estudados (resistência à compressão uniaxial e resistência à flexão 3 e 4 pontos). Porém, considerando-se os dados estatísticos de desvio padrão e coeficiente de variação da Tabela 6.1, pode-se considerar os valores obtidos como sendo produto das heterogeneidades texturais da rocha e, portanto, não deve ser tomado como absoluto.

No que diz respeito à correlação com os aspectos petrográficos, as velocidades fornecidas pelos litotipos estudados mostram boa coerência com as características petrográficas inerentes a cada rocha, principalmente em relação à composição mineralógica, granulação e microfissuramento dos materiais.

Sendo assim, dentre o conjunto estudado o Diamante Negro é a rocha que apresenta as maiores velocidades de propagação de ondas, com média de 6.256 m/s entre os ensaios considerados. Isso se deve, além de sua granulação fina, e seu baixo grau de microfissuramento, à sua composição mineralógica rica em minerais máficos, como o clinopiroxênio (augita). Segundo Rzhovsky & Novik (1971) este é um mineral que possui velocidades de propagação de ondas ao redor de  $7,1 \times 10^3$ .

O tipo Ocre Itabira apresentou velocidades médias que ficam ao redor de 4.300 m/s. Apesar da estrutura isotrópica e bom engrenamento mineral, como o tipo Diamante Negro, a rocha apresenta textura tipo pórfiro e granulação média a grossa, características petrográficas que contribuem para diminuir a velocidade de propagação de ondas. Do ponto de vista composicional, pode-se atribuir o resultado encontrado ao ortoclásio, (feldspato potássico) que é o mineral predominante, perfazendo 66% do volume da rocha (matriz e fenocristais). Embora Rzhovsky & Novik (1971) apresentem valores de velocidade de ultra-som de  $5,68 \times 10^3$  m/s para esse mineral, a velocidade média encontrada para o Ocre Itabira pode ter sido controlada pelo expressivo fraturamento observado no ortoclásio.

A variedade petrográfica Branco Galaxy, rocha quartzo-feldspática de elevada heterogeneidade textural, caracterizada por granulação geral grossa a pegmatóide, apresenta as menores velocidades de ondas ultrassônicas (média de 3459 m/s) dentre o conjunto estudado. Tal comportamento tecnológico também é influenciado pelo teor de quartzo (~30%) e feldspato potássico (50%) presentes, já que ambos minerais apresentam-se bastante microfissurados, diminuindo a velocidade de propagação das ondas, uma vez que esta é atenuada pelas descontinuidades físicas.

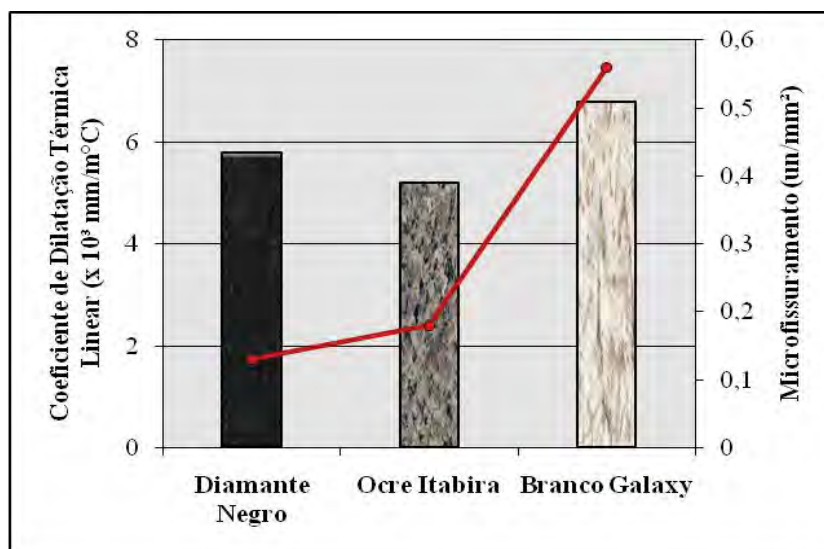
## 6.8. Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

Os valores de coeficiente de dilatação térmica linear para as rochas estudadas encontram-se listados na Tabela 6.1, enquanto sua representação gráfica é apresentada na Figura 6.16.

Comparativamente, os coeficientes de dilatação térmica linear dos três materiais analisados situam-se abaixo do valor referencial estabelecido pela ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010) de  $8 \times 10^{-3}$  mm/m °C, demonstrando boa correlação com os aspectos petrográficos inerentes a cada um dos três tipos.

De uma forma geral, a dilatação térmica linear é controlada primeiramente pela composição mineral, especialmente pelos teores de quartzo e mica (NAVARRO et al., 2005), e secundariamente pela anisotropia e pela porosidade, dada também pelo microfissuramento. Segundo estudo de Castro Lima (2002 apud MEYER, 2003a), enquanto em rochas com baixo grau de microfissuramento e fraca anisotropia a dilatação se reflete diretamente num aumento

do volume, em rochas com elevados graus de microfissuramento parte da dilatação é absorvida pelo fechamento das microfissuras.



**Figura 6.16.** Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (colunas) e microfissuramento (linha cheia) das rochas estudadas.

As duas rochas com menores coeficientes de dilatação são o Diamante Negro ( $5,8 \times 10^{-3} \text{ mm/m }^\circ\text{C}$ ) e o Ocre Itabira ( $5,2 \times 10^{-3} \text{ mm/m }^\circ\text{C}$ ), já que são rochas com pouco ou praticamente isentas de quartzo. O valor do coeficiente de dilatação fornecido pelo material Diamante Negro é considerado coerente com seus aspectos petrográficos. Segundo dados de Rzhovsky & Novik (1971), rochas de composição básica como basaltos, diabásios e gabros apresentam valores de dilatação na ordem de  $5,4 \times 10^{-3} \text{ mm/m }^\circ\text{C}$ . Comparativamente, o Diamante Negro deveria apresentar um coeficiente de dilatação menor que o Ocre Itabira; porém, como este material apresenta grau mais elevado de microfissuramento ( $0,18/\text{mm}^2$ ), estando  $\sim 20\%$  das microfissuras abertas, acaba por sofrer um amortecimento (redução) na dilatação. Por outro lado, o Diamante Negro com granulação mais fina e praticamente desprovido de microfissuramento apresenta maior expansão.

O Branco Galaxy, em função do seu teor de quartzo (30%) com dimensões avantajadas, deveria apresentar um coeficiente de dilatação próximo a  $8,0 \times 10^{-3} \text{ mm/m }^\circ\text{C}$ . No entanto, apresentou forte redução no coeficiente de dilatação ( $6,8 \times 10^{-3} \text{ mm/m }^\circ\text{C}$ ) em virtude dos planos de clivagens relativamente abertos do feldspato potássico, além do grau de microfissuramento ser mais pronunciado, em muitos casos visíveis em amostras de mão, estando 60% das microfissuras abertas.

## 7

**ENSAIOS DE ALTERAÇÃO ACELERADA E DISCUSSÃO DOS DADOS**

---

As rochas ornamentais e para revestimento estão sujeitas, nas suas mais variadas formas de utilização em obras civis, a diversas solicitações de natureza física, mecânica, biológica e química (MEYER et al., 2003). Dentre elas destaca-se a ação de substâncias químicas agressivas do cotidiano e a exposição à atmosferas agressivas/poluídas, de forma que a utilização destes materiais sem critérios definidos poderá acarretar em degradações dos mais diversos tipos, como perda do lustro, manchamentos, transformações minerais, alterações cromáticas, entre outros.

Diante deste fato, além dos ensaios de caracterização físico-mecânicos, as tecnologias utilizadas para investigação em rochas ornamentais e de revestimento abrangem também ensaios de alteração química sob o efeito de determinados agentes agressivos, o que permite a integração de parâmetros petrográficos, físicos, mecânicos e químicos, de forma a especificar corretamente o uso desses materiais na construção civil (FRASCÁ, 2002).

Tais ensaios de alteração acelerada, assim denominados uma vez que seus mecanismos de atuação são mais agressivos que os desenvolvidos em tempo natural, simulam situações de exposição dos materiais rochosos aos reagentes químicos utilizados na limpeza e manutenção das rochas, bem como à atmosferas agressivas/poluídas. Os resultados dessas simulações permitem entender os mecanismos de degradação, e a partir disso desenvolver as *medidas preventivas* para evitar ou retardar o “envelhecimento” da rocha.

De forma análoga ao capítulo anterior, as devidas correlações entre o comportamento de alteração acelerada dos materiais e seus respectivos aspectos petrográficos são estabelecidas no decorrer da apresentação dos resultados.

## 7.1. Resistência ao Ataque Químico Sob Efeito de Reagentes Agressivos

O poder agressivo das soluções utilizadas, permitindo acelerar o processo de degradação das rochas, foi analisado com relação à perda de brilho (%) e alterações cromáticas, observando-se a olho nu as superfícies das placas atacadas. Em termos práticos, isso expressa os tipos de alterações que podem ocorrer nas rochas quando a especificação do material não foi a mais correta, bem quando do uso destas substâncias de maneira inadequada.

### 7.1.1 Perda de brilho

A síntese dos resultados de medidas de brilho e perda de brilho obtida para as rochas estudadas encontra-se na Tabela 7.1 abaixo, enquanto os gráficos comparativos encontram-se nas Figuras 7.1 e 7.3.

**Tabela 7.1.** Medidas de brilho e porcentagem de perda de brilho obtida nos materiais estudados submetidos ao ensaio de ataque químico.

Reagentes	Materiais Estudados								
	DIAMANTE NEGRO			OCRE ITABIRA			BRANCO GALAXY		
	BI	BF	%	BI	BF	%	BI	BF	%
NH <sub>4</sub> Cl	95,9	97,6	+1,8	78,6	75,8	-3,6	71,2	71,4	+0,3
NaClO	100	97,6	-2,1	79,4	77,4	-2,5	55,1	58,0	+5,3
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	94,0	84,6	-10,0	75,6	72,8	-3,7	70,4	70,6	+0,3
HCl	99,1	81,0	-18,7	78,8	67,0	-15,0	44,4	39,5	-11,0
KOH	97,6	89,0	-8,8	78,6	74,9	-4,7	69,2	65,7	-5,1

**BI:** brilho inicial

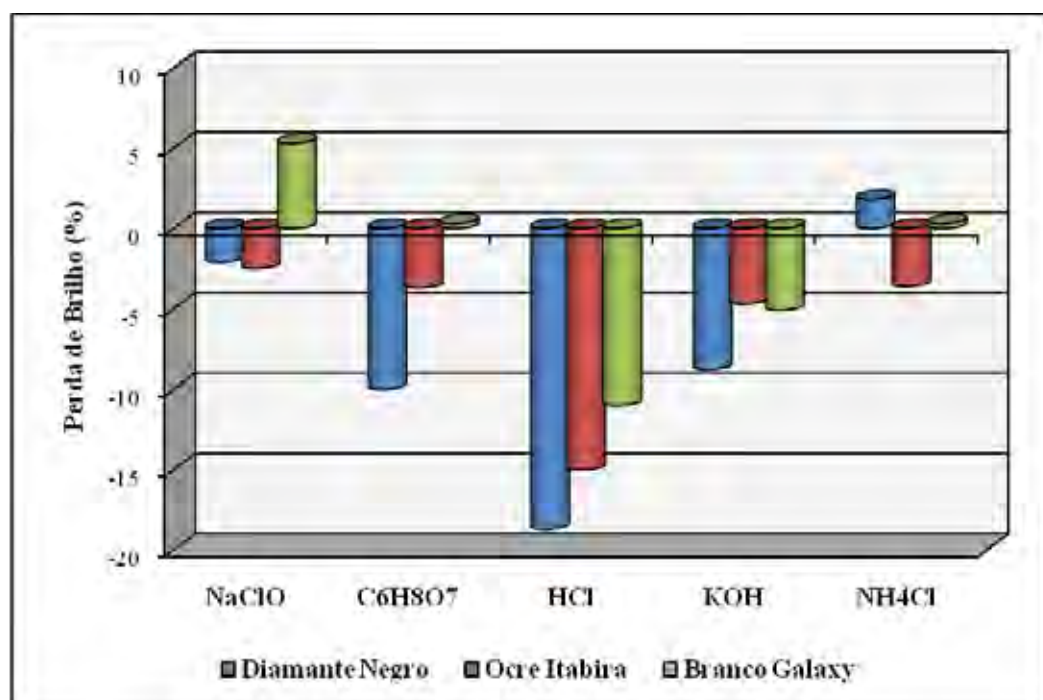
**BF:** brilho após ataque químico

**%:** porcentagem perda de brilho

A análise da Tabela 7.1 e da Figura 7.1 possibilita visualizar que os três materiais sofreram perdas de brilho distintas entre si, em maior ou menor proporção, dependendo do tipo de reagente com os quais foram atacados. De forma geral, tem-se que as substâncias mais agressivas, em ordem decrescente, são: ácido clorídrico (HCl), hidróxido de potássio (KOH), ácido cítrico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>), hipoclorito de sódio (NaClO) e cloreto de amônia (NH<sub>4</sub>Cl).



O poder agressivo destes compostos, além de outros fatores, tem uma possível relação com o tempo de atuação dos mesmos. O ácido clorídrico (HCl) e a base hidróxido de potássio (KOH), reagentes que mais danificaram os três materiais, permaneceram em contato com a placa de rocha por um período de tempo maior (96 horas) que os demais reagentes (24 horas), de forma que as reações químicas na superfície dos materiais podem se prolongar. Além disso, observa-se para o ácido clorídrico que seu acentuado poder deletério está possivelmente ligado à grande concentração de íons  $H^+$  em sua composição, os quais, segundo Aires-Barros (1991), substituem os cátions presentes nos minerais formadores das rochas, liberando-os da estrutura cristalina para a solução. Os efeitos do hidróxido de potássio sobre as rochas ornamentais encontram-se pouco ou ainda não divulgados na literatura pertinente.



**Figura 7.1.** Perda de brilho das rochas estudadas após ataque químico com reagentes agressivos.

Observa-se também que alguns dos materiais não apresentaram perda de brilho após o ataque, mas ao contrário, demonstraram um aumento relativo deste parâmetro. Esta situação ocorreu principalmente com o tipo Branco Galaxy após os ataques com os reagentes hipoclorito de sódio (aumento de +5%), ácido cítrico (+0,3%) e cloreto de amônia (+0,3%), e com o tipo Diamante Negro após o ataque químico com o cloreto de amônia (aumento de +1,8%). Uma vez que estes ganhos são pequenos, não ultrapassando 5% de variação, pode-se

explicar este resultado a partir de duas hipóteses: a primeira, e mais provável, baseia-se no fato de que as amostras utilizadas não são homogêneas, havendo variações mineralógicas e texturais locais, de forma que, embora as medidas de brilho tenham sido efetuadas na mesma área das placas antes e após o ataque, há a possibilidade de se ter atingido minerais ou pontos distintos dos iniciais. A segunda hipótese justifica-se no sentido dos reagentes terem efetuado uma aparente limpeza na superfície das placas, removendo minerais secundários, como os carbonatos, o que também culminaria num aumento de brilho, uma vez que a remoção de impurezas torna a superfície mais lisa.

Com relação ao hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ), as perdas de brilho foram baixas, variando em torno de -2% a -2,5% para as variedades Diamante Negro e Ocre Itabira, respectivamente, sendo esta substância considerada, no escopo do experimento, como não agressiva para o conjunto de rochas estudado. A variedade Branco Galaxy, como descrito acima, apresentou ganho de brilho para este reagente.

Para o ácido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ), a ação deletéria foi mais acentuada, com exceção do Branco Galaxy, sendo que os outros dois materiais estudados perderam -10% (Diamante Negro) e -3,7% de brilho (Ocre Itabira).

O ataque com ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) foi o mais agressivo dentre os compostos ensaiados, sendo que todas as três rochas apresentaram perda de brilho superiores a -10%, a saber: -18%, para o material Diamante Negro, -15%, para o Ocre Itabira, e -11% para o Branco Galaxy.

O hidróxido de potássio ( $\text{KOH}$ ), única base utilizada no ataque químico provocou perdas de brilho de aproximadamente -9% (Diamante Negro), -4,5% (Ocre Itabira) e -5% (Branco Galaxy), especulando-se que sua ação deletéria seja causada pelos íons  $\text{OH}^-$  presentes na solução. Porém, uma vez que os mecanismos precisos de alteração não são encontrados na literatura, seria necessário que a hipótese fosse corroborada por análises químicas.

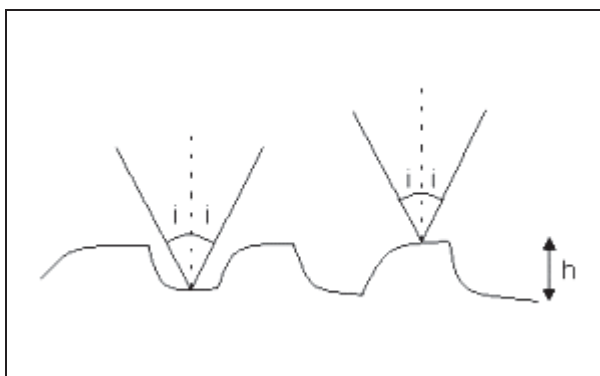
O cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) por sua vez, reagente com menor poder de alteração sobre os materiais estudados, provocou pequena perda de brilho apenas para o material Ocre Itabira (-3,5%), tendo o Diamante Negro e Branco Galaxy aumentado o brilho pós ataque químico em poucos pontos percentuais.

A perda de brilho provocada nos materiais estudados a partir da atuação dos diferentes reagentes utilizados no ataque químico, embora em maior ou menor intensidade, possui mecanismo semelhante de degradação. Embora em caráter sugestivo, já que não foram realizadas análises químicas após o ensaio, supõe-se que tal mecanismo consiste no fato das substâncias químicas presentes nos compostos agressivos reagirem com os elementos

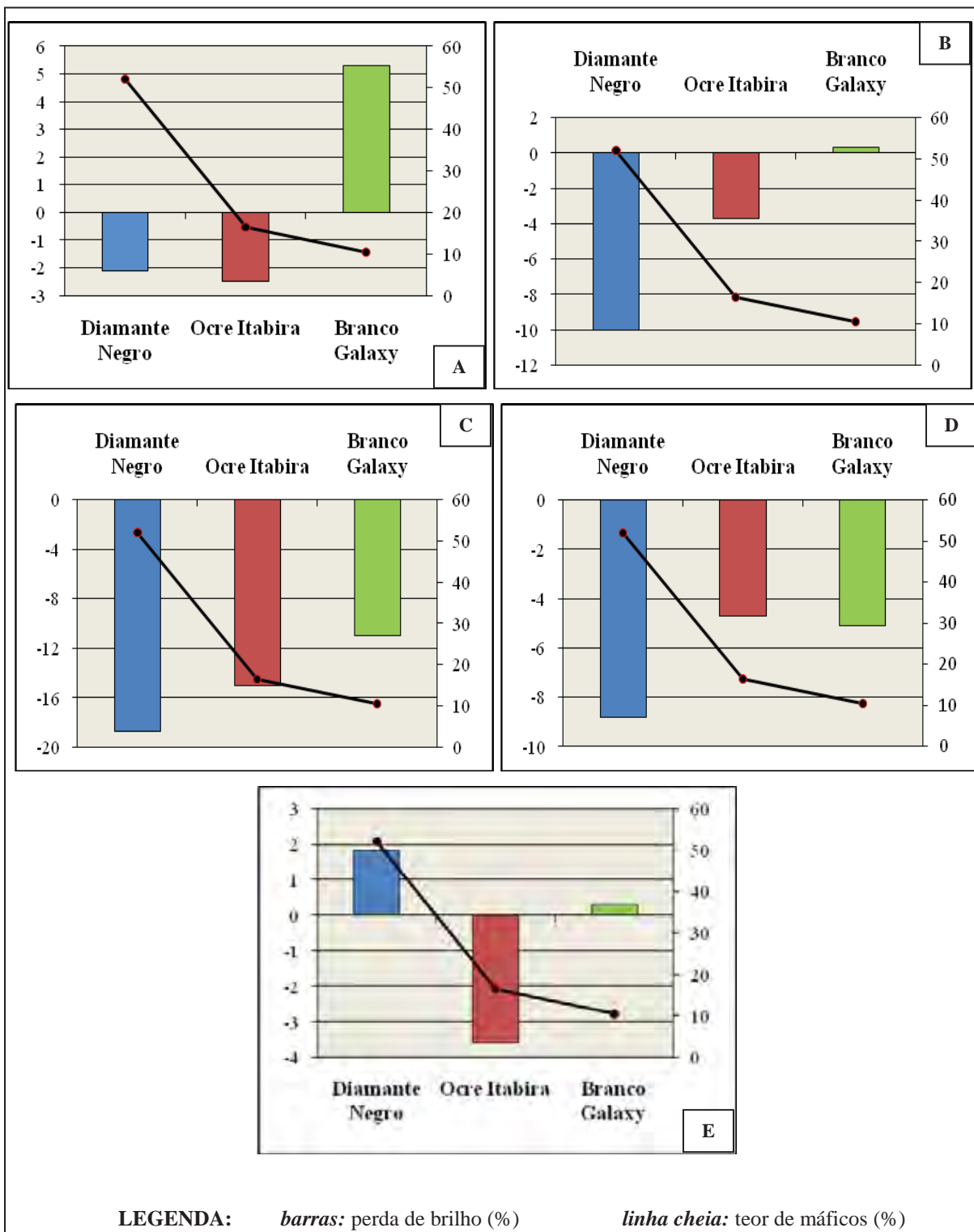
presentes nos minerais formadores das rochas, de forma a carregá-los de sua estrutura cristalina a partir da substituição dos seus cátions, principalmente o  $\text{Fe}^+$ , pelos íons das soluções agressivas. Essas substituições provocariam microrrugosidades na superfície da rocha, de forma que, quando efetuada a medida de brilho, esta é menor que a medição da rocha intacta. Benavente et al. (2003) obtiveram conclusões semelhantes em estudo realizado com rochas carbonáticas.

O mecanismo acima descrito condiz com o estudo de Meeten (1986), segundo o qual, o brilho é uma propriedade ótica que se baseia na interação da luz com as características físicas de uma superfície, sendo, na verdade, a capacidade de uma superfície refletir a luz na direção especular. Ainda segundo o autor citado, os fatores que afetam o brilho são o índice de refração do material, o ângulo da luz incidente e a topografia da superfície, sendo esta última de primordial importância. Assim, materiais com superfícies lisas, as quais possuem maior capacidade de refletir a luz incidente na direção especular, parecem brilhosas, enquanto materiais com superfícies rugosas, que refletem menor quantidade de luz nesta direção, parecem então foscas.

De acordo com o exposto, superfícies rugosas influenciam os índices de reflectância especular, diminuindo seu brilho. Entende-se então que a degradação ocorrida na superfície das placas de rocha estudadas, a partir do ataque químico com os reagentes agressivos, torna a superfície áspera, o que significa uma mudança na sua topografia. Essa mudança irá provocar inconformidades entre os raios incididos e refletidos, diminuindo a componente especular e espalhando a luz em outras direções (Figura 7.2), o que explica a perda de brilho dos materiais após o contato com os reagentes agressivos.



**Figura 7.2.** Reflexão especular da luz a partir de uma superfície rugosa (MEETEN, 1986).



**Figura 7.3.** Correlação entre perda de brilho e teor de minerais máficos das rochas estudadas após ataque com reagentes químicos (A) hipoclorito de sódio, (B) ácido cítrico, (C) ácido clorídrico, (D) hidróxido de potássio e (E) cloreto de amônia.

### 7.1.2 Variação cromática

No que diz respeito à variação cromática, o Diamante Negro foi o material que apresentou maior degradação, uma vez que, dentre os três litotipos estudados, é o que possui coloração mais escura devido ao grande teor de minerais máficos.

Apesar da baixa porosidade e absorção d'água do material, bem como de sua granulação fina, os quais amenizam a percolação dos fluidos agressivos, a composição mineralógica é a propriedade petrográfica mais relevante no ataque químico, sendo que geralmente, quanto mais rica em minerais máficos é a rocha, maior sua tendência em mostrar os efeitos deletérios causados pelos reagentes agressivos.

O ácido clorídrico é o composto mais agressivo para essa rocha, tendo provocado forte descaracterização cromática a partir do total branqueamento da área atacada. Em nível decrescente, o Diamante Negro também apresentou resposta aos reagentes ácido cítrico e hidróxido de potássio, os quais causaram branqueamentos bem menos evidentes. As mudanças cromáticas provocadas pelo cloreto de amônia e hipoclorito de sódio são praticamente imperceptíveis, sugerindo que tais compostos não são muito reagentes com a assembléia mineralógica desta rocha (Figura 7.7).

O Ocre Itabira por sua vez, reagiu de forma semelhante ao Diamante Negro para alguns compostos, porém com menor intensidade (Figura 7.8), por ter uma quantidade bem menor de minerais máficos e ser composto de mais de 50% de feldspato potássico, mineral que aparentemente é bastante resistente ao ataque químico por reagentes agressivos (SIMÃO, 2003).

O único reagente que causou desbotamento evidente neste material foi também o ácido clorídrico, tendo ainda provocado leve corrosão das biotitas e dissolução de apatitas, conforme constatado em lupa binocular e ilustrado na Figura 7.4. Atribui-se este resultado à sua textura média a grossa, menor grau de imbricamento mineral e microfissuramento moderado, aspectos petrográficos que contribuem à reatividade do ácido clorídrico. Com exceção do ácido cítrico, reagente que provocou leve descaracterização cromática, não é possível observar efeitos deletérios no Ocre Itabira causados pelos outros compostos agressivos.

O Branco Galaxy foi o material a apresentar resultados bem distintos, quando comparado às outras duas rochas estudadas. Considera-se sua elevada heterogeneidade textural, a coloração clara, elevado teor de feldspatos potássicos e quartzo, e principalmente seu aspecto pegmatóide, como propriedades petrográficas influentes nos resultados.



**Figura 7.4.** (A) Setas indicando pequenas pontuações esbranquiçadas provenientes da dissolução da apatita e (B) corrosão das biotitas.

Não foram constatados efeitos deletérios na coloração do material após os ataques com os reagentes hipoclorito de sódio, cloreto de amônia e ácido cítrico. De forma generalizada, a falta de correlação com as outras rochas, a ausência de efeitos visíveis e a porcentagem positiva na variação de lustro descrita no subitem anterior permitem concluir com certa segurança que se trata de substâncias não agressivas no escopo do experimento para o litotipo estudado (Figura 7.9).

O ácido clorídrico causou escurecimento da placa, semelhante ao aspecto de umidade, seguido de um aspecto de sujidade, provavelmente porque o fluido reagente enriquecido em hidróxido de ferro preencheu as microfissuras do material, espalhando-se por toda superfície da placa. Além disso, houve percolação até o tardo da placa, uma vez que este material oferece boas condições para a circulação de fluidos (alto microfissuramento), permitindo facilmente a lixiviação dessa solução para a face oposta e conseqüentemente, o transporte de elementos químicos entre as duas superfícies da placa. No tardo é possível observar formação de um material semelhante ao hidróxido de ferro (Figura 7.5), mas dado o baixíssimo teor de minerais ricos nesse elemento, é difícil afirmar precisamente.

Por sua vez, o hidróxido de potássio causou moderado amarelamento da superfície, o que pode indicar reação da base com os componentes máficos, essencialmente granada, produzindo óxido de ferro, o qual percolou por toda extensão da placa devido ao elevado estado microfissural da rocha, quando comparada às outras duas variedades estudadas. É interessante notar que para todos os reagentes anteriores, com exceção do ácido clorídrico, não houve quase nenhuma alteração cromática, o que deixa lacunas quanto à explicação

causal do comportamento obtido frente ao hidróxido de potássio. Uma vez que o Branco Galaxy possui elevado teor de quartzo e feldspato potássico, minerais pouco susceptíveis ao ataque químico, há de se estudar mais a fundo as razões de sua alteração mais pronunciada em relação às outras rochas estudadas.



**Figura 7.5.** Tardoz da placa do material Branco Galaxy atacado com ácido clorídrico.

De forma generalizada, procurou-se estabelecer os principais mecanismos de degradação química que levaram os materiais estudados às mudanças colorimétricas observadas, após o ataque com os compostos agressivos. Ressalta-se que estudos nesse sentido são escassos na literatura ou de difícil acesso, sendo algumas relações encontradas nas obras de Aires-Barros (1991), Winkler (1994) e Simão (2003).

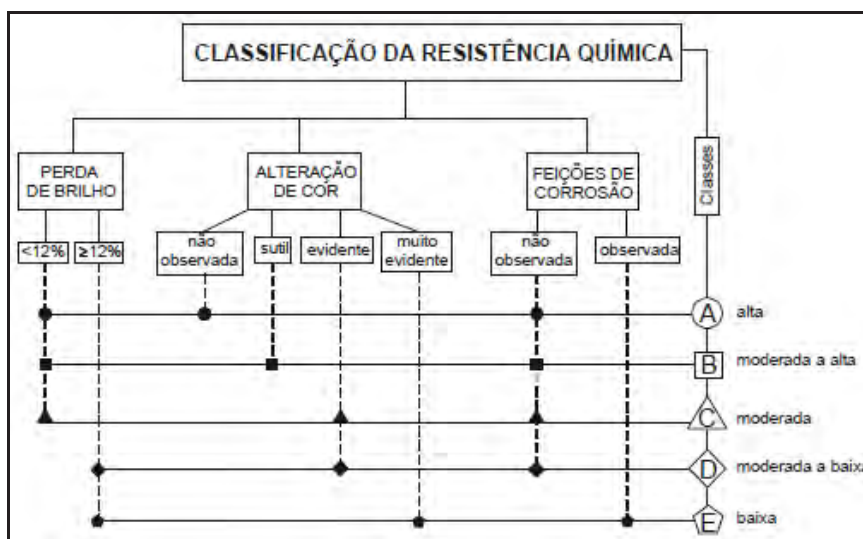
Segundo Winkler (1994), a coloração das rochas ornamentais é conferida principalmente pelo ferro presente nos minerais que as compõe, haja vista ser este o elemento cromóforo mais comum. Aires-Barros (1991) salienta que uma das principais reações de alteração das rochas compreende a dissolução deste e de outros elementos presentes em seus componentes minerais, a partir de uma substância agressiva.

Supõe-se que os íons presentes nos compostos agressivos, principalmente o  $H^+$  dos reagentes ácidos utilizados ( $HCl$  e  $C_6H_8O_7$ ), provoquem reações de troca ou substituição com os cátions presentes nos minerais formadores de rochas, de forma a lixiviá-los da estrutura cristalina para a solução. Segundo Simão (2003), geralmente os primeiros elementos a serem

removidos dos minerais silicáticos são Fe, Mg, Ca, Na e K. Os minerais ferromagnesianos são os primeiros a se decompor, gerando óxidos e hidróxidos de ferro e  $Mg^{2+}$ .

O branqueamento característico observado na superfície das placas dos materiais estudados seria então resultado da solubilização provocada pelos compostos agressivos nas substâncias químicas que conferem a coloração natural à rocha, principalmente o ferro. Há, no entanto, a iminente necessidade de se realizar estudos aprofundados neste sentido, de forma a investigar os mecanismos deletérios exatos, responsáveis pela descaracterização cromática das rochas estudadas. As pranchas contendo as ilustrações das placas de rochas estudadas após o ataque químico encontram-se no final deste subitem.

Em termos comparativos, foram utilizados critérios sugeridos por Meyer et al. (2003), os quais propõem uma classe de resistência ao ataque químico, conforme ilustrado pela Figura 7.1. Os resultados obtidos para a comparação dos tipos petrográficos estudados encontra-se na Tabela 7.2. Embora este seja um critério bastante conhecido na literatura, destaca-se que há certa dificuldade em generalizar seu uso, pois o limite de 12% de perda de brilho sugerido é insuficiente. Há um grande número de rochas que se comportam de forma distinta da apresentada, faltando assim dados para aplicá-lo a todos os materiais.



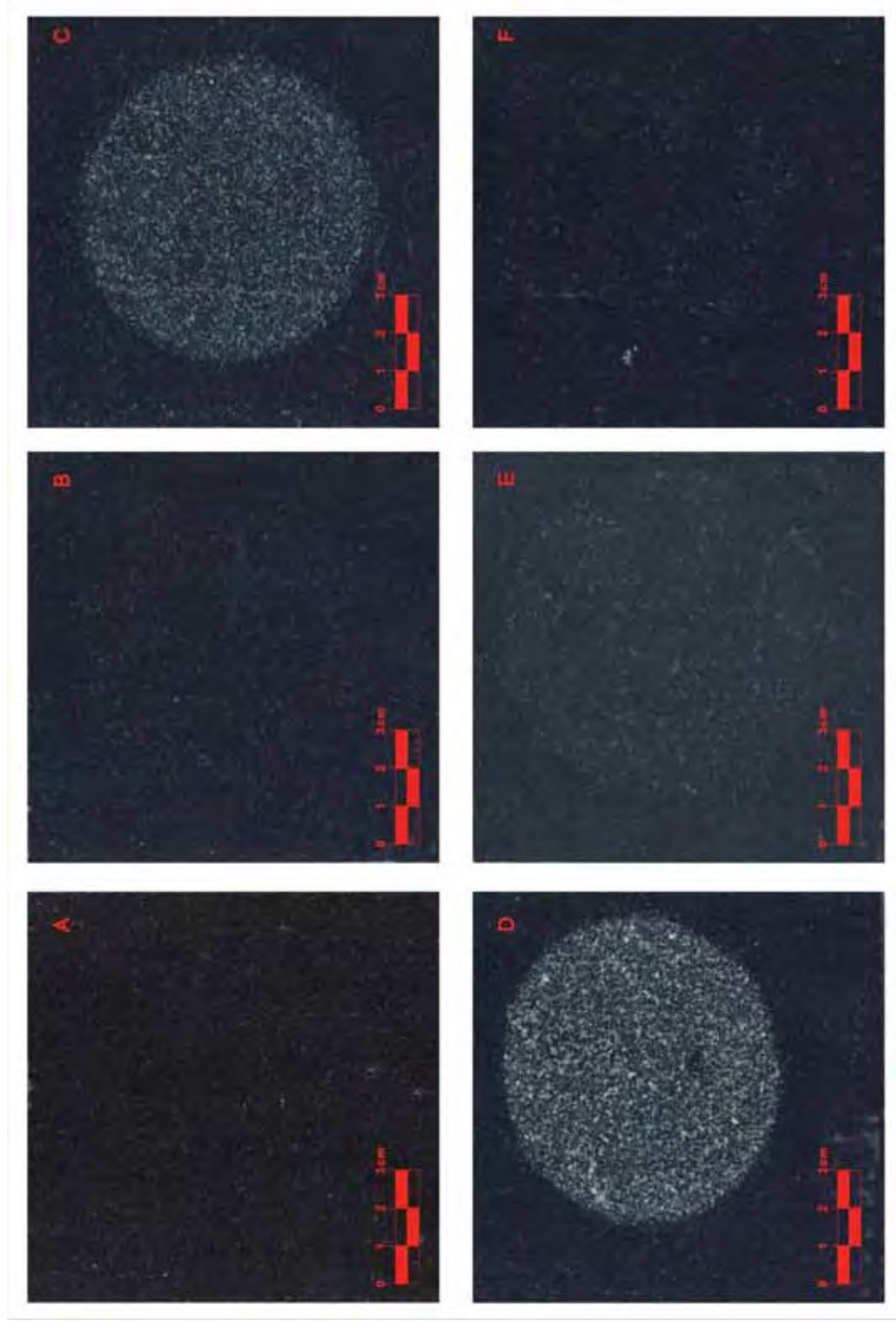
**Figura 7.6.** Critérios adotados para a classificação da resistência ao ataque químico dos materiais estudados (MEYER et al.,2003).



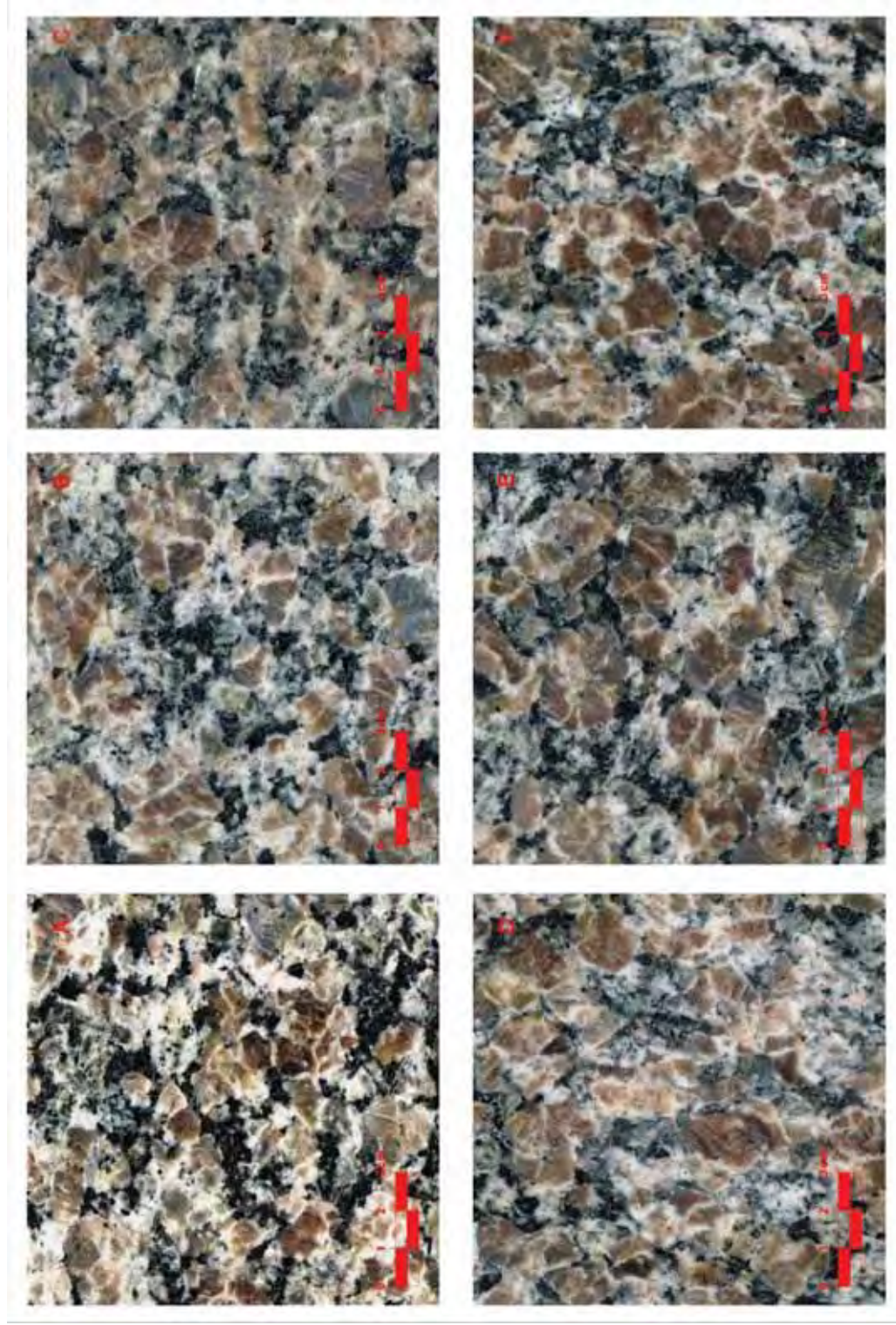
**Tabela 7.2.** Resultados da determinação das classes de resistência ao ataque químico dos materiais estudados, segundo critérios apresentados por Meyer et al. (2003).

Rochas	Reagentes / Classes de Resistência				
	Cloreto de Amônia (NH <sub>4</sub> Cl)	Hipoclorito de Sódio (NaClO)	Ácido Cítrico (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	Ácido Clorídrico (HCl)	Hidróxido de Potássio (KOH)
<i>Diamante Negro</i>	A	A	C	D	B
<i>Ocre Itabira</i>	A	A	B	E	B
<i>Branco Galaxy</i>	A	A	A	C	B

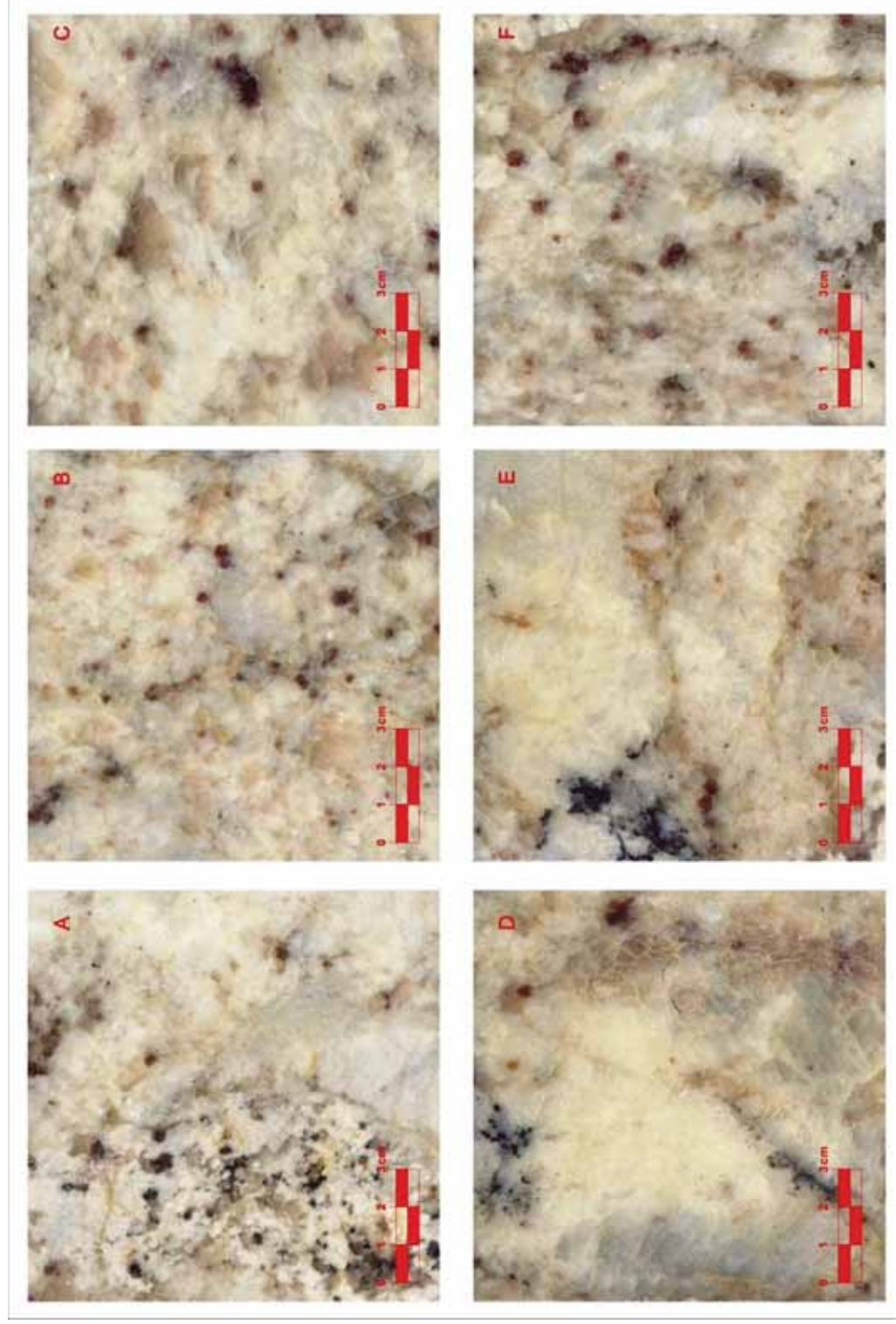
Da tabela acima, depreende-se que o uso de substâncias ácidas e básicas tais como frutas cítricas, refrigerantes e produtos de limpeza contendo os componentes citados tem probabilidade maior de causar dano em rochas como o Diamante Negro e Ocre Itabira. Para o Branco Galaxy, material que apresentou a maior resistência química média dentre os materiais estudados, o uso cotidiano de produtos de limpeza como ácido muriático e sabões a base de KOH na é recomendado.



**Figura 7.7.** Placas polidas da rocha Diamante Negro após ataque com reagentes químicos. (A) padrão, (B) hipoclorito de sódio, (C) ácido cítrico, (D) ácido clorídrico, (E) hidróxido de potássio e (F) cloreto de amônia.



**Figura 7.8.** Placas polidas da rocha Ocre Itabira após ataque com reagentes químicos. (A) padrão, (B) hipoclorito de sódio, (C) ácido cítrico, (D) ácido clorídrico, (E) hidróxido de potássio e (F) cloreto de amônia.



**Figura 7.9.** Placas polidas da rocha Branco Galaxy após ataque com reagentes químicos. (A) padrão, (B) hipoclorito de sódio, (C) ácido cítrico, (D) ácido clorídrico, (E) hidróxido de potássio e (F) cloreto de amônia.

## 7.2. Resistência ao Ataque Químico em Câmeras Com Atmosfera Saturada em Névoa Salina e SO<sub>2</sub>

Para os ensaios de alteração acelerada realizados nas câmeras de exposição à névoa salina e exposição ao dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), foram construídas tabelas listando as alterações ocorridas, bem como gráficos de perda de massa após os ciclos, os quais foram posteriormente associados com documentação fotográfica, alterações cromáticas aferidas em equipamento próprio, conforme listado no subitem 2.4.1.2.1 do Capítulo 2 e imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, apresentados nos subitens pertinentes.

### 7.2.1 Resistência ao Ataque Químico Sob Ação de Névoa Salina

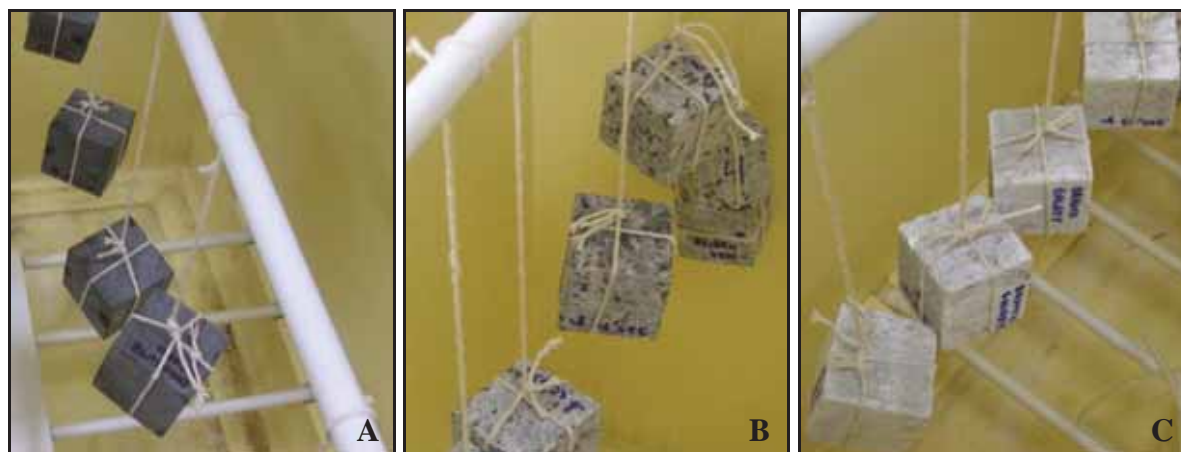
Os efeitos destrutivos causados pela exposição dos materiais rochosos à ação de névoa salina, característica dos ambientes litorâneos da costa brasileira, já são relativamente conhecidos, conforme estudos apresentados por Frascá (2003a), Lima (2006) e Costa (2007). Agindo como um potencial acelerador do processo de degradação natural e também acelerada das rochas, a névoa salina provoca efeitos irreversíveis nestes materiais, prejudicando não só sua estética original, mas principalmente a resistência mecânica, uma vez que, segundo Frascá (2003a), compromete radicalmente a estrutura cristalina de seus minerais componentes.

Conforme descrito detalhadamente no Capítulo 2, o ensaio ciclico de névoa salina teve uma duração de 30 ciclos, de 18 horas cada, correspondendo a 6 horas de névoa salina e 12 horas de secagem. A Figura 7.10, abaixo, ilustra os corpos de prova sendo introduzidos no interior da câmara de névoa salina. Após o término dos ciclos, a câmara foi aberta para inspeção, sendo realizada a documentação das alterações ocorridas, pesagem, medição de cor e brilho, além da obtenção de fotomicrografias ao MEV.

#### 7.2.1.1 Análise geral

Ressalta-se que as alterações observadas deram-se de maneira bastante sutil na maioria dos corpos de prova, sendo difícil a constatação macroscópica. A Tabela 7.3 sumariza

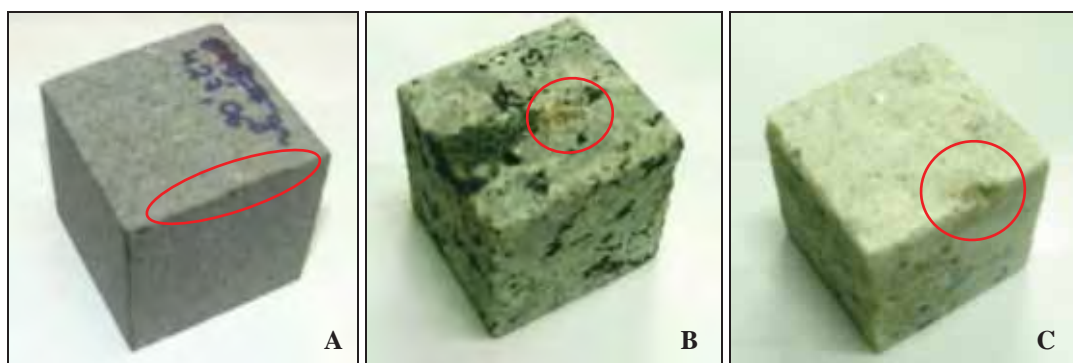
as principais alterações ocorridas, enquanto a Figura 7.11 ilustra os corpos de prova com as alterações mais representativas.



**Figura 7.10.** Corpos de prova das rochas (A) Diamante Negro, (B) Ocre Itabira e (C) Branco Galaxy no interior da câmara de exposição à névoa salina.

**Tabela 7.3.** Relação das alterações mais representativas observadas nas rochas estudadas após término dos ciclos de exposição à névoa salina.

Rochas	Principais Alterações Observadas
Diamante Negro	-borda do corpo de prova apresentando aspecto ferruginoso
Ocre Itabira	-sutil oxidação da biotita -desagregação da borda do corpo de prova
Branco Galaxy	-sutil oxidação da granada -desagregação da borda do corpo de prova



**Figura 7.11.** Corpos de prova das rochas estudadas após ciclos de exposição à névoa salina. (A) Diamante Negro com borda do corpo de prova oxidada, (B) Ocre Itabira apresentando sutil oxidação da biotita e (C). Branco Galaxy com borda do corpo de prova desagregada.

De forma análoga aos ensaios físico-mecânicos, o comportamento tecnológico das rochas estudadas relaciona-se com as propriedades petrográficas inerentes a cada uma delas.

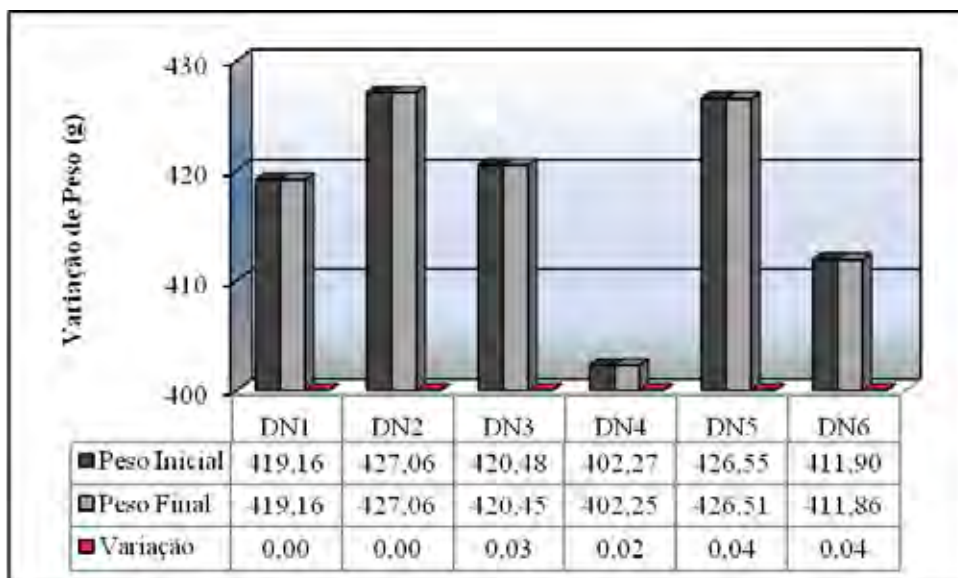
A manutenção das características iniciais do material Diamante Negro, do ponto de vista físico, justifica-se principalmente pela sua coesão mineral e sua baixa porosidade, as quais dificultaram a penetração do sal e sua posterior cristalização. Quimicamente, deduz-se que a tênue mancha na borda do corpo de prova, aparentemente ferruginosa, pode ser um produto da atuação do  $\text{Cl}^-$ , o qual dissocia-se do sal em meio aquoso, reagindo com o  $\text{Fe}^{++}$  presente na composição da augita, principal mineral desta rocha. A alteração dá-se somente na borda, uma vez que as arestas dos corpos de prova configuram locais de maior fraqueza.

Situação semelhante ocorre com a variedade Ocre Itabira. O  $\text{Fe}^{++}$  presente na composição da biotita reage com o  $\text{Cl}^-$  dissociado transformando-se em  $\text{Fe}^{3+}$  e originando a coloração avermelhada característica. Nesta rocha, porém, o considerável microfissuramento combinado com a porosidade constituem meios de infiltração do spray salino. Embora presente, os vazios não são distribuídos homoganeamente pelo material, o que explica a alteração de forma local.

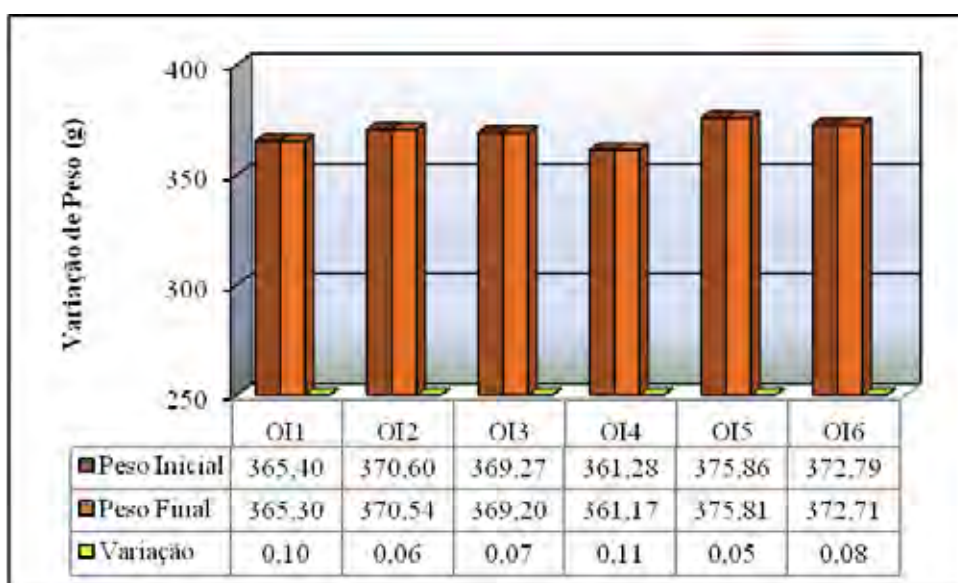
Já no material Branco Galaxy, marcado pelo alto microfissuramento e granulação grosseira, a penetração de sal provocou a desagregação da borda do corpo de prova. Uma vez infiltrado na estrutura cristalina dos minerais constituintes da rocha, a solução salina perde água progressivamente, culminando na cristalização do sal nos planos intergrãos, estufando-os e provocando, posteriormente, desagregação dos constituintes da rocha.

#### 7.2.1.2 Variação de peso

As Figuras 7.12 a 7.14 apresentam a perda de massa dos corpos de prova após o término do ensaio. Pode-se afirmar que, embora em escala pouco significativa, o peso final de todas as rochas após os 30 ciclos foi menor do que o peso inicial, à exceção de alguns corpos de prova que mantiveram seu peso inicial. Segundo Cardell et al. (2003) e Lima (2006), dentre outros, isto ocorre porque a força de cristalização dos sais promove a desagregação/destacamento e conseqüente saída de material (partículas ou grãos) das amostras por meio do alargamento e desenvolvimento de novas fissuras.

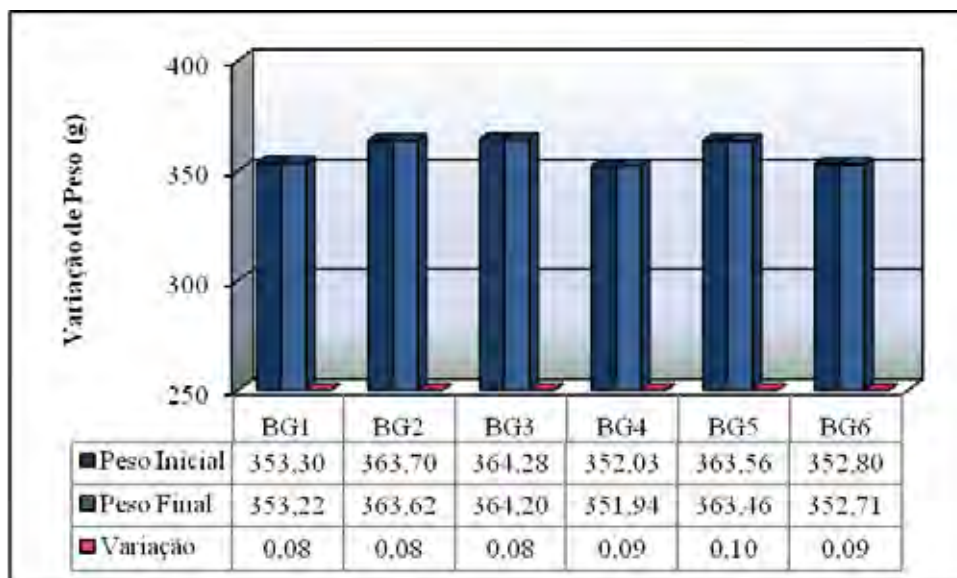


**Figura 7.12.** Variação de peso nos corpos de prova da rocha Diamante Negro após ciclos de exposição à névoa salina.



**Figura 7.13.** Variação de peso nos corpos de prova da rocha Ocre Itabira após ciclos de exposição à névoa salina.





**Figura 7.14.** Variação de peso nos corpos de prova da rocha Branco Galaxy após ciclos de exposição à névoa salina.

De acordo com a análise das figuras observa-se que o litotipo Branco Galaxy é, dentre as rochas estudadas, aquela que sofreu maior variação no peso das amostras, uma vez que esta é também o material com maior porosidade e microfissuramento. Conforme já exposto, e de acordo com os estudos de Frascá (2003a), Cardell et al. (2003), Lima (2006) e Costa (2007), o principal mecanismo de deterioração observado consiste na pressão exercida pelo sais cristalizados nos espaços vazios das rochas estudadas, sendo tanto mais destrutivo quanto maior o número e o tamanho das microfissuras e poros presentes nos mesmos, pois causa alargamento das fissuras preexistentes. Assim, os sais cristalizados exerceram maior atuação sobre a variedade Branco Galaxy, seguida das variedades Ocre Itabira e Diamante Negro, respectivamente.

### 7.2.1.3 Alteração cromática

De forma complementar às análises anteriormente apresentadas, efetuou-se também determinações colorimétricas nas rochas submetidas a este ensaio. A cor é um parâmetro importante de caracterização das rochas, não somente porque as tornam mais ou menos atraentes, influenciando de maneira decisiva a sua valorização estética e econômica,

mas principalmente pela sua contribuição para evidenciar as alterações sofridas por esses materiais ao longo do tempo, tanto em condições ambientais normais, quanto agressivas.

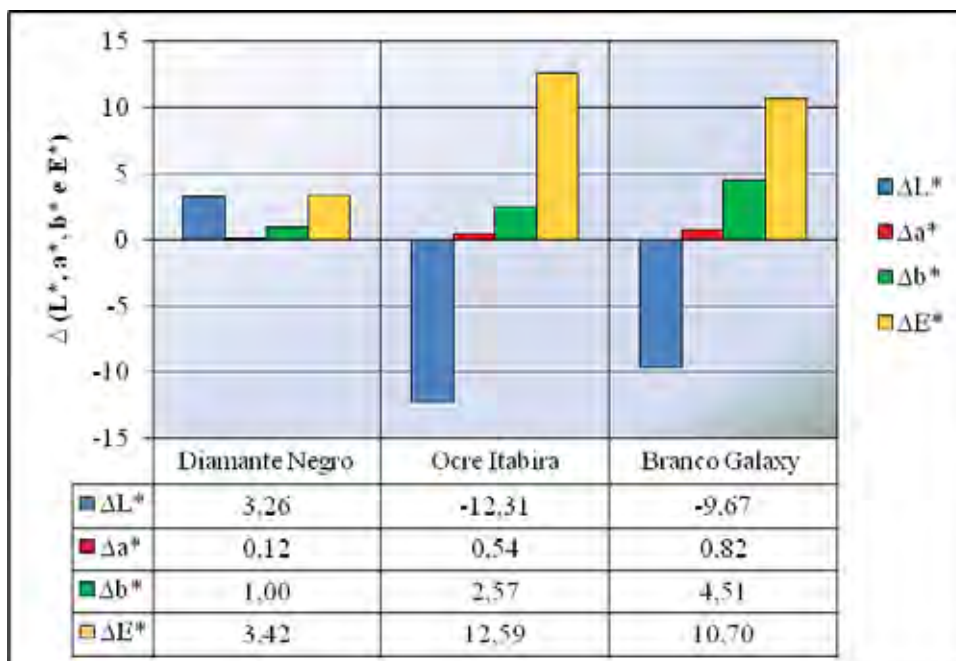
Conforme descrito no Capítulo 2, subitem correspondente aos métodos utilizados neste trabalho, as medidas das cores das rochas estudadas foram feitas utilizando um colorímetro nos padrões CIELAB, cujo método permite medir a intensidade de absorção na região visível para obtenção dos parâmetros  $L^*$ , referente à luminosidade, ou seja, a sensação de claro e escuro [a qual varia do negro (0) ao branco (100)],  $a^*$  que é intensidade de cor vermelho (+) / verde (-),  $b^*$  a intensidade de cor amarelo (+) / azul (-), enquanto  $\Delta E^*$  expressa a variação total de cor. As medidas foram feitas antes e após o ensaio, sendo que a variação cromática ocorrida nas amostras após os ciclos de exposição à névoa salina é apresentada na Tabela 7.4 e ilustrada na Figura 7.15.

**Tabela 7.4.** Valores dos parâmetros colorimétricos medidos para as rochas estudadas antes e após os ciclos de exposição à névoa salina.

Parâmetros CIELAB	Rochas		
	<i>Diamante Negro</i>	<i>Ocre Itabira</i>	<i>Branco Galaxy</i>
$L^*_i$	44,30	66,36	85,34
$L^*_f$	47,49	54,55	75,67
$\Delta L^*$	3,26	-12,31	-9,67
$a^*_i$	0,12	-0,09	-0,14
$a^*_f$	0,24	0,45	-0,96
$\Delta a^*$	0,12	0,54	0,82
$b^*_i$	2,06	0,69	1,83
$b^*_f$	3,06	3,26	-2,68
$\Delta b^*$	1,00	2,57	4,51
$\Delta E^*$	3,42	12,59	10,70

i= medidas antes do ensaio

f= medidas após o ensaio



**Figura 7.15.** Variações cromáticas ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ) e diferenças totais de cores ( $\Delta E^*$ ) determinadas nas amostras das rochas, após o envelhecimento acelerado por exposição à névoa salina.

Da análise da Figura 7.15 acima, pode-se afirmar que, para a variedade petrográfica Diamante Negro houve maior variação nos parâmetros  $L^*$  e  $b^*$ , o que equivale dizer, em termos práticos, que o material sofreu um leve branqueamento. Para esta rocha a diferença total da cor após o ensaio ( $\Delta E^*$ ), relaciona-se principalmente com a coordenada de luminosidade ( $L^*$ ) e leve saturação do amarelo ( $\Delta b^* > 0$ ).

Para o material Ocre Itabira observa-se uma tendência ao escurecimento da cor original após os ensaios ( $\Delta L^* < 0$ ), havendo também leve aumento na tonalidade vermelha ( $\Delta a^* > 0$ ) e amarela. A variação cromática total é a maior para os três litotipos estudados ( $\Delta E^* = 12,59$ ), relacionando-se com a grande perda de luminosidade, o que indica que o material foi o que mais sofreu descaracterização cromática.

Para o Branco Galaxy observa-se também grande perda do parâmetro luminosidade ( $\Delta L^* < 0$ ) com conseqüente escurecimento do material, seguido de amarelamento acentuado ( $\Delta b^* > 0$ ) e aumento dos tons avermelhados ( $\Delta a^* > 0$ ).

A perda dos padrões cromáticos originais está diretamente ligada às características intrínsecas do material, no estado natural. Assim, o Diamante Negro, apesar de sua tonalidade marcadamente escura (alto teor de minerais máficos), apresenta baixíssima porosidade e grau de microfissuramento, além de excelente imbricamento mineral. Tais

características justificam a pouca descaracterização colorimétrica sofrida pelo material. O Ocre Itabira, no entanto, embora não possua coloração escura como o Diamante Negro, apresenta grau de microfissuramento considerável e uma granulação grosseira a megaporfirítica, o que, aliada à presença considerável dos máficos biotita e hornblenda, contribuiu para a grande variação cromática.

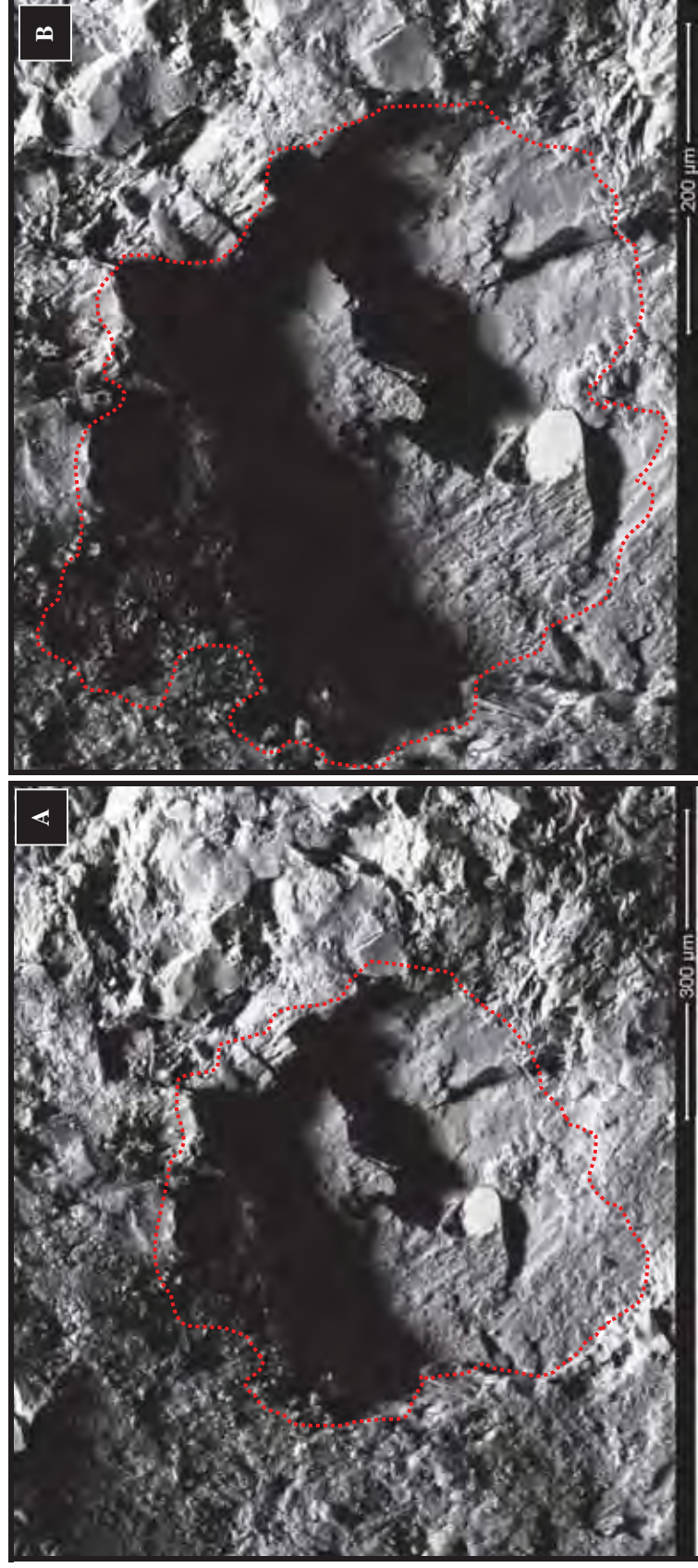
Situação semelhante ocorre para a variedade Branco Galaxy. O material possui o maior número de microfissuras, porém sua coloração original é branca (grande teor de feldspatos potássicos e quartzo), portando quase nenhum máfico, o que mascara um pouco os efeitos causados pela exposição à névoa salina, conforme também verificado nos trabalhos de Meyer et al. (2003b), Campos (2007), dentre outros.

A fim de se observar as modificações ocorridas nas rochas estudadas também em escala microscópica, foram obtidas fotomicrografias ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) após os ciclos de exposição à névoa salina. As Figuras 7.16 a 7.18 contêm as fotomicrografias com os padrões de alteração mais significativos, referentes às variedades petrográficas Diamante Negro, Ocre Itabira e Branco Galaxy, respectivamente.

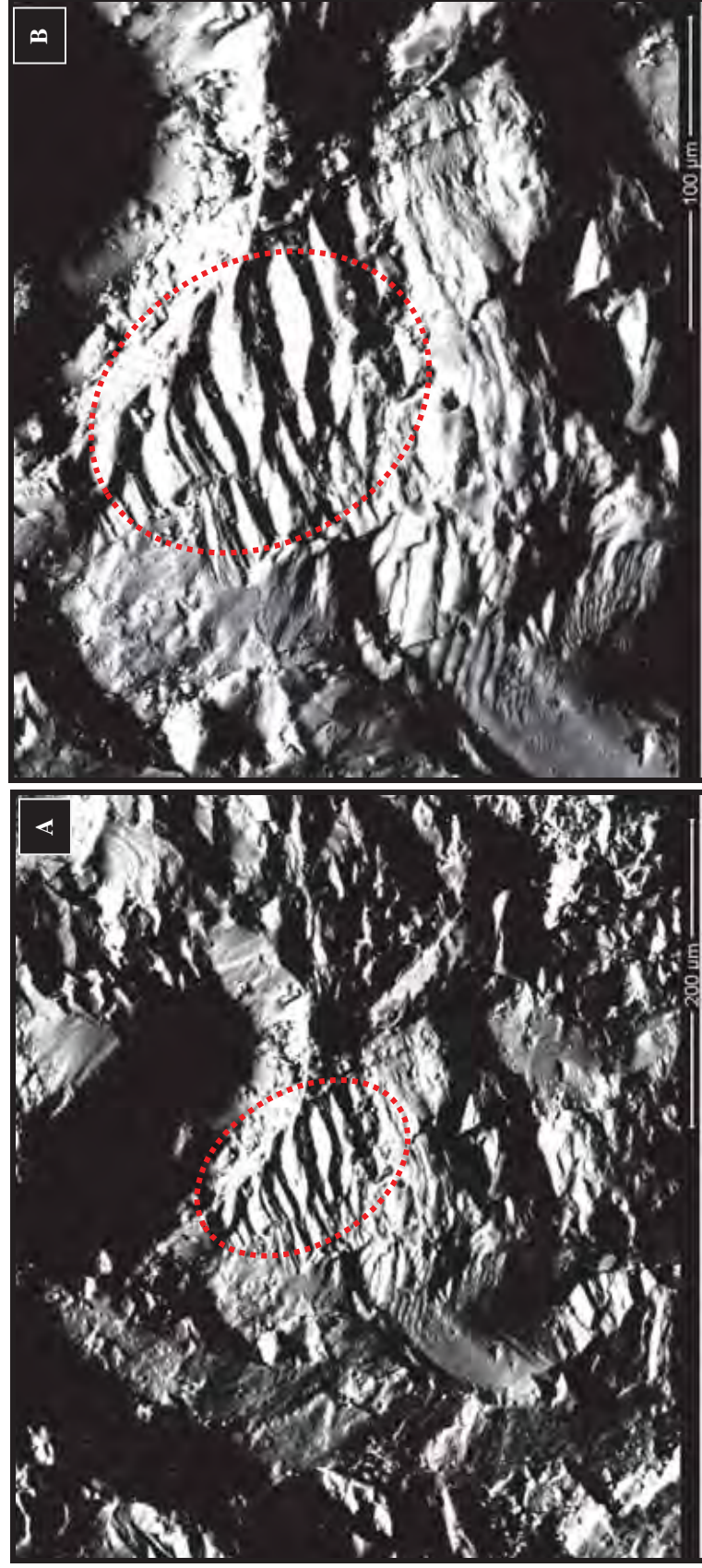
Sabe-se que a cristalização de sais é um dos agentes intempéricos mais poderosos, pois é por meio dela que ocorre a deterioração de rochas em ambientes marinhos, uma vez que sua ação causa a perda de coerência entre os grãos dos materiais rochosos (FRASCÁ, 2003b). Conforme dito anteriormente, os efeitos macroscópicos são pouco visíveis, porém em escala microscópica, essas deteriorações se tornam evidentes, deixando claro o efeito degradante da cristalização de sais.

O Diamante Negro (Figura 7.16) apresentou desagregação de partículas, deixando espaços vazios na superfície do material e possível aumento de porosidade. A alteração e abaulamento do feldspato (Figura 7.17), correspondente ao material Ocre Itabira, deve-se à cristalização de sais nos espaços intercrystalinos, pois sua estrutura cristalográfica permite a percolação e retenção de sais facilitando a reação com os componentes químicos do mineral. Já o crescimento de sal na rocha Branco Galaxy (Figura 7.18) é causado pela penetração e posterior cristalização da solução salina nas microfissuras preexistentes, que exerce pressão maior que a resistência da rocha. O material em si já apresenta maior número de fissuras, o que permite melhor acesso da solução aos minerais.

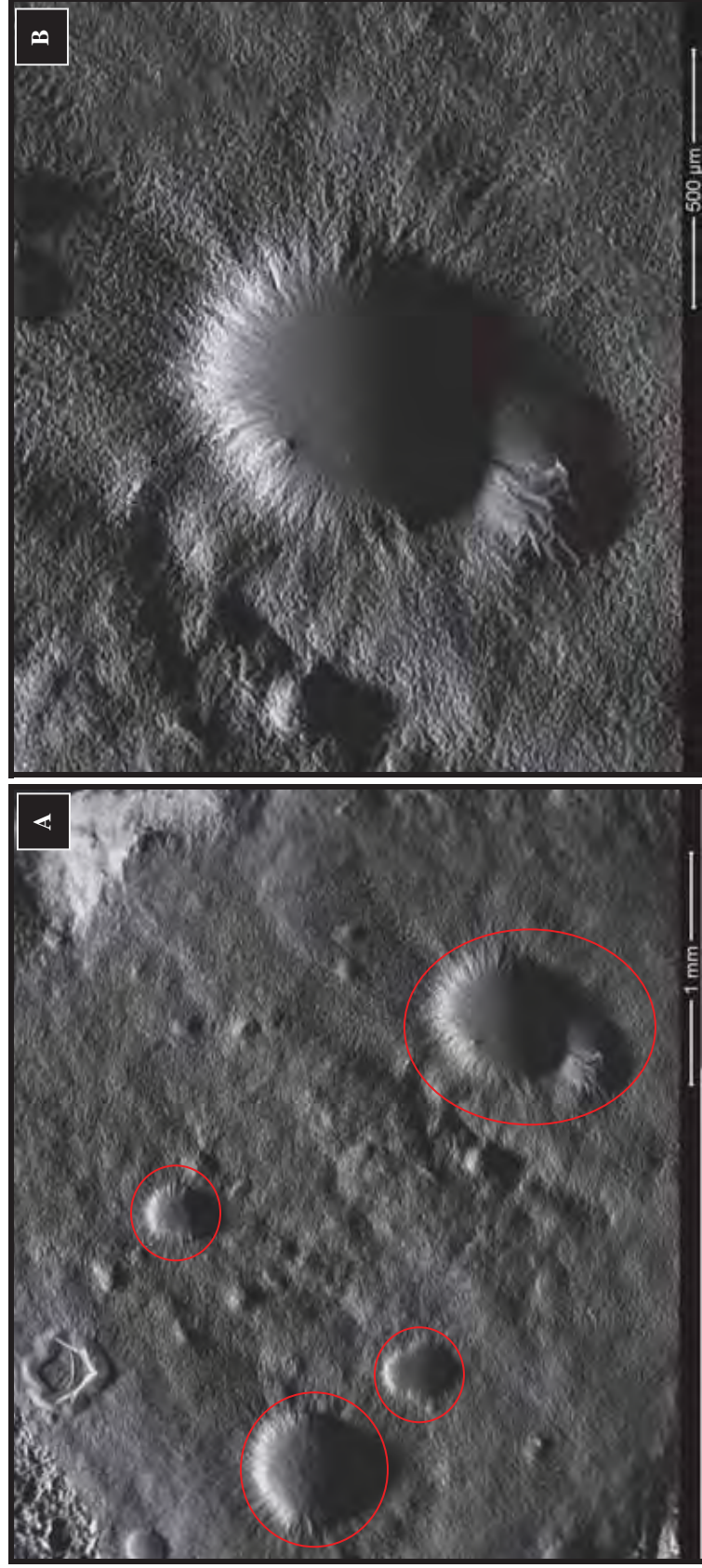
De forma sintética, a análise das rochas estudadas expostas à névoa salina permite concluir que todas elas apresentaram algum tipo de alteração, em maior ou menor intensidade, visíveis principalmente sob o aspecto microscópico.



**Figura 7.16.** Fotomicrografias em MEV da rocha Diamante Negro evidenciando desagregação de mineral máfico do corpo de prova. Aumento de 400 (A) e 600 vezes (B).



**Figura 7.17.** Fotomicrografias em MEV da rocha Ocre Itabira evidenciando abaulamento de feldspato potássico. Aumento de 600 (A) e 1200 vezes (B).



**Figura 7.18.** Fotomicrografias ao MIEV da rocha Branco Galaxy evidenciando crescimento de sal na superfície do corpo de prova. Aumento de 90 (A) e 200 vezes (B).

### 7.2.2 Resistência ao Ataque Químico Sob Ação do Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)

A deterioração em rochas causada pela exposição ao dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ainda é pouco conhecida em nosso país, sendo estudada pioneiramente por Frascá (2003a), Torquato (2004) e Costa (2007). Sabe-se que nas grandes cidades a atmosfera torna-se extremamente agressiva, haja vista a constante atividade dos automóveis e indústrias que emitem grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dentre outros compostos poluentes que, em contato com as águas pluviais, provoca o fenômeno das chuvas ácidas.

Dentro da câmara de exposição ao SO<sub>2</sub> ocorre um processo bastante semelhante ao natural, embora mais agressivo. O SO<sub>2</sub> gasoso que penetra na câmara de climatização sob condições úmidas reage com o oxigênio da água e se transforma em SO<sub>3</sub> aquoso e conseqüentemente em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Este ácido em contato com os constituintes mineralógicos das rochas pode induzir reações de modo a possibilitar a formação e deposição de outros constituintes (sais), além da mobilização de substâncias químicas por reações de oxidação/redução e hidrólise (TORQUATO, 2004).

As rochas estudadas foram submetidas a 30 ciclos de 24 horas cada, correspondendo a 8 horas de exposição ao SO<sub>2</sub> e 16 horas de ventilação, o que caracteriza a conclusão de um ciclo. A Figura 7.19 abaixo ilustra os corpos de prova sendo introduzidos no interior da câmara de exposição ao SO<sub>2</sub>. De forma análoga ao ensaio de exposição à névoa salina, ao final dos ciclos a câmara foi aberta para inspeção, sendo realizada a documentação das alterações ocorridas, pesagem, medição de cor e brilho, além da obtenção de fotomicrografias ao MEV. A Tabela 7.5 sumariza as principais alterações ocorridas.

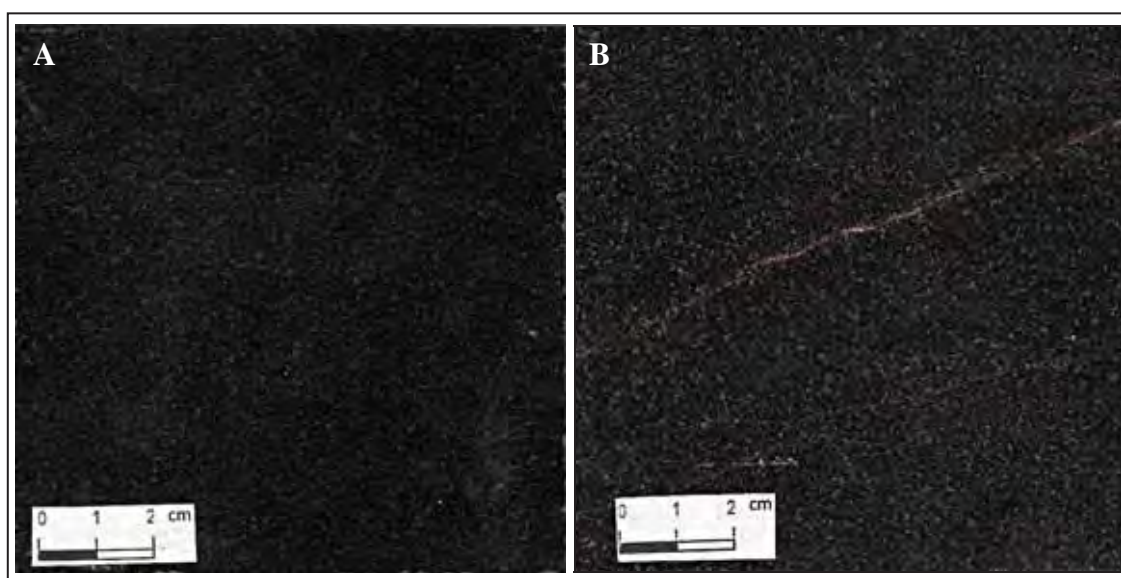


**Figura 7.19.** Corpos de prova das rochas estudadas no interior da câmara de exposição ao dióxido de enxofre.

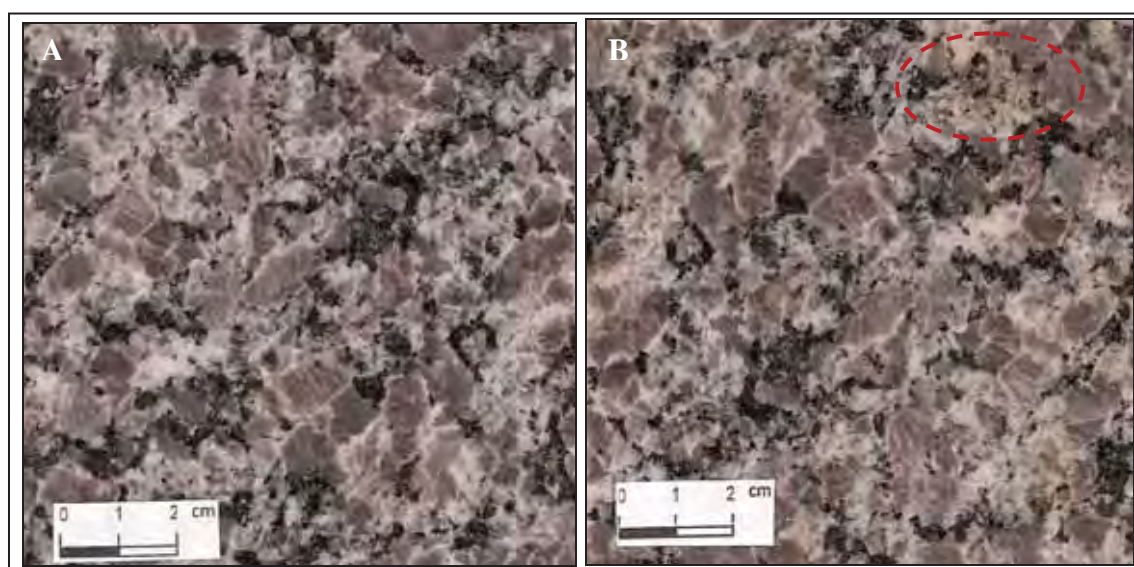


**Tabela 7.5.** Relação das alterações observadas nas rochas estudadas após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre.

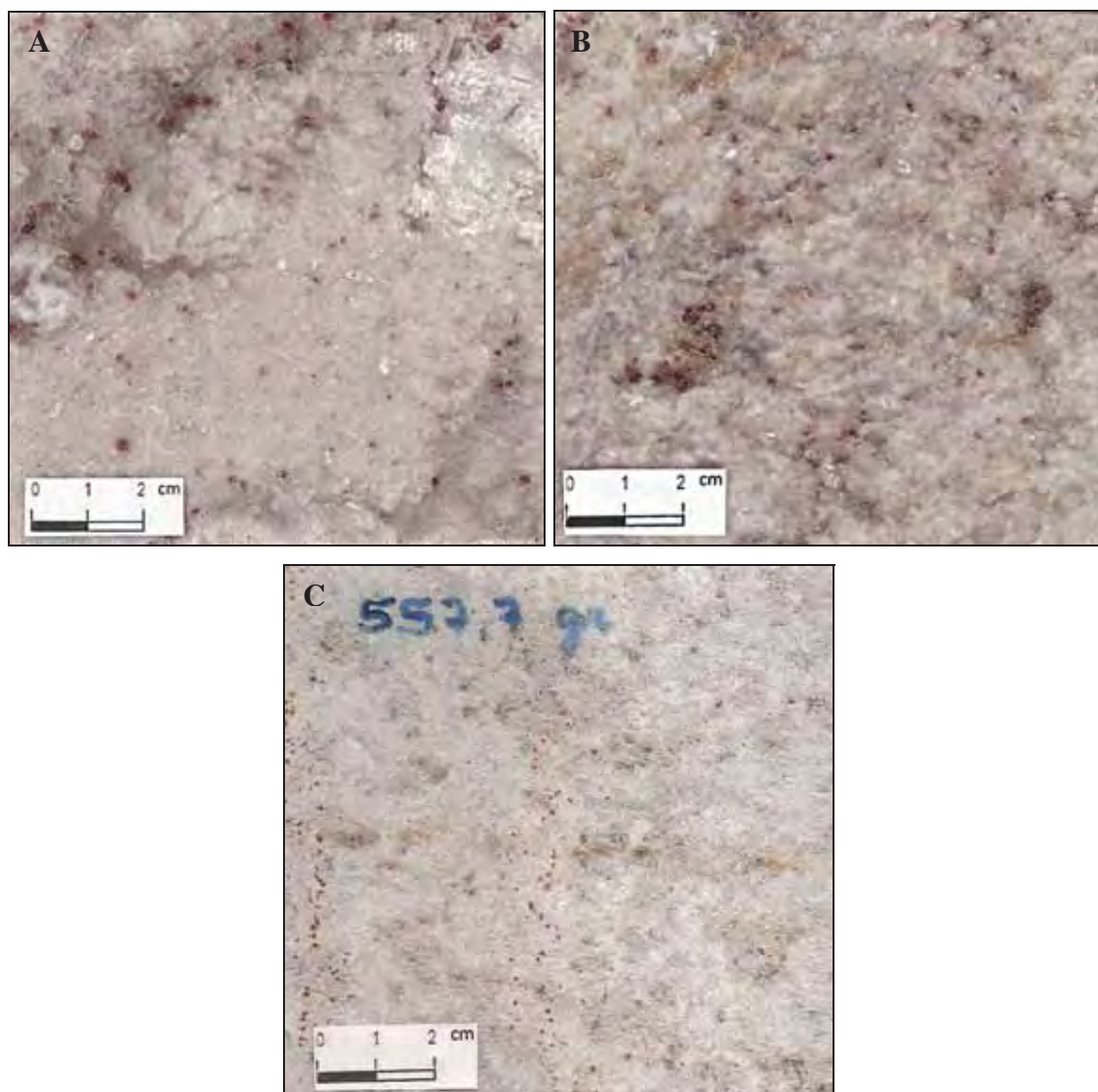
Rochas	Principais Alterações Observadas
Diamante Negro	-linha de oxidação na superfície da placa
Ocre Itabira	-corrosão/desagregação na borda da placa
Branco Galaxy	-formação de crosta nas microfissuras da superfície da placa -aspecto de umidade -oxidação tardoz da placa



**Figura 7.20.** Corpos de prova da rocha Diamante Negro: padrão (A) e após ensaio de exposição ao  $\text{SO}_2$  destacando-se linha de oxidação que atravessa toda extensão superficial da placa (B).



**Figura 7.21.** Corpos de prova da rocha Ocre Itabira: padrão (A) e após ensaio de exposição ao  $\text{SO}_2$  evidenciando alteração de biotita (B).



**Figura 7.22.** Corpos de prova da rocha Branco Galaxy: padrão (A), após ensaio de exposição ao  $\text{SO}_2$  onde a face polida exibe aspecto de sujidade (B) e tardoz, cujas pontuações de aspecto ferruginoso denotam percolação de hidróxidos de ferro e possível oxidação de granalha (C).

#### 7.2.2.1 Análise geral

A exposição ao  $\text{SO}_2$  é um ensaio de alteração mais agressivo que o de exposição à névoa salina, uma vez que o pH da solução é cerca de 2 no interior da câmara. Apesar disso, alguns materiais ensaiados não exibiram modificações visuais notáveis e outros exibiram apenas moderada mudança de cor (Figura 7.20 a 7.22). No entanto, quase todas as amostras exibiram alteração no tardoz, o que também foi constatado por Torquato (2004). A Figura 7.22 C ilustra um padrão representativo. Tal fato permite concluir que as

superfícies rugosas facilitam a penetração de soluções e conseqüentemente uma maior atuação dos processos de alteração (provável hidrólise), uma vez que o tardo não possui o fechamento de superfície característico da face polida.

Através da observação da Figura 7.20 e 7.21 verifica-se que o ácido produzido na câmara provocou reações químicas na superfície de duas das rochas (Diamante Negro e Ocre Itabira). As manchas castanho-amareladas identificadas nestes tipos petrográficos sugerem a mobilização de algumas das substâncias ferrosas existentes na constituição dos minerais máficos que os compõem. O material Branco Galaxy, por ser bastante microfissurado, apresentou retenção da solução ácida no interior de suas fissuras (Figura 7.22 B) mesmo após lavagem dos corpos de prova, o que provocou alargamento das mesmas, perceptível à luz natural. A alteração restringiu-se a pontuações acastanhadas no tardo do material, sugerindo reação do ácido com os hidróxidos de ferro presentes na composição da rocha. Dada a grande quantidade de pontuações de aspecto ferruginoso, considera-se que a placa utilizada poderia estar também impregnada com granalha utilizada no beneficiamento, a qual oxida após contato com água.

#### 7.2.2.2 Alteração cromática

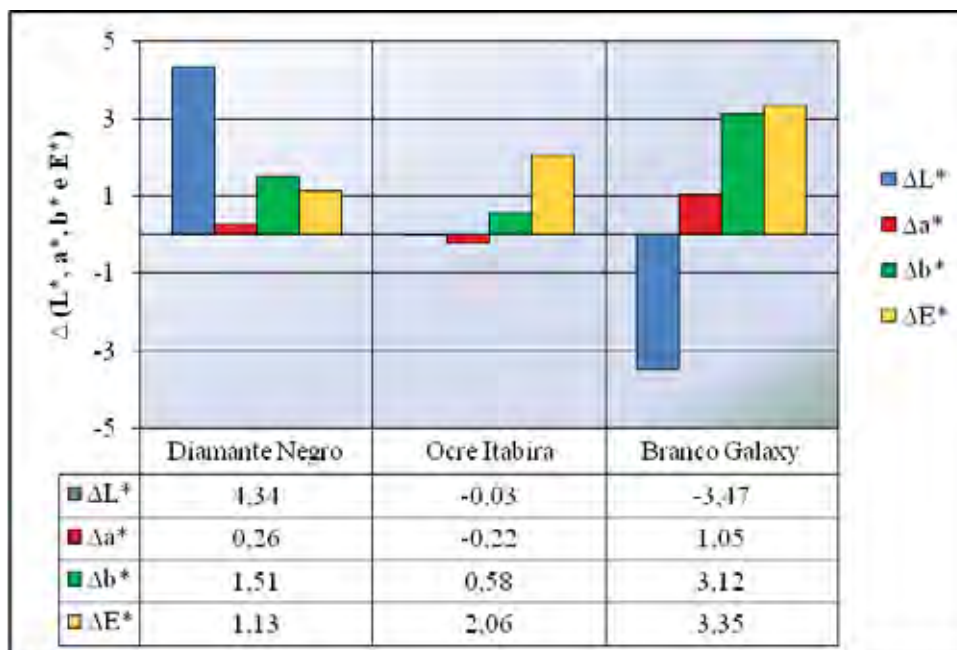
As medidas colorimétricas e aferição de brilho, realizadas de forma prévia e após o ensaio de exposição ao SO<sub>2</sub>, revelam de forma menos subjetiva que ocorreram alterações cromáticas significativas nas rochas em análise. A Tabela 7.6 e a Figura 7.23 apresentam a variação dos parâmetros colorimétricos, enquanto a Tabela 7.7 e a Figura 7.24 contêm as diferenças de brilho antes e após ensaio de exposição ao (SO<sub>2</sub>).

**Tabela 7.6.** Valores dos parâmetros colorimétricos medidos para as rochas estudadas antes e após os ciclos de exposição ao SO<sub>2</sub>.

Rochas	Parâmetros CIELAB						
	L* <sub>i</sub>	L* <sub>f</sub>	a* <sub>i</sub>	a* <sub>f</sub>	b* <sub>i</sub>	b* <sub>f</sub>	ΔE*
<b>Diamante Negro</b>	10,08	14,42	-0,31	-0,05	-0,23	1,28	1,13
<b>Ocre Itabira</b>	49,88	49,85	1,48	1,26	3,65	4,23	2,06
<b>Branco Galaxy</b>	74,57	71,1	1,46	2,51	8,12	11,24	3,35

i= medidas antes do ensaio

f= medidas após o ensaio



**Figura 7.23.** Variações cromáticas ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ) e diferenças totais de cores ( $\Delta E^*$ ) determinadas nas amostras das rochas, após exposição ao  $SO_2$ .

**Tabela 7.7.** Medidas de brilho das rochas estudadas após ciclos de exposição ao  $SO_2$ .

Rochas Grau	Brilho Inicial			Brilho Após Ensaio		
	20°	60°	85°	20°	60°	85°
<i>Diamante Negro</i>	4,5	87	44,7	4,3	84	43,9
<i>Ocre Itabira</i>	3,3	71	43,4	2,9	65	40,8
<i>Branco Galaxy</i>	2,2	57	39,4	2,1	51	36,7

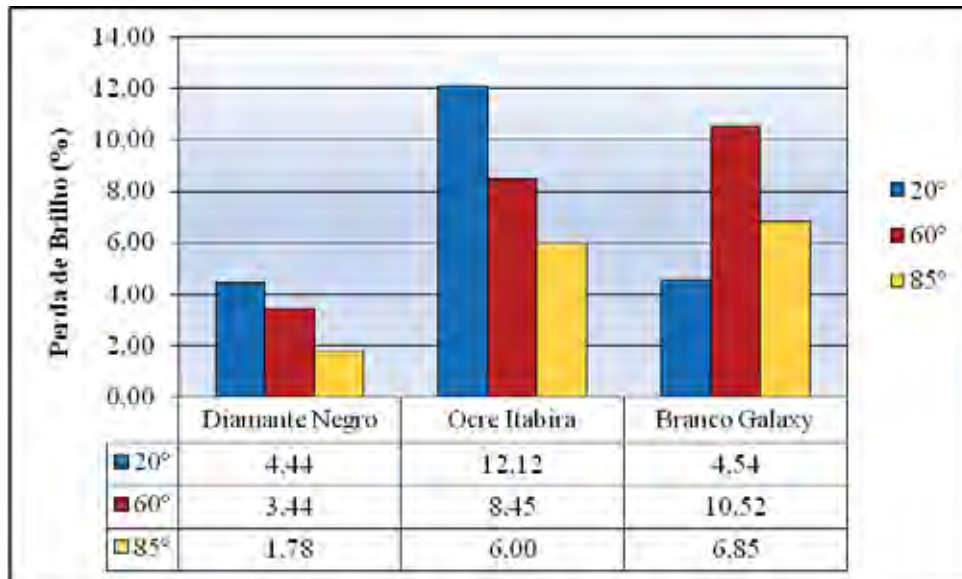


Figura 7.24. Perda de brilho das rochas estudadas após ciclos de exposição ao SO<sub>2</sub>.

Observa-se que o material Diamante Negro, além da evidente perda de brilho, apresentou também um clareamento ( $\Delta L^* > 0$ ) relacionado ao processo de lixiviação do Fe (augita) ao ser exposto em ambientes ácidos. A alteração colorimétrica dessa rocha é reforçada pela análise da Figura 7.25, a qual contém a plotagem ilustrativa dos parâmetros L\*, a\* e b\* antes e após o ensaio de exposição ao SO<sub>2</sub>.

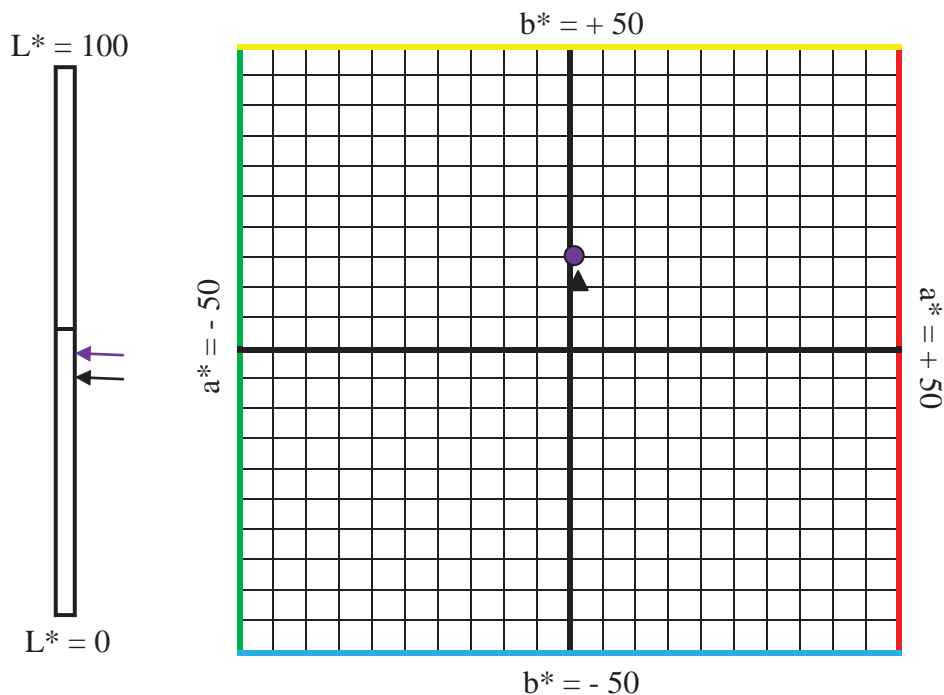
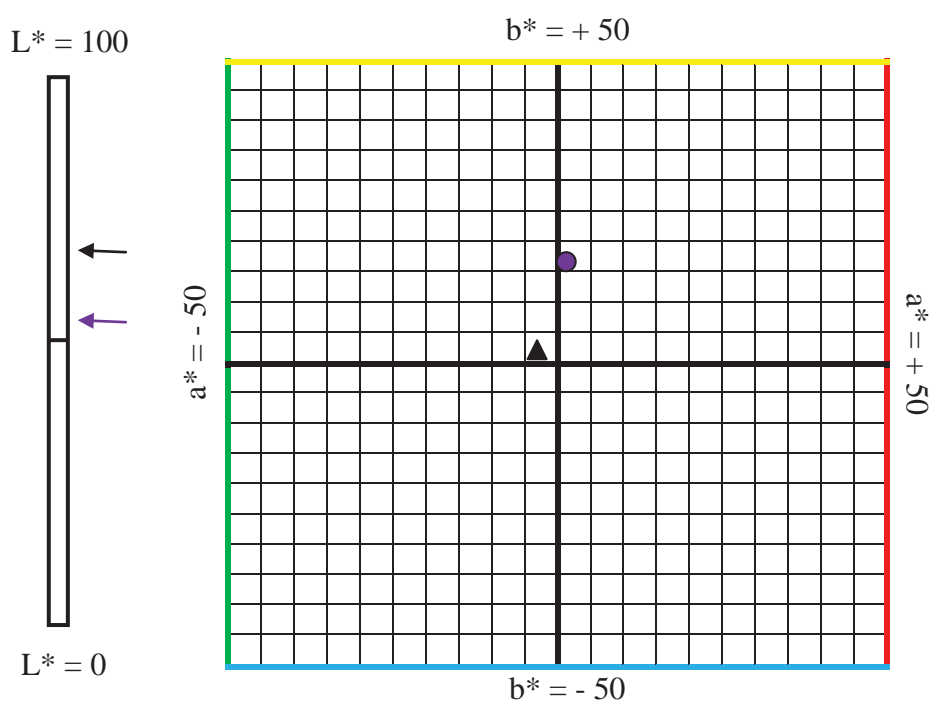


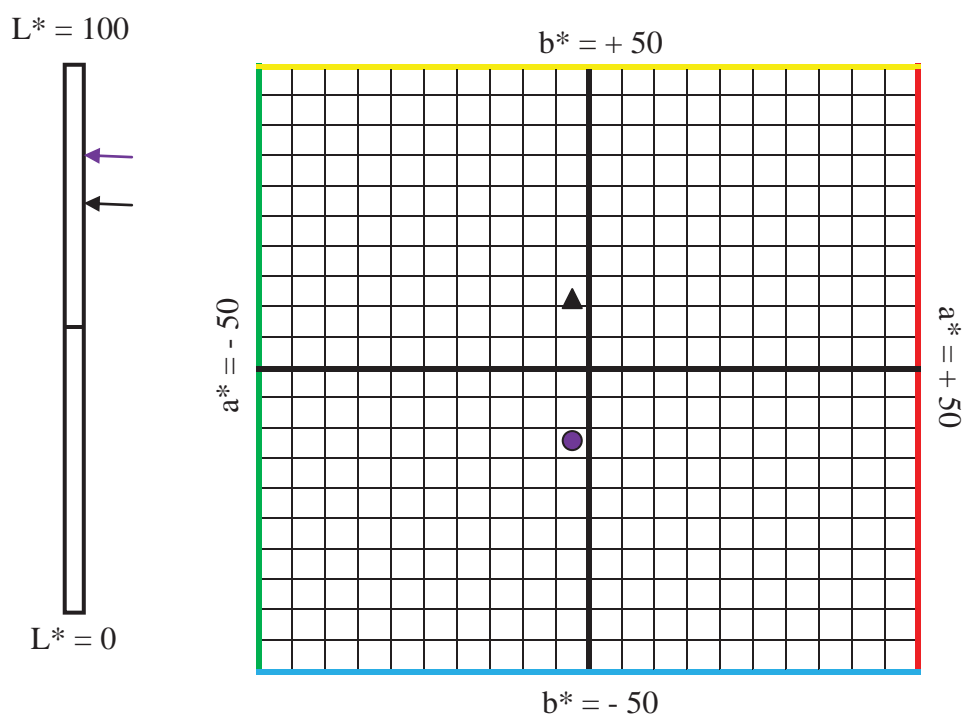
Figura 7.25. Esquema do sistema de cores CIELAB contendo medidas colorimétricas da rocha Diamante Negro antes (▲) e após (●) o ensaio de exposição ao SO<sub>2</sub>.

A variedade petrográfica Ocre Itabira também sofreu descaracterização cromática e perda de brilho. Os parâmetros do método CIELAB apresentaram variação em escala mínima, não sendo perceptíveis ao olho humano, uma vez que, segundo CIELAB (1976), este só capta alterações de  $\Delta E^* > 3$ . No entanto, a Figura 7.26 indica uma tendência ao escurecimento, seguida de um aumento no tom avermelhado ( $a^* > 0$ ) e amarelado ( $b^* > 0$ ).



**Figura 7.26.** Esquema do sistema de cores CIELAB contendo medidas colorimétricas da rocha Ocre Itabira antes (▲) e após (●) o ensaio de exposição ao  $\text{SO}_2$ .

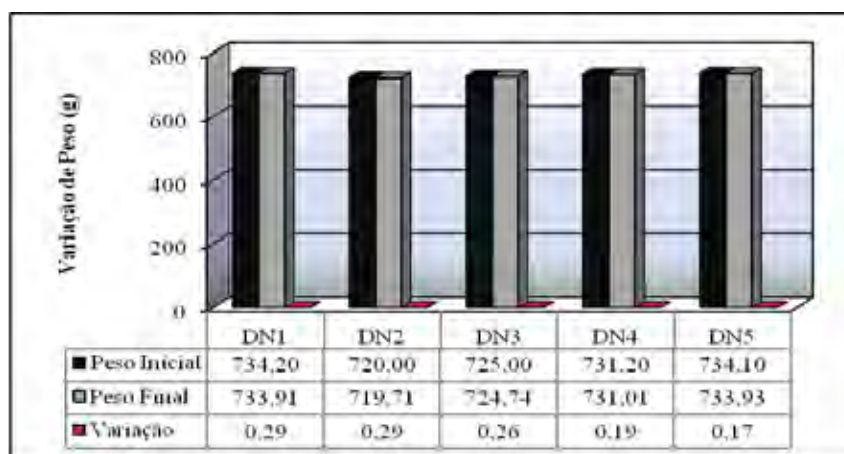
A rocha Branco Galaxy foi a que apresentou maior alteração cromática ( $\Delta E^* = 3,35$ ) dentre os materiais estudados, com diminuição da luminosidade (Figura 7.27) e conseqüente escurecimento. A retenção da solução ácida dentro dos espaços vazios do material acarretou um aspecto de sujeidade, além de parecer estar constantemente úmido, o que influenciou nas medidas colorimétricas após o término dos ciclos. Conforme dito, deduz-se que a solução ácida carrega o Fe provocando o manchamento dos minerais mais claros, como os feldspatos dispostos na superfície do material, que passam a exibir uma coloração castanho-amarelada.



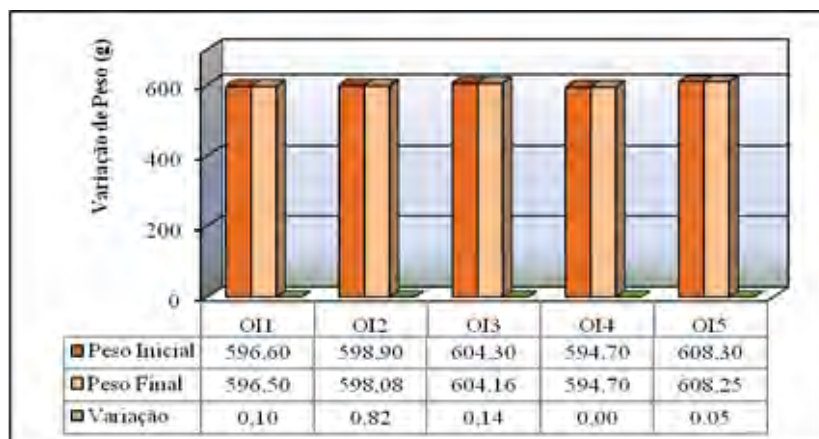
**Figura 7.27.** Esquema do sistema de cores CIELAB contendo medidas colorimétricas da rocha Branco Galaxy antes (▲) e após (●) o ensaio de exposição ao  $SO_2$ .

### 7.2.2.3 Variação de peso

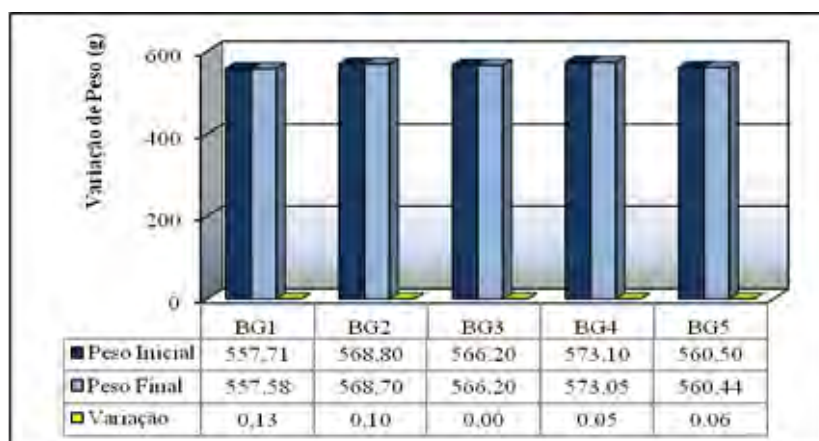
As figuras 7.28 a 7.30 apresentam a variação de peso das rochas estudadas após o término do ensaio.



**Figura 7.28.** Variação de peso nos corpos de prova do material Diamante Negro após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre.



**Figura 7.29.** Variação de peso nos corpos de prova do material Ocre Itabira após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre.



**Figura 7.30.** Variação de peso nos corpos de prova do material Branco Galaxy após ciclos de exposição ao dióxido de enxofre.

Em comparação com o ensaio de exposição à névoa salina, percebe-se que a perda de peso ao final dos ciclos de exposição ao  $\text{SO}_2$  foi maior, embora para ambos os ensaios essas perdas tenham sido pouco expressivas.

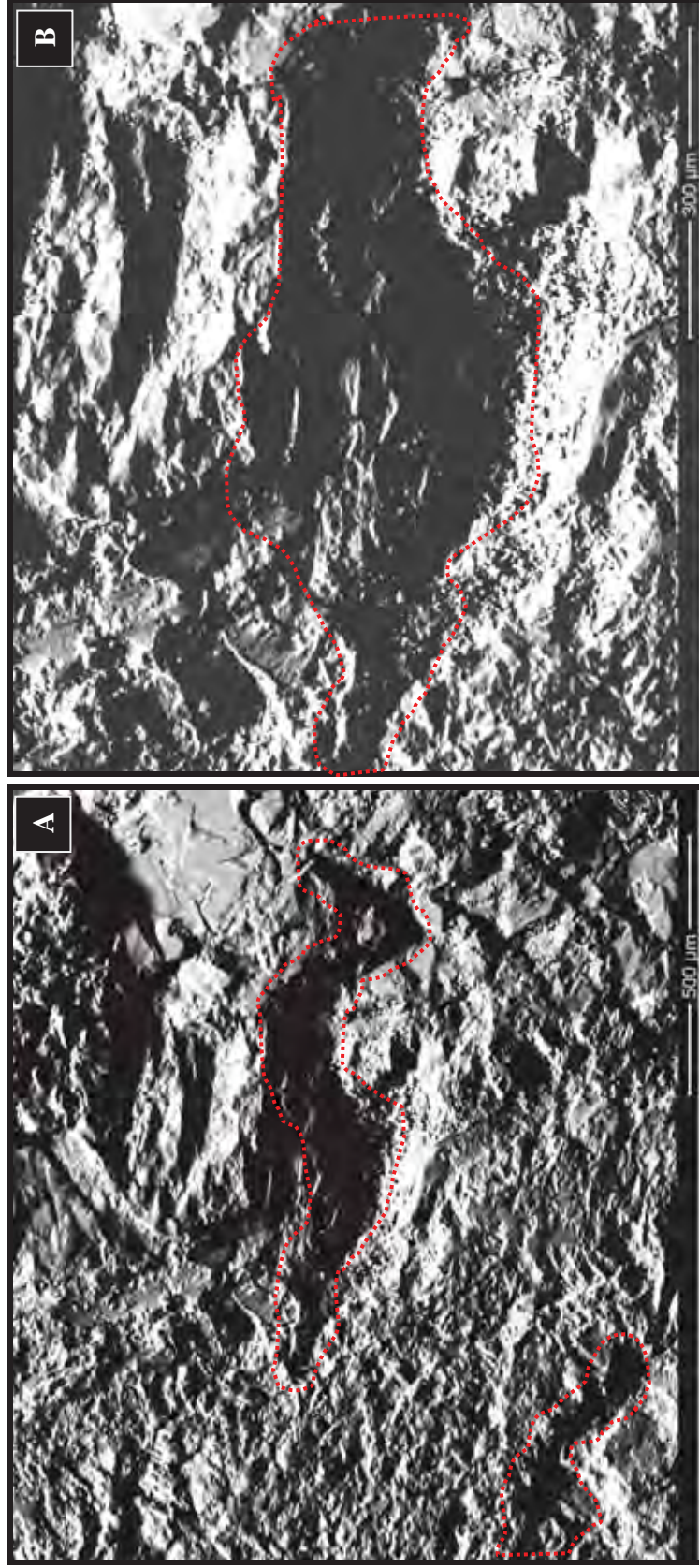
Nesse sentido, o Diamante Negro foi o litotipo que sofreu maior variação de peso dentre o conjunto estudado, uma vez que é um material bastante rico em minerais que contêm Fe. Conforme constatado, o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) produzido no interior da câmara climática ataca os minerais constituintes das rochas, especialmente os ferromagnesianos de onde retira principalmente o ferro. Este mesmo raciocínio explica a perda de peso do material Ocre Itabira.

O Branco Galaxy por sua vez quase não apresentou variações, por ser um material pobre em minerais ferromagnesianos.

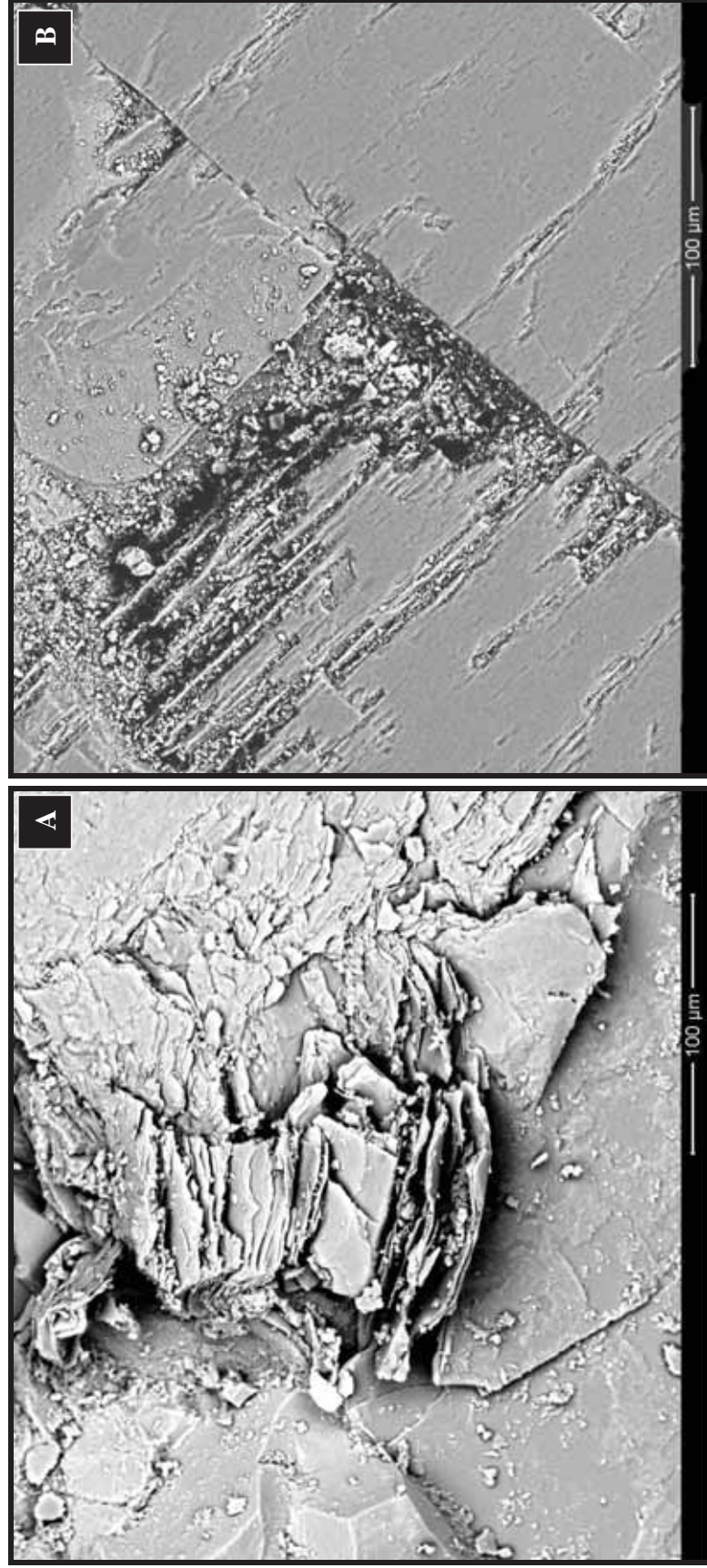


Sob a ótica microscópica, as Figuras 7.31 e 7.33 ilustram a fragilização dos materiais estudados através de fotomicrografias ao MEV.

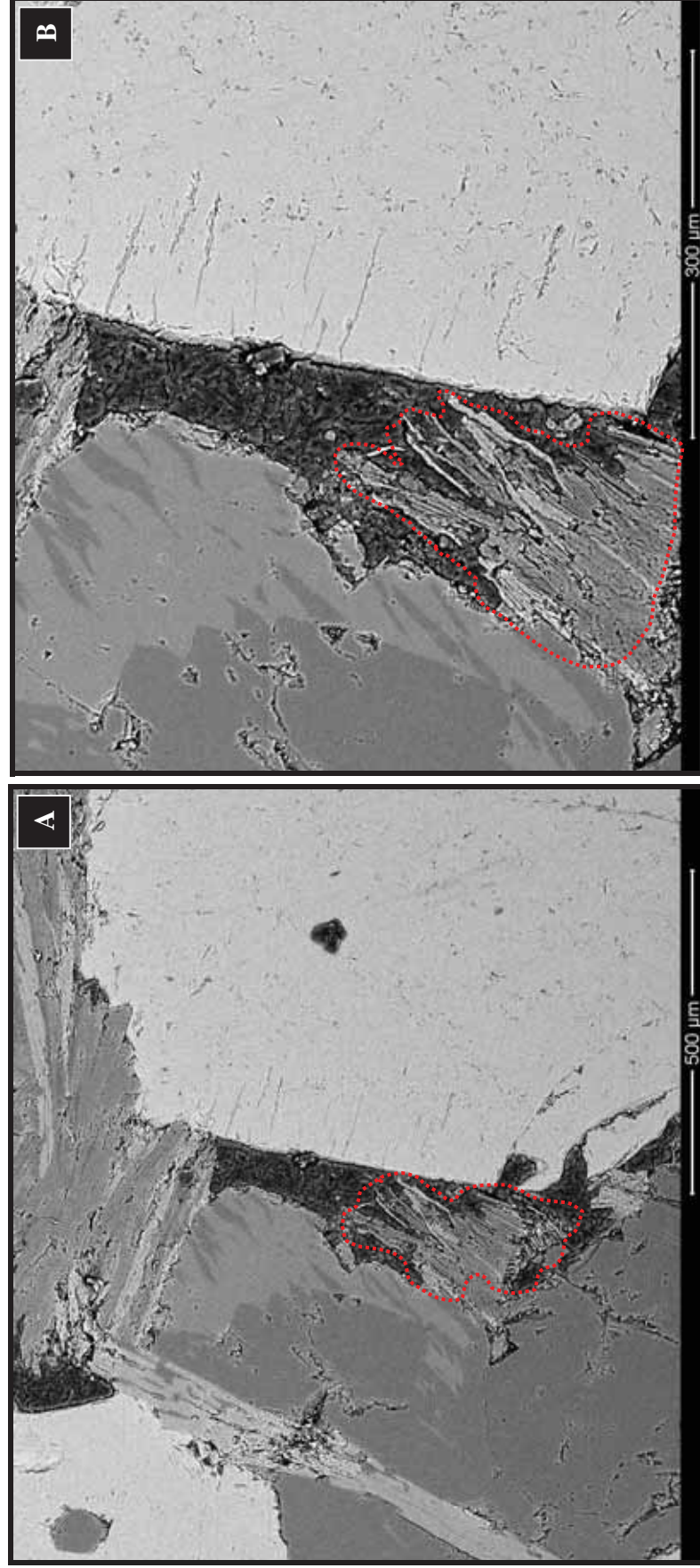
O Diamante Negro apresenta alargamento de fissuras (7.31), provocado possivelmente pela corrosão do ácido sulfúrico ao reagir com máficos. A alteração e destacamento da biotita (Figura 7.32), correspondente ao material Ocre Itabira, deve-se provavelmente à lixiviação de substâncias nos espaços interfolhares, pois sua estrutura cristalográfica permite a percolação da solução ácida, facilitando a reação com os componentes químicos do mineral. Já a desagregação da sillimanita da variedade Branco Galaxy (Figura 7.33) é causada pelo alargamento das fissuras já presentes no mineral, uma vez preenchidas pelo ácido produzido cristalizado. Esta rocha em si já apresenta o maior número de fissuras, o que permite fácil acesso da solução aos minerais.



**Figura 7.31.** Fotomicrografias ao MEV da rocha Diamante Negro ilustrando feições de corrosão na superfície do corpo de prova (destaque). Aumento de 200 (A) e 400 vezes (B).



**Figura 7.32.** Fotomicrografias ao MEV da rocha Ocre Itabira ilustrando biotitas alteradas. Aumento de 1000 vezes.



**Figura 7.33.** Fotomicrografias ao MEV da rocha Branco Galaxy ilustrando sillimanita alterada. Aumento de 250 (A) e 500 vezes (B).

# 8

## CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS E INDICAÇÕES DE USO

---

A bateria de ensaios físico-mecânicos e de alterabilidade consiste de uma ferramenta tecnológica que permite o conhecimento das propriedades intrínsecas das rochas ornamentais e para revestimento, de forma prévia ao seu uso, no intuito de otimizar sua aplicação nas obras civis. Esse conhecimento é fundamental para que haja além da correta especificação do material, o melhor desempenho técnico e o retardo do processo de degradação do material rochoso, ou mesmo o surgimento de patologias causadas por uso indevido.

Cabe aqui ressaltar que a rocha em si já configura um sistema extremamente complexo, reflexo da interação conjunta de suas características texturais, estruturais e composicionais inatas, exaustivamente citadas ao longo deste trabalho. Porém, uma vez empregado como material na construção civil, soma-se a este sistema a atuação dos fatores extrínsecos inerentes às solicitações correlatas do ambiente da aplicação, bem como os elementos do clima, configurando assim um sistema ainda mais complexo, sustentado por um tripé, cujo entendimento é fundamental por definir o conceito de alterabilidade das rochas.

Conforme bem colocado por Aires-Barros (1991), a utilização de materiais rochosos está intimamente ligada às suas características de durabilidade, resistência e coesão, propriedades estas que apresentam tendência natural à modificação ao longo do tempo, podendo ou não esse processo ser acelerado pelas condições de uso.

Faz-se a seguir um apanhado sucinto dos resultados adquiridos ao longo da bateria de ensaios tecnológicos, procurando-se, à luz destes, especificar o melhor uso dos materiais

rochosos estudados, uma vez respeitado o conjunto das características intrínsecas dos mesmos.

De forma geral, o comportamento tecnológico exibido pelas rochas estudadas permite considerar que todos os materiais são indicados para utilização como rochas ornamentais e para revestimento em obras civis. No entanto, por se tratar de tipos petrográficos distintos entre si, o que obviamente configura comportamentos tecnológicos também distintos, as indicações de uso de cada um dos materiais estudados é diferenciada, principalmente quanto ao local da aplicação.

Assim, o material Diamante Negro, classificado petrograficamente como um microgabro, apresentando composição básica e granulação essencialmente fina, é a variedade rochosa que apresentou o resultado tecnológico mais alto para os ensaios físico-mecânicos. Corresponde ao material com os menores valores de absorção d'água e porosidade, além de apresentar as maiores resistências mecânicas (compressão uniaxial, flexões 3 e 4 pontos), com exceção somente para o impacto de corpo duro, uma vez que as placas utilizadas neste ensaio possuíam espessura menor que a dos outros materiais estudados. É, portanto, indicado principalmente para aplicação em fachadas, revestimentos verticais e horizontais de interiores e balcões em geral. Devido à quase ausência de quartzo, e ao resultado de desgaste abrasivo obtido, sugere-se que a aplicação como revestimento externo deve restringir-se à ambientes de baixo a médio tráfego, embora este tipo de recomendação requeira estudos mais aprofundados para se afirmar com precisão.

Quanto aos ensaios de alterabilidade com reagentes químicos agressivos, o Diamante Negro apresentou classe de resistência alta somente para os reagentes hipoclorito de sódio e cloreto de amônia. Para o hidróxido de potássio a resistência obtida varia de moderada a alta. Já no ataque com ácido cítrico e ácido clorídrico essas rochas apresentam classe de resistência moderada a baixa. Esses resultados indicam maiores cuidados na aplicação dos produtos de limpeza em rochas com a coloração típica do Diamante Negro, que apesar da baixa porosidade e absorção d'água, apresentou de certa forma, baixa resistência ao ataque químico, acompanhada de alterações cromáticas. A forma de limpeza correta seria aquela efetuada somente com um pano úmido e, quando necessário, utilizar somente detergente neutro.

A utilização desse material deve ser evitada em pias de cozinha, lavabo e balcões de estabelecimentos comerciais, uma vez que estes ambientes requerem constantes limpezas e/ou estejam sujeitas a qualquer outra substância mais agressiva, seja ela ácida ou básica.

Os ensaios nas câmaras de alterabilidade apresentaram resultados distintos. Há de se considerar o número de ciclos de exposição adotados, no sentido de que se fossem maiores, os efeitos seriam provavelmente mais perceptíveis. Para a exposição à névoa salina quase não houve alteração visual, sendo as características do material mantidas, provavelmente devido à sua baixa porosidade que inibe a infiltração de soluções salinas, favorecendo, no escopo do experimento, sua aplicação como revestimento vertical de exteriores em ambientes costeiros. No entanto deve-se evitar esta mesma aplicação em grandes centros, onde haja atmosfera agressiva semelhante àquela simulada no ensaio de exposição ao dióxido de enxofre. Isto porque o material sofreu alteração cromática, tornando-se esbranquiçado, além da solução ácida causar fragilização de seus constituintes minerais, o que com o tempo pode prejudicar gradativamente o aspecto estético e danificar a resistência mecânica da rocha por completo.

A variedade petrográfica Ocre Itabira, um sienito de granulação média-grossa, também apresenta boas características físico-mecânicas. Considerando suas resistências elevadas, é coerente designar o material para aplicações em revestimentos de interiores (vertical e horizontal) em ambientes domésticos e revestimentos externos em áreas de baixo tráfego, haja vista seu elevado desgaste em relação aos outros materiais (~1,0 mm). De forma análoga ao material anterior, a recomendação de uso baseada nos resultados de desgaste abrasivo é apenas sugestiva, uma vez que se trata de um ensaio cuja relação com o desempenho em uso ainda é pouco conhecida. A confecção de peças isoladas como colunas, pilares e tampos de mesa também são indicadas.

No que tange ao ataque químico, o Ocre Itabira apresentou classes de resistência alta a moderada para todos os reagentes, excetuando-se o ácido clorídrico (Classe E). Assim, o uso dessa rocha em pias de cozinha, lavabo e revestimentos em banheiros, balcões de bares e similares deve ser previamente estudado, uma vez que são locais que exigem constante limpeza. Quando do uso de reagentes químicos agressivos, evitar o contato muito prolongado a fim de conservar a estética do material. Para que haja maior conservação, o uso de produtos impermeabilizantes previamente ao uso pode ser considerado, desde que devidamente estudado.

Os resultados obtidos nos ensaios de alterabilidade acelerada permitem concluir que o material deve ser evitado em revestimentos de exteriores, tanto em ambientes litorâneos, quanto em atmosferas agressivas. Os minerais máficos presentes na composição do Ocre Itabira sofreram grande fragilização, principalmente a biotita, com remoção de elementos e conseqüente alteração cromática, além de danos em sua estrutura cristalina.

O Branco Galaxy é o material com os índices físico-mecânicos mais baixos dentre as rochas estudadas. Isto é reflexo de sua estrutura extremamente heterogênea, grau de microfissuramento elevado e granulação grossa a pegmatóide. Em virtude das altas porosidade e absorção d'água, o material é particularmente indicado para ambientes secos, como tampos de mesa e bancadas, devendo as condições de uso em ambientes úmidos como pias de cozinha, lavabo e revestimentos de exteriores serem avaliadas previamente à aplicação. Sob o ponto de vista mecânico, embora este material tenha apresentado valores de tensão abaixo dos sugeridos pelas normas C 615 (ASTM, 2003) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010), pode ser utilizado em fachadas e revestimentos, além do emprego como elemento estrutural, uma vez adaptada sua espessura para o projeto pretendido. Para o desgaste Amsler, esta rocha obteve resultado tecnológico adequado, dado o elevado teor de quartzo presente na composição mineralógica. Assim, a utilização do Branco Galaxy em revestimentos horizontais de interiores e exteriores em locais de alto tráfego é permitida, mas recomendada para ambientes secos.

Os ensaios de alterabilidade química revelam que esta variedade petrográfica é bastante resistente, apresentando classes de resistência A e B para quase todos os reagentes, excetuando-se o ácido clorídrico. Entretanto, destaca-se que apesar da não realização de testes de manchamento, Mesquita (2002) demonstra que granitos brancos, de porosidade semelhante à do Branco Galaxy, adquirem facilmente um aspecto gorduroso quando em contato com substâncias graxas (suor humano e gorduras em geral), observado em locais de maior contato de mãos, como em molduras de elevador e colunas ou bancadas de centros comerciais e clínicas, por exemplo, o que leva a recomendar maior cautela no seu emprego em ambientes sujeitos a tais substâncias. Orienta-se ainda que sempre que possível, deve-se evitar o contato do material com substâncias agressivas (detergentes, desengordurantes, água sanitária, produtos anti-mofo), principalmente ácido muriático, dado o alto microfissuramento do material.

Com relação aos ensaios de alteração acelerada efetuados nas câmeras de névoa salina, tem-se que o Branco Galaxy foi um dos materiais que apresentou maior alteração. Devido a rocha ser bastante microfissurada, na exposição à névoa salina houve bastante penetração da solução, com posterior cristalização de sais e destacamento de partículas. Embora os dados obtidos nesta pesquisa não permitam afirmar com precisão, sabe-se que este tipo de ambiente, com o passar do tempo, pode levar ao enfraquecimento da estrutura da rocha, e conseqüente fragilização da resistência mecânica. Diante disso, a utilização desta variedade petrográfica

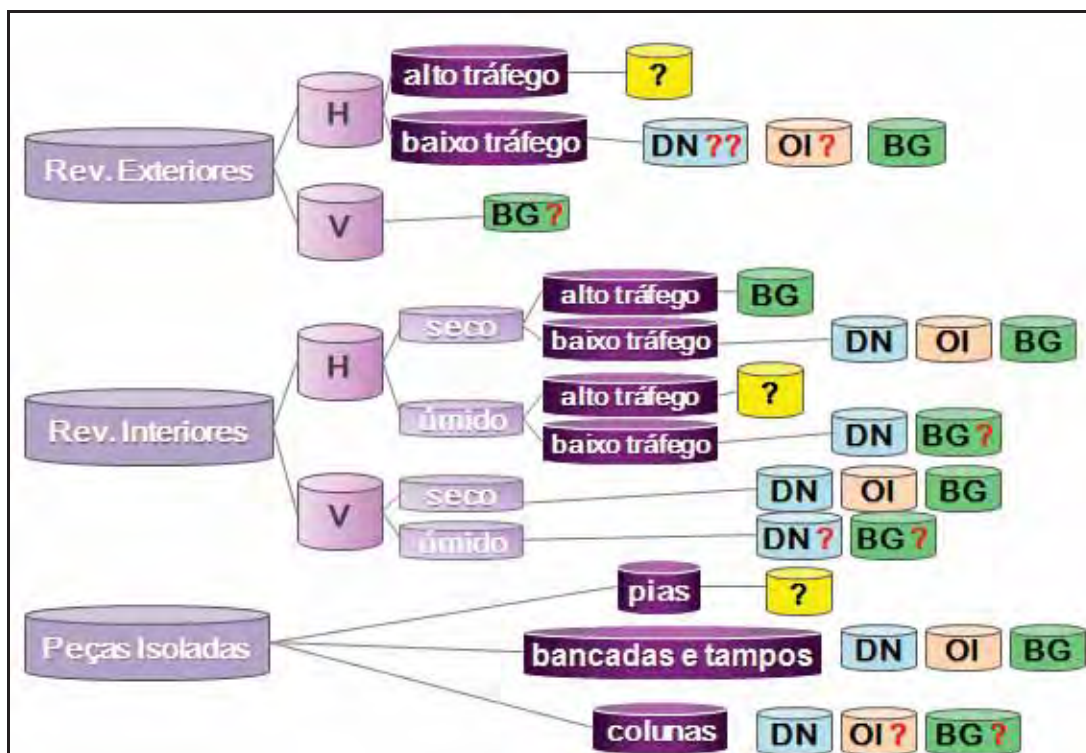


em ambientes litorâneos, principalmente de fachadas de exteriores, é crítica, devendo ser estudada de forma mais aprofundada.

Quanto à exposição ao dióxido de enxofre, a rocha apresentou retenção da solução ácida no interior de suas fissuras, mesmo após lavagem dos corpos de prova, o que provocou alargamento das mesmas. Tal fato também pode levar ao comprometimento da resistência mecânica do material, tornando sua aplicação em ambientes de atmosfera agressiva, semelhantes ao ácido sulfúrico, não aconselhável.

É interessante ressaltar que todas as indicações ou restrições de uso das rochas ornamentais estudadas, salientadas neste capítulo, não levaram em consideração a aplicação de produtos especiais no acabamento das mesmas, tais como resinas, impermeabilizantes, antioxidantes, telas de reforço e similares, o que deduz-se otimizar o desempenho tecnológico das rochas durante as solicitações agregadas às diversas aplicações, desde que devidamente dimensionados e especificados.

A Figura 8.1 abaixo apresenta algumas sugestões de uso para as rochas estudadas, segundo suas características tecnológicas.



**Figura 8.1.** Indicações de uso para as rochas estudadas, segundo suas propriedades tecnológicas. (DN) Diamante Negro, (OI) Ocre Itabira e (BG) Branco Galaxy. (H) horizontal e (V) vertical. As interrogações (? ou ?) indicam que para que tal rocha seja utilizada no ambiente indicado, estudos mais aprofundados devem ser realizados.

# 9

## CONCLUSÕES

---

A presente pesquisa buscou estabelecer correlações entre os aspectos petrográficos e o comportamento tecnológico e de alterabilidade química de três tipos petrográficos utilizados como rochas ornamentais e de revestimento, a saber, um microgabro (Diamante Negro), um hornblenda sienito com quartzo (Ocre Itabira) e um granito pegmatóide com granada e sillimanita (Branco Galaxy).

De acordo com os resultados exibidos pelos ensaios efetuados, foi possível constatar que a correlação é perfeitamente válida, uma vez que os aspectos composicionais, estruturais e texturais, distintos para cada material estudado, levaram à obtenção de valores igualmente distintos para as propriedades físico-mecânicas e químicas avaliadas.

O tipo comercial Diamante Negro constitui-se de um material com granulação essencialmente fina, bom entrelaçamento mineral, e baixo grau de microfissuramento, apresentando, portanto, os menores índices de porosidade e absorção d'água, bem como os maiores valores de resistência mecânica.

A variedade sienítica Ocre Itabira, por sua vez, exibiu valores intermediários de índices físicos e resistências mecânicas em relação aos outros dois materiais analisados, principalmente em consequência da granulação média-grossa e elevado grau de microfissuramento.

O Branco Galaxy foi o material a apresentar os maiores índices de porosidade e absorção d'água, bem como os menores valores de tensão dentre o conjunto de rochas estudadas, exceto pela maior resistência ao desgaste abrasivo, dado seu elevado teor de

quartzo. O resultado tecnológico exibido por esse tipo petrográfico é devido principalmente à sua heterogeneidade textural, marcada por granulação grossa, de aspecto pegmatóide, e grau de microfissuramento mais elevado.

De forma geral, as correlações entre comportamento tecnológico e aspectos petrográficos mostraram-se coerentes na maioria dos ensaios realizados, permitindo o entendimento dos fatores causais dos resultados obtidos. No entanto, em determinados casos, como no ensaio de resistência ao impacto para o tipo Diamante Negro, as relações estabelecidas com somente um parâmetro (textura, por exemplo) mostraram-se insuficientes. Deduz-se que algumas propriedades das rochas dependem de muitos fatores interdependentes, alguns permanecendo desconhecidos para o escopo desta pesquisa, de forma que a correlação com apenas um parâmetro petrográfico foi insuficiente para a perfeita compreensão dos valores encontrados.

Com relação à resistência ao ataque químico sob efeito de compostos agressivos, realizado nas diferentes rochas estudadas, estabeleceu-se que a maior suscetibilidade da rocha quanto à descaracterização cromática e corrosão de cristais está intimamente relacionada à cor e ao teor de minerais máficos presentes. Em outras palavras, a alteração torna-se mais evidente quanto maior a porcentagem de minerais máficos, e quanto mais escura a rocha for.

O mecanismo provável para a descaracterização cromática consiste principalmente do processo de lixiviação do Fe presente na composição dos minerais máficos, responsável inclusive pela coloração destes cristais, o que leva ao branqueamento característico da área em contato com o reagente químico. Esse processo torna-se mais intenso quanto maior for o tempo de exposição ao reagente e quando a rocha apresenta granulação mais grosseira, maior porosidade e microfissuramento, fatores que facilitam a percolação e atuação do reagente.

Para o ensaio de exposição cíclica à atmosfera saturada em névoa salina, pode-se afirmar que o material Branco Galaxy foi o material que apresentou maior susceptibilidade ao teste. Deve-se este comportamento à sua granulação grossa a pegmatóide e grau elevado de microfissuramento. Apesar de não se poder afirmar precisamente, supõe-se que os espaços vazios facilitaram a infiltração da solução salina e, uma vez cristalizado, o sal exerce uma pressão que promove a desagregação e conseqüente saída de partículas ou grãos do material por meio da propagação ou desenvolvimento de novas microfissuras. Tem-se então que para este ensaio, o intemperismo físico (desagregação de material) é o mecanismo de alteração mais atuante.

No que diz respeito ao ensaio de exposição à atmosfera saturada em SO<sub>2</sub>, em nível macroscópico houve alteração colorimétrica e perda de brilho, expressa pelo clareamento das superfícies das placas polidas e pela formação de material aparentemente ferruginoso no tardo das placas. Estes manchamentos estão provavelmente associados à oxidação e provável remobilização local do Fe presente nos constituintes minerais ferromagnesianos, óxidos e hidróxidos de ferro destas rochas, cujas reações químicas com o ácido sulfúrico formado no interior da câmara se desenvolvem sobretudo em nível iônico. Numa perspectiva de detalhe, possibilitada a partir das observações das fotomicrografias obtidas ao MEV, observou-se que as reações químicas provocaram principalmente a corrosão das bordas dos minerais máficos, como sillimanita e biotita, segundo os mesmos mecanismos de lixiviação promovidos pelo ácido.

É interessante ressaltar a complexidade de cada tipo petrográfico estudado, principalmente no que tange às variações locais composicionais e texturais encontradas, o que dificultou a reprodutibilidade das análises realizadas, explicando assim algumas discrepâncias encontradas nos resultados.

Destaca-se também que, embora não considerados nesta pesquisa, além dos processos naturais e dos ensaiados em laboratório, as rochas utilizadas para fins ornamentais e de revestimento passam por mudanças drásticas de condições ambientais, quando submetidas aos processos de extração, beneficiamento, transporte e aplicação, em locais muitas vezes totalmente diferentes daqueles em que jaziam. Esses fatores podem acentuar a ação dos agentes deletérios, acelerando os mecanismos de alteração e promovendo mudanças no aspecto das rochas que podem se traduzir como manchamentos, perda de brilho, alterações na cor, dentre outros.

Em geral, os diversos tipos de degradação não são usualmente decorrentes de problemas ou deficiências da própria rocha, mas sim da sua inadequada especificação aos ambientes desejados e técnicas incorretas de aplicação nesses ambientes. Espera-se, portanto, que a maior parte das alterações possa ser prevenida mediante conhecimento das propriedades tecnológicas das rochas, cautela na seleção de argamassas de assentamento e rejuntamento, bem como o desenvolvimento de estudos de desempenho tecnológico, não abordados nesta pesquisa. São também importantes a adoção de técnicas apropriadas de aplicação, o manuseio e acondicionamento controlado das peças na obra, procedimentos sistemáticos de limpeza e, quando devido, a recomendação de uso de produtos impermeabilizantes e/ou selantes.

Conforme apresentado no Capítulo 8, os critérios de especificação para os materiais estudados ainda são sugestivos, uma vez que os resultados fornecidos pelos ensaios físico-mecânicos e químicos não devem ser tomados como absolutos. Para alguns casos, mesmo tendo sido efetuada a bateria de testes completa, os dados obtidos não forneceram subsídios suficientes para a correta especificação do material, sendo necessários ainda, estudos complementares, como o de desempenho tecnológico, para afirmar se o material é ou não tecnologicamente viável para determinado ambiente de aplicação. Nesse sentido, principalmente para o ensaio de resistência ao desgaste Amsler, há ainda uma grande lacuna quanto à compreensão da relação dos resultados dos ensaios em laboratório e as solicitações reais às quais o material estará submetido nas diversas obras arquitetônicas.

Em suma, os resultados obtidos colaboraram de forma mais efetiva para o estudo comparativo do conjunto de rochas adotado, possibilitando o estabelecimento de critérios auxiliares a uma correta especificação dos mesmos, do que como ferramenta que sozinha mostra-se capaz de prever o comportamento tecnológico destes materiais, quando diante das inúmeras solicitações vinculadas ao uso ornamental e como revestimento.

## 10

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Material Metálico Revestido e Não Revestido; Corrosão por Exposição à Névoa Salina.** 3p. (Norma ABNT – NBR 8094). 1983a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Material Metálico Revestido e Não Revestido; Corrosão por Exposição ao Dióxido de Enxofre.** 3p. (Norma ABNT - NBR 8096). 1983b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento - análise petrográfica.** 3 p. (Norma ABNT-NBR 12768). 1992a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente.** 2 p. (Norma ABNT-NBR 12766). 1992b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão.** 3 p. (Norma ABNT-NBR 12042). 1992c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial.** 2 p. (Norma ABNT-NBR 12767). 1992d.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação da resistência à compressão.** 2p. (Norma ABNT-NBR 12769). 1992e.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à flexão.** 3 p. (Norma ABNT-NBR 12763). 1992f.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento – Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear.** 2 p. (Norma ABNT – NBR 12765). 1992g.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência ao ataque químico.** (Norma ABNT - NBR 13818 anexo – H: normativo). 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimentos de edificações - Terminologia.** 10p. (Norma ABNT - NBR 15012). 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento – Métodos de ensaio.** 32p. (Norma ABNT-NBR 15845 – Anexo H normativo). 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para Revestimento – Requisitos para Granitos.** 2p. 2010.

AIRES-BARROS, Luís. **Alteração e Alterabilidade de Rochas.** Lisboa: Imprensa Nacional, Casa da Moeda, 1991.

ARTUR, A.C.; MEYER, A.P. & WERNICK, E. **Características Tecnológicas de Granitos Ornamentais: a Influência da Mineralogia, Textura e Estrutura da Rocha.** Dados comparativos e implicações de utilização. *In:* Anais. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2001. Ed. CETEM/MCT - Rio de Janeiro, p. 13-19. Salvador-BA. 2002.

ARTUR, A.C.; VIGÁRIO, H.P. & NAVARRO, F.C. **Efeito do Aumento dos Ciclos Gelo/Degelo no Âmbito da Norma NBR 12769 para Avaliação do Decaimento da Resistência à Compressão Uniaxial de Granitos Ornamentais.** *In:* Anais V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife-PE. PPGEMinas/SBG, p. 10 - 22. 2005.

ARTUR, A.C.; MEYER, A.P. & WERNICK, E. **Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização.** In: Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002. Salvador-BA. Ed. CETEM/MCT - Rio de Janeiro, p. 13-19. 2001.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for specular gloss.** 5p. (Standard D 523). 1999.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Terminology Relating to Dimension Stone.** 7p. (Standard C 119). 2001.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Specification for Granite Dimension Stone.** 2p. (Standard C 119). 2003.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constant of rock.** 5p. (Standard D 2845). 2008.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.** 10p. (Standard - B 117). 2009.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Flexural strength of natural building stone.** 3p. (Standard C 880). 2009.

BENAVENTE, D. et al. **Influence of Surface Roughness on Color Changes in Building Stones.** Color Research and Application. v. 28, n°. 5, p. 343-351, 2003.

CAVALCANTI, A. M. de S. **Tecnologia da Pedra.** Rio de Janeiro: Pongetti, 1951. 309 p.

CARDELL, C. et al. **Patterns of Damage in Igneous and Sedimentary Rocks Under Conditions Simulating Sea-Salt Weathering.** Earth Surface Processes and Landforms. v. 28, p. 1-14, 2003.

CHIODI FILHO, C. **Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais.** Série Estudos e Documentos. n. 28. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995. 75p.



CHIODI FILHO, C. **A Nova Idade da Pedra**. Pedras do Brasil, Vitória, maio/2002. n. 03, p.12-15.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P.; ARTUR, A.C. **Panorama Técnico-Econômico do Setor de Rochas Ornamentais no Brasil**. Revista Geociências, São Paulo, SP, v. 623, n. 1/2, p. 5-20, 2004.

CHIODI FILHO, C. **Situação Atual e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais**. São Paulo: ABIROCHAS, 2008a. 38p. (Informe 02/2008)

CHIODI FILHO, C. **Abirochas Promove o Manual de Utilização de Rochas em Revestimentos**. São Paulo: ABIROCHAS, 2008b. 4p. (Informe 15/2008).

CHIODI FILHO, C. **O Potencial Chinês para as Exportações Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais**. São Paulo: ABIROCHAS, 2008c. 9p. (Informe 14/2008).

CHIODI FILHO, C. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2008**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009a. 23p. (Informe n. 03/2009).

CHIODI FILHO, C. **Situação Mundial e Posição Brasileira no Setor de Rochas Ornamentais em 2008**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009b. 5p. (Informe n. 18/2009)

CHIODI FILHO, C. **Síntese das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2009**. São Paulo: ABIROCHAS, 2010. 9p. (Informe n. 01/2010)

CIELAB- Commission International de Eclairaige. **Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, Psychometric Color Terms**. Supplement 2 to CIE publication 15. Colorimetry Bureau Central de la CIE: Paris; 1976.

COSTA, A. P. L. **Alterabilidade e Caracterização Tecnológica dos Gnaisses Enderbíticos da Porção Norte do Estado do Ceará com Aplicação no Setor de Rochas Ornamentais**. 2007. 215 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Brasil**. Escala: 1:2.500.000. 1 map., col., 2001.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. London: Geological Society, 2ed., 712 p, 1997.

DIN - DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Sulphur Dioxide Corrosion Testing in a Saturated Atmosphere.** (DIN 50018) 3 p. 1997.

**ESPÍRITO SANTO Sedia Encontro Nacional de Comércio Exterior.** Rochas de Qualidade. São Paulo, n°. 208, set./out. 2009a. p.118.

**EXPORTAÇÕES do Setor no Primeiro Semestre Somam US\$ 305 milhões.** Rochas de Qualidade. São Paulo, n°. 208, set./out. 2009b. p. 20.

**ESPÍRITO SANTO atinge 75% das exportações de rochas do País.** CENTROROCHAS (online). Vitória, jul. 2010. Disponível: <<http://www.centrorochas.com.br/site/noticias-det.php?noticia=456>> acesso em: 21 set. 2010.

FRASCÁ, M.H.B.O. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais e de Revestimento: Estudo por Meio de Ensaio e Análises e das Patologias Associadas o Uso.** Curso *In:* Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, PE. (Ed. F.W.H. Vidal) Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 1-11. 2002.

FRASCÁ, M. H. B. de O. **Qualificação de Rochas Ornamentais Para Revestimentos de Edificações: Caracterização Tecnológica e Ensaio de Alterabilidade.** *In:* Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Salvador-BA. (Eds: A.F. Ribeiro e F.W.H. Vidal). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 1-12. 2001.

FRASCÁ, M. H. B.de O. **Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas Para Revestimento.** 2003a. 264 p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de, São Paulo – SP.

FRASCÁ, M. H. B.de O. **Ensaio de Alteração Acelerada em Rochas Para Revestimento: Estudos Experimentais em Rochas Graníticas.** *In:* Anais IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza-CE. (Eds. F. W. H. Vidal e M. A. A. B. Lima). Rio de Janeiro: CETEM/SBG, p. 138-145. 2003b.

**FRASCÁ, M.H.B. de O.** Rochas Ornamentais e Para Revestimento: Variedade, Propriedades, Uso e Conservação. *In:* **Mello, I.S.C (coord.) A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo – diretrizes e ações para inovação e competitividade.** São Paulo: IPT, p. 153 – 191, 2004.

FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S. **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento.** *In:* Anais 1º Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa, Portugal. 47-58p. 1995.

- FRAZÃO, E. B. & QUITETE, E. B. **Proposta para um Índice de Qualidade Tecnológica para Rochas Ornamentais Silicáticas**. In: VI Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro, SP. p. 146. 1999.
- FUJIMORI, S. **Rochas Alcalinas do Sul do Estado da Bahia: Notas Preliminares**. Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia. Rio de Janeiro, n°. 141, p. 3-11, 1967.
- FUJIMORI, S. **Rochas Alcalinas da Fazenda Hiassu, Itaju do Colônia, Bahia**. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). 1972. 123p. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA.
- GOOGLE MAPS. **Mapa do estado do Espírito Santo**. Escala 1:20. Disponível em: ><http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-br&tab=wl>< Acesso em: 18 de out. 2010a.
- GOOGLE MAPS. **Mapa do estado da Bahia**. Escala 1:20. Disponível em: ><http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-br&tab=wl>< Acesso em: 20 de out. 2010b.
- GOMES, L.C.C et al. **Tectônica associada à colocação de diques alcalinos félsicos e máficos neoproterozóicos na zona de cisalhamento de Itabuna-Itajú do Colônia, Bahia, Brasil**. Revista Bras. Geocien., 28(4):449-458, 1998.
- HEILBRON M., et al. Tupinambá M. **From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil**. In: Talwani & Mohriak (eds) *Atlantic Rifts and Continental Margins*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, 115:1-34, 2000.
- HEILBRON M., et al. **A Província Mantiqueira**. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.) *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, p. 203-234, 2004a.
- HEILBRON M., et al. **Brasiliano Belts in SE Brazil**. *Journal of Virtual Explorer*, v. 17, 2004b.
- HUDEC, P.P. **Rock Properties and Physical Processes of Rapid Weathering and Deterioration**. In: Moore, D.P., Hungr, O. (Eds.), Proc. 8th International Congress of IAEG, vol. 1. Balkema, pp. 335– 341, 1998.

**IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.** Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo (Coordenador E.B. Frazão). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico, 79 p., 1993, il (Publicação IPT 2048).

ISRM – International Society for Rocks Mechanics. **Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock material.** In: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. v.16, nº8, p. 320-326, 1979.

KAHRAMAN, S. **The Effects of Fracture Roughness on P-wave Velocity.** Eng. Geol. v.63: p.347-350, 2002.

LIMA, M.A.B. **Estudo do Comportamento dos Gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em Atmosfera Salina.** 2006. 160 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

LIMA, M.I.C. et al. **Geologia.** In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SD-24 Salvador. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da Terra. Rio de Janeiro, v. 24, 620 p., 1981.

MACHADO FILHO, L. et al. **Geologia.** In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, v. 32, 780 p., 1983.

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

MENDES, J.C.; WIEDEMANN, C. M.; MCREATH, I. **Norito e Charnoenderbitos da Borda do Maciço Intrusivo de Venda Nova, Espírito Santo.** An. Inst. Geo., v. 25: 99-124. 2002.

MESQUITA, M. P. S. de. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE).** 2002. 171 p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

MEYER, A. P. **Influência da Petrografia no Comportamento Tecnológico de Rochas Ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG).** 2003a. 117p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

- MEYER, A.P.; ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C. **Principais Fatores Petrográficos Condicionantes da Resistência ao Ataque Químico em Rochas de Revestimento.** *In:* Anais IV Simpósio. Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza - CE (Eds: F. W. H. Vidal e M. A. A. B. Lima); Rio de Janeiro: CETEM/BG. p. 153-164. 2003b.
- MONTANI, C. Stone 2009; **Repertorio Economico Mondiale (World Marketing Handbook).** Milano: Faenza Ed., 2009. 122 p.
- MESONES, F.L.G. **La interpretación de los ensayos de caracterización de la piedra natural, en el marco de la nueva normativa europea.** *In:* Villas Bôas, R.; Calvo, B.; Peiter, C.C. (ed.) Iberoeca de Mármoles y Granitos – Mini-foro realizado em Salvador – Bahia, 3-6 de abril de 2003. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CNPq. p. 83-98.
- MORAES, M. C.; RODRIGUES, E. de P. **Exemplo de Aplicação de Coloração Seletiva de Feldspato Potássico e Cálcico:Técnica Auxiliar no Estudo de Rochas.** *Rev.Cerâmica*, v. 2: p. 32-35, 1978.
- NAVARRO, F. C., et al.. **Influence of Mineral Composition and Texture to Thermal Expansion Coefficient of Silicatic Dimension Stones.** *In:* I Congr. Internacional de Rochas Ornamentais e II Simp. Brasileiro de Rochas Ornamentais (Realização: CETEM/CETEMAG). Guarapari – ES, 2005. CD-ROM (6 páginas), Ref. 064.
- NAVARRO, F.C. Granitos Ornamentais: Análise Petrográfica na Previsão do Comportamento Físico-Mecânico. *In:* **Actas II Congresso. Uruguaio de Geologia, Uruguai. p. 103-107. 1998.**
- NAVARRO, F. C.; ARTUR, A.C. **Caracterização Petrográfica Como Ferramenta Para a Previsão do Comportamento Físico e Mecânico de Granitos Ornamentais: Uma Discussão.** *In:* Anais III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife-PE. (Ed.: F. W. H. Vidal) Rio de Janeiro: Ed. CETEM/UFPE, p:2-9. 2002.
- NAVARRO, F.C. **Caracterização Petrográfica Como Técnica Para a Previsão do Comportamento Físico e Mecânico de “Granitos” Ornamentais.** 2002a. 88 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP.
- NAVARRO, F. C. Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas como Ferramenta para a Previsão de Parâmetros Mecânicos em Granitos Ornamentais. *In:* **An. III Simp. Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife - PE (Ed.: F.W.H. Vidal; Rio de Janeiro: CETEM/UFPE). p. 154-159. 2002b.**

NAVARRO, F.C.; ARTUR, A.C.; MEYER, A.P. **Velocidade de Ultra-Som Como Controle de Qualidade de Granitos Aplicados em Fachadas e Funções Estruturais**. In: Anais IV Simpósio Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza - CE (Eds: F. W. H. Vidal e M.A.A.B. Lima) Rio de Janeiro: CETEM/BG, 2003). p. 140-152. 2003.

ONODERA, T.F.; ASOKA KUMARA, H.M. **Relation Between Texture and Mechanical Properties of Crystalline Rocks**. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. v.22: p.173–177, 1980.

PEDREIRA, A.J. de C.L. et al. **Projeto Bahia; Relatório Final: Geologia da Chapada Diamantina**. DNPM/CPRM, Salvador, v. 5: 142p. 1975. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2409).

PEITER, C. & CHIODI FILHO, C. **Rochas Ornamentais no Século XXI; Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras**. Rio de Janeiro : CETEM/ABIROCHAS, 2001. 160 p., il.

PLGB – Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Afonso Cláudio**. Folha SF.24-V-A-II. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Org. Nicola Signorelli. Brasília, DNPM/CPRM, 153 p. 1993a.

PLGB – Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Colatina**. Folha SE-24-Y-C-VI. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Org. Pedro Manuel Tuller. Brasília, DNPM/CPRM, 176 p. 1993b.

REGAZZI, R. D. **Indústria de Rochas Ornamentais Ocupa Posição de Destaque**. SEBRAE (online). Disponível: <[http://www.sebrae.com.br/setor/rochas-ornamentais/o-setor/mercado/integra\\_bia?ident\\_unico=1104](http://www.sebrae.com.br/setor/rochas-ornamentais/o-setor/mercado/integra_bia?ident_unico=1104)>. Acesso em: 21 set. 2010.

RODRIGUES, E. P.; COUTINHO, J. M. V.; CHIODI FILHO, C. **Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental**. Rev. Rochas de Qualidade. n. 127: P. 80-84. 1996.

RODRIGUES, E. DE P.; COUTINHO, J. M. V.; CHIODI FILHO, C. **Importância da Petrografia Para a Previsão do Comportamento e da Durabilidade de Rochas Ornamentais**. Rev. Rochas & Equipamentos, v. 47, p. 78-86. Lisboa-Portugal, 1997.

RZHEVSKY, V. & NOVIK, G. **The Physics of Rocks**. Moscow: MIR Publishers. 320 p., 1971.

SANTIM, J.L. **Ultra-som: Técnica e Aplicação**. Rio de Janeiro, 297p., 1996.

SGM – Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. **Catálogo de Rochas Ornamentais da Bahia**. (Coords. H.C.A de Azevedo e P.H. de O. Costa. Salvador, 148p., 1994, il.

SCHÖN, J. H. **Physical Properties of Rocks: fundamentals and principles of petrophysics**. Handbook of Geophysical Exploration/Sismic Exploration (Helbig, K e Treitel, S. eds.). Oxford: Pergamon, v. 18, 583 p. 1996.

SIMÃO, J. A. R S. 2003. **Rochas Ígneas como Pedra Ornamental – Causas, Condicionantes e Mecanismos de Alteração. Implicações Tecnológicas**. Tese de Doutorado, DCT/FCT/Universidade Nova de Lisboa. 182 p.

SPÍNOLA, V. GUERREIRO, L. F. & BAZAN, R. **A Indústria de Rochas Ornamentais. Salvador: Desenhahia, 2004. 47 p.** (Estudo de Mercado 02/04).

SOUSA, L. M. O. et al. **Influence of Microfractures and Porosity on the Physico-mechanical Properties and Weathering of Ornamental Granites**. Eng. Geol., v. 77: p. 153-168, 2005.

STRECKEISEN, A. **To Each Plutonic Rock Its Proper Name**. Earth Sci. v. 2:133 p. 1976.

TEIXEIRA, W., KAMO, S.L.; ARCANJO, J.B.A. **U-Pb Zircon and Baddeleyite Age and Tectonic Interpretation of the Itabuna Alkaline Suite, São Francisco Craton, Brazil**. Journal of South Am. Earth Sci., v.10 (1):91-98, 1997.

TORQUATO, M.F.B. **Rochas Ornamentais do Noroeste do Ceará (Brasil). Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará**. 2004. 274 p. Tese (de Doutorado). Instituto Superior Técnico de Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa - PT.

TUĞRUL, A.; ZARIF, I.H. **Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics With Engineering Properties of Selected Granitic Rocks From Turkey**. Eng. Geol., v. 51: p.303-317, 1999.

TUĞRUL, A. **The Effect of Weathering on Pore Geometry and Compressive Strength of Selected Rocks Types From Turkey**. Eng. Geol., v. 75: p. 215-227, 2004.

TUPINAMBÁ, M; et al. **Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí**. GEONOMOS 15(1): 67 - 79, 2007.

WERNICK, E. **Sistemática das Rochas Magmáticas**. Rio Claro : FAFI, 1975. 161 p.

WIEDEMANN, C.M. et al. **Granitoids of the Espírito Santo Magmatic Arc**. In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations. Excursion Guide. Salvador, p. 57-76, 1997.

WIEDEMANN, C.M. et al. **Architecture of Late Orogenic Plutons in the Araçuaí-Ribeira Fold Belt, Southeast Brazil**. *Gond. Research*, v.5 (2): 381-399, 2002.



# **ANEXOS**

## **ANEXO A**

**TABELAS CONTENDO OS RESULTADOS DOS  
ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS**

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra: Diamante Negro

início: 23/11/2009

término 25/11/2009

Procedência: Floresta Azul - BA

Interessado: ADM

CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %
	num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca		
1	241,83	356,71	356,43	3,103	3,105	0,24	0,08
2	250,46	370,19	369,89	3,089	3,092	0,25	0,08
3	246,05	362,78	362,50	3,105	3,108	0,24	0,08
4	249,88	368,53	368,21	3,103	3,106	0,27	0,09
5	247,76	365,74	365,42	3,097	3,100	0,27	0,09
6	237,50	350,09	349,73	3,106	3,109	0,32	0,10
7	228,99	338,54	338,21	3,087	3,090	0,30	0,10
8	243,99	359,76	359,51	3,105	3,108	0,22	0,07
9	251,72	371,50	371,24	3,099	3,102	0,22	0,07
10	223,53	329,42	329,12	3,108	3,111	0,28	0,09
<b>Valores Médios:</b>				3,100	3,103	0,26	0,08
<b>Desvio Padrão:</b>				0,007	0,007	0,034	0,011

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra: Ocre Itabira

início: 10/3/2010

término: 12/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante -  
ES

Interessado: ADM

CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	243,46	386,5	385,30	2,694	2,702	0,84	0,31
2	244,46	387,77	386,55	2,697	2,706	0,85	0,32
3	232,3	368,15	367,06	2,702	2,710	0,80	0,30
4	227,3	359,55	358,53	2,711	2,719	0,77	0,28
5	207,78	328,8	327,88	2,709	2,717	0,76	0,28
6	233,11	368,98	367,97	2,708	2,716	0,74	0,27
7	230,12	365,21	364,07	2,695	2,703	0,84	0,31
8	233,37	368,38	368,29	2,728	2,729	0,07	0,02
9	229,77	364,4	363,27	2,698	2,707	0,84	0,31
10	239,47	379,21	378,07	2,706	2,714	0,82	0,30
<b>Valores Médios:</b>				2,705	2,712	0,73	0,27
<b>Desvio Padrão:</b>				0,010	0,008	0,237	0,088

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra: Branco Galaxy

início: 10/3/2010

término: 12/3/2010

Procedência: Colatina - ES

Interessado: ADM

CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %
	num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca		
1	238,21	384,07	383,00	2,626	2,633	0,73	0,28
2	212,66	343,27	342,31	2,621	2,628	0,74	0,28
3	237,20	381,95	380,03	2,625	2,639	1,33	0,51
4	249,07	397,50	396,31	2,670	2,678	0,80	0,30
5	234,64	378,13	377,12	2,628	2,635	0,70	0,27
6	242,34	388,77	387,69	2,648	2,655	0,74	0,28
7	239,26	385,98	384,90	2,623	2,631	0,74	0,28
8	221,81	357,12	356,09	2,632	2,639	0,76	0,29
9	215,36	341,84	340,87	2,695	2,703	0,77	0,28
10	228,19	366,55	365,56	2,642	2,649	0,72	0,27
<b>Valores Médios:</b>				2,641	2,649	0,80	0,30
<b>Desvio Padrão:</b>				0,024	0,024	0,186	0,071

## Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: Diamante Negro

Data: 26/11/2009

Procedência: Floresta Azul

Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	74,93	73,71	73,85	73,31	73,32	73,55	73,47	73,31	73,25	73,21	73,31	988,9	183,4
2	75,32	75,65	75,89	75,25	75,06	75,46	74,12	74,26	75,41	75,07	74,72	1155,0	204,8
3	75,83	74,90	74,68	74,86	75,03	74,87	74,46	74,01	73,42	73,95	73,96	1134,2	204,8
4	75,59	75,56	75,96	75,39	75,55	75,62	74,44	73,68	73,34	73,74	73,80	920,6	165,0
5	75,72	75,63	75,38	74,69	74,64	75,09	73,31	73,62	73,69	74,25	73,72	1114,8	201,4
6	75,37	74,12	74,21	74,02	74,32	74,17	73,84	74,22	74,97	74,75	74,45	1026,2	185,9
<b>Média:</b>						74,79					73,99	1056,5	190,9
<b>Desvio Padrão:</b>						0,795					0,511	92,81	15,83

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,4	74,93	6573
2	13,0	75,32	5794
3	12,5	75,83	6066
4	12,4	75,59	6096
5	11,2	75,72	6761
6	12,9	75,37	5843
<b>Média:</b>			6189
<b>Desvio Padrão:</b>			393,44

com congelamento/degelo	
sem congelamento/degelo	X

seca em estufa à 110° C	X
saturado em água	

## Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: Ocre Itabira

Data: 18/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES

Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	75,86	75,56	75,43	75,62	75,38	75,50	75,27	75,34	75,41	75,54	75,39	801,0	140,7
2	74,92	74,94	75,05	74,98	74,90	74,97	74,48	74,55	74,87	74,95	74,71	743,5	132,7
3	75,06	75,08	75,07	75,00	75,12	75,07	74,29	74,44	74,56	74,38	74,42	704,4	126,1
4	74,81	75,55	75,22	75,75	75,74	75,57	74,89	75,42	75,51	74,52	75,09	748,3	131,9
5	74,95	74,44	74,16	74,36	74,53	74,37	73,41	73,43	73,75	73,81	73,60	853,6	155,9
<b>Média:</b>						75,09					74,64	770,13	137,5
<b>Desvio Padrão:</b>						0,48					0,689	57,93	11,56

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	18,2	75,86	4168
2	17,4	74,92	4306
3	18,2	75,06	4124
4	19,3	74,81	3876
5	17,3	74,95	4332
<b>Média:</b>			4161
<b>Desvio Padrão:</b>			182,25

com congelamento/degelo

sem congelamento/degelo

seca em estufa à 110° C

saturado em água

## Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: Branco Galaxy

Data: 18/3/2010

Procedência: Colatina - ES

Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	75,03	74,50	74,94	74,54	74,46	74,61	74,03	73,95	73,72	74,05	73,94	736,3	133,5
2	74,61	74,74	74,60	74,76	74,56	74,67	73,35	73,39	73,15	73,06	73,24	786,4	143,8
3	74,06	75,17	74,15	74,68	74,88	74,72	74,52	75,01	75,22	74,88	74,91	747,2	133,5
4	74,87	75,12	74,96	75,05	75,24	75,09	73,62	73,09	74,32	74,44	73,87	742,1	133,8
5	74,55	75,43	75,50	75,44	75,65	75,51	74,82	75,18	75,56	75,65	75,30	734,6	129,2
6	74,92	74,72	74,29	74,86	75,18	74,76	73,11	73,66	74,89	74,22	73,97	743,6	134,5
<b>Média:</b>						74,89					74,20	748,32	134,7
<b>Desvio Padrão:</b>						0,344					0,758	19,21	4,84

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	18,0	75,03	4168
2	21,6	74,61	3454
3	20,2	74,06	3666
4	22,6	74,87	3313
5	17,9	74,55	4165
6	22,1	74,92	3390
<b>Média:</b>			3693
<b>Desvio Padrão:</b>			385,38

com congelamento/degelo	<input type="checkbox"/>
sem congelamento/degelo	<input checked="" type="checkbox"/>

seca em estufa à 110° C	<input checked="" type="checkbox"/>
saturado em água	<input type="checkbox"/>



## Ensaio de Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão Uniaxial - Norma NBR - 12.769/1992

Amostra: Diamante NegroData: 25/3/2010:Procedência: Floresta Azul - BA

Interessado: ADM

	corpo-de-prova	dimensões dos corpos-de-prova (mm)			Carga de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)	
	nº	altura	aresta b	aresta d			
ao natural (secos em estufa)	1	74,93	73,55	73,31	988,9	183,4	
	2	75,32	75,46	74,72	1155,0	204,8	
	3	75,83	74,87	73,96	1134,2	204,8	
	5	75,72	75,09	73,72	1114,8	201,4	
	6	75,37	74,17	74,45	1026,2	185,9	
	<b>Média (T ao natural):</b>						196,06
	<b>Desvio Padrão:</b>						10,57
após congelamento	7	74,52	74,06	74,19	1179,90	214,7	
	8	74,46	72,54	74,27	1134,10	210,5	
	9	74,54	74,53	74,04	1072,50	194,4	
	10	74,18	73,17	73,62	948,45	176,1	
	11	73,81	73,69	73,82	992,00	182,4	
	12	72,61	72,66	72,67	1060,30	200,8	
	13	74,91	74,69	73,66	984,1	178,9	
	<b>Média (T após congelamento e degelo):</b>						193,97
	<b>Desvio Padrão:</b>						15,46
	<b>K = (T congelamento e degelo)/(T natural):</b>						0,99

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS					
CP nº	altura (mm)	tempo (µs)		ao natural	após congelamento
		natural	após cong.		
1	72,93	11,4		6397,37	
2	75,32	13,0		5793,85	
3	75,83	12,5		6066,40	
4	75,59	12,4		6095,97	
5	75,72	11,2		6760,71	
6	75,37	12,9		5842,64	
7	74,52		11,5		6480,00
8	74,46		12,0		6205,00
9	74,54		11,8		6316,95
10	74,18		12,9		5750,39
11	73,81		11,5		6418,26
12	72,61		12,0		6050,83
13	74,91		11		6810,00
<b>Média:</b>				6159,49	6290,20
<b>Desvio Padrão:</b>				364,65	336,47

**Ensaio de Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão Uniaxial - Norma NBR - 12.769/1992**

Amostra: Ocre Itabira

Data: 25/3/2010:

Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES Interessado: ADM

	corpo-de-prova	dimensões dos corpos-de-prova (mm)			Carga de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)	
	nº	altura	aresta b	aresta d			
ao natural (secos em estufa)	1	75,86	75,50	75,39	801,00	140,73	
	2	74,92	74,97	74,71	743,45	132,74	
	3	75,06	75,07	74,42	704,40	126,09	
	4	74,81	75,57	75,09	748,25	131,88	
	5	74,95	74,37	73,60	853,55	155,93	
	<b>Média (T ao natural):</b>						137,47
	<b>Desvio Padrão:</b>						11,56
após congelamento	6	73,24	74,12	74,12	725,80	132,51	
	7	73,73	72,34	72,34	769,30	144,86	
	8	73,50	72,52	72,52	622,50	121,12	
	9	74,38	72,28	72,28	742,05	139,77	
	10	74,20	73,94	73,94	691,90	131,48	
	<b>Média (T após congelamento e degelo):</b>						133,95
	<b>Desvio Padrão:</b>						9,02
<b>K = (T congelamento e degelo)/(T natural):</b>						0,97	

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS					
CP nº	altura (mm)	tempo (µs)		ao natural	após congelamento
		natural	após cong.		
1	75,86	18,2		4168,13	
2	74,92	17,4		4305,75	
3	75,06	18,2		4124,18	
4	74,81	19,3		3876,17	
5	74,95	17,3		4332,37	
6	73,24		17,4		4209,20
7	73,73		17,3		4261,85
8	73,50		17,3		4248,55
9	74,38		17,9		4155,31
10	74,20		17,1		4339,18
<b>Média:</b>				4161,32	4242,82
<b>Desvio Padrão:</b>				182,25	67,95

**Ensaio de Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão Uniaxial - Norma NBR - 12.769/1992**

Amostra: Branco Galaxy

Data: 25/3/2010:

Procedência: Colatina - ES

Interessado: ADM

	corpo-de-prova	dimensões dos corpos-de-prova (mm)			Carga de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)	
	nº	altura	aresta b	aresta d			
ao natural (secos em estufa)	1	75,03	74,61	73,94	736,25	133,46	
	2	74,61	74,67	73,24	786,35	143,80	
	3	74,06	74,72	74,91	747,15	133,49	
	5	74,87	75,09	73,87	742,05	133,78	
	6	74,55	75,51	75,30	734,55	129,19	
	<b>Média (T ao natural):</b>						134,70
	<b>Desvio Padrão:</b>						5,41
após congelamento	7	74,55	73,52	74,47	696,55	127,2	
	8	75,05	74,62	73,89	674,35	122,3	
	9	74,82	74,38	74,39	630,70	114,0	
	10	74,41	73,73	74,02	662,30	121,4	
	11	75,10	74,85	74,15	610,50	110,0	
	<b>Média (T após congelamento e degelo):</b>						118,98
	<b>Desvio Padrão:</b>						46,05
<b>K = (T congelamento e degelo)/(T natural):</b>						0,88	

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS					
CP nº	altura (mm)	tempo (µs)		ao natural	após congelamento
		natural	após cong.		
1	75,03	18,0		4168,33	
2	74,61	21,6		3454,17	
3	74,06	20,2		3666,34	
4	74,87	22,6		3312,83	
5	74,55	17,9		4164,80	
6	74,92	22,1		3390,05	
7	74,1		23,11		3206,40
8	74,55		23,4		3185,90
9	75,05		22,4		3350,45
10	74,82		22,4		3340,18
11	74,41		22,6		3292,48
<b>Média:</b>				3753,29	3275,08
<b>Desvio Padrão:</b>				397,69	75,65

### Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763

Amostra: Diamante Negro

data: 25/11/2009

Procedência: Floresta Azul - BA

Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)												dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				largura (b)				média						
	1	2	3	4	1	2	3	4	b						
1	49,61	49,69	50,00	49,36	49,67	101,57	100,38	100,87	99,57	100,60	180	20296	22,1		
2	49,67	49,08	50,04	50,45	49,81	100,69	99,08	100,17	99,76	99,93	180	21734	23,7		
3	50,36	50,54	50,69	50,04	50,41	99,84	100,30	99,96	99,83	99,98	180	18308	19,5		
4	50,63	49,98	50,72	50,14	50,37	99,57	100,56	100,50	102,31	100,74	180	20792	22,0		
5	51,00	49,90	50,15	50,55	50,40	99,68	100,65	100,43	100,69	100,36	180	20588	21,8		
6	50,84	49,39	50,60	49,33	50,04	104,35	101,88	100,89	100,49	101,90	180	22106	23,4		
<b>Média:</b>													20637,3	22,1	
<b>Desvio Padrão:</b>													1336,29	1,50	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	30,2	201,00	6656
2	36,4	200,04	5496
3	30,8	200,91	6523
4	29,6	198,18	6695
5	37,5	199,96	5332
6	30,4	197,18	6486
<b>Média:</b>		6198	
<b>Desvio Padrão:</b>		614,53	

seca em estufa à 110° C  
saturado em água

x

### Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763

Amostra: Ocre Itabira

data: 16/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)												dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				largura (b)				média						
	1	2	3	4	1	2	3	4	b						
1	50,41	50,36	50,61	50,22	50,40	101,72	101,95	101,69	100,83	101,55	180	12384	13,0		
2	49,86	50,50	50,07	50,24	50,17	100,37	100,35	100,15	100,11	100,25	180	10960	11,7		
3	50,79	49,72	50,40	49,84	50,19	101,66	100,42	101,34	100,27	100,92	180	11526	12,2		
4	50,28	50,44	50,42	50,69	50,46	101,62	101,96	101,96	101,61	101,79	180	10554	11,0		
5	50,69	50,25	50,58	50,20	50,43	102,47	100,63	101,36	100,86	101,33	180	12412	13,0		
<b>Média:</b>												11567,2	12,2		
<b>Desvio Padrão:</b>												833,34	0,85		

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	45,7	202,31	4427
2	45,5	201,19	4422
3	45,5	201,81	4435
4	46,6	200,62	4305
5	46,1	200,94	4359
<b>Média:</b>			4390
<b>Desvio Padrão:</b>			56,134

seca em estufa à 110° C  
saturado em água

x

### Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763

Amostra: Branco Galaxy

data: 16/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES

Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)												dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				largura (b)				média						
	1	2	3	4	média d	1	2	3	4	média b					
1	49,95	50,07	50,01	50,05	50,02	99,72	100,80	100,39	100,10	100,25	180	7458	8,0		
2	49,82	50,04	49,87	50,03	49,94	100,26	100,91	100,65	100,12	100,49	180	8684	9,4		
3	50,87	50,38	50,37	50,79	50,60	101,67	100,37	100,81	100,33	100,80	180	6804	7,1		
4	50,52	50,42	50,51	50,03	50,37	101,25	101,87	101,64	101,32	101,52	180	9548	10,0		
5	50,86	51,14	50,60	50,96	50,89	100,35	100,27	100,62	100,55	100,45	180	7638	7,9		
6	51,74	52,49	50,85	51,51	51,65	101,86	101,28	101,10	101,01	101,31	180	6380	6,4		
<b>Média:</b>					50,58					100,80		7752	8,1		
<b>Desvio Padrão:</b>					0,633					0,511		1181,08	1,36		

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	68,8	201,65	2931
2	64,1	200,44	3127
3	68,2	200,98	2947
4	67,5	200,90	2976
5	64,2	198,63	3094
6	65,4	198,04	3028
<b>Média:</b>			3017
<b>Desvio Padrão:</b>			80,137

seca em estufa à 110° C  
saturado em água

x

### Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880

Amostra: Diamante Negro data: 25/11/2009

Procedência: Floresta Azul - BA Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)												dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				largura (b)				média						
	1	2	3	4	1	2	3	4	b	d					
1	26,05	26,85	25,87	26,64	100,94	103,51	100,52	104,95	102,48	360	5558	21,09			
2	26,82	26,18	26,76	26,01	100,32	100,51	101,13	100,34	100,58	360	4156	15,96			
3	22,50	22,84	22,88	22,64	99,31	100,77	99,90	100,44	100,11	360	4110	21,48			
4	25,68	24,64	25,42	24,28	100,38	100,72	99,87	103,55	101,13	360	5828	24,89			
5	24,31	25,09	24,38	25,81	101,38	105,55	103,88	101,86	103,17	360	5370	22,67			
6	26,45	25,54	26,42	25,70	100,66	101,47	102,09	102,65	101,72	360	5534	21,68			
<b>Média:</b>												101,53		21,29	
<b>Desvio Padrão:</b>												1,159		2,95	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	59,2	380,00	6419
2	59,2	380,00	6419
3	59,7	380,00	6365
4	59,8	380,00	6355
5	59,7	380,00	6365
6	59,7	380,00	6365
<b>Média:</b>			6381
<b>Desvio Padrão:</b>			29,43

seca em estufa à 110° C  
saturado em água

x

### Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880

Amostra: Ocre Itabira data: 17/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)												dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				largura (b)				média						
	1	2	3	4	1	2	3	4	b						
1	28,57	28,70	28,69	28,81	28,69	100,75	100,91	100,94	100,83	100,86	100,86	360	2194	7,13	
2	28,56	28,58	28,83	28,66	28,66	100,05	100,12	100,96	100,06	100,30	100,30	360	2308	7,57	
3	28,64	28,63	28,70	28,81	28,70	101,67	101,58	100,94	101,47	101,42	101,42	360	2582	8,35	
4	29,55	29,43	29,67	29,61	29,57	101,96	101,88	101,93	101,93	101,93	101,93	360	2528	7,66	
5	29,45	29,33	29,61	29,45	29,46	102,04	101,26	101,96	101,35	101,65	101,65	360	2794	8,55	
<b>Média:</b>					29,01					101,23				7,85	
<b>Desvio Padrão:</b>					0,4568					0,653				0,58	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	87,7	380,10	4334
2	87,8	380,08	4329
3	87,5	380,10	4344
4	86,3	380,13	4405
5	86,7	380,13	4384
<b>Média:</b>			4359
<b>Desvio Padrão:</b>			33,50

seca em estufa à 110° C  
saturado em água

x



### Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880

Amostra: Branco Galaxy

data: 22/9/2010

Procedência: Colatina - ES

Interessado: ADM

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)												dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				largura (b)				média						
	1	2	3	4	1	2	3	4	b						
1	31,31	31,11	31,36	31,39	31,29	43,93	43,71	44,96	43,94	44,14	360	1000	6,25		
2	31,39	31,78	31,19	31,25	31,40	44,40	43,61	44,52	44,06	44,15	360	1332	8,26		
3	30,58	30,87	31,62	31,17	31,06	45,58	44,47	45,12	44,57	44,94	360	830	5,17		
4	31,53	31,56	31,87	32,05	31,75	44,91	45,52	44,39	45,23	45,01	360	972	5,78		
5	31,34	31,35	31,29	31,52	31,38	45,08	45,14	45,37	44,46	45,01	360	1306	7,96		
6	31,08	31,03	30,35	30,51	30,74	44,14	45,43	43,84	44,72	44,53	360	1126	7,22		
	<b>Média:</b>				31,27					44,63		1094,333	6,77		
	<b>Desvio Padrão:</b>				0,3418					0,418			1,24		

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	106,4	400,02	3760
2	109,1	400,00	3666
3	108,9	400,00	3673
4	109,6	400,00	3650
5	107,8	400,02	3711
6	112,7	400,00	3549
	<b>Média:</b>		3668
	<b>Desvio Padrão:</b>		70,264

seca em estufa à 110° C saturado em água

x

### Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042

Amostra: Diamante Negro data: 24/11/2009

Procedência: Floresta Azul - BA Interessado: ADM

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)		(Li - L1000m) (mm)			
1	1	9,46	1	8,96	1	8,44	0,50		1,02		0,47	0,81
	2	9,36	2	8,86	2	8,50	0,50		0,86			
	3	8,89	3	8,58	3	8,36	0,31		0,53			
	4	9,38	4	8,80	4	8,57	0,58		0,81			
2	1	9,06	1	8,65	1	8,32	0,41		0,74		0,36	0,71
	2	9,15	2	8,83	2	8,48	0,32		0,67			
	3	9,15	3	8,82	3	8,45	0,33		0,70			
	4	9,00	4	8,63	4	8,29	0,37		0,71			
<b>média entre os corpos de prova</b>											0,42	0,76
<b>desvio padrão</b>											0,08	0,07

### Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042

Amostra: Ocre Itabira data: 12/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES Interessado: ADM

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto					
1	1	9,38	1	8,92	1	8,37	0,46	1,01	0,54	1,07
	2	9,39	2	8,89	2	8,34	0,50	1,05		
	3	9,36	3	8,76	3	8,24	0,60	1,12		
	4	9,35	4	8,77	4	8,25	0,58	1,10		
2	1	9,29	1	8,93	1	8,49	0,36	0,80	0,45	0,91
	2	9,30	2	8,88	2	8,49	0,42	0,81		
	3	9,29	3	8,75	3	8,27	0,54	1,02		
	4	9,28	4	8,79	4	8,28	0,49	1,00		
								<b>média entre os corpos de prova</b>	0,49	0,99
								<b>desvio padrão</b>	0,06	0,11

## Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042

Amostra: Branco Galaxy

data: 19/08/2010

Procedência: Colatina - ES

Interessado: ADM

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)		(Li - L1000m) (mm)			
1	1	9,72	1	9,48	1	9,26	0,24		0,46		0,17	0,46
	2	9,40	2	9,24	2	9,09	0,16		0,31			
	3	9,42	3	9,31	3	8,98	0,11		0,44			
	4	9,62	4	9,44	4	9,00	0,18		0,62			
2	1	9,36	1	9,25	1	8,97	0,11		0,39		0,23	0,50
	2	9,38	2	9,15	2	8,95	0,23		0,43			
	3	9,69	3	9,38	3	9,00	0,31		0,69			
	4	9,71	4	9,44	4	9,21	0,27		0,50			
<b>média entre os corpos de prova</b>											0,20	0,48
<b>desvio padrão</b>											0,04	0,03

## Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 15845

Amostra: Diamante Negro

Data: 24/11/09

Procedência: Floresta Azul - BAInteressado: ADM

altura das quedas (cm)	Corpos - de - prova																				
	1				2				3			4			5						
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	
20	X				X				X				X				X				
25	X				X				X				X				X				
30	X				X				X				X				X				
35				X	X							X	X				X				
40							X									X	X				
45																					X
50																					
55																					
60																					
65																					
70																					
75																					
80																					
85																					
90																					
95																					
100																					

espessura	e1	2547,00	e1	2585	e1	2527	e1	2651	e1	2613
	e2	2558,00	e2	2625	e2	2605	e2	2648	e2	2651
	e3	2594,00	e3	2655	e3	2592	e3	2606	e3	2683
	e4	2581,00	e4	2619	e4	2539,00	e4	2599	e4	2621
<b>média</b>	2570,00		2621,00		2565,75		2626,00		2642,00	

## Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 15845

Amostra: Ocre Itabira

Data: 12/3/2010

Procedência: Venda Nova do Imigrante -  
ESInteressado: ADM

altura das quedas (cm)	Corpos - de - prova																			
	1				2				3				4			5				
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	X				X				X				X				X			
25	X				X				X				X				X			
30	X				X				X				X				X			
35	X					X			X				X					X		
40	X						X			X			X						X	
45			X					X				X			X					X
50				X											X					
55																				
60																				
65																				
70																				
75																				
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				

espessura	e1	30,06	e1	30,19	e1	30,76	e1	29,27	e1	29,42
	e2	29,92	e2	30,09	e2	30,3	e2	29,21	e2	29,24
	e3	29,89	e3	29,95	e3	30,13	e3	29,21	e3	29,37
	e4	29,91	e4	30,1	e4	30,58	e4	29,24	e4	29,37
<b>média</b>		29,95		30,08		30,44		29,23		29,35

## Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 15845

Amostra: Branco Galaxy

Data: 21/9/2010

Procedência: Colatina-ES

Interessado: ADM

altura das quedas (cm)	Corpos - de - prova																			
	1				2				3				4			5				
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	X				X				X				X				X			
25	X				X				X				X				X			
30	X				X				X				X				X			
35	X				X				X				X				X			
40	X				X				X				X				X			
45	X				X								X						X	
50			X				X			X					X					X
55				X				X			X					X				
60												X								
65																				
70																				
75																				
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				

espessura	e1	30,03	e1	31,5	e1	30,13	e1	31,63	e1	30,4
	e2	31,53	e2	30,23	e2	31,42	e2	31,58	e2	31,65
	e3	31,70	e3	30,35	e3	31,42	e3	30,51	e3	31,72
	e4	30,64	e4	31,53	e4	29,87	e4	30,05	e4	30,74
<b>média</b>	30,98		30,90		30,71		30,94		31,13	

## **ANEXO B**

**TABELAS DE MEDIDAS DE BRILHO DAS AMOSTRAS  
SUBMETIDAS AO ATAQUE QUÍMICO POR  
REAGENTES AGRESSIVOS**



**Tabela B1:** Medidas de brilho e porcentagem de perda de brilho obtida nos materiais estudados submetidos ao ensaio de ataque químico.

Reagentes	Materiais Estudados								
	DIAMANTE NEGRO			OCRE ITABIRA			BRANCO GALAXY		
	<i>BI</i>	<i>BF</i>	%	<i>BI</i>	<i>BF</i>	%	<i>BI</i>	<i>BF</i>	%
NH <sub>4</sub> Cl	97	98	-	80	77	-	74	73	-
	96	98	-	80	76	-	70	73	-
	94	97	-	76	74	-	70	69	-
<b>Média</b>	95,9	97,6	+1,8	78,6	75,8	-3,6	71,2	71,4	+0,3
NaClO	100	98	-	80	78	-	57	61	-
	100	97	-	80	77	-	56	58	-
	100	98	-	79	77	-	53	56	-
<b>Média</b>	100	97,6	-2,1	79,4	77,4	-2,5	55,1	58,0	+5,3
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	95	85	-	74	72	-	69	71	-
	94	85	-	78	75	-	71	69	-
	92	83	-	75	71	-	70	72	-
<b>Média</b>	94,0	84,6	-10,0	75,6	72,8	-3,7	70,4	70,6	+0,3
HCl	98	80	-	81	66	-	52	47	-
	101	81	-	77	69	-	57	48	-
	99	81	-	77	68	-	24	23	-
<b>Média</b>	99,1	81,0	-18,7	78,8	67,0	-15,0	44,4	39,5	-11,0
KOH	97	89	-	76	74	-	69	66	-
	98	90	-	79	74	-	69	65	-
	97	88	-	79	75	-	71	65	-
<b>Média</b>	97,6	89,0	-8,8	78,6	74,9	-4,7	69,2	65,7	-5,1

**Legenda:** **BI:** brilho inicial

**BF:** brilho após ataque químico

**%:** porcentagem perda de brilho

## **ANEXO C**

TABELAS DE MEDIDAS COLORIMÉTRICAS E DE  
BRILHO EM GLOSSMETER DE TRÊS ÂNGULOS  
EFETUADAS NAS AMOSTRAS SUBMETIDAS AO  
ATAQUE QUÍMICO EM CÂMARAS SIMULANDO  
NÉVOA SALINA E SO<sub>2</sub>

**Tabela C1.** Valores dos parâmetros colorimétricos medidos para as rochas estudadas antes e após os ciclos de exposição à névoa salina.

Parâmetros CIELAB	Rochas		
	<i>Diamante Negro</i>	<i>Ocre Itabira</i>	<i>Branco Galaxy</i>
$L^*_i$	44,30	66,36	85,34
$L^*_f$	47,49	54,55	75,67
$\Delta L^*$	3,26	-12,31	-9,67
$a^*_i$	0,12	-0,09	-0,14
$a^*_f$	0,24	0,45	-0,96
$\Delta a^*$	0,12	0,54	0,82
$b^*_i$	2,06	0,69	1,83
$b^*_f$	3,06	3,26	-2,68
$\Delta b^*$	1,00	2,57	4,51
$\Delta E^*$	3,42	12,59	10,70

**Tabela C2.** Valores dos parâmetros colorimétricos medidos para as rochas estudadas antes e após os ciclos de exposição ao SO<sub>2</sub>.

Parâmetros CIELAB	Rochas		
	<i>Diamante Negro</i>	<i>Ocre Itabira</i>	<i>Branco Galaxy</i>
$L^*_i$	10,08	49,88	74,57
$L^*_f$	14,42	49,85	71,1
$\Delta L^*$	4,34	-0,03	-3,47
$a^*_i$	-0,31	1,48	1,46
$a^*_f$	-0,05	1,26	2,51
$\Delta a^*$	0,26	-0,22	1,05
$b^*_i$	-0,23	3,65	8,12
$b^*_f$	1,28	4,23	11,24
$\Delta b^*$	1,51	0,58	3,12
$\Delta E^*$	1,13	2,06	3,35

**Legenda:**      **i** = inicial      **f** = final

**Tabela C3.** Perda de brilho das rochas submetidas aos ciclos de exposição ao SO<sub>2</sub>.

Rochas Grau	Brilho Inicial (%)			Brilho Após Ensaio (%)		
	20°	60°	85°	20°	60°	85°
<i>Diamante Negro</i>	4,4	8,7	44,7	4,3	8,3	43,9
	4,5	8,7	44,7	4,3	8,4	43,7
	4,5	8,7	44,6	4,4	8,4	43,8
<b>Média</b>	4,5	8,7	44,7	4,3	8,4	43,9
<i>Ocre Itabira</i>	3,3	7,1	43,4	2,9	6,5	40,8
	3,3	7,0	43,5	2,9	6,5	40,8
	2,9	7,1	43,1	2,9	6,4	40,4
<b>Média</b>	3,3	7,1	43,4	2,9	6,5	40,8
<i>Branco Galaxy</i>	2,1	5,5	38,7	2,0	5,1	36,2
	2,1	5,7	39,4	2,1	5,0	36,5
	2,4	5,6	39,2	2,4	5,1	37,7
<b>Média</b>	2,2	5,7	39,4	2,1	5,1	36,7