

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

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA DE UNIDADES
GNÁISSICAS E GRANÍTICAS DO SUDOESTE DE MATO GROSSO PARA FINS
DE EXPLORAÇÃO COMO ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA REVESTIMENTO**

Jesué Antonio da Silva

***Orientador:* Antonio Misson Godoy**

***Co-orientador:* Amarildo Salinas Ruiz**

**Tese de Doutorado elaborado junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geociências
-Área de Concentração em Geologia Regional,
para obtenção do Título de Doutor em Geologia**

Rio Claro (SP)

2009

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

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA DE UNIDADES
GNÁISSICAS E GRANÍTICAS DO SUDOESTE DE MATO GROSSO PARA FINS
DE EXPLORAÇÃO COMO ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA REVESTIMENTO**

Jesué Antonio da Silva

Orientador: Antonio Misson Godoy

Co-orientador: Amarildo Salinas Ruiz

**Tese de Doutorado elaborado junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geociências
-Área de Concentração em Geologia Regional,
para obtenção do Título de Doutor em Geologia**

Rio Claro (SP)

2009

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Misson Godoy (Orientador)
IGCE/UNESP/Rio Claro

Prof. Dr. Antônio Carlos Artur
IGCE/UNESP/Rio Claro

Prof. Dr. Marcos Aurélio Faria de Oliveira
IGCE/UNESP/Rio Claro

Prof. Dr. Antonio João Paes de Barros
METAMAT-MT

Prof. Dr. Antenor Paraguassú
USP-São Carlos

Jesué Antônio da Silva

Rio Claro, abril de 2009

A P R O V A D O

Resultado: _____

*A Vida de um homem,
Não vale nada sem um sonho,
Por entender que,
Felicidade é algo que você
Decide “Por Princípio”*

Autor: Jesué Antonio da Silva

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar este trabalho sinto-me no dever de manifestar o meu agradecimento primeiramente a Deus, por ter me concedido a vida e, no decorrer desta existência, a oportunidade de me aprimorar e conseguir atingir a posição em que hoje me encontro e, portanto, crescendo e encerrando, com este trabalho, mais um importante capítulo da minha História.

À minha esposa Eva Teixeira do Espírito Santo e as minhas filhas Tâmara Milesk Moura da Silva e Thaísara Moura da Silva, as quais pelas frequentes ausências nos seus dia-a-dia dedico a elas com carinho este trabalho, como penhor de gratidão.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade da realização deste Doutorado.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão do projeto de pesquisa;

Ao meu orientador científico Prof. Dr. Antonio Misson Godoy, amigo e colega de profissão meus agradecimento de coração pelas sugestões, disponibilidade e paciência demonstrada, além do estímulo constante, que sempre me dispensou durante o período que envolveu este trabalho, buscando superar as adversidades e guiando na busca de soluções para sanar as mesmas.

Ao Prof. Dr. Amarildo Salinas Ruiz, que na qualidade de co-orientador, sempre apoiou as minhas idéias, guiaram o meu caminho para que as metas fossem alcançadas e, suportando sempre, com amizade e carinho, os meus momentos de cansaço e dúvidas.

Aos professores, técnicos dos laboratórios e funcionários do Departamento de Petrologia e Metalogenia e do Laboratório de Rochas Ornamentais da UNESP – Campus Rio Claro, pelo apoio sempre pronto e presente. Em especial ao professor Dr. Antonio Carlos Artur pelos préstimos de seus conhecimentos. Aos funcionários da UNESP: Nelson Pereira L. Junior (laminação), ao Adilson José Rossini (com suas piadinha e pegadinhas imorais e indecentes), Vladimir Barbosa Júnior, Laerte Aparecido Martins e Nadia Regina P. L. Lunardi.

A Prof. Dra. Larissa Marques Barbosa de Araújo e Izabel Isler pela ajuda na montagem e confecção dos gráficos, pranchas, figuras e tabelas, meu agradecimento a elas, pela sua dedicação.

Aos funcionários da Pós-Graduação: Rosangela Vacello, Andréia Ferraz e Daniel Mantovani Fernandes.

Aos companheiros e amigos da Companhia Matogrossense de Mineração – METAMAT, em especial aos geólogos: Wanderlei Magalhães de Resende e Wilson Menezes Coutinho (ex e atual Diretor Técnico da METAMAT) pela ajuda junto à Diretoria, com a liberação de passagens e transporte para os trabalhos de campo e idéias para a Tese. Aos geólogos Dr. Antonio João Paes de Barros e Gercino Domingos da Silva pelos constantes incentivos e ao geólogo Marcus Vinicius Paes de Barros pelas correções. Agradeço a todos de coração.

Aos amigos da Pós-graduação, sem distinção, pois todos de uma maneira ou de outra me incentivaram a chegar até aqui. Agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, estiveram ao meu lado, estimulando para tornar possível a realização desta Tese.

Ao amigo Dr. Julio César Pinheiro Arraes, um especial agradecimento, ele foi o grande incentivador para que eu fizesse e concluísse este doutorado, sempre me incentivando e dando dicas importantes no andamento da tese.

Agradeço a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a sua realização desta Tese e conseqüentemente para a minha ascensão profissional e pessoal.

RESUMO

Os estudos geológicos, petrográficos, geoquímicos e tecnológicos (físico-mecânicos) e de alterabilidade de exposições de extensas áreas de rochas cristalinas no sudoeste do Estado do Mato Grosso, com objetivo da qualificação como rocha ornamental e de revestimento, possibilitou a oferta de novas variedades estéticas de rochas que apresentem a adequada identificação, tipificação e padronização das características tecnológicas. Visa-se ampliar a oferta deste bem mineral no estado, atualmente um dos menores produtores do país, contribuindo assim para a implantação e desenvolvimento desta cadeia produtiva de transformação e no desenvolvimento sócio-econômico do Estado. As áreas propostas para o estudo localizam-se na região sudoeste do estado, que detém um dos maiores tratos geológicos relativamente conhecidos, além da sua posição geográfica favorecida pela malha viária, sendo descritos 10 tipos entre granitos, diabásios, gnaisses e anfibólitos agrupados nas cores vermelha, cinza e preta e que demonstram possibilidade econômica de lavra. Os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos das variedades mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites padrões estabelecidos pelas normas e obedecem satisfatoriamente os valores limítrofes fixados para granitos utilizados em revestimento em ambientes interiores e exteriores.

ABSTRACT

The study of potentiality and qualification as a dimension stone and covering of granites and oriented rocks occurring in the south of the Mato Grosso State, Brazil, using geological, petrographical, technological and alterability characterization aims to increase the offer of new varieties of dimension stones in the state. It also aims to propitiate the economic transformation of this mineral resource adding new esthetic varieties in according to technological patterns and adequate identifying and typology. The research also contributes to the implantation and development of this productive chain to the social and economical development of the state. In the studied areas located at the south region of the Mato Grosso State fourteen rock types for dimension stones are recognized. They include granites, gabbros, gneisses and amphibolites grouped by the colors in red, grey and black types and showing economic potential of plowing. The results obtained in the technological essay show that the rock parameters are sited within the standard limits established by technical rules and obey satisfactorily the limit values fixed for granites in internal and external covering uses

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	001
I.1. OBJETIVOS.....	003
I.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	003
I.3. GEOMORFOLOGIA.....	004
I.3.1. CLIMA.....	005
I.3.2. VEGETAÇÃO.....	005
I.3.3. SOLOS.....	006
I.3.4. HIDROGRAFIA.....	007
CAPÍTULO II - MATERIAIS E MÉTODOS.....	008
II.1. INTRODUÇÃO.....	008
II.2. ETAPA INICIAL.....	009
II.2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	009
II.2.2. COLETA DE AMOSTRAS (CAMPO).....	009
II.2.3. ESTUDOS PETROGRÁFICOS.....	010
II.3. MATERIAIS.....	010
II.4. MÉTODOS.....	015
II.4.1. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO.....	015
II.4.1.1 Petrografia.....	018
II.4.1.2. Determinação de índices físicos.....	0189
II.4.1.3. Determinação de desgaste Abrasivo Amsler.....	020
II.4.1.4. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear.....	022
II.4.1.4.1. <i>Análise do coeficiente de dilatação térmica linear (β) de uma rocha.....</i>	<i>025</i>
II.4.1.4.2. <i>Dilatação/contração.....</i>	<i>026</i>
II.4.1.5. Determinação da resistência à compressão uniaxial.....	027
II.4.1.6. Determinação da resistência à flexão na tração (método dos 3 pontos).....	029
II.4.1.7. Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrasônicas.....	031
II.4.2. GEOQUÍMICA DE ROCHA.....	032
II.4.3. ATAQUE QUÍMICO.....	033
II.4.3.1. <i>Procedimentos dos ensaios químicos.....</i>	<i>035</i>
II.4.3.2. <i>Agentes e Mecanismos de Alteração.....</i>	<i>036</i>
II.4.3.3. <i>Formas de Alteração e Patologias.....</i>	<i>040</i>
II.4.3.4. <i>Perda de Brilho.....</i>	<i>041</i>
CAPÍTULO III - GEOLOGIA REGIONAL.....	043
III.1. INTRODUÇÃO.....	045
III.2. DOMÍNIO TECTÔNICO JAURU.....	045
III.3. DOMÍNIO TECTÔNICO CACHOEIRINHA.....	051
CAPÍTULO IV - GEOLOGIA LOCAL.....	054
IV.1. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS.....	055
IV.1.1. GRANITO SARARÉ.....	055
IV.1.2. GRANITO RIO BRANCO.....	057
IV.1.3. ORTOGNAISSE FORTUNA.....	063
IV.1.4. ORTOGNAISSE INDIAVAÍ VERMELHO.....	064
IV.2. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS.....	067
IV.2.1. GRANITO NOVA LACERDA.....	067
IV.2.2. ORTOGNAISSE INDIAVAÍ CINZA.....	068
IV.2.3. ORTOGNAISSE CINZA CACHOEIRINHA.....	069
IV.3. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS.....	071
IV.3.1. ANFIBOLITO INDIAVAÍ.....	071

IV.3.2. ANFIBOLITO CANAÃ.....	072
IV.3.3. DIABÁSIO SALTO DO CÉU.....	073
CAPÍTULO V - CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA.....	077
V.1. GEOQUÍMICA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS.....	077
V.2. GEOQUÍMICA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS.....	080
V.3. GEOQUÍMICA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS.....	082
CAPÍTULO VI - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	085
V.1. INTRODUÇÃO.....	085
VI.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	086
VI.2.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS.....	088
VI.2.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS.....	095
VI.2.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS.....	101
VI.2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	107
CAPÍTULO VII - ATAQUE QUÍMICO.....	112
VII.1. AVALIAÇÃO VISUAL E INSTRUMENTAL AOS ATAQUES DOS REAGENTES.....	112
VII.1.1. GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS.....	112
VII.1.1.1. <i>Granito Sararé</i>	113
VII.1.1.2. <i>Granito Rio Branco</i>	115
VII.1.1.3. <i>Ortognaisse Fortuna</i>	117
VII.1.1.4. <i>Ortognaisse Indiavai Vermelho</i>	120
VII.1.2. GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS.....	122
VII.1.2.1. <i>Granito Nova Lacerda</i>	122
VII.1.2.2. <i>Ortognaisse Indiavai Cinza</i>	125
VII.1.2.3. <i>Ortognaisse Cinza Cachoeirinha</i>	127
VII.1.3. GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS.....	129
VII.1.3.1. <i>Anfibolito Indiavai</i>	130
VII.1.3.2. <i>Anfibolito Canaã</i>	132
VII.1.3.3. <i>Diabásio Salto do Céu</i>	135
VII.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ATAQUE QUÍMICO.....	137
CAPÍTULO VIII - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
CAPÍTULO IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

Anexos

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Quadro Comparativo dos Estados Produtores de Rochas Ornamentais Brasileiros (IPT, 2007).....	002
Quadro 2. Fluxograma do ensaio de alterabilidade – Determinação da resistência das rochas ao ataque químico (mod. de TORQUATO, 2004).....	017
Quadro 3. Relação dos agentes químicos para a verificação da resistência das rochas pesquisadas ao ataque químico, suas concentrações, valores de pH e o tempo de exposição (NBR 13818/97).....	035
Quadro 4. Esquemáticamente as ações da água nos seus aspectos físicos e químicos atuando como agente de alteração sob os materiais rochosos (mod. ESBERT et al., 1997).....	037
Quadro 5. Alteração em revestimentos, mod. de Chiodi Filho (1995).....	040
Quadro 6. Algumas das principais formas de alteração (patologias) observadas nos materiais rochosos, produzidas pelos agentes de meteorização por (Fonte: AIRES-BARROS, 1991 e modificado ESBERT et al., 1997).....	041
Quadro 7. Classes de resistência ao ataque químico (ARRAIS, 2006).....	123

ÍNDICE PRANCHAS

Prancha 1. Aspectos macroscópicos do Granito Sararé.....	056
Prancha 2. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Granito Sararé.....	057
Prancha 3. As fotos A, B C e D mostram detalhes das placas apresentando os aspectos macroscópicos e a típica textura rapakivi.....	060
Prancha 4. Foto de placa de rocha (A) e em ensaio de Colorimetria (B) do Granito Rio Branco.....	060
Prancha 5. Aspectos de campo do Ortognaisse Fortuna.....	063
Prancha 6. Foto de placa de rocha (A) e em ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Fortuna.....	063
Prancha 7. Aspecto de campo e petrográficos do Ortognaisse Indiavaí Vermelho.....	065
Prancha 8. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Indiavaí Vermelho.....	066
Prancha 9. Aspectos de campo do Granito Nova Lacerda.....	067
Prancha 10. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Granito Nova Lacerda.....	068
Prancha 11. Aspectos de campo e petrográficos do Ortognaisse Indiavaí Cinza.....	068
Prancha 12. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Indiavaí Cinza.....	069
Prancha 13. Aspectos de campo dos Ortognaises do Domínio Cachoeirinha.....	069
Prancha 14. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Cachoeirinha.....	070
Prancha 15. Aspectos de campo e petrográficos do Anfibolito Indiavaí	071
Prancha 16. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Anfibolito Indiavaí	072
Prancha 17. Aspectos de campo e petrográficos do Anfibolito Canaã.....	073
Prancha 18. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Anfibolito Indiavaí.....	073
Prancha 19. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Diabásio Salto do Céu.....	074
Prancha 20. Aspectos de campo e petrográficos das rochas do Diabásio Salto do Céu.....	075
Prancha 21. Padrões estéticos das variedades analisadas.....	088
Prancha 22. Granito Sararé (01) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	113
Prancha 23. Granito Rio Branco (02) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	114
Prancha 24. Ortognaisse Fortuna (03) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	115
Prancha 25. Ortognaisse Indiavaí Vermelho (04) amostra natural (A); ácido cítrico (B),	

ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	116
Prancha 26. Granito Nova Lacerda (05) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	117
Prancha 27. Ortognaisse Indiavaí Cinza (06) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	118
Prancha 28. Ortognaisse Cinza Cachoeirinha (07) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	119
Prancha 29. Anfibolito Indiavaí (08) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	120
Prancha 30. Anfibolito Canaã (09) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	121
Prancha 31. Diabásio Salto do Céu (10) amostra natural (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E) e hipoclorito de sódio (F).....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de pesquisa e das vias de acesso.....	004
Figura 2. Organograma da pesquisa ilustrando as ações em cada etapa realizada durante a tese de doutorado.....	009
Figura 3. Transporte de amostras dos granitos e movimentados para ensaios tecnológicos.....	010
Figura 4 Tipos de bordas de grãos (contatos) utilizados na qualificação dos contatos das rochas estudadas modificado de Mesquita (2002).....	014
Figura 5. Ensaio que simula a alterabilidade induzida pelos processos naturais antropogênicos e de degradação sobre Diabásio porfirítico. No lado direito o aparelho <i>Gloss Meter</i> usado para medir perda de brilho.....	016
Figura 6. Esquema equipamento utilizado para medir o desgaste por abrasão “Maquina <i>Amsler</i> ”.....	021
Figura 7. Equipamento utilizado para medir o desgaste por abrasão “Máquina <i>Amsler</i> ”. Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais da UNESP. Esquema do medidor do corpo-de-prova antes e após desgaste.....	021
Figura 8. Medição do corpo-de-prova com relógio comparador, antes e após o desgaste.....	021
Figura 9. Equipamentos para determinação de Dilatação Térmica Linear.....	023
Figura 10. Esquema ilustrando a variação de volume de um mineral em função da variação de temperatura nele incidente.....	027
Figura 11. Preparação de corpos de prova no Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE, para ensaios de Compressão Uniaxial e Flexão 3 pontos.....	027
Figura 12. Prensa sob esforços compressivos.....	029
Figura 13. Disposição dos corpos-de-prova para ensaios de resistência à flexão.....	030
Figura 14. Equipamento utilizado para medir a velocidade ultra-sônica das rochas Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais da UNESP.....	031
Figura 15. Situação da área dentro das províncias geocronológicas de Tassinari e Macambira (1999).	044
Figura 16. Mapa Geológico e localização esquemática das 10 unidades pesquisadas no SW do Cráton Amazônico (mod. de RUIZ, 2005).....	056
Figura 17. Mapa Geológico do Granito sararé (ARAÚJO-RUIZ, 2003).....	055
Figura 18. Mapa geológico do Batólito Rapakivi Rio Branco e suas encaixantes.....	058
Figura 19. Distribuição dos elementos maiores das rochas graníticas e movimentados vermelhos.....	079
Figura 20. Distribuição dos elementos maiores das rochas movimentadas cinza.....	081
Figura 21. Distribuição dos elementos maiores dos granitos e movimentados pretos.....	083
Figura 22. Representação gráfica dos resultados dos ensaios físicos-mecânicos das rochas	

graníticas e movimentada vermelhas.....	090
Figura 23. Correlações dos ensaios físicos-mecânicos das rochas graníticas e movimentadas vermelhas.....	092
Figura 24. Aspectos de placas polidas do Granito Sararé.....	093
Figura 25. Aspectos de placas polidas do Granito Rio Branco.....	093
Figura 26. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Fortuna.....	094
Figura 27. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Indiavaí Vermelho.....	094
Figura 28. Representação gráfica dos resultados dos ensaios físicos-mecânicos das rochas graníticas e movimentados Cinza.....	096
Figura 29. Correlações dos ensaios físico-mecânicos das rochas movimentados cinzas.....	098
Figura 30. Aspectos de placas polidas do Granito Nova Lacerda.....	099
Figura 31. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Indiavaí Cinza.....	100
Figura 32. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Cinza Cachoeirinha.....	100
Figura 33. Representação gráfica dos resultados dos ensaios físicos-mecânicos das rochas graníticas e movimentados pretos.....	103
Figura 34. Correlações dos ensaios físico-mecânicos dos granitos e movimentados pretos.....	105
Figura 35. Aspectos de placas polidas do Anfíbolito Canaã.....	106
Figura 36. Aspectos de placas polidas do Anfíbolito Indiavaí.....	106
Figura 37. Aspectos de placas polidas do Diabásio Salto do Céu.....	107
Figura 38. Diagramas de distribuições dos ensaios tecnológicos das rochas.....	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Sumário das características petrográficas das variedades de granitos vermelhos.....	062
Tabela 2. Sumário das características petrográficas das variedades de rochas movimentadas vermelhas.....	066
Tabela 3. Sumário das características petrográficas das variedades de granitos e movimentados cinza.....	070
Tabela 4. Sumário das características petrográficas das variedades de granitos e movimentados pretos.....	076
Tabela 5. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores de granitos e movimentados vermelhos.....	078
Tabela 6. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores das rochas movimentadas cinzas.....	080
Tabela 7. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores de granitos e movimentos pretos.....	082
Tabela 8. Valores especificados pela norma ASTM (1995), por Frazão e Farjallat (1995) e valores dos ensaios do Granito Vermelho Bragança e Capão Bonito.....	086
Tabela 9. Resultados dos ensaios físico-mecânicos dos granitos e movimentados vermelhos..	088
Tabela 10. Resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos movimentados cinzas.....	095
Tabela 11. Resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos granitos e movimentados pretos.	101
Tabela 12. Valores de ensaios tecnológicos de rochas pretas.....	102
Tabela 13. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Granito Sararé.....	112
Tabela 14. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Granito Rio Branco.....	114
Tabela 15. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Fortuna.....	115
Tabela 16. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Indiavaí Vermelho.....	116
Tabela 17. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Granito Nova Lacerda.....	1117
Tabela 18. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Indiavaí	

Cinza.....	118
Tabela 19. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Cinza Cachoeirinha.....	119
Tabela 20. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Anfibolito Indiavaí.....	120
Tabela 21. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Anfibolito Canaã.....	121
Tabela 22. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Diabásio Salto do Céu.....	122
Tabela 23. Resumo das principais alterações observadas nas placas dos granitos e movimentados vermelhos.....	124
Tabela 24. Avaliação (classe de resistência) da resposta dos materiais ensaiados, aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre os granitos e movimentados vermelhos.....	125
Tabela 25. Resumo das principais alterações observadas nas placas dos granitos e movimentados cinzas.....	126
Tabela 26. Avaliação (classe de resistência) da resposta dos materiais ensaiados, aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre os granitos e movimentados cinzas.....	127
Tabela 27. Resumo das principais alterações observadas nas placas dos granitos e movimentados pretos.....	128
Tabela 28. Avaliação (classe de resistência) da resposta dos materiais ensaiados, aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre os granitos e movimentados pretos.....	129

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O estudo das rochas ornamentais e para revestimento do Estado de Mato Grosso constituiu uma contribuição ao avanço do conhecimento geológico de forma a acrescentar elementos práticos e fundamentais que propiciem a transformação econômica imediata deste bem mineral. Possibilitando assim o desenvolvimento sócio-econômico do Estado com a implantação e desenvolvimento desta cadeia produtiva de transformação mineral.

A partir da escolha de rochas com qualidades estéticas, logística e exequibilidade de lavra, evoluiu-se para os patamares técnicos, como a caracterização geológica, química e físico-mecânica das rochas selecionadas. Parâmetros estes necessários para um mercado consumidor cada vez mais exigente, que requer e lhe é devido uma padronização das características tecnológicas das rochas ornamentais.

Esta caracterização técnica possibilitará o aproveitamento de rochas já aceitas no mercado consumidor, bem como resultará em novas contribuições com solicitações para utilizações, apoiadas em critérios técnicos e viabilidade de soluções arquitetônicas, estéticas e funcionais muito mais confiáveis na construção civil.

O Estado de Mato Grosso apresenta vastas áreas de exposição de rochas cristalinas, propícias à exploração de rochas para fins ornamentais e para revestimento. É, sem dúvida,

um local extremamente promissor para a implantação e crescimento deste produtivo setor mineral, além dos consequentes benefícios advindos com o desenvolvimento sócio-econômico do Estado, possibilitando assim a instalação de novas empresas com o aumento da oferta de empregos diretos nos setores de prospecção, lavra, beneficiamento e comercialização, e indiretos como transporte, maquinário e serviços.

O Estado de Mato Grosso é atualmente um dos menores produtores de rochas ornamentais do país (Quadro 1). Entretanto, diante do imenso potencial natural e da sua posição geográfica favorável no ocidente sul-americano, a partir de acesso aos portos exportadores do Oceano Atlântico, da malha ferroviária parcialmente implantada, da possibilidade de saída para o Oceano Pacífico por via terrestre e a todo norte do país por via fluvial. Será possível a médio prazo, conjuntamente com a atuação de uma política de órgãos institucionais e governamentais, estabelecerem para o Estado um perfil de pólo produtor e exportador de rochas ornamentais.

Quadro 1. Quadro Comparativo dos Estados Produtores de Rochas Ornamentais Brasileiros (IPT, 2007).

Estados	Produção (t/ano)	Rochas	%	Tear	Lavra	Marmoraria	Mão-de-Obra (Emp. Direto)
ES	3.200.000	Granito/Mármore	56,1	900	400	360	32.000
MG	2.200.000	Gr/Ardósia/Qtz/Marmores	23,6	66	160	1.000	25.000
BA	600.000	Gr/Mármore/Quartzito		48	97	180	5.500
PR	100.000	Granito/Mármore	6,3	69	12	300	3.200
RJ	1.400.000	Granito	5,1	150	230	630	15.600
CE	400.000	Gr/Quartzito/Mármore		44	57	60	1.800
GO	-	Granito/Quartzito		7	36	100	2.000
RS	180.000	Granito	2,7	51	78	270	5.500
PB	-	Granito		9	12	20	800
SP	100.000	Granito	1,6	160	30	3.000	40.000
PE	-	Granito		21	13	60	1.100
AL	3.600	Granito	0,07	9	4	15	350
RO	-	Granito		2	8	10	350
RN	-	Granito		4	3	20	350
SC	100.000	Ardósia/Gr/Mármore	1,6	15	10	300	5.000
PA	-	-		10	3	43	700
PI	-	Ardósia/Qtzitos/Mármore		-	10	20	350
SE	-		-	7	0	26	400
MS	-	Mármore					-
MT	-	Granito		2	0	35	350
TOTAL	8.100.000			1.574	1.800	6.449	140.350

I.1. OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta-se direcionado ao estudo das rochas graníticas e gnáissicas da região sudoeste do Estado de Mato Grosso, através da determinação das características geológicas, mineralógicas, petrográficas e litogeoquímicas. Com enfoque direcionado às características tecnológicas das rochas (ensaios físico-mecânico), visando uma qualificação como material ornamental e para revestimento.

Estes estudos realizados possibilitaram o reconhecimento de materiais potenciais para utilização como rochas ornamentais, acompanhadas das respectivas caracterizações tecnológicas. Bem como, desenvolver novas frentes, com patamares técnicos determinados que possibilitem o interesse econômico de exploração, permitindo desta forma uma escolha técnica e a adequada identificação e tipificação das variedades, além dos requisitos desejáveis de ordem estética.

I.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

As rochas estudadas localizam-se na região sudoeste do Estado de Mato Grosso e são representados na terminologia de rochas ornamentais por *granitos* (granitos e diabásios) e *movimentados* (gnaiesses e anfibolitos) e que serão subdivididos em *Granitos e Movimentados Vermelhos*- Granito Sararé (1), Granito Rio Branco (2), Ortognaisse Fortuna (3), Ortognaisse Indiavaí Vermelho (4); *Granitos e Movimentados Cinzas*- Granito Nova Lacerda (5), Ortognaisse Indiavaí Cinza (6), Ortognaisse Cachoeirinha (7); *Granitos e Movimentados Pretos*- Anfibolito Indiavaí (8), Anfibolito Canaã (9) e Diabásio Salto do Céu (10).

Estas rochas são relativamente bem conhecidas do ponto de vista geológico e demonstram clara exequibilidade econômica de lavra, distribuindo-se nas imediações dos principais pólos de desenvolvimento do Estado.

O acesso à região, partindo da Capital Cuiabá, pode ser feito pela Rodovia Federal Br-070 passando pela cidade de Cáceres a cerca de 220 km, um dos principais centros urbanos do sudoeste do Estado de Mato Grosso (Figura 1), até a localidade de Caramujo. A partir dessa rodovia federal (BR-070) partem estradas estaduais e secundárias (vicinais), interligando cidades, povoados, fazendas aos aglomerados urbanos.

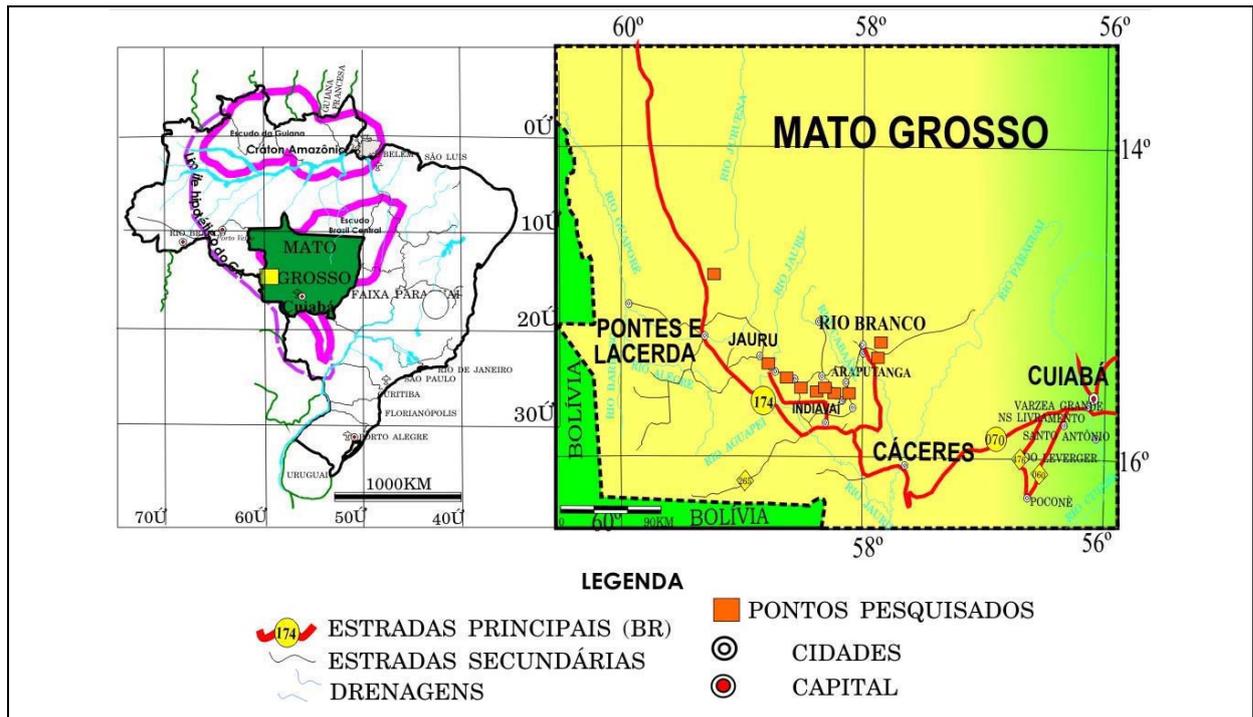


Figura 1. Mapa de localização da área de pesquisa e das vias de acesso.

I.3. GEOMORFOLOGIA

Quanto aos aspectos geomorfológicos regionais, o projeto RADAMBRASIL, Folha Cuiabá (SD-21) (BARROS et al. 1982), mostra que a área apresenta compartimentações distintas representadas pelas unidades geomorfológicas: Planalto Residual do Alto Guaporé, sustentadas pelas rochas do Grupo Aguapeí, cujas cotas altimétricas oscilam entre 400-1000 m; Planalto dos Parecis, edificado principalmente em rochas do Grupo Parecis, com altimetria máxima de 700 m; Planalto da Chapada dos Guimarães, elaborado em rochas da Bacia do Paraná, e altimetria relativa entre 300-900 m; Província Serrana, assentada em rochas do Grupo Alto Paraguai, cujas cotas altimétricas variam entre 300-700 m; Depressão do Paraguai, elaborada principalmente em rochas do Grupo Cuiabá e sedimentos da Formação Pantanal, com cotas altimétricas entre 100-500 m; Depressão do Guaporé, edificada em rochas do Complexo Xingu, Suíte Intrusiva Rio Alegre e Guapé e Formação Guaporé, e altimetria de 200-400 m; Planícies e Pantanaís do Alto Guaporé, sustentados por sedimentos da Formação Guaporé e aluviões recentes, com altimetrias entre 100-200m.

Na área pesquisada destacam-se três grandes entidades geomorfológicas:

Áreas Acidentadas são constituídas por relevos maiores, representada por superfícies de erosão, ora pouco pronunciada, de drenagem moderadamente encaixada em

zonas de fraturas e/ou falhas, ora através de um relevo mais acidentado, com cotas variando de 200 a 600 metros. Ocorrem predominantemente rochas graníticas de diferentes composições, que formam a porção sudoeste do Cráton Amazônico e são mais resistentes aos processos erosivos. Estas feições constituem as maiores cotas e ressaltam, na topografia, a forma de morros e cristas alinhadas segundo a direção NW-SE.

O Planalto dos Parecis se estende de norte a leste do Cráton Amazônico constituindo relevos altos e planaltos do tipo chapadão com altas cotas acima de 600 metros, formados por areias e sedimentos cretáceos. Trata-se de um planalto relativamente homogêneo, com formas tabulares e intensidade de dissecação variável, aumentando de leste para oeste.

Os sedimentos quaternários da Bacia do Pantanal, que abrange toda porção sul e parte da porção sudoeste, constituem uma faixa extensa mais baixa, caracterizada por um relevo de planície, onde as cotas não ultrapassam 200 metros.

I.3.1. CLIMA

O Clima da área pesquisada está inserido na categoria tipo Aw de *Köppen*, com estações bem definidas: uma chuvosa de Outubro a Abril e uma seca de Maio a Setembro, caracterizando um clima de Savana Tropical (RADAMBRASIL - Folha Cuiabá SD-21).

Os meses de Dezembro/Janeiro apresentam os maiores índices pluviométricos. O período seco, nos meses de Junho/Agosto a precipitação pode chegar a ser nula. A passagem das estações verão úmido para inverno seco é brusco, revelando-se por uma sensível elevação de temperatura e escassez rápida das chuvas.

A temperatura média anual oscila em torno 26°C, enquanto que no rigor do inverno atinge a média de 18°C e no resto das estações do ano a temperatura gira em torno dos 40°C e o regime atual das precipitações é caracteristicamente tropical, com precipitações entre 1.250 a 1.759 mm.

I.3.2. VEGETAÇÃO

A vegetação na região estudada pode ser dividida em três tipos distintos: Floresta Tropical, Cerrados e Matas Galerias.

A Floresta Tropical é uma vegetação característica dos solos mais ricos e úmidos da área de clima tropical, com suas árvores atingindo alturas que variam entre 15-30 m. A vegetação baixa é composta por arbustos, cipós e representantes das famílias: Bromelicaceae (Bromélia sp), nome vulgar Gravatá, Gramineae (Hypolobos sp), nome vulgar Capim Navalha e outras espécies.

Atualmente este tipo de mata acha-se em fase bastante regressiva, decorrente do desmatamento desordenado que assolou e que ainda assola a região, sendo a mesma substituída por pastagens e lavouras localizadas de subsistência.

O cerrado se apresenta na região com fisionomias diversas, que vai do tipo arbóreo xeromorfo aos tipos herbáceo-arbustivo (Cerrado Sujo, Cerradinho e Cerrado Ralo), estando estas distinções relacionadas principalmente às diferenças pedológicas e topográficas.

O Cerrado Sujo é constituído por uma vegetação intermediária entre a mata e cerrado tipo mesófito, com árvores de médio porte e desenvolvimento das famílias: Bromelicaceae (Bromélia sp), nome vulgar Gravatá, Gramineae (Gradua sp), nome vulgar Taboca e espinheiros em geral.

As Matas Galerias desenvolveram-se às margens das drenagens perenes, sendo formadas por uma vegetação exuberante que sobressai nitidamente nas regiões de cerrados e campos cerrados. Os campos ocorrem em áreas pantanosas com características de vegetação de várzea, onde se desenvolvem hidrófilas secundárias por mesófilas e em menor escala as xerófitas.

I.3.3. SOLOS

Os solos variam de acordo com a unidade litoestratigráfica em que se encontram e o tipo da geomorfologia. No Projeto RadamBrasil os solos predominantes foram denominados de: Podzólicos Vermelho-Amarelados, solos Litolíticos, Latossolo Vermelho-Escuro, ocorrendo em áreas menores onde predominam os gabros, e próximo aos rios aparecem às areias quartzosas aluvionais.

Nas áreas de exposição das rochas granitóides é comum ocorrer, próximo as drenagens, solos do tipo aluvionais, geralmente variando do tipo arenoso, argilo-arenoso e argiloso de forte cor vermelha, quando junto às rochas ígneas de origem basálticas ou toleíticas.

São solos originados de sedimentos aluvionais depositados principalmente nos

cursos d'água maiores, distribuídos nas margens e confluências ou em amplas planícies aluvionais. Além deste, aparecem os solos regolíticos, constituídos por fragmentos de rochas e quartzo leitoso em matriz areno-argilosa imatura pouco espessa aflorante nas superfícies das rochas graníticas.

É expressiva a presença de solos halomórficos que estão sujeitos as inundações periódicas, distribuindo-se nas regiões pantanosas da bacia do Pantanal e planícies aluvionais.

I.3.4. HIDROGRAFIA

Geograficamente, a área estudada está inserida na Amazônia Legal Brasileira e faz parte das bacias Amazônica e da Prata, destacando-se na bacia Amazônica os rios Guaporé, Juruena e o Teles Pires, com seus inúmeros tributários. A bacia Platina é caracterizada pelo rio Paraguai, com os rios Jauru, Branco, Sepotuba, Cabaçal e Cuiabá como seus principais afluentes.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E METODOS

II.1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento, quando em uso, são submetidas às mais variadas solicitações, tais como: atrito ou desgaste, impacto, ação das intempéries, ataques por produtos de limpeza, líquidos agressivos, etc. Assim, a precisa caracterização tecnológica desses materiais torna-se fundamental para sua utilização correta e econômica.

Neste trabalho, foram estudados e analisados os principais aspectos geológicos das rochas dos maciços, além dos parâmetros mineralógicos, petrográficos, texturais, geoquímicos, físico-mecânicos e de ataque químico dos dez litotipos: Granito Sararé (1), Granito Rio Branco (2), Ortognaisse Fortuna (3), Ortognaisse Indiavaí Vermelho (4), Granito Nova Lacerda (5), Ortognaisse Indiavaí Cinza (6), Ortognaisse Cachoeirinha (7), Anfibólito Indiavaí (8), Anfibólito Canaã (9) e Diabásio Salto do Céu (10) escolhidos entre padrões graníticos e movimentados da região sudoeste de Estado Mato Grosso.

A análise comparativa entre os resultados obtidos dos diferentes ensaios tecnológicos e os parâmetros prefixados pelas normas possibilitou a qualificação dos materiais.

Para o desenvolvimento do presente projeto foram executadas as seguintes etapas de pesquisa (Figura 2):



Figura 2. Organograma da pesquisa ilustrando as ações em cada etapa realizada durante a tese de doutorado.

II.2. ETAPA INICIAL

II.2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

As informações bibliográficas básicas foram realizadas com dois enfoques principais: a primeira envolveu o levantamento das informações disponibilizadas na literatura sobre a geológica, estrutural, petrografia, mineralogia e geoquímica; e a segunda, para a obtenção de informações que possibilitem correlacioná-las com outras rochas ornamentais brasileiras a partir dos ensaios tecnológicos disponíveis, e assim possibilitar um estudo comparativo das características técnicas.

II.2.2. COLETA DE AMOSTRAS (CAMPO)

Os trabalhos de campo na área foram direcionados para a individualização das diversas faciologias, através do levantamento detalhado das características geológico-

estruturais. Associados aos trabalhos de campo foram realizadas coletas sistemáticas de amostras (Figura 3) para definição das qualidades tecnológicas destas rochas e suas particularidades petrográficas e texturais, das diversas faciologias presentes. A coleta sistemática e o desenvolvimento metodológico procederam-se através do detalhamento das variedades texturais que apresentaram viabilidade econômica de lavra.



Figura 3. Transporte de campo de amostras dos granitos e movimentados para ensaios tecnológicos.

II.2.3. ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Estes estudos tiveram por finalidade a identificação mineralógica-textural e classificação modal das litologias, além da caracterização micro-estrutural das seções, para subsidiar os ensaios tecnológicos dos referidos materiais, com objetivos de qualificar a sua utilização como rocha ornamental.

Os procedimentos para a caracterização petrográfica foram realizados segundo as normas NBR 12768 da ABNT (1992a) e também designações petrográficas e composicionais de rochas magmáticas obedeceram a IUGS (STRECKEISEN, 1976) e rochas metamórficas de Winkler (1977) para classificar litologicamente as variedades de rochas e as suas propriedades mineralógicas e texturais, visando suas possibilidades técnicas de aplicação em rochas ornamentais.

A descrição petrográfica foi direcionada à determinação da composição mineralógica, feições estruturais, granulação dos cristais e estado de alteração. Embora os

tipos de estrutura (maciça, orientada e foliada, etc.) e a dimensão dos cristais tenham influência na resistência mecânica das rochas, as maiores preocupações residem na natureza dos componentes mineralógicos e no seu estado de alteração, pois a presença de minerais alteráveis em condições ambientais naturais ou quimicamente sensíveis a produtos industriais de limpeza podem afetar as características estéticas iniciais das pedras, bem como reduzir sua vida útil como revestimento.

Um alto grau de alteração, por seu turno, propicia maior capacidade de absorção d'água, com a consequente facilitação do avanço do processo de alteração, bem como da diminuição da resistência mecânica da rocha.

A granulação dos minerais é dada pelas dimensões dos grãos minerais em rocha e para fins ornamentais merece essencial atenção, pois se trata de um parâmetro que pode influir nas propriedades físicas- mecânicas e na alterabilidade. Os seguintes parâmetros foram utilizados nas rochas estudadas:

- Fina: diâmetro médio predominante dos cristais inferior a 1,0 mm;
- Média - fina: diâmetro médio predominante entre 1 e menos de 3 mm;
- Média - diâmetro médio entre 3 e menos de 7 mm;
- Média - grossa: diâmetro médio entre 7 e 10 mm.

Com relação ao tamanho relativo dos cristais as rochas serão classificadas em:

- Equigranular: rochas com grãos minerais de mesmo tamanho ou com tamanhos variando dentro de uma estreita faixa;
- Inequigranular: rochas com grãos minerais que apresentam diferenças de tamanho de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaíam em relação aos menores;
- Porfírica: rochas ígneas com megacristais de dimensões pelo menos cinco vezes superior à média dos grãos da matriz, sobressaindo-se nitidamente em relação às dimensões destes;
- Porfíróide: rochas com megacristais de dimensões pelo menos cinco vezes superior à média dos grãos da matriz, de granulação média e grossa;
- Porfiroclásticas: rochas que preservam fragmentos de fenocristais magmáticos.

Pelo fato das rochas estudadas apresentarem granulação fina/média a média/grossa e porfírica e/ou porfíróide, a determinação da composição modal foi realizada pela conjugação das contagens dos minerais em lâminas delgadas e em placas de rochas. Assim,

a contagem mineral em lâminas delgadas, em média de 400 a 500 pontos computados, foi efetuada utilizando-se aparelho contador automático digital marca *Swift*, acoplado a um microscópio binocular.

A contagem dos minerais em placas macroscópicas atacada com ácido fluorídrico e tratada com cobalto-nitrito de sódio permite distinguir macroscopicamente feldspato potássico dos demais minerais, como, quartzo e plagioclásio. Esse tipo de contagem utilizada para as rochas de granulação mais grossa foi efetuado sobre malha com espaçamento de 1,0 cm² e para as mais finas em malhas com espaçamento de 0,5 cm², lançadas sobre folha de plástico transparente. O resultado integrado à determinação microscópica.

Análise dos principais constituintes minerais, onde uma simples identificação mineralógica poderá prever futuros problemas de ordem tecnológica e estética, a exemplo da alterabilidade dos minerais, a propriedade está intimamente ligada à composição mineralógica da rocha e ao seu grau de alteração. Nos casos em que a rocha venha a estar sujeita a produtos industriais de limpeza, pode-se simular suscetibilidade ao se alterar, ao expor sua superfície em contato com reagentes químicos presentes nestes produtos, seguido da avaliação visual, macro e microscópica e da mudança de coloração ou perda de brilho.

O grau de alteração mineral corresponde à alteração sofrida pelos minerais constituintes das rochas e que influem na qualidade tecnológica das rochas ornamentais e de revestimento. A formação de neominerais de alteração mais facilmente removíveis pode aumentar o grau de porosidade das rochas, diminuindo sua resistência físico-mecânica e potencializando os processos de alteração. O grau e o tipo de alteração observados em microscópio foram analisados para cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásio (saussuritização, sericitização, epidotização e transformação para carbonatos), feldspato (sericitização, argilo-minerais) e minerais máficos (cloritização, epidotização e transformações para óxidos e hidróxidos).

De acordo com a intensidade da alteração adota-se a classificação sugerida por Navarro (2002):

- Grau de alteração intenso: > 60%;
- Grau de alteração moderado: > 30 a 60%;
- Grau de alteração incipiente: > 10 a 30%;
- Grau de alteração muito incipiente: > 5 a 10%
- Ausente até 5%.

- *Análise Morfo-Dimensional* – é usada para encontrar os parâmetros morfológicos e dimensionais dos elementos que compõe a rocha, inclusive checando o grau de entrelaçamento dos cristais, como por exemplo, os tipos de contato, fornecem ao mesmo tempo a amplitude do grau de homogeneidade destes parâmetros os quais exercem considerável influência em termos de resistência mecânica, porosidade e permeabilidade da rocha;

- *Análise textural* - é importante para a análise previsual do desempenho e durabilidade das rochas em obras civis. Corresponde ao aspecto microscópico geral da rocha no qual se inclui a forma dos minerais, sua granulação e o modo pelo qual se acham unidos. Assim, diferenças no grau de entrelaçamento ou imbricamento entre os cristais podem ser responsáveis por diferenças na resistência à abrasão e a escarificação de placas rochosas.

- Diferenças granulações podem corresponder às diferenças na alterabilidade potencial diante de líquidos agressivos. Rochas porfiróides e inequigranulares grosseiras tendem a serem menos resistentes do que as equigranulares mais finas.

As relações texturais caracterizam o estágio de equilíbrio entre várias fases minerais. A textura é inerente ao primeiro estágio de formação da rocha, podendo ser reconhecida arranjo minerais posteriores formados em condições termodinâmicas mais superficiais. As microtexturas aparecem como arquiteturas minerais de origem essencialmente primária estabilizadas na crosta ou no manto superior, ou como arquiteturas minerais secundárias e mais complexas, nas quais as formas anteriores podem ser encontradas (BARD, 1986).

A forma e o tipo de cristal refletem as condições de cristalização do magma e influem nos processos de alterabilidade ou enfraquecimento físico-mecânico que afetará as estruturas cristalinas e conseqüentemente o sistema rochoso.

Nas rochas ígneas, os tipos de cristal são controlados por vários fatores: química do líquido, a existência e composição de uma fase fluida e a agitação ou convecção do magma. As primeiras fases cristalinas são frequentemente idiomórficas ou subdiomórficas, enquanto que as outras normalmente são xenomórficas, ocupando os espaços intergranulares antes ocupados pelo líquido residual.

O tipo e forma do cristal dependem não apenas da quantidade relativa dos vários constituintes (quantidade maior ou menor de P, Zn, Ti), como também da taxa de nucleação, da cinemática de crescimento do cristal e da energia de ativação, difusão e progressão das

faces cristalinas (BARD, 1986).

Spry (1969) sugere que o tipo de cristal depende da interação de cinco mecanismos de crescimento de grãos:

- Crescimento livre, onde os cristais se desenvolvem sem interferência;
- Crescimento conturbado, onde a forma dos minerais é regulada pelos cristais vizinhos formados simultaneamente;
- Corrosão, onde os minerais ocorrem como reliquias, instáveis, não completamente eliminados pelo processo que liderou seu desaparecimento;
- Baixa temperatura e rupturas mecânicas de origem essencialmente tectônicas, permitindo o fraturamento de minerais ou deslocamento de suas bordas;
- Alta temperatura com mecanismos de deformação (dúctil, plástico), causando distorções no eixo ótico e migração de defeitos pontuais ou lineares.

O tipo de borda de grão determina o tipo de contato intergrãos, sendo os mais comumente descritos na literatura os contatos planos, arredondados, lobulares, denteados, côncavo-convexos e serrilhados (Figura 4). A forma ou tipo dos contatos intergrãos é um importante fator a ser considerado, pois influem no grau de resistência da rocha às solicitações físico-mecânicas. O intercrescimento de minerais essenciais, a relação de côncavo-convexidade e a ordem de cristalização, permitindo identificar o “envelopamento” de minerais mais degradáveis, são fatores que podem influir no grau de alterabilidade.

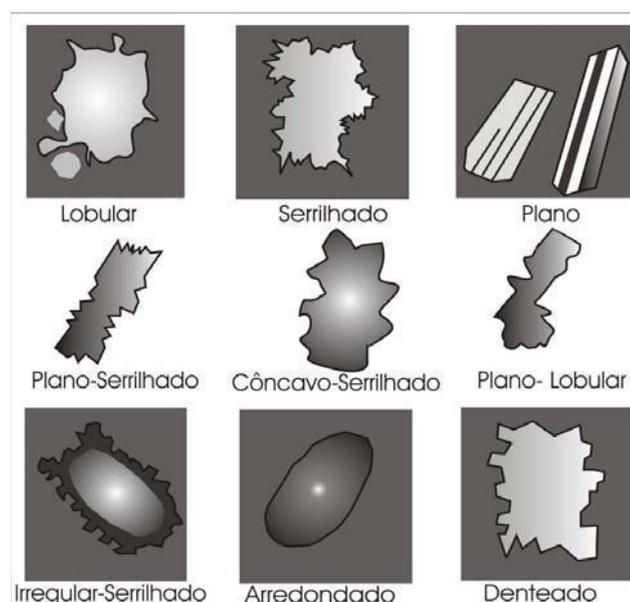


Figura 4 Tipos de bordas de grãos (contatos) utilizados na qualificação dos contatos das rochas estudadas (mod. de MESQUITA, 2002).

Nos granitos estudados os contatos minerais observados não se encaixam perfeitamente nos tipos definidos na literatura. Termos intermediários foram então utilizados, para uma melhor caracterização textural: os tipos de contatos foram classificados em plano-serrilhado, côncavo-serrilhado, plano-lobular, irregular-serrilhado e plano. Os contatos foram quantificados em termos percentuais (contagem de 300 a 500) deles em cada seção petrográfica analisada.

- **Análise estrutural** - encontra-se direcionada principalmente à identificação das feições estruturais originais da rocha, como por exemplo, foliações, bandamentos, fraturamento, xistosidades, etc. Destaca-se que estas feições texturais particulares, diretamente vinculadas a determinados minerais, podem conduzir ao desenvolvimento de superfícies potenciais de fraturamento preferencial na rocha ou ainda facilitar o desenvolvimento de outros fenômenos, como dilatação ou alterações e a identificação do grau de microfissuramento dos grãos constituintes da rocha e se estas microfissuras estão fechadas ou abertas, preenchidas ou não. A reunião destes parâmetros estará intrinsecamente relacionada à sua resposta aos esforços físico-mecânicos, podendo ou não comprometer a utilização do material para determinados fins e possibilitar a previsão de eventuais modificações nas propriedades físico-mecânicas das rochas, diante das condições ambientais e das solicitações a que são submetidas nas obras (atrito, impacto, umidade, ataque de líquidos e agentes atmosféricos agressivos, etc.).

II.3. MATERIAIS

Neste trabalho foi desenvolvido utilizando-se amostras coletadas em afloramentos provenientes de diversas unidades geológicas, previamente selecionadas entre “granitos e movimentados” - Granito Sararé (1), Granito Rio Branco (2), Ortognaisse Fortuna (3), Ortognaisse Indiavaí Vermelho (4), Granito Nova Lacerda (5), Ortognaisse Indiavaí Cinza (6), Ortognaisse Cachoeirinha (7), Anfibolito Indiavaí (8), Anfibolito Canaã (9) e Diabásio Salto do Céu (10).

II.4. MÉTODOS

II.4.1. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

Para o desenvolvimento dos estudos, utilizou-se 6 amostras (placas) de cada uma

das rochas acima mencionada, as quais foram serradas no Laboratório de Rochas Ornamentais da UNESP nas dimensões de 07 x 07 x 03 cm, a partir de um bloco.

Não foram utilizadas placas convencionais, pois os materiais aqui estudados não se encontram em exploração ou disponíveis no mercado, ou seja, não explorados comercialmente como rochas ornamentais. As mesmas contêm uma das faces polidas e na medida do possível, isentas de qualquer defeito. Uma das placas de cada rocha foi utilizada como corpo branco, ou seja, para comparação com as outras após a realização dos ensaios.

Cada um destes corpos-de-prova foi selado (com silicone) em recipientes feitos com canos de PVC (d =75 mm) e deixados secar por cerca de 24 horas. Em seguida colocase um pouco de água deixando por algumas horas, observando-se a ocorrência ou não de vazamento. Posteriormente foram colocados dentro dos canos, os reagentes, sendo estes em seguida vedados por placa de vidro (lâmina tipo “Mutante”) para evitar a evaporação, onde permaneceram durante o tempo previsto para o ataque.

Antes da exposição das placas polidas ao ataque químico, é efetuada a limpeza da superfície das mesmas, com um pano umedecido em álcool, seguido de leitura do lustro através do aparelho *Gloss Meter* (Figura 5). Após os períodos indicados para a permanência de cada substância sobre as rochas, as amostras foram lavadas com água corrente, seca naturalmente e em seguida submetida a uma avaliação visual acompanhada de uma nova leitura de lustro.



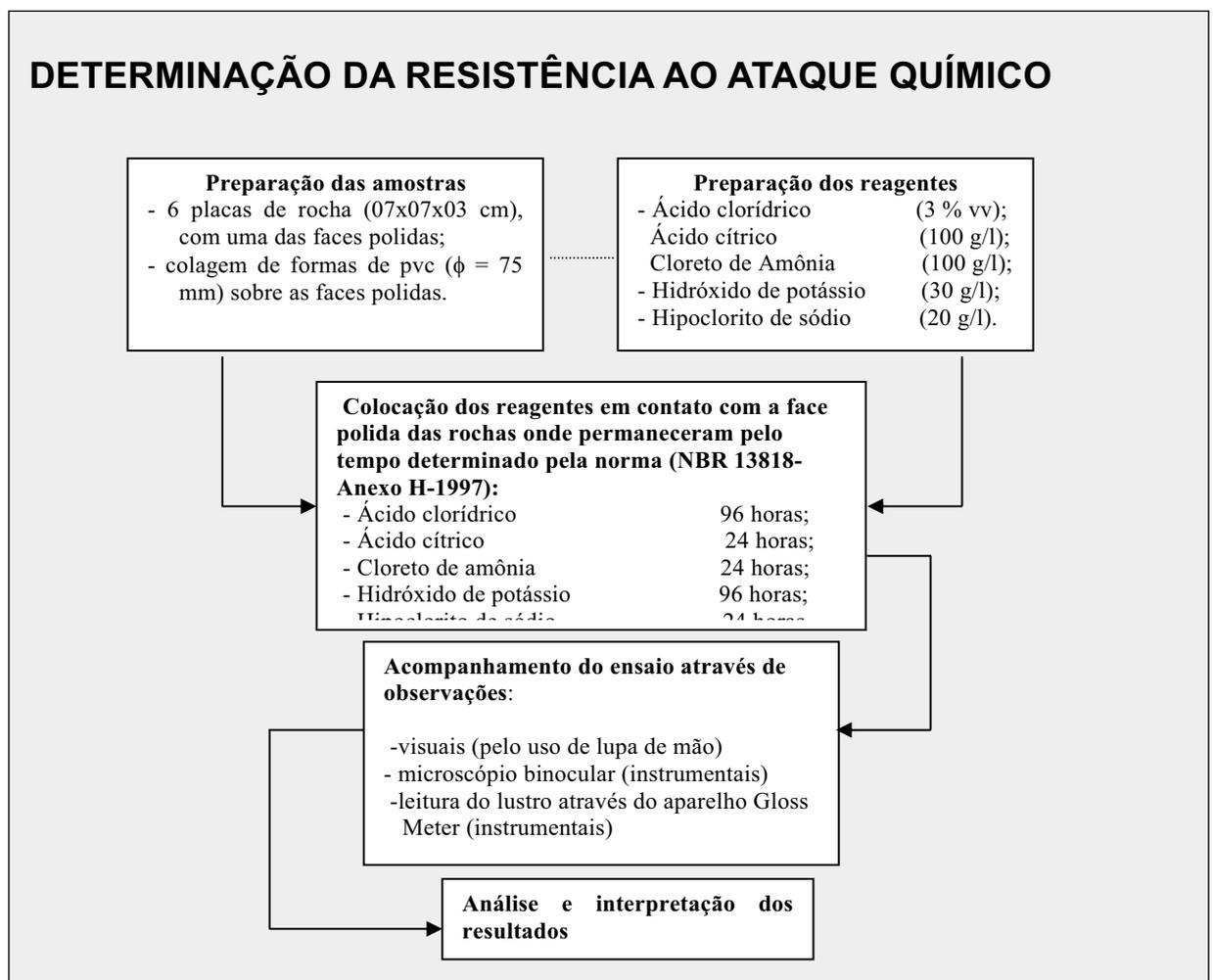
Figura 5. Ensaio que simula a alterabilidade induzida pelos processos naturais antropogênicos e de degradação sobre Diabásio porfírico. No centro o aparelho *Gloss Meter* usado para medir perda de brilho.

Os ensaios que permitem acelerar o processo de degradação das rochas podem simular fatores ambientais ou atmosféricos como também fatores referentes ao manuseio, uso e conservação do material. Neste trabalho optou-se por desenvolver o ensaio de resistência ao ataque químico.

O ensaio de resistência ao ataque químico permite acelerar o processo de envelhecimento do material simulando o ataque com compostos químicos, comumente utilizados na fabricação de produtos de limpeza ou encontrados em substâncias orgânicas naturais.

Tendo em vista que a norma NBR 13.818 (Anexo H) é exclusiva para produtos cerâmicos e que o seu uso foi uma adaptação aplicada para rochas ornamentais para a avaliação dos efeitos causados pelos agentes agressivos como sumarizado no Quadro 2. Neste sentido foram realizadas observações macroscópicas e leituras de lustros no sentido de detectar a perda de brilho, alteração de cor e corrosão.

Quadro 2. Fluxograma do ensaio de alterabilidade – Determinação da resistência das rochas ao ataque químico (mod. de TORQUATO, 2004).



II.4.1. PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A realização do ensaio tecnológico é de suma importância para qualificação e quantificação das rochas ornamentais. As rochas quando em uso diário, de acordo com a solicitação, são submetidas a diversos fatores (compressão, fricção, impacto, agentes intempéricos e químicos), ou seja, por meio dos ensaios tecnológicos pode-se efetuar uma previsão do comportamento destes materiais sob as diversas situações. Assim, a precisa caracterização tecnológica desses materiais torna-se fundamental para sua utilização correta, segura e econômica.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT é a entidade normatizadora dos parâmetros de qualificação de rochas ornamentais, e internacionais a American Society for Testing and Materials - ASTM, Deusch Institut fur Normung - DIN e Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas - ISRM.

II.4.1.1 Petrografia

Fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase nas feições que poderão comprometer suas resistências mecânicas e químicas, e afetar sua durabilidade e estética. A análise fundamenta-se na observação de seções delgadas, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida, permitindo observar detalhadamente feições como textura e estrutura, composição mineralógica, estado de alteração e microfissural, bem como as relações entre tipos minerais alteráveis, solúveis e friáveis. Essa análise é realizada conforme norma NBR 12768 da ABNT (1992g).

Técnicas auxiliares utilizadas para complementar a identificação e quantificação de minerais: ensaios de coloração seletiva de feldspatos e carbonatos e difratometria de raios-X. A classificação petrográfica das rochas baseou-se em Streckeisen (1976) e Winkler (1977).

II.4.1.2. Determinação de índices físicos

As análises foram realizadas no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciência Exatas da UNESP. Compreende os parâmetros de massa específica aparente seca e saturada,

porosidade e absorção de água.

Este ensaio segue norma NBR 12766 da ABNT (1992b) e pode fornecer uma idéia de micro-descontinuidades (fraturas e poros) nas rochas ou ainda se correlacionar com as propriedades mecânicas, diminuição da resistência da rocha com o aumento da porosidade e absorção d'água. Estas propriedades guardam entre si certa correspondência, principalmente a porosidade aparente e a absorção.

A massa específica serve como elemento auxiliar na classificação petrográfica da rocha e, em termos práticos, para calcular o peso das placas quando do dimensionamento dos dispositivos metálicos que a suportarão.

A porosidade pode permitir antever o estado de alteração e a resistência mecânica. A capacidade de absorção d'água, cuja magnitude é correlacionável ao grau de porosidade, indicará a possibilidade de ocorrer alterações minerais, com consequentes efeitos na estética das pedras, e também a possibilidade de diminuição da resistência mecânica. É determinada por pesagem do corpo-de-prova nas condições seca, saturada e submersa.

Para a determinação dessas propriedades devem-se obter corpos-de-prova em qualquer formato, desde que serrados com disco diamantado, e peso variando entre 300 e 400 g (350 g em média). Os corpos-de-prova são saturados em água por três horas com o auxílio de uma bomba de vácuo segundo norma (ABNT, 1992b). Fazendo uso de uma balança hidrostática mede-se o peso submerso (**A**) e o peso saturado (**B**). Em seguida os corpos-de-prova são secos em estufa por 24 horas e pesados novamente em condições normais (**C**). O cálculo dos índices físicos se faz relacionando os pesos A, B e C de acordo com as fórmulas abaixo:

$$\text{Massa específica aparente seca} = \frac{C}{(B - A)}$$

$$\text{Massa específica aparente saturada} = \frac{B}{(B - A)}$$

$$\text{Porosidade aparente} = \frac{(B - C)}{(B - A)} \times 100$$

$$\text{Absorção d'água aparente} = \frac{(B - C)}{C} \times 100$$

Onde: A = peso submerso;
B = peso saturado;
C = peso seco.

II.4.1.3. Determinação de desgaste Abrasivo Amsler

Corresponde ao parâmetro de dureza, sendo determinado por duas placas de rochas que são submetidas a um percurso e determinada por solicitação dada por abrasivos do tipo areia essencialmente quartzosa ou por grãos de carbetto de silício (*carborundum*), em máquina apropriada, conforme norma NBR 12042 da ABNT (1992b), dando-nos o valor da abrasão (dureza), esta propriedade é diretamente determinada por ensaios de desgaste.

Pode-se também ser estimada por ensaios de dureza do tipo *Knoop*. Esta propriedade depende da composição mineralógica, da granulação, do estado de alteração dos minerais e do grau de coesão ou capacidade da rocha. Este ensaio, que procura simular em laboratório, a solicitação por atrito, é útil para a previsão da durabilidade de pisos, principalmente em condições de alto tráfego de pessoas ou veículos.

O ensaio de desgaste indica a redução de espessura (mm) que placas de rochas apresentam após um percurso abrasivo de 1000 metros na máquina apropriada denominada “Máquina *Amsler*”. A resistência que uma rocha oferece ao desgaste está intimamente associada à dureza dos seus constituintes minerais e à sua compacidade e granulação, sendo este um parâmetro que influencia diretamente os custos de polimento e acabamento desses materiais. Assim, materiais que apresentam baixos índices de desgaste são, geralmente, empregados em pisos, em locais de alto tráfego, como estações de metrô, rodoviárias, shoppings e aeroportos.

Os ensaios dessa natureza foram realizados de acordo com as diretrizes da norma da ABNT-NBR 12042 (1992e) e realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciência Exatas da UNESP a partir do uso de dois corpos-de-prova (7 x 7 x 3 cm). Este ensaio é determinante para as rochas que se destinam ao revestimento de pisos e degraus de escadas.

O valor do desgaste é obtido em três etapas: inicialmente os corpos-de-prova são medidos com auxílio de um paquímetro ou relógio comparador e submetidos a um percurso abrasivo de 500 m.

Tomam-se novamente as medidas para em seguida submeter os corpos-de-prova, invertendo-se as posições das mesmas, a mais um percurso de 500 m, totalizando assim 1000 m. Finalmente tomam-se medidas de espessuras finais dos corpos-de-prova. O resultado é obtido pela média das diferenças entre a leitura inicial e final dos dois corpos-de-prova, para cada um dos percursos (Figura 6, 7 e 8).

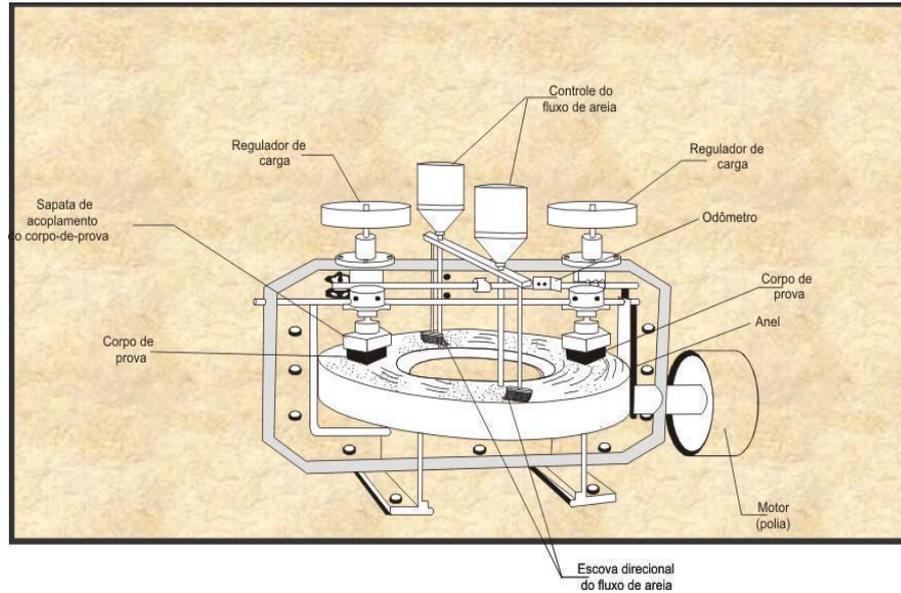


Figura 6. Esquema do Equipamento utilizado para medir o desgaste por abrasão “Máquina Amsler”.

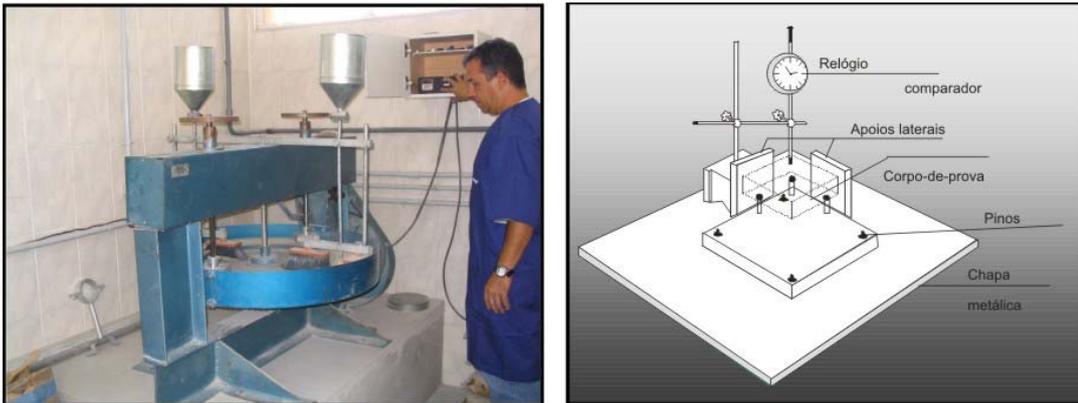


Figura 7. Equipamento utilizado para medir o desgaste por abrasão “Máquina Amsler”. Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais da UNESP. Esquema do medidor do corpo-de-prova antes e após desgaste.

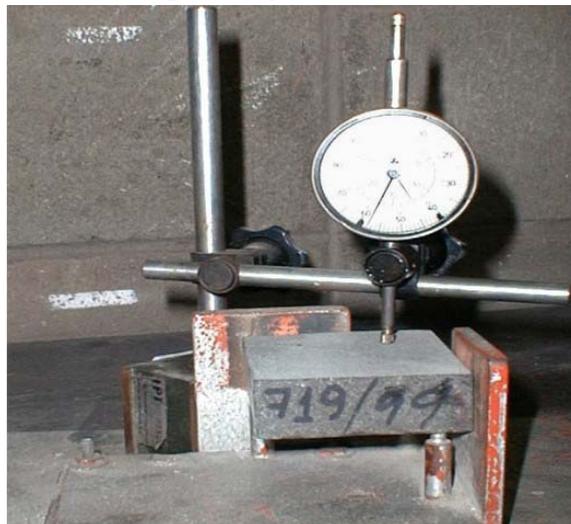


Figura 8. Medição do corpo-de-prova com relógio comparador, antes e após o desgaste.

II.4.1.4. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

Determina o coeficiente de dilatação térmica linear (10^{-3} mm/m. °C) de rochas quando submetidas a variações de temperatura no intervalo de 0°C e 50 °C. É importante para o dimensionamento do espaçamento de juntas de dilatação da rocha, em revestimentos de grandes áreas, fundamentais para a ancoragem de placas, principalmente as que sofrem grandes variações de temperatura, segundo a norma NBR 12765 da ABNT (1992 d).

As rochas assim como a maioria dos materiais (nos estados: sólido, líquido e gasoso), apresentam valores de dilatação variados, dilatando-se quando aquecidos e contraindo-se quando resfriados. Embora este fenômeno se manifeste tridimensionalmente, esta medida é calculada linearmente e deve ser expressa pelo coeficiente de dilatação térmica (β).

Utiliza-se este ensaio em especial, em materiais rochosos utilizados como revestimentos de fachadas ou pisos externos expostos à ação direta do sol, situações de intenso calor ou sujeitas a grandes oscilações de temperatura, como ocorrem em regiões com estações climáticas bem definidas.

Na prática, utilizamos (β) para calcularmos o dimensionamento das juntas de dilatação de placas, painéis e ladrilhos de rochas ornamentais, e isto implica também na escolha do processo de ancoragem das placas a serem utilizadas em uma obra.

Os valores de (β) e de Pulso Ultra- Sônico aqui definidos foram determinados no laboratório de rochas ornamentais da UNESP– Rio Claro (DPM/IGCE/UNESP), em corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 28 mm e comprimento de 90 mm. Estes corpos de prova foram aquecidos em água a partir de 0° até 50 °C e resfriado de 50° até 0 °C, de acordo com a norma ABNT NBR – 12765 (1992d).

O pulso ultra-sônico permite calcular a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, a qual em primeira instância é usada para avaliar as condições de sanidade da rocha. Ela é influenciada pela estrutura, porosidade e pela presença ou não de água nos poros.

Na presente tese a velocidade de propagação, em todas as amostras (saturadas), foi determinada antes e depois de determinar o valor de (β), para verificar se houve a formação de novas fissuras ou expansão de outras preexistentes, provocadas pelo intervalo de temperatura (0° a 50°C) pela taxa de aquecimento usada no presente ensaio: 0,3°C/min. Procurou-se ainda correlacionar a média da velocidade de propagação de ondas e a porosidade aparente nos granitos e movimentados estudados.

A velocidade de propagação foi realizada seguindo as diretrizes da norma ASTM D 2845/95. Segundo Lima (2002), o equipamento (dilatômetro) (Figura 9) é constituído por um sistema de refrigeração e aquecimento projetado para elevar e abaixar a temperatura do banho (água) com uma taxa de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Os limites de temperatura superior e inferior são de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. No entanto, esses valores podem ser facilmente alterados, através de um controlador digital do tipo PID com *setpoint* programável e variável ao longo dos dois limites.

Sistema de Calibração do Dilatômetro: a calibração do dilatômetro é realizada utilizando um corpo-de-prova de alumínio, que tem coeficiente de dilatação conhecido.

Alteração de Variáveis do Sistema: o controlador digital permite a modificação de suas variáveis através do seu próprio teclado do painel de controle que é usado para alterar o valor superior de temperatura ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$), inferior ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a taxa de aquecimento ($0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) para os valores que se deseja trabalhar. Existem botões no painel de controle que são setas auxiliares, para cima e para baixo, que têm a função de alterar o valor da variável em visualização.



Figura 9. Equipamentos para determinação de Dilatação Térmica Linear

Procedimento: a determinação realizada pelo equipamento pode ser dividida em 4 partes:

1) *Estabilização Inicial do Sistema*

Comprime-se o botão iniciar da janela principal do programa e o ensaio será iniciado. O programa monitora o equipamento até que é detectada a estabilização no deslocamento do corpo-de-prova. Quando o sistema estiver estabilizado inicia-se efetivamente a leitura dos dados que serão utilizados para calcular o β .

2) *Primeira Leitura (aquecimento)*

Nesta fase os valores de temperatura e deslocamento usado para o cálculo de β começam a ser lidos. Decorrido cerca de 3 horas, o sistema chega novamente ao ponto de estabilização, ou seja, a um valor de deslocamento constante durante um período de tempo de mais ou menos 20 minutos.

Percebida a estabilização do sistema, solicita-se que se inverta a chave *setpoint* do painel e dará início a terceira parte do ensaio.

3) *Segunda Leitura (resfriamento)*

Os valores de temperatura e deslocamento continuarão a ser lidos para que se calcule o segundo valor de β . Este valor será referente ao aquecimento ou resfriamento, dependendo da leitura realizada anteriormente.

Esta etapa será finalizada também, 3 horas depois, o sistema, detecta uma nova estabilização. Com isso, a determinação será realizada com cálculos para obtenção dos resultados.

4) *Visualização dos Resultados*

É fato que uma rocha, um mineral, uma placa pétrea (ou de outro material para revestimento), mantida numa temperatura T_1 apresenta um comprimento inicial L_1 . Quando submetida a um acréscimo de temperatura ΔT (sendo $T_2 > T_1$) seu comprimento sofre um acréscimo de ΔL , apresentando um comprimento final L_2 (Figura 10). Os valores de β de dilatação e contração são automaticamente calculados e exibidos o valor de β final, através da seguinte expressão:

$\beta = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$	<p>Onde: β = coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m°C) ΔL = variação do comprimento do corpo-de-prova (m) L_0 = comprimento inicial do corpo-de-prova (m) ΔT = incremento de temperatura</p>
---	--

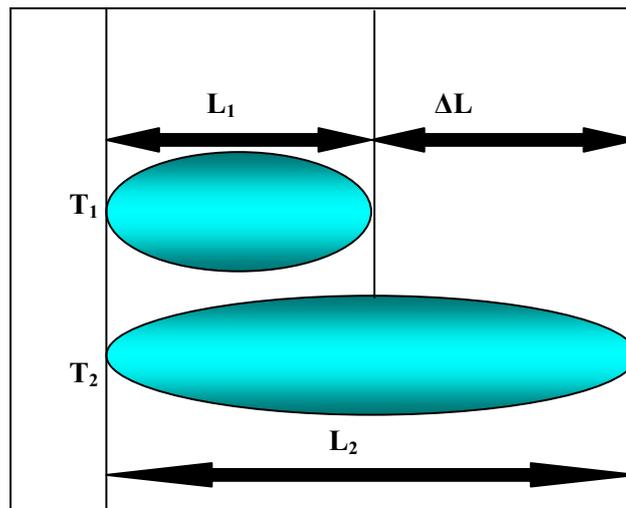


Figura 10. Esquema ilustrando a variação de volume de um mineral em função da variação de temperatura nele incidente.

II.4.1.4.1. Análise do coeficiente de dilatação térmica linear (β) de uma rocha

Os granitos e movimentados aqui analisados são poliminerálicos e como cada mineral tem um coeficiente de dilatação térmica específico, este vai variar de acordo com a direção cristalográfica do mineral. O coeficiente de dilatação térmica de uma rocha depende de vários parâmetros:

- Da mineralogia da rocha e da respectiva proporção mineral (moda). Minerais do sistema cúbico, onde todas as direções cristalográficas são iguais (β é isotrópica), ou seja, nos cristais cúbicos o β ao longo dos diferentes eixos cristalinos são iguais, e as mudanças nas dimensões com a temperatura são simétricas.

Do sistema trigonal, tetragonal e hexagonal, onde duas direções cristalográficas são iguais e uma diferente, apresentando dois β . Minerais do sistema monoclinico, triclinico e ortorrômbico (3 direções distintas), nos mostram 3 β . Em cristais anisométricos (não cúbicos), que é a grande maioria dos materiais e minerais, o β varia com a orientação cristalográfica, portanto não se deve apresentar o β de um cristal anisométrico sem mencionar a direção cristalográfica a que ele se refere.

As rochas formadas por diversos minerais, tais como, granitos, gnaisses, sienito, etc. sofrem mais com a ação térmica do que rochas formadas, essencialmente, por um único mineral (arenitos, mármore e calcários). A calcita e o quartzo têm valores de β altos, como consequência quartzitos, granitos e mármore têm coeficientes de dilatação térmica linear alta;

- Da porosidade da rocha e de sua capacidade de permeabilidade (absorção d'água);
- Da trama da rocha envolvendo tanto os contatos interminerais, quanto à disposição espacial dos minerais constituintes da rocha;
- Da estrutura da rocha, principalmente quando lineares nos quesitos; clivagem, foliação, xistosidade, gnaissificação e bandeamento;
- Do grau de microfissuramento da rocha (100 X n° de microfissuras/mm²), ou seja, rochas que inicialmente contém grande quantidade de fissuras apresentam valores de β menores que a mesma rocha em estado não fissurado;
- Das ligações entre os minerais, que quanto mais forte for a ligação menor será o β , ou vice-versa;
- As rochas, por conduzir mal o calor, esta sofre ação térmica mais intensa na superfície do que no interior, desenvolvendo-se tensões diversas que provocam fendilhamentos, devido à dilatação heterogênea dos minerais constituintes da mesma;
- O aumento no valor de β esta relacionado com o aumento de SiO₂ presente nas rochas;
- Do tamanho dos grãos, que segundo Richter e Simmons (1974) *in* Lima (2002), os dados são insuficientes para fazer uma discussão quantitativa do efeito do tamanho dos grãos na dilatação térmica das rochas. Porém, na literatura já existem explicações para a relação entre granulação e variação na dilatação das rochas.

II. 4.1.4.2. Dilatação/contração

Esta propriedade é de grande importância no dimensionamento do espaçamento de juntas, principalmente em revestimentos de pisos de exteriores de fachadas. Varia com a oscilação da temperatura e é realizado segundo a norma da NBR 12769 da ABNT (1992) e depende da composição mineralógica e do grau de compacidade da rocha, e é determinada pela medida das deformações ocorridas sob aquecimento e resfriamento controlados.

Poderá ser determinada por ciclos de congelamento e degelo, quando se quer saber de sua aptidão para suportar os rigores do clima frios vigente no hemisfério norte, numa prévia qualificação da rocha para sua exportação.

II.4.1.5. Determinação da resistência à compressão uniaxial

Corresponde ao parâmetro de *compressão* que indica a que tensão compressiva a rocha se rompe, de acordo com a norma da NBR 12767 da ABNT (1992c). A resistência à compressão, embora não seja esta uma solicitação comum em revestimento, dá indicação do grau de sanidade e resistência mecânica da rocha e serve como índice de sua qualidade tecnológica. É determinada em prensas apropriadas sob esforços compressivos de corpos de prova (Figura 11). São realizados para os materiais que serão utilizados em revestimento interno e externo, pisos, tampos de mesas e balcões, colunas e pilares, pias, soleiras, etc.



Figura 11. Preparação de corpos de prova no Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE, para ensaios de Compressão Uniaxial e Flexão 3 pontos.

As propriedades mecânicas de uma rocha são regidas pelo tipo de reação que a mesma oferece quando sobre ela atuam forças. Estas forças induzirão na rocha um determinado estado de tensão e deformação (DIONÍSIO, 1997).

Entende-se por resistência à “compressão uniaxial” a tensão de ruptura sofrida por um material rochoso quando submetido a esforços de compressão, ou seja, a determinação da capacidade que uma rocha pode apresentar para suportar forças compressivas. Os resultados referentes a este parâmetro são valiosos para a realização de cálculos geotécnicos e de dimensionamento.

Apesar de este ensaio ser solicitado mais freqüentemente para a avaliação das resistências dos materiais sobre os quais vão atuar forças verticais, ele constitui um índice importante, da qualidade das placas de rochas a serem utilizadas como revestimento.

Elevados valores de resistência à compressão implicam, de uma maneira geral, em materiais de alta resistência mecânica (VIDAL et al. 1999).

A resistência mecânica das rochas está condicionada a uma série de fatores intrínsecos que influenciam diretamente, embora com pesos diferentes, os valores finais. Dentre estes se destacam a direção do esforço de compressão em relação à estrutura, o estado de alteração, a presença ou ausência de microfissuras na rocha, a anisotropia, as dimensões dos minerais e a porosidade da rocha (FIGUEIREDO, 1997).

A resistência em direção perpendicular à da estrutura é em geral maior que na direção paralela e, neste caso, a possibilidade de ocorrerem cisalhamentos ao longo dos planos aumenta consideravelmente.

O tamanho dos cristais também tem demonstrado, na prática, uma correlação direta com a resistência mecânica das rochas. Assim, verifica-se que quando se trata de uma rocha monominerálica (caso raro) o tamanho dos grãos tem importância relativamente menor do que se a rocha for formada por um composto de minerais com propriedades físicas distintas. Minerais com facilidade de clivagem (feldspato, por exemplo) tendem ao cisalhamento, mais facilmente do que minerais com fraca clivagem como o quartzo, por exemplo.

O estado de alteração de uma rocha também influencia diretamente os valores inerentes à sua resistência. Rochas mais alteradas tendem a oferecer menor resistência aos esforços compressivos do que as rochas sãs.

O microfraturamento é outro fator que exerce uma influência direta na resistência mecânica de uma rocha. Verifica-se que quanto maior forem o número de microfraturas presentes no material rochoso menor será a sua resistência mecânica, e a presença desse tipo de microestrutura está normalmente relacionada a alguns processos de alteração de blocos e/ou, como caso mais vulgar, a determinadas situações geológicas bem específicas onde a rocha é sujeita a esforços.

A anisotropia pode reproduzir-se à escala da rocha e, assim, influenciar o aumento ou a diminuição da sua resistência mecânica. Neste caso, podem-se citar como exemplo as rochas calcárias onde a distribuição e orientação dos minerais é de maneira geral, totalmente aleatória o que permite uma anisotropia resultante muito fraca ou até mesmo nula.

De acordo com Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses - ISRM (1977), as rochas podem ser classificadas com base na resistência à compressão simples de conformidade.

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados, no Laboratório de Rochas

Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciência Exatas da UNESP. Utilizou-se uma prensa hidráulica com acionamento elétrico e com capacidade para 200 toneladas e precisão 1% modelo PC 150/200-I (Figura 12).

Frazão e Farjallat (1995) utilizando resultados médios apresentados para as rochas brasileiras relativamente a este parâmetro propõem um limite maior ou igual a 100 MPa, para as rochas poderem ser consideradas de boa qualidade. Deste modo, como os valores obtidos nesses ensaios se encontram dentro deste limite as rochas são admitidas como rochas resistentes.



Figura 12. Prensa para ensaios de esforços compressivos

II.4.1.6. Determinação da resistência à flexão na tração (método dos 3 pontos)

Corresponde ao parâmetro de flexão e deve estabelecer a que esforço fletor ocorre o rompimento da rocha, influenciando no tamanho e espessura de placas externas. Este ensaio segue a norma NBR 12763 da ABNT (1992d). A resistência à flexão é uma propriedade importante para rochas que se destinem a revestimento de fachadas por ser um indicativo de sua resistência à ação dos ventos, particularmente em fachadas altas.

Pode ser determinada por carregamento em três pontos, quando se procura conhecer a resistência à flexão intrínseca ao material rochoso, ou por carregamento em 4 pontos (ensaio de resistência de flexão na tração – Norma C 880 ASTM, 1980), quando se procura conhecer a resistência à flexão da placa, pois neste caso a espessura do corpo-de-prova é de dimensão próxima aquela que a placa terá em uso.

A - Flexão 3 pontos – consiste na aplicação de uma carga no centro de uma barra “biapoiada”.

B – Flexão 4 pontos – consiste na aplicação de uma carga em dois pontos equidistantes dos apoios de uma barra “biapoiada”.

Estes tipos de ensaios podem ser feito através de dois tipos de dispositivo experimental (Esquema **A** e **B**) (Figura 13):

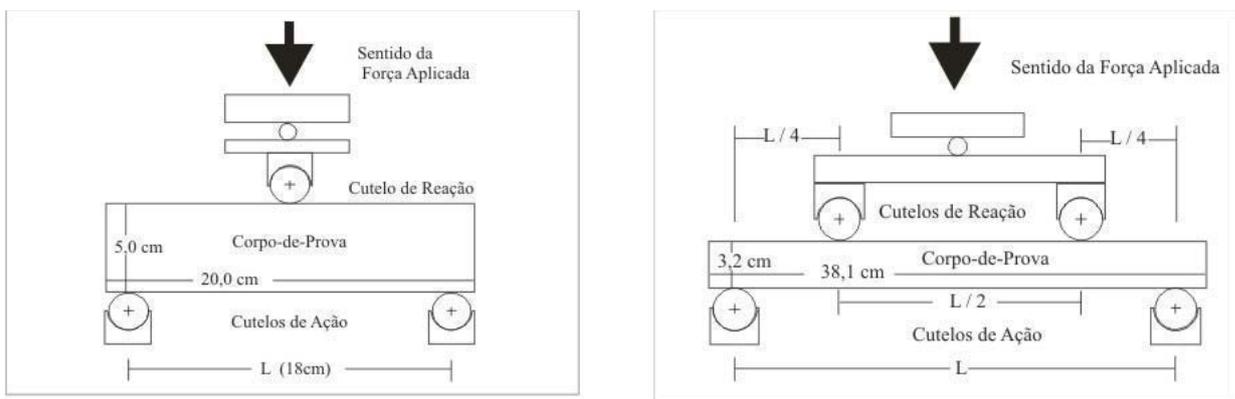


Figura 13. Disposição dos corpos-de-prova para ensaios de resistência à flexão

a) *Teste com esforço concentrado no centro ou em três apoios* – o corpo-de-prova apóia em dois cutelos e nele é aplicada uma carga crescente através de um cutelo central (Figura **A**) que se apóia superiormente no mesmo corpo-de-prova num ponto equidistante aos dois apoios inferiores. O esforço é aumentado gradualmente até que ocorra a ruptura.

b) *Teste com momento constante ou em quatro apoios* - o corpo-de-prova apóia em dois cutelos como no caso precedente, mas a carga é aplicada sobre um outro par de cutelos para que eles atuem no mesmo corpo-de-prova no extremo de uma linha intermediária. Também neste caso a carga é aumentada gradativamente até que ocorra a ruptura.

Os ensaios utilizados para a determinação da resistência à flexão procuram determinar qual a tensão mínima, ou qual a flexão máxima, que provoca a ruptura de um bloco ou placa de rocha quando submetida a esforços de compressão e/ou 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 atmosféricas locais.

O tipo de granulação da rocha vai influenciar diretamente na resistência à flexão, quanto maior ela for menor será o seu valor, aumentando assim os problemas inerentes à fixação das placas.

De acordo com a norma C 615 da ASTM, o valor de 10,34 MPa é o mínimo para que as rochas graníticas possam ser usadas como material de revestimento de paredes de modo a poder suportar a carga do vento considerada como normal, enquanto que para as rochas brasileiras Frazão e Farjallat (1995) sugeriram esse mínimo como sendo de 10,0 MPa.

Este ensaio 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.

II.4.1.7. Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrasônicas

Este ensaio tem como objetivo medir a velocidade de vibração das ondas de compressão e de cisalhamento na rocha, ou seja, a velocidade (V) de propagação de uma onda longitudinal, em um percurso (D), que é efetivamente infinito (x) na extensão lateral (Figura 14). Pode-se, desta forma, estimar as condições físicas em que se encontra o referido corpo-de-prova, através de alterações observadas nas velocidades de vibração das ondas, segundo a norma americana ASTM D2845 (1990).



Figura 14 Equipamento utilizado para medir a velocidade ultra-sônica das rochas Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais da UNESP.

A velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas é uma das características específicas inerente aos materiais pétreos e dependem, sobretudo das suas propriedades elásticas e densidades.

As ondas ultra-sônicas são muito sensíveis à qualidade dos corpos rochosos, razão pela qual a sua determinação permite além da identificação e caracterização dos diferentes grandes grupos de rochas, uma avaliação indireta das suas propriedades, especialmente ao nível da porosidade, presença de fissuras, grau de alteração entre outras descontinuidades.

De um modo geral os ultra-sons são ondas elásticas da mesma natureza das ondas sonoras, porém com frequências que estão fora do nível de percepção do ouvido humano (15 Hz a 20 kHz) e a sua velocidade é medida com base no tempo de trânsito percorrido por uma onda sonora numa distância conhecida.

Estas medidas podem ser efetuadas tanto em laboratório, através do uso de amostras como representativas do material, como em seus ambientes originais “*in situ*”, ou seja, no caso específico das rochas, os afloramentos ou frentes de lavra.

Mouza et al. (1983) comentam que as técnicas de ultra-sons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio, pois a medição dessas velocidades num material rochoso constitui um meio de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica tendo a vantagem de ser uma técnica não destrutiva.

As medidas foram efetuadas no aparelho denominado PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test), em uso na UNESP, equipado com dois transdutores de 54 KHz, duas possibilidades de medidas, de 0,1 a 999,9 μ s e de 1 a 9999,9 μ s em unidades de 1 μ s, provido de alimentação através de corrente elétrica ou bateria interna.

Os disparos são automáticos através de um oscilador de cristal de 10 MHz cuja precisão é da ordem de $\pm 0,1\mu$ s. Durante a execução do ensaio laboratorial, utilizaram-se 6 corpos-de-prova cúbicos com $7\pm 0,2$ cm de aresta, onde se determinaram as velocidades ultra-sônicas tanto em rochas secas como em rochas saturadas.

II.4.2. GEOQUÍMICA DE ROCHA

As análises químicas foram realizadas no LABOGEO-IGCE/UNESP-Rio Claro, utilizando-se Fluorescência de Raios X para os elementos maiores (concentração em %) segundo os padrões de rotina do laboratório propostos por Malagutti et al. (1988).

O objetivo principal da utilização dos dados de geoquímica de rocha total, principalmente quanto à variabilidade de elementos maiores a cerca das variedades

faciológicas, permitirá a adequada identificação e tipificação das variedades estudadas, com o propósito de evitar designações genéricas e muitas vezes incorretas.

Além de definir precisamente a qualificação e parâmetros, visam sua melhor utilização e emprego como materiais de revestimento, e com base no comportamento tecnológico, além de uma correlação dos minerais de transformação ou da alterabilidade apresentados pelos materiais.

II.4.3. ATAQUE QUÍMICO

Sob condições atmosféricas normais, as rochas ao longo do tempo, quando expostas às intempéries, sofrem diferentes processos de alteração, os quais vão afetar as suas características físicas, mecânicas e até mesmo a sua composição química.

Através da observação e estudo dessas alterações verifica-se que os materiais pétreos não apresentam uma durabilidade infinita. O simples fato da sua ascensão natural através de qualquer processo isostático ou forçado através de meios mecânicos impostos pelo homem é muitas vezes, condição suficiente para iniciar ou acelerar o processo de alteração.

A alteração de uma rocha é, portanto, o processo natural que envolve a sua degradação e decomposição, produzida pelos agentes físicos e químicos e que a transformam num outro produto natural, agora em perfeito estado de equilíbrio com o novo meio, ou seja, recompõe o desequilíbrio termodinâmico causado pelas variações das condições de formação versus as condições atuais de jazimento (AIRES-BARROS, 1991, 2001).

Para que se possa usar sem problemas, ou pelo menos com a maior confiabilidade possível, os materiais pétreos que vão de pisos e fachadas ou que vão servir como base para outros fins (estatuária, lápides, móveis, etc.), é indispensável o conhecimento não só da sua história geológica, mas também, e de modo prioritário, do seu comportamento mecânico e químico, através da determinação laboratorial das suas características físicas e da sua alterabilidade.

Segundo Aires-Barros (1991, 2001), os conceitos de alteração e alterabilidade são duas feições que, embora afetem o mesmo material, agem de modo espacial e temporal de maneiras completamente diferentes.

O conceito de alteração estuda as variações que uma rocha sofre, normalmente “*in*

situ”, e é resultante das diversas atividades geológicas naturais ao longo de milhões de anos, já o conceito de alterabilidade preocupa-se com o que pode acontecer, especialmente sob influência antrópica direta ou indireta, às rochas quando aplicadas em obras de arte ou como simples materiais de construção em obras de engenharia ou de arquitetura, durante os anos que separam o início da obra e o seu estado atual.

Igualmente, é através da alterabilidade que se tenta prever e prevenir, com a antecedência necessária, a ocorrência de futuras patologias que irão afetar, por vezes de modo irreversível, as condições químicas e mecânicas das rochas.

Na generalidade, o conceito de alteração refere-se aos fenômenos em escala geológica (milhão) e o de alterabilidade aos que se passa em escala humana (dezenas ou centenas de anos).

A avaliação temporal, ainda que feita de forma qualitativa, dos processos de alteração e de alterabilidade constitui um dos grandes desafios, tanto da Geologia como da Engenharia, pois, mesmo determinada de modo aproximado, poderá contribuir significativamente para a economia e especialmente para a segurança das obras (RODRIGUES, 1978).

Já a determinação quantitativa da alterabilidade, pelo fato de englobar além de parâmetros inerentes à rocha e inerentes ao ambiente, envolve grandes dificuldades laboratoriais, uma vez que sua investigação requer simulações, as mais aproximadas possíveis, das condições ambientais naturais, é, por esta razão, de determinação muito dispendiosa, demorada e pouco frequente.

Os principais tipos de alteração que afetam os materiais pétreos são de origem deutérica, igualmente chamados de primários ou hipogênicos e de origem meteórica, também denominada de secundários ou supergênicos.

A alteração primária é a que se desenvolve preferencialmente durante os estágios de formação da rocha, mais especificamente durante a consolidação magmática ou em processos paralelos daí resultantes.

A alteração secundária é a resultante da rocha quando analisada dentro do contexto litosfera / atmosfera / hidrosfera. A meteorização não passa deste modo, de um conjunto de processos que tratam da passagem de uma rocha formada em condições endógenas de modo a provocar a sua adaptação às novas condições exógenas (AIRES- BARROS, 2001).

Os processos de alteração secundária ou meteórica envolvem todo o conjunto de transformações sofridas pela rocha durante o período em que está exposta às intempéries,

quer no recobrimento de edifícios quer em outras aplicações.

Os estudos de alterabilidade são assim necessários para, dentro da medida do possível, tentar prever estas patologias e preconizar quais tipos de soluções devem ser dadas para evitar ou, pelo menos, minimizar os seus efeitos.

A alteração ou grau de alteração de uma rocha (m) que está exposta às ações intempéricas (meteóricas), depende fundamentalmente de fatores intrínsecos à sua natureza (i), e das características, intensidade e tempo de atuação dos fatores extrínsecos (e) tal como foi descrito por Aires-Barros (1990, 1991).

As características inerentes à rocha podem ser profundamente modificadas desde as operações de extração do material nas pedreiras até ao seu beneficiamento nas marmorarias. As mudanças vão se repercutir na capacidade de reatividade química frente aos agentes agressores.

Deste modo, os materiais rochosos utilizados nas obras de engenharia guardam ao longo dos tempos as impressões adquiridas anteriormente à sua aplicação.

II.4.3.1. Procedimentos dos ensaios químicos

Os ensaios desta Tese foram realizados com base no anexo H (normativo) da norma NBR 13818-97-Pisos cerâmicos vidrados “Determinação da resistência ao ataque químico”, uma vez que se tem observado ao longo dos anos que as patologias desenvolvidas sobre os revestimentos são semelhantes às encontradas nos produtos cerâmicos. A relação dos agentes químicos para a verificação da resistência das rochas pesquisadas ao ataque químico, concentrações e valores de pH e tempo de exposição discriminados no Quadro 3.

Quadro 3. Relação dos agentes químicos para a verificação da resistência das rochas pesquisadas ao ataque químico, suas concentrações, valores de pH e o tempo de exposição (NBR 13818/97).

Agentes Químicos/Agressivos	Concentração	Tempo de exposição ao ataque	pH
Ácido Cítrico ($H_8C_6O_7$)	100 g / l	24 h	1,2
Acido Clorídrico (HCl)	3 % (vv)	96 h	1
Cloreto de Amônia (NH_4Cl)	100 g / l	24 h	5
Hidróxido de Potássio (KOH)	30 g / l	96 h	14
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	20 g / l	24 h	8

As soluções (reagentes) foram preparadas a partir da diluição de substâncias concentradas disponíveis no mercado, tais como:

REAGENTES

- Produtos químicos domésticos:

Cloreto de amônia (NH_4Cl), 100g/l, simulando produtos químicos de uso doméstico como detergente e sabão;

- Produtos para tratamento de água de piscina:

Solução de hipoclorito de sódio (NaClO)—20mg/l (preparada a partir de hipoclorito de sódio grau técnico, com aproximadamente 13% de cloro ativo), água sanitária.

- Ácidos:

* Ácidos de baixa concentração:

Solução de ácido clorídrico (HCl), 3% (v/v) partes em volume, preparada a partir de ácido clorídrico concentrado, densidade igual a $(1,19 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3)$;

Solução de ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 100g/l, sucos de frutas cítricas.

* Ácidos de alta concentração:

Solução de ácido clorídrico, 18% (v/v), preparada a partir de ácido clorídrico concentrado, densidade igual a $(1,19 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3)$;

Solução de ácido láctico, 5% (v/v)

- Alcalis

* Alcalis de baixa concentração:

Solução de hidróxido de potássio (KOH), 30g/l

* Alcalis de alta concentração:

Solução de hidróxido de potássio, 100g/l

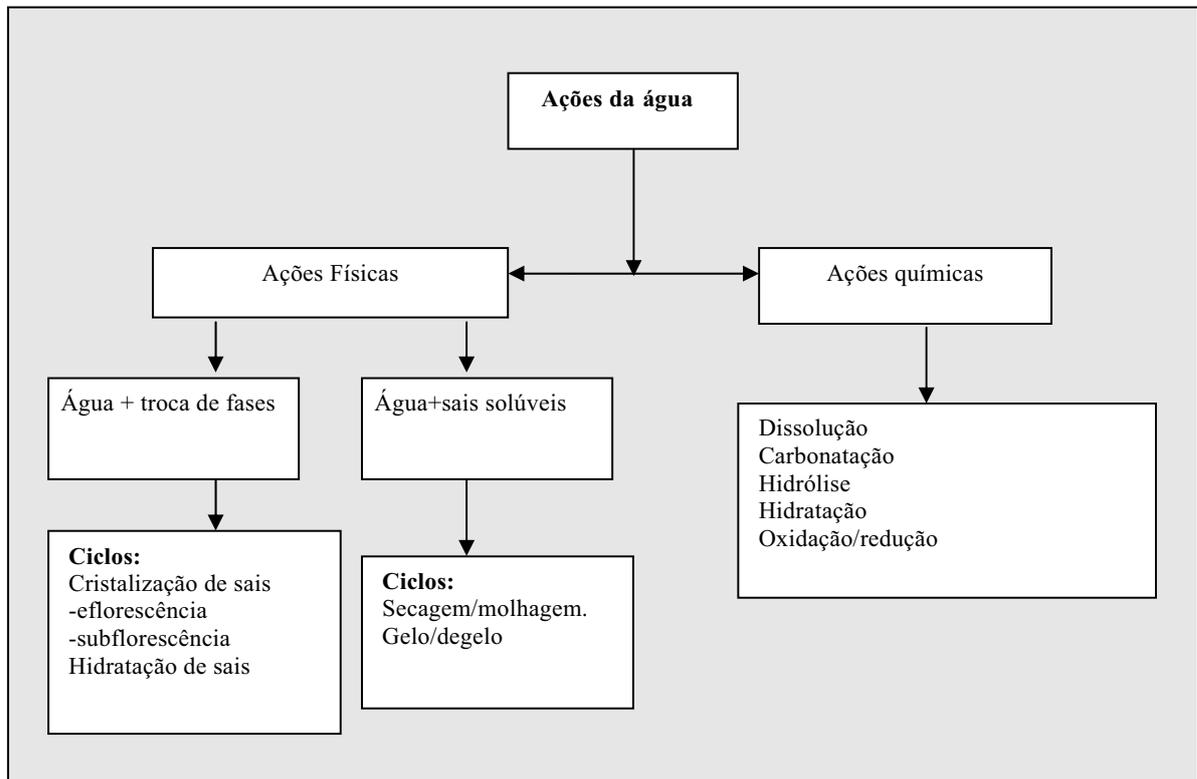
II.4.3.2. Agentes e Mecanismos de Alteração

A questão da vulnerabilidade das rochas em relação aos processos atribuídos à meteorização está relacionada, principalmente, com o tipo e quantidade relativa dos seus constituintes mineralógicos; isto não quer dizer que outras propriedades intrínsecas às rochas possam ser desprezadas, tais como, por exemplo, a porosidade, o grau de fraturamento e a textura.

No entanto, verificou-se que, na maioria dos casos estudados, o tipo de alteração está diretamente associado com as transformações supergênicas que as afetam, deste modo, dependem em larga escala dos parâmetros morfoclimáticos regionais, da intensidade e tipo de ocupação biológica existente e da vegetação que, em conjunto, constituem fatores preponderantes nos processos de alteração (FIGUEIREDO, 1999).

Os agentes que mais contribuem para os processos de alteração das rochas e consequentemente para o aparecimento das suas formas de deterioração são: a água, os contaminantes atmosféricos, os sais solúveis e os organismos vivos Quadro 4 (mod. ESBERT et al. 1997).

Quadro 4. Esquemáticamente as ações da água nos seus aspectos físicos e químicos atuando como agente de alteração sob os materiais rochosos (mod. ESBERT et al. 1997).



A água, nas suas diferentes fases (líquida, sólida e gasosa), como “solvente universal” que é, representa o mais poderoso agente de alteração das rochas, especialmente quando combinada com outras substâncias tais como sais solúveis, contaminantes atmosféricos e organismos vivos.

Nestas condições é capaz de até mesmo arrasar montanhas, construir bacias sedimentares com quilômetros de espessura, cavar grandes buracos nas rochas (os *tafonis*),

cortar enormes blocos de granito (no arrastar das geleiras) como se fossem materiais de baixa resistência mecânica, etc.

As águas contendo dióxido de carbono ou ácidos orgânicos em solução exercem ações dissolventes sobre vários minerais, os quais têm particular importância no caso específico das rochas calcárias, pois estes ácidos produzem a transformação do carbonato de cálcio em bicarbonato que torna a ação desse agente muito mais enérgica (AIRES-BARROS, 2001).

As reações de hidrólise destacam-se como as mais importantes ações de decomposição das rochas tendo como veículo motor a água. Estes processos afetam profundamente os componentes silicatados das rochas cujas estruturas tetraédricas são modificadas e até mesmo totalmente destruídas sendo, por esta razão, de grande importância para a explicação dos processos de alteração dos granitos *sensu lato*. Em última instância, estes processos levam à formação de minerais do grupo das argilas, considerados como os mais estáveis nas condições ambientais da superfície terrestre.

A hidratação consiste na incorporação de moléculas de água na estrutura cristalina do mineral. Contudo, sua ação é muito mais efetiva quando associada com a oxidação Aires-Barros (2001). Neste caso os minerais mais afetados são os que contem ferro em sua composição os quais são oxidados pelo oxigênio do ar dando origem aos óxidos de ferro. Já relativamente à redução destaca-se como principal agente natural a matéria orgânica que produz reações nos compostos férricos e ferrosos através da ação do ácido sulfúrico. Determinadas bactérias (tiobactérias) reduzem os sulfatos a sulfetos.

A ação do gelo-degelo provoca tensões internas nas paredes dos poros ou vazios que podem conduzir à esfoliação, fissuração e eventual ruptura dos materiais rochosos (crioclastia).

Os compostos nitrogenados, procedentes na maioria dos casos dos fertilizantes nitrogenados, dos combustíveis fósseis, dos automóveis e certos processos bioquímicos, representam grande perigo para os materiais pétreos, devido à conversão fotoquímica do NO_x em ácido nítrico (HNO_3). Além do mais, os óxidos nitrogenados e o amoníaco (NH_3) funcionam como catalisadores da reação do SO_2 para SO_3 (ESBERT et al., 1997).

Os produtos clorados provenientes de fontes naturais (mares, vulcões, etc.) e de atividades humanas (elaboração de papel e plásticos com cloro, etc.), concretizam suas ações malélicas sobre as rochas, principalmente, através do ácido clorídrico.

Já os compostos fluorados, provenientes, sobretudo de certas atividades industriais

como a fabricação de fertilizantes, exercem uma forte ação agressiva sobre as rochas, porém como sua concentração na atmosfera é pequena a sua incidência sobre esses materiais também o é. O F_2 é muito reativo e se converte facilmente em ácido fluorídrico (HF) que ataca fortemente as estruturas das rochas silicáticas dando origem a novas fases minerais.

As partículas sólidas existentes na atmosfera com diferentes concentrações, tamanhos, formas e composições (metálicas, sulfuradas, carbonosas, etc.), depositam-se na superfície dos materiais rochosos provocando, entre outros problemas, manchamentos. Além do mais, este material acumulado sobre a superfície dos materiais pétreos tende a absorver a umidade do ar favorecendo as reações com os contaminantes atmosféricos.

É importante ressaltar que a incidência desses contaminantes sobre as rochas está condicionada aos aspectos meteorológicos (velocidade e direção de ventos, umidade relativa do ar, temperatura, pluviometria, etc.), geográficos, climáticos e arquitetônicos (acabamento superficial da pedra, orientação do edifício, etc.).

Os sais solúveis presentes nos materiais rochosos que constituem as obras de engenharia têm a sua distribuição relacionada com as condições termo-higrométricas. A deterioração por eles produzida ocorre normalmente por cristalização e hidratação, efeitos que provocam tensões que podem se sobrepor e mascarar as suas resistências naturais.

Os organismos vivos que se desenvolvem sobre as rochas (bactérias, fungos, líquens, plantas superiores, animais, etc.) podem participar das reações físicas e químicas das mesmas. Estes organismos além de provocarem reações químicas diretas (biocorrosão), agem como catalisadores em outras reações que se encontram em desenvolvimento através dos processos de hidrólise, sulfatação, etc., e reações físicas, principalmente de bioabrasão e desagregação.

Os materiais rochosos utilizados nas edificações são comumente submetidos a esforços mecânicos os quais intervêm nos seus processos de degradação. Dentre estes podem ser citados: descompressão quando da retirada de seus locais de origem, tensões de compressão e, sobretudo de tração quando exercem funções estruturais, choques diversos, ações termoclásticas (diferenças de temperaturas), bioclásticas, da luz natural e artificial, da ação dos ventos, dentre outras.

Em revestimentos, os processos de alteração dos materiais aplicados são decorrentes da ação de agentes físicos, químicos e biológicos, conforme sumarizado no Quadro 5.

Quadro 5. Alteração em revestimentos, mod. de Chiodi Filho (1995)

AGENTE	FENÔMENO	AÇÃO	CONSEQUÊNCIA
FÍSICOS	Cristalização de Sais	Tensão de vazios	Fissuração
	Variação da temperatura	Dilatação/contração	Fissuração+Deslocamento
	Absorção d'água	Formação de manchas	Modificações Estéticas
	Saturação/secagem	Lixiviação	Desagregação/Corrosão
QUÍMICOS Reação a:	Ácidos	Dissol.CO3 / Recrist.	Corrosão
	Álcalis	Dissol.SiO4 / Recrist.	Fissuração
	Produtos domésticos	Dissol / Absorção	Manchas
BIOLÓGICOS	Fixação de vegetais inferiores	Tensão de vazios	Fissuração
	Metabolismo	Dissol.CO3 e SiO4	Corrosão e Manchas

II.4.3.3. Formas de Alteração e Patologias

A degradação dos materiais rochosos utilizados nas edificações manifesta-se de diversas maneiras (cor, aspecto, textura, composição químico-mineralógica, etc.) dando origem a formas ou patologias características.

Estas lesões são bastante variadas e, normalmente, provocam manifestações externas que interferem na qualidade desses materiais quando comparados com a rocha sã.

Dentre as principais alterações produzidas pelos agentes e mecanismos anteriormente descritos, algumas podem ser destacadas e encontram-se discriminadas no Quadro 6 esquemático (AIRES-BARROS, 1991, ESBERT et al., 1997).

O sistema óptico desse equipamento é formado por dois conjuntos de tubos, sendo que um deles encerra uma lâmpada de tungstênio que fornece um raio luminoso de intensidade controlada, e o outro contém um receptor com uma fotocélula. Os dois tubos o de origem e o de recepção são mantidos em alinhamento angular preciso (60°).

A calibração do equipamento é feita com base em dois padrões de referência, um de brilho forte constituído de vidro preto polido que corresponde ao lado superior da escala (96,6 %) e o outro é um protótipo de brilho intermediário formado por cerâmica branca onde se verifica a precisão de leitura do instrumento na parte do meio da escala (39,5 %).

As leituras obtidas neste trabalho foram realizadas com o Medidor de Brilho no espaço interno das placas ocupado pelas formas de PVC anteriormente descritas, onde os reagentes ficaram em contato direto com as rochas. Cerca de 6 medidas foram efetuadas

antes e após o ataque químico e calculados os valores estatísticos das leituras: inicial, final e perda de brilho (total, média e desvio padrão) para cada área e para cada tipo de rocha e de ataque.

Quadro 6. Algumas das principais formas de alteração (patologias) observadas nos materiais rochosos, produzidas pelos agentes de meteorização. (Fonte: AIRES-BARROS, 1991 e mod. por ESBERT et al., 1997).

FORMAS DE ALTERAÇÃO OU PATOLOGIAS QUE SE DESENVOLVEM NOS MATERIAIS ROCHOSOS
<ul style="list-style-type: none"> - Mudanças na tonalidade - em função do envelhecimento natural ou artificial das rochas; - Desagregação - produzida por crioclastia, termoclastia ou pela presença de sais; - Eflorescências - causadas pela precipitação de sais na superfície, carreados por capilaridade e depositados por evaporação; - Escamação – camadas que se desprendem de maneira paralela à superfície da rocha e independente da sua estrutura; - Esfoliação – destacamento de lâminas múltiplas paralelas à superfície da rocha; - Fraturamento – superfícies de rupturas irregulares que separam a rocha em partes distintas; - Fissuração - caso especial de fraturas onde não se verifica a abertura da superfície da rocha, podem ser decorrentes de constrangimentos excessivos; - Formação de crostas – camadas de composição químico-mineralógica e características físicas parcial ou totalmente diferentes da rocha; - Alveolização – desagregação de origem físico-química, em forma de alvéolos. Também chamada de erosão alveolar ou tafonização. - Deslocamento – placas que são destacadas ao longo dos planos de fraqueza mecânica da rocha; - Acanaladura – escavações que proporcionam um aspecto ondulado à rocha e que são relacionadas às heterogeneidades mineralógicas. - Picadura – erosão ou corrosão puntiforme que se traduz na formação de orifícios ou cavidades e que são originados a partir de núcleos mais alterados ou por dissolução; - Concreções – depósitos gerados na superfície da rocha sem, contudo apresentarem uma ligação genética com a mesma; - Incrustações – depósitos superficiais gerados a partir das suas transformações internas ou da acumulação de materiais estranhos à rocha; - Crostas – camadas compactas formadas por transformações químicas as quais não apresentam nenhuma ligação genética com a rocha; - Pátina – o aspecto da pedra após o envelhecimento natural.

II.4.3.4. Perda de Brilho

O brilho ou lustro é uma das características que imprimem qualidade à pedra ornamental e sua diminuição ou ausência total em função do uso do material constitui uma

patologia secundária. A redução de brilho durante a vida útil de um material pétreo pode ser provocada por desgastes de ordem física ou química.

Dentre as causas físicas mais comuns está o desgaste mecânico provocado em pisos polidos por tráfego intenso de pessoas, objetos ou máquinas. Entre as causas químicas, destaca-se a alteração natural que possam sofrer alguns minerais em função de climas diferentes daqueles em que jaziam ou a aceleração da alteração mineral e/ou deterioração da rocha pelo uso indevido de produtos de limpeza contendo substâncias químicas agressivas.

A redução de brilho provocada pelo ataque de substâncias químicas varia em função de diversos parâmetros tais como a composição da rocha, presença de microfissuras, natureza do preenchimento dessas microfissuras, grau de absorção de líquidos e porosidade aparente, além do tempo de exposição da rocha ao ataque.

Os cálculos efetuados para a porcentagem da perda de brilho são efetuados:
somatória das seis (6) medidas efetuadas na superfície da placa ÷ seis (6): (total e média)

CAPÍTULO III

GEOLOGIA REGIONAL

III.1. INTRODUÇÃO

A área estudada está inserida na região sul do Cráton Amazônico área dentro das províncias geocronológicas de Tassinari e Macambira (1999) (Figura 15). O Cráton constitui uma das principais entidades geotectônicas pré-cambrianas da América do Sul. Aflora principalmente em território brasileiro, mas estende-se em direção à Bolívia, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia e Paraguai (RUIZ, 2005).

Seu limite oriental é definido pelos Cinturões neoproterozóicos Paraguai (SE) e Araguaia (E); enquanto a N, S e W apresenta-se recoberto pelos sedimentos das Bacias Subandinas. A Sinéclise do Amazonas, cuja calha central orienta-se segundo a direção E-W, separam-no em dois escudos: a norte, o Escudo das Guianas e a sul, o Escudo Brasil Central.

A primeira síntese sobre a geologia do Cráton Amazônico deve-se a Almeida (1974), quando delineou os primeiros esboços do então denominado Cráton do Guaporé. Amaral (1974) propõe a divisão do Cráton em províncias, baseando-se, nos trabalhos de mapeamento geológico executado pela CPRM e pelo RADAMBRASIL nos anos 70.

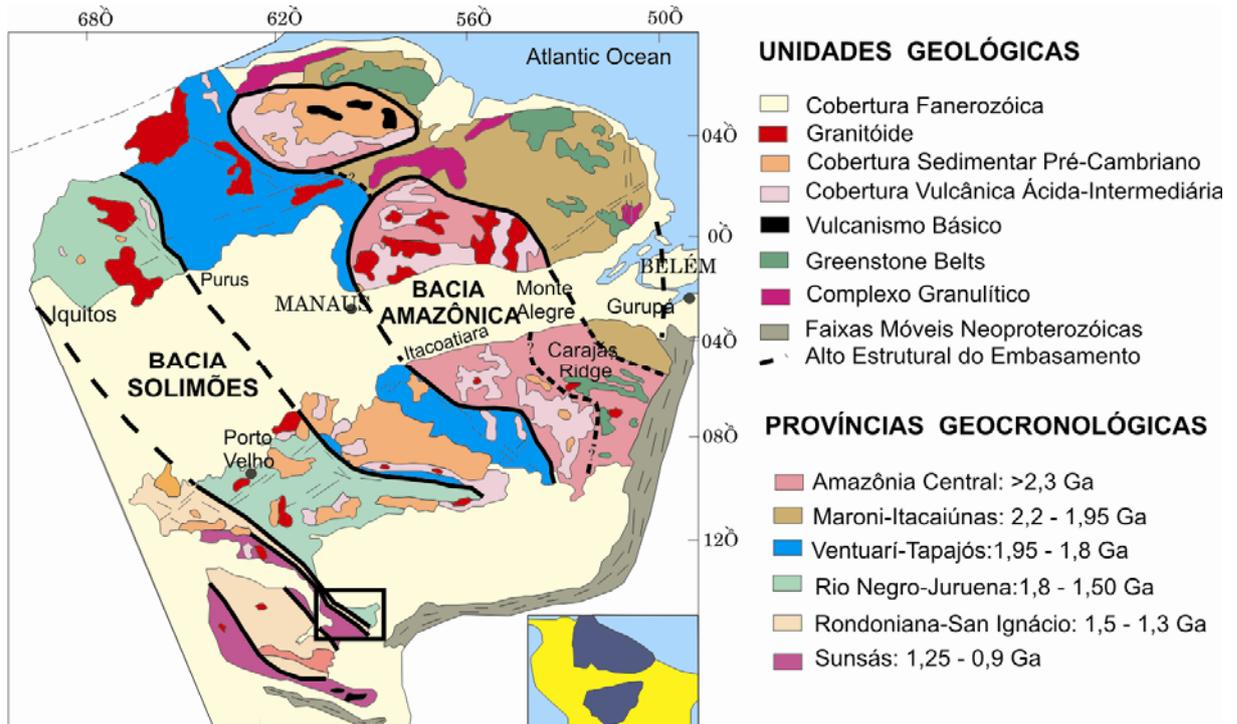


Figura 15. Situação da área dentro das províncias geocronológicas de Tassinari e Macambira (1999).

Os levantamentos geológicos executados pela CPRM, principalmente na década de 1970, e pelo Projeto RADAMBRASIL, iniciado em 1970 e concluído na primeira metade dos anos 80, constituem o principal acervo de dados geológicos, geoquímicos e geocronológicos sobre o Cráton.

As décadas de 1980 e 1990 caracterizam-se por raros projetos de mapeamento geológico, executados pelas empresas privadas de mineração e pelo Serviço Geológico Nacional (CPRM).

O Cráton Amazônico, no sudoeste de Mato Grosso, tem sido estudado de forma sistemática a partir década de 1970. Na região enfocada os levantamentos geológicos sistemáticos podem ser organizados em pelo menos 04 fases distintas. As primeiras contribuições ao conhecimento geológico da região (OLIVEIRA, 1915, CUNHA, 1943 *in* BARROS et al., 1982), caracterizam-se pelas citações de caráter generalista.

I) Entre os anos 60 e 80, ocorreram os principais projetos de mapeamento regional desenvolvidos pela CPRM/DNPM e o Projeto RADAMBRASIL. Lacerda Filho et al. (2004) apresentam no texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso (1:1.000.000) a área de abrangência dos principais trabalhos de cartografia geológica e levantamentos geofísicos realizados.

II) A partir da segunda metade dos anos 80 foram publicadas algumas tentativas de compartimentação tectônica para o SW do Cráton Amazônico. Monteiro et al. (1986), definiram três calhas sinformais (Faixa Cabaçal, Araputanga e Jauru) constituídas por sequências supracrustais do *Greenstone Belt* do Alto Jauru, separadas pelos terrenos gnáissico- migmatíticos com intrusões graníticas denominadas, de leste para oeste, de Bloco Cachoeirinha, Domo Água Clara e Bloco Córrego Fortuna.

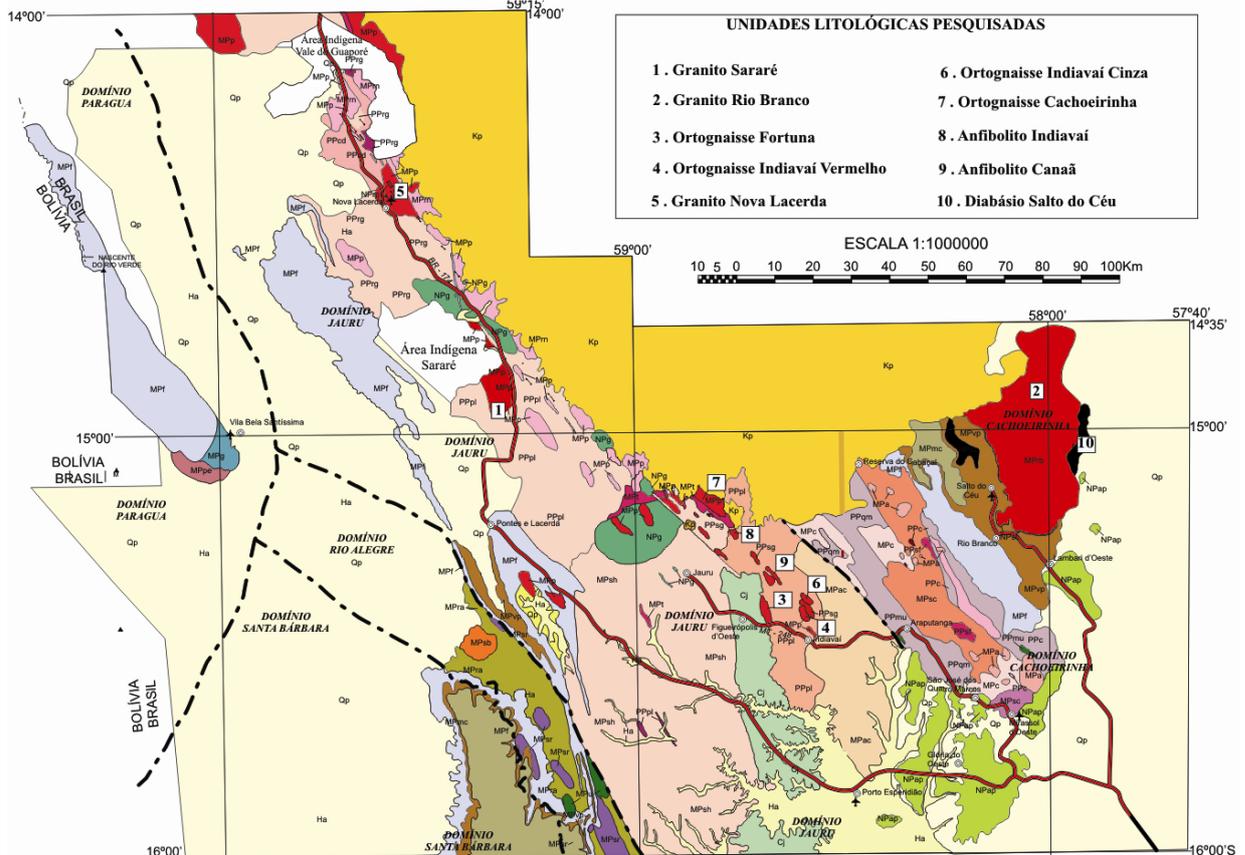
III) Na década de 90 o emprego do conceito de terrenos e dos processos envolvidos na interação desses fragmentos crustais, foi amplamente utilizado na região. Saes e Fragoço César (1996) apresentam o arranjo tectônico onde se destacam três terrenos (Jauru, Paraguá e San Pablo) e uma zona de sutura. Saes (1999) modifica a proposta de Saes e Fragoço César (1996), discriminando, de oeste para leste, os terrenos: Paraguá (TP), Rio Alegre (TRA), Santa Helena (TSH) e Jauru (TJ).

IV) Ruiz (2005) define para o SW do Cráton Amazônico, a divisão em cinco Domínios Tectônicos (Figura 16): Cachoeirinha, Jauru, Rio Alegre, Santa Bárbara e Paragua. A área estudada está inserida nos Domínios Tectônicos: Cachoeirinha e Jauru.

III.2. DOMÍNIO TECTÔNICO JAURU

O Domínio Jauru compreende o Terreno Santa Helena (SAES, 1999) ou Pontes e Lacerda (GERALDES, 2000) e parte do Terreno Jauru de Saes (1999) e Alto Jauru de Geraldes et al. (2001). A oeste limita-se com os domínios Rio Alegre e Paragua. No primeiro caso, o contato se faz por zonas de cisalhamentos dúcteis normais, entretanto, sedimentos holocênicos do Pantanal do Guaporé, recobrem o limite com o Domínio Paragua, impedindo sua caracterização. O limite leste, com o Domínio Cachoeirinha, é tentativamente posicionado na Zona de Cisalhamento Pitas, um conjunto de faixas miloníticas, subverticais, implantadas em gnaisses cinza bandados.

Convém destacar que o Lineamento Indiavaí-Lucialva admitido como limite entre os Terrenos Jauru e Santa Helena (SAES, 1999), configura importante zona de cisalhamento regional. A Zona de Cisalhamento Indiavaí-Lucialva exibe uma cinemática normal, com movimento de topo para NE, justapondo o Batólito Santa Helena aos conjuntos metavulcano- sedimentares e ortognaisses cinzas do embasamento do Domínio Jauru.



Ha-Coberturas Aluvionares: Areias, siltes, argilas e cascalhos.

Qp-Formação Pantanal: Sedimentos arenosos, sílticos argilosos e areno-conglomeráticos semi a inconsolidados.

Kp-Grupo Parecís: Arenitos quartzosos com níveis conglomeráticos.

Cj-Formação Jauru: Conglomerados e pelitos laminados.

NPg-Suíte Intrusiva Guapé: Muscovita-biotita sieno a monzograníticos e granada-biotita granitos fracamente foliados.

NPr -Suíte Intrusiva Rancho de Prata: Soleiras e diques de diabásios e gabros.

MPmc-Formação Morro Cristalino: Metarenitos feldspáticos e metarcóseos.

MPvp-Formação Vale da Promissão: Metassiltitos sericíticos e filitos.

MPf-Formação Fortuna: Metarenitos, metaconglomerados e metassiltitos.

MPg-Suíte Intrusiva Guará: Gabros e anfibolitos.

MPsr-Suíte Intrusiva Santa Rita: Biotita-hornblenda tonalitos e granodioritos e gabros.

MPpe-Complexo Granítico Pensamiento: Biotita gnaisses, monzo a sienograníticos.

MPu-Suíte Intrusiva Ultramáfica: Metaperidotitos e serpentinitos.

MPP -Suíte Intrusiva Pindaituba: Biotita-hornblenda monzogranitos, sienograníticos e tonalíticos.

MPsb-Suíte Granulítica Santa Bárbara: Granulitos noríticos e granulitos enderbíticos.

MPac-Suíte Intrusiva Água Clara: Biotita-hornblenda granodioritos a monzogranitos foliados.

MPsh-Suíte Intrusiva Santa Helena: Biotita-hornblenda sieno a monzograníticos, granada-biotita granitos foliados.

MPra-Complexo Metavulcano-sedimentar Rio Alegre: Metabasaltos, metariolitos, metadacitos, metacherts e metabifs.

MPrn-Suíte Intrusiva Rio Novo, MPvo-Vila Oeste, MPR -Retiro e MPT-Taquarussu: Ortognaises cinzas, monzograníticos a tonalíticos.

MPc-Suíte Intrusiva Cachoeirinha: Ortognaises cinzas e rosas, monzograníticos a tonalíticos.

PPpl-Complexo Metavulcano-sedimentar Pontes e Lacerda e PPrg - Rio Galera: Anfibolitos, granada-cianita-muscovita xistos, sillimanita xistos, diopsídio-hornblenda gnaisses, metabifs e metacherts.

PPsg-Suíte Intrusiva Máfico-ultramáfica Salto Grande e PPcd-Córrego Dourado: Metagabros, metatroctolitos, tremolitos e serpentinitos.

PPqm-Complexo Metavulcano-sedimentar Quatro Meninas: Anfibolitos, tremolita-actinolita xistos, metariolitos, metadacitos, metacherts, metabifs e biotita-muscovita-granada xistos.

Figura 16. Mapa Geológico e localização esquemática das 10 unidades pesquisadas no SW do Cráton Amazônico (mod. de RUIZ, 2005).

As unidades estratigráficas que constituem o Domínio Jauru apresentam a seguinte ordem cronoestratigráfica: Complexos Metavulcano-sedimentares (Pontes e Lacerda e Rio Galera), Suítes Intrusivas Máfico-ultramáficas (Córrego Dourado, Salto Grande e Figueira

Branca), Ortognaisses (Suíte Intrusiva Rio Novo, Alto Guaporé, Retiro, Taquarussu e Brigadeirinho), Batólitos polideformados (Santa Helena e Água Clara), granitos cálcio-alcalinos, foliados (Suíte Intrusiva Pindaituba), Grupo Aguapeí, granitos cálcio-alcalinos, isotrópicos a discretamente foliados (Suíte Intrusiva Guapé) e enxames de diques máficos (Suíte Intrusiva Rancho de Prata), segundo (RUIZ, 2005).

O **Complexo Metavulcano- sedimentar Pontes e Lacerda** (MENEZES et al., 1993) aflora a sul da Zona de Cisalhamento Anhambiquara e é subdividido em três unidades: Unidade São José, formada por metabasitos e anfibolitos de natureza toleítica associados à rochas metassedimentares químico-exalativas (BIFs e cálcio-silicatadas); Unidade Triângulo, composta por muscovita xistos, biotita muscovita xistos, sendo comum granada e cianita como acessórios e raras intercalações de anfibolitos; a Unidade Paumar, de topo, é composta essencialmente por xistos e quartzitos. O metamorfismo orogênico caracteriza-se pela paragênese de fácies xisto verde superior a anfibolito inferior.

O **Complexo Metavulcano- sedimentar Rio Galera** (RUIZ et al., 2003) é formado por um conjunto litológico heterogêneo, exibindo intercalações, provavelmente tectônicas, entre diversos tipos litológicos. As litologias comuns são biotita muscovita xistos, biotita gnaisses, hornblenda biotita gnaisses, diopsídio hornblenda gnaisses, sillimanita quartzo xistos e hornblenda anfibolitos.

A paragênese mineral encontrada indica condições metamórficas da fácies anfibolito superior, com reações retrometamórficas para a fácies xisto verde.

Na região de Lucialva e Nova Lacerda encontra-se expostas rochas plutônicas máficas- ultramáficas, denominadas respectivamente como Suíte Intrusiva Salto Grande e Córrego Dourado. As suítes são compostas essencialmente por metagabros, anfibolitos e metaperidotitos.

Os metagabros foram subdivididos em dois grupos: o primeiro com granulação entre fina e média, exibindo texturas que variam de nematoblástica a granoblástica e, o segundo grupo apresenta granulação grossa, textura nematoblástica. Os anfibolitos têm granulação fina e textura nematoblástica a granoblástica constituídos por hornblenda, plagioclásio e quartzo. Os metaperidotitos são constituídos, essencialmente, por olivina, piroxênio, serpentina, talco e opacos.

Tanto as suítes máfica-ultramáficas como as assembléias vulcano- sedimentares são recortadas por diversos corpos intrusivos, caracterizados como ortognaisses cinzas de composição tonalítica a monzogranítica.

São reconhecidas, atualmente, as seguintes suítes intrusivas compostas por gnaisses cinza tonalíticos: Rio Novo (RUIZ et al., 2004), Alto Guaporé (MENEZES et al., 1993), Taquarussu (MATOS et al., 2003), Brigadeirinho (SAES et al., 1984) e Retiro (ARAÚJO-RUIZ, 2003). De uma maneira geral, os ortognaisses são rochas, leucocráticas a mesocráticas, bandadas, de cor cinza claro a escuro, exibem complexo padrão de deformação e a composição varia entre tonalitos a granodioritos, e raros monzogranitos.

Exibem bandamento composicional dobrado, cuja superfície envoltória mostra direção NEE e mergulhos íngremes para NW e SE. A foliação é penetrativa e zonas de cisalhamento com direção NNW reorientam as foliações segundo esta direção.

A **Suíte Intrusiva Água Clara**, definida inicialmente como Granodiorito Água Clara (SAES et al., 1984), foi descrita por Matos et al. (1996) como uma suíte plutônica composta por litotipos de cor cinza claro e cinza escuro; de granulação fina a grossa, com fácies porfirítica subordinada, e discretas variações mineralógicas, sendo evidenciados dois tipos litológicos: um peraluminoso, constituído por granitóides granatíferos e outro metaluminoso. Análises modais indicam a composição granítica (3a e 3b) e granodiorítica. O batólito exhibe foliação contínua EW, dobrada e localizadamente transposta por zonas de cisalhamentos NW, subverticais.

Emprega-se o termo **Suíte Intrusiva Santa Helena** para designar um corpo ígneo batolítico, com aproximadamente 4500 km², cujo eixo maior orienta-se segundo a direção NNW. Descrito inicialmente por Saes et al. (1984), como Granito Santa Helena, essa unidade representa a maior manifestação plutônica ácida da região SW de Mato Grosso.

A suíte exhibe uma diversidade composicional e textural, passível de ser individualizada como fácies petrográficas distintas. Além disso, as rochas mostram registros tectônicos que indicam pelo menos três fases de deformação dúctil a dúctil-rúptil, sugerindo uma história mais complexa que a maioria dos corpos ígneos relacionados à Orogenia San Ignácio – Rondoniana (RUIZ et al., 2005 e ALMEIDA et al., 2005).

Segundo Sousa et al. (2005) o batólito é constituído por rochas de foliação proeminente, equi e inequigranulares a porfiríticas, de granulação preferencialmente grossa até fina, leucocráticas a mesocráticas, com colorações variando entre cinza e róseo-avermelhado, tendo biotita como principal máfico e, subordinadamente, hornblenda e granada. Foram divididas, em base textural e mineralógica, em quatro principais associações de fácies petrográficas, todas apresentando estruturas gnáissicas e, modalmente, classificadas como sieno a monzogranitos.

Quanto à caracterização petrotectônica, Menezes et al. (1993) afirmam que o batólito é constituído por granitos com tendência alaskítica, foliados, cinza-avermelhados a róseos, portadores de uma assinatura geoquímica típica de granitos alcalinos do tipo A. Geraldès (2000) define a unidade como uma suíte de rochas cálcio-alcalinas geradas em uma margem continental ativa, onde as composições tonalíticas e granodioríticas (metaluminosas) indicam um ambiente de arco magmático e as graníticas (peraluminosas), entre arco e intra-placa.

A **Suíte Intrusiva Pindaituba** (RUIZ et al., 2004) constitui um conjunto de intrusões graníticas alojadas nos terrenos supracrustais e ortognaíssicos do Domínio Jauru. Os granitóides formam um conjunto de *plutons* e batólitos claramente orientados segundo a direção média de N20-40W.

As rochas exibem granulação média a grossa, com frequência apresentam textura porfirítica, são leucocráticas (cinza claro a rosa) a mesocráticas (cinza escuro), composicionalmente, variam desde termos tonalíticos a sienograníticos. As intrusões mostram foliação orogênica penetrativa, por vezes milonítica, sendo que alguns corpos apresentam apenas foliação em suas bordas.

O **Granito Praia Alta** (RUIZ et al., 2005) trata-se de um batólito exposto nas folhas Vila Oeste e Colorado do Oeste, constituído por rochas graníticas leucocráticas, de cor rosa, inequigranulares grossas e porfiríticas, de composição monzogranítica. O padrão estrutural difere das unidades a sul do Rio Novo, pois exhibe uma foliação contínua de direção N60°-40°W e mergulhos suaves (20° a 30°NE), nas zonas de alta deformação. Quando se desenvolve a trama milonítica, a foliação exhibe direção entre N40° - 20°W e elevados mergulhos (60° a 80°NE).

Grupo Aguapeí (RUIZ et al., 2004) aflora na Serra de São Vicente e em um alinhamento de pequenas serras, na altura do Posto Sapé (BR-174). Estas serras são representadas pela formação Fortuna, compostas principalmente por metaconglomerados e metarenitos quartzosos e quartzo-feldspáticos, deformados e o com metamorfismo orogênico na fácies xisto verde.

O **Granito Banhado** (RUIZ et al., 2005) corta o Grupo Aguapeí, com diques tabulares, paralelos à foliação principal das rochas metassedimentares. O corpo intrusivo é composto por rochas monzograníticas, mesocráticas, cinzas, inequigranulares média e porfiríticas, recortadas por termos mais diferenciados, de cor rosa, inequigranulares, média a grossa e composição sienogranítica a monzogranítica.

A **Suíte Intrusiva Guapé** (RUIZ et al., 2005) agrupa um conjunto de intrusões graníticas tardi- pós-cinemáticas, situadas ao longo de importantes zonas de cisalhamentos da Orogenia Sunsás. Três intrusões maiores—Granito Guapé, São Domingos e Guaporé—relacionam-se com a Zona de Cisalhamento Indiauí- Lucialva, enquanto o Granito Sararé, ocorre na área de influência da Zona de Cisalhamento Anhambiquara.

O **Granito Sararé** (ARAÚJO-RUIZ, 2003) trata-se de um leucogranito róseo, maciço, de composição monzogranítica, hospedado em ortognaisses e rochas metassedimentares, exibindo formato elíptico, orientado conforme o *trend* regional NNW. O mapeamento faciológico definiu de três variedades petrográficas: a mais jovem, Fácies Monzogranito, constitui intrusões localizadas e circunscritas, tendo sua principal ocorrência, no extremo norte da área, seguida pela Fácies Muscovita Monzogranito, predominante na porção norte-central do corpo e, a mais antiga, representada pela Fácies Biotita Monzogranito, se encontra na porção sul do maciço.

O **Granito São Domingos** (MENEZES et al., 1993) trata-se de um granito granatífero, situado ao norte do Distrito de São Domingos. São rochas leucocráticas a hololeucocráticas, cor rosa clara a cinza rosada, equigranulares, granulação média a fina, isotrópicas a localmente orientadas, sendo constituído essencialmente por microclínio, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita e granada. Os dados de campo indicam que a intrusão é rasa e as características mineralógicas e químicas sugerem que se trata de um granito tipo S (MENEZES et al., 1993).

O **Granito Guapé** (BARROS et al., 1982; MENEZES et al., 1993) aflora no limite NE da Folha Pontes e Lacerda, nos contrafortes da Chapada dos Parecis. Constitui um corpo subcircular, parcialmente recoberto pelos sedimentos do Grupo Parecis, composto por rochas leucocráticas, de granulação fina a média, frequentes pegmatitos de cor rosa clara, maciças, e composição monzogranítica a sienogranítica.

O Granito Guaporé corresponde a uma intrusão similar ao São Domingos e Guapé, é constituído por rochas leucocráticas, equigranulares finas a médias, rosas a cinza rosadas, maciças a levemente foliadas e exibe composição monzogranítica.

A **Suíte Intrusiva Rancho de Prata** (RUIZ et al., 2003; RUIZ et al., 2005) retrata, provavelmente, o último episódio magmático no Domínio Jauru. Trata-se de um enxame de diques máficos que se estende por uma faixa de aproximadamente 100 km de comprimento e 20 km de largura, ao longo de um *trend* NNW.

Os diques são tabulares, paralelos, com espessura variando de 0,5 m a 5 m, e

atitudes médias de N20°- 40°W com mergulhos íngremes 80° a 90°. Petrograficamente são diabásios e microgabros com textura ofítica a subofítica e intercrescimento granofíricos, constituídos essencialmente por plagioclásio, orto e clinopiroxênio, olivina e anfibólio em pouca quantidade.

III.3. DOMÍNIO TECTÔNICO CACHOEIRINHA

O Domínio Cachoeirinha limita-se a oeste com o Domínio Jauru pela Zona de Cisalhamento Pitas; a sul é recoberto pelos sedimentos da cobertura de plataforma da Faixa Paraguai (Formações Araras, Puga e Bauxi) e pelos sedimentos do Pantanal; a norte é recoberto pelo Grupo Parecis e a leste, com os sedimentos inconsolidados do Pantanal.

As unidades geológicas que constituem o Domínio Cachoeirinha apresentam a seguinte ordem crono-estratigráfica: assembléias metavulcano-sedimentares (Complexo Quatro Meninas), suítes intrusivas máfico- ultramáficas (metagabros Canaã e Araputanga), unidades ortognaissicas (Suítes Intrusivas Quatro Marcos, Aliança e São Domingos), granitos sin- cinemáticos, tipo I, foliados (Suíte Intrusiva Santa Cruz), granitos tardi a pós-cinemáticos, maciços a discretamente foliados (Suíte Intrusiva Alvorada), suíte bi-modal, pós-cinemática (Suíte Intrusiva Rio Branco), Grupo Aguapeí e *sills* e diques máficos (Suíte Intrusiva Salto do Céu).

O **Complexo Metavulcano- sedimentar Araputanga** trata-se de uma assembléia de rochas supracrustais, multideformadas, expostas em calhas tectonicamente edificadas, com direção NNW – as faixas Araputanga e Cabaçal de Monteiro et al. (1986).

Ocorrências de suítes plutônicas máficas alojadas nas calhas supracrustais, exibem o registro de múltiplas deformações e metamorfismo. Essas intrusões, representadas pelos metagabros Araputanga e Canaã, são compostas por rochas melanocráticas, cinza escura, composicionalmente correspondem a gabros anfibolitizados, portadores de uma foliação contínua, dobrada.

Os ortognaisses, comumente cinza escuros a cinza rosados, ocorrem como intrusões nas rochas metavulcano-sedimentares do Complexo Araputanga. Foram destacados até o momento as seguintes unidades gnáissicas ortoderivadas – Suítes Intrusivas Quatro Marcos e Santa Fé (CARNEIRO et al., 1992), São Domingos e Aliança (RUIZ, 1992).

Os ortognaisses são rochas meso a leucocráticas, de cor cinza escura a cinza

rosado, granulação média a grossa, comumente exibem o bandamento gnáissico, com dobras e foliações superpostas. A composição varia desde tonalito a monzogranito, com predomínio dos termos menos diferenciados.

A **Suíte Intrusiva Santa Cruz** (RUIZ, 1992) coincide parcialmente com a Suíte Cachoeirinha de Geraldles et al. (2001). Trata-se de um batólito com direção NNW, que estende-se desde a Reserva do Cabaçal (N) até Mirassol do Oeste (S), sendo distintas duas fácies petrográficas, na região de Cachoeirinha: a) uma fácies, composta por rochas leucocráticas, de cor rosa, inequigranulares grossas a médias, foliadas, classificadas como biotita monzogranitos e biotita sienogranitos; b) a fácies subordinada, corresponde a ocorrências de rochas mesocráticas cinza escura, faneríticas, equigranulares, de granulação grossa, foliadas, classificadas como hornblenda granodioritos.

A norte de Araputanga e em Mirassol do Oeste distingue-se expressivas ocorrências da fácies porfírica, constituída por rochas leuco a mesocráticas, cinza rosadas, foliadas, composta por biotita monzogranitos e, a norte de Reserva do Cabaçal, observa-se exposições da fácies constituída por rochas meso a leucocráticas, inequigranulares grossas, foliadas, composta por biotita hornblenda granodioritos e monzogranitos.

A **Suíte Intrusiva Alvorada** (MONTEIRO et al., 1986, RUIZ, 1992), constitui um conjunto de *plutons* graníticos alongados e subcirculares, com área de exposição restrita ao trecho entre as cidades de Mirassol do Oeste e Reserva do Cabaçal. Inicialmente definidos como Suíte Intrusiva Guapé (BARROS et al., 1982), coube a Monteiro et al. (1986), com base na idade de referência de 1440 ± 80 Ma (Rb/Sr), individualizarem estas intrusões como uma unidade mais antiga, empregando o termo Granito Alvorada.

Ruiz (1992) designou como Suíte Intrusiva Alvorada ao conjunto de granitos comumente equigranulares, granulação média a fina, cor cinza clara a rósea, isotrópicos a levemente orientadas e de composição dominante monzogranítica, que afloram como pequenos corpos (*plugs e stocks*) irregulares a subelípticos ou como *plutons* subarredondados a elípticos.

A **Suíte Intrusiva Rio Branco** ocorre em uma faixa de direção norte-sul, com aproximadamente 75 km de comprimento e 30 km de largura e, segundo as descrições de Barros et al. (1982), Leite et al. (1985), Geraldles (2000) e Geraldles et al. (2001, 2004) caracteriza-se por um magmatismo bimodal, anorogênico.

As rochas máficas plutônicas da suíte situam-se nas bordas da intrusão e são caracterizadas petrograficamente por litotipos meso a melanocráticos, de cor cinza

esverdeada a negra, equigranulares médias a grossas, estrutura maciça e composição gabróica.

A maior parte da suíte é constituída por rochas ácidas, os granitos pórfiros, granofíricos (granitos com textura rapakivi), isotrópicos, porfíricos de cor vermelha a rosa, com matriz de granulação fina a média e os fenocristais, às vezes arredondados, de até 5 cm de comprimento. Geraldes et al. (2004) descrevem rochas híbridas, monzosienitos com textura rapakivi, indicando *commingling e mixing* entre os magmas félsicos e máficos.

O **Grupo Aguapeí** (Ruiz et al., 2005) repousa em discordância angular e erosiva sobre o embasamento regional, é constituído pelas formações Fortuna, Vale da Promissão e Morro Cristalino e não exhibe registos de deformação dúctil.

A **Suíte Intrusiva Salto do Céu** (ARAÚJO-RUIZ et al., 2005) corresponde a soleiras e diques de composição basáltica, constituído por rochas melanocráticas, equigranulares finas a médias, maciças, alojadas entre os estratos da Formação Vale da Promissão.

CAPÍTULO IV

GEOLOGIA LOCAL

O maior conjunto de rochas analisadas com exceção do Granito Rio Branco (2) e Diabásio Salto do Céu encontram-se inseridas em rochas do Domínio Jauru que é limitado a oeste com os domínios Rio Alegre e Paragua. O limite leste é realizado com as rochas do Domínio Cachoeirinha, é tentativamente posicionada na Zona de Cisalhamento Pitas.

As rochas do Granito Rio Branco (2) e Diabásio Salto do Céu encontram-se inseridas no Domínio Cachoeirinha que limita-se a oeste com o Domínio Jauru pela Zona de Cisalhamento Pitas; a sul é recoberto pelos sedimentos da cobertura de plataforma da Faixa Paraguai (Formações Araras, Puga e Bauxi) e pelos sedimentos do Pantanal; a norte é recoberto pelo Grupo Parecis e, a leste, com os sedimentos inconsolidados do Pantanal.

Os granitos e movimentados, objeto deste estudo são relativamente muito conhecidos do ponto de vista geológico. Na Figura 16 mostra a localização das dez (10) áreas de exposições das unidades geológicas estudadas e agrupadas, sobretudo pela coloração dominante:

- *Granitos e Movimentados Vermelhos* - Granito Sararé (1), Granito Rio Branco (2), Ortognaisse Fortuna (3), Ortognaisse Indiavaí Vermelho (4),
- *Granitos e Movimentados Cinzas* - Granito Nova Lacerda (5), Ortognaisse Indiavaí Cinza (6), Ortognaisse Cachoeirinha (7),
- *Granitos e Movimentados Pretos* - Anfibolito Indiavaí (8), Anfibolito Canaã (9) e Diabásio Salto do Céu (10).

IV.1. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS

IV.1.1. GRANITO SARARÉ

O Granito Sararé (1) situa-se na porção SW do Cráton Amazônico à cerca de 60 km de Pontes e Lacerda-MT. Sua exposição é da ordem de aproximadamente 80 km², apresenta forma alongada segundo a direção NE-SW e seus contatos são de natureza intrusiva em rochas do Complexo Metamórfico Alto Guaporé, do Complexo Vulcano- Sedimentar Pontes e Lacerda e do Maciço Sapé e contato tectônico com o Maciço Anhangüera, além de estar no contato nordeste recoberto pelos sedimentos siliciclásticos do Grupo Parecis (Figura 17).

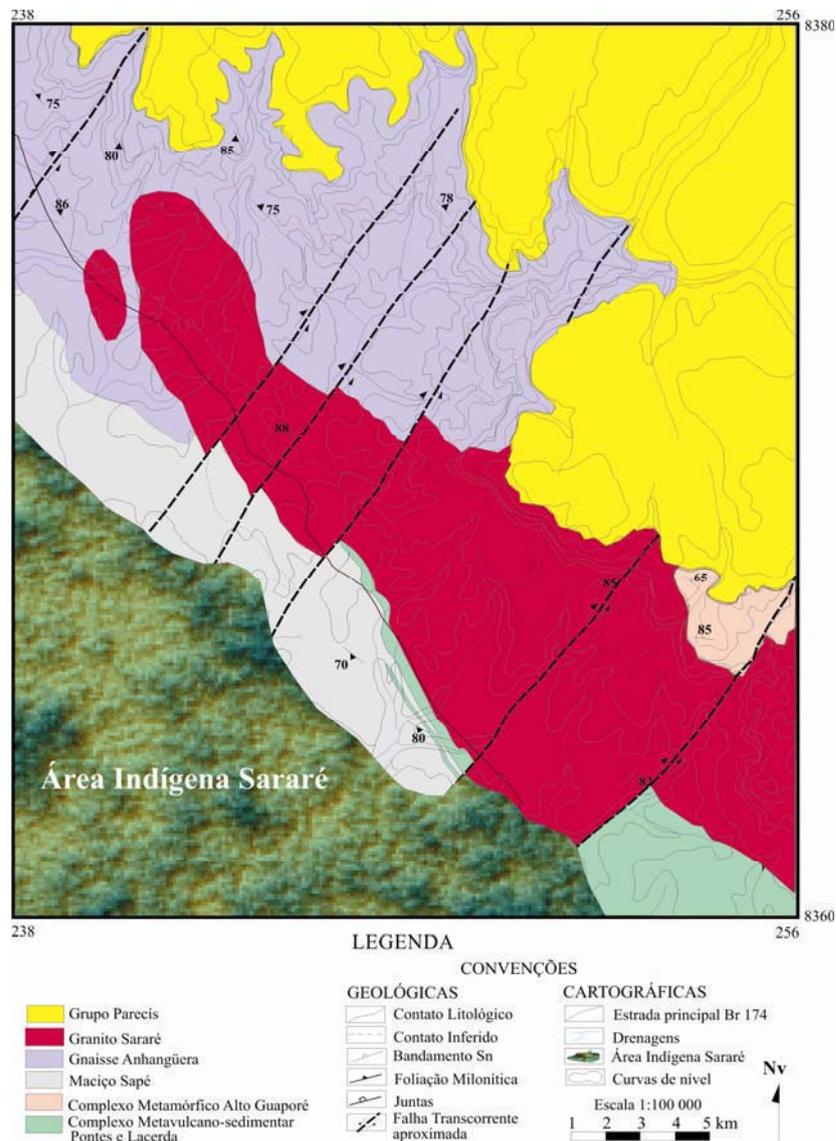


Figura 17. Mapa geológico do Granito Sararé (ARAÚJO-RUIZ, 2003)

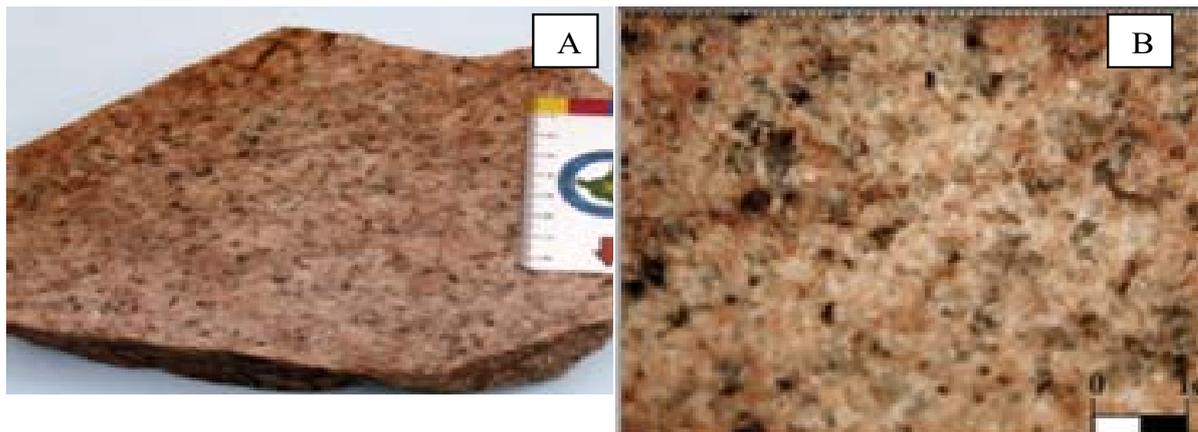
É constituído por três fácies: a *Fácies Biotita Monzogranito* mais antiga, que ocorre na porção sul do maciço, composta por rochas de cor vermelha, leucocrática, isotrópica, inequigranular, granulação fina a média (0,4-3,6 mm) e com a presença de 15% de biotita.

A segunda, denominada *Fácies Muscovita Monzogranito* predomina na porção centro-norte do corpo sendo constituída por rochas de cor rósea, leucocráticas, isotrópicas, inequigranulares de granulação média a grossa a localmente porfiróide (4.0 mm-1.3 cm) apresentando muscovita e biotita.

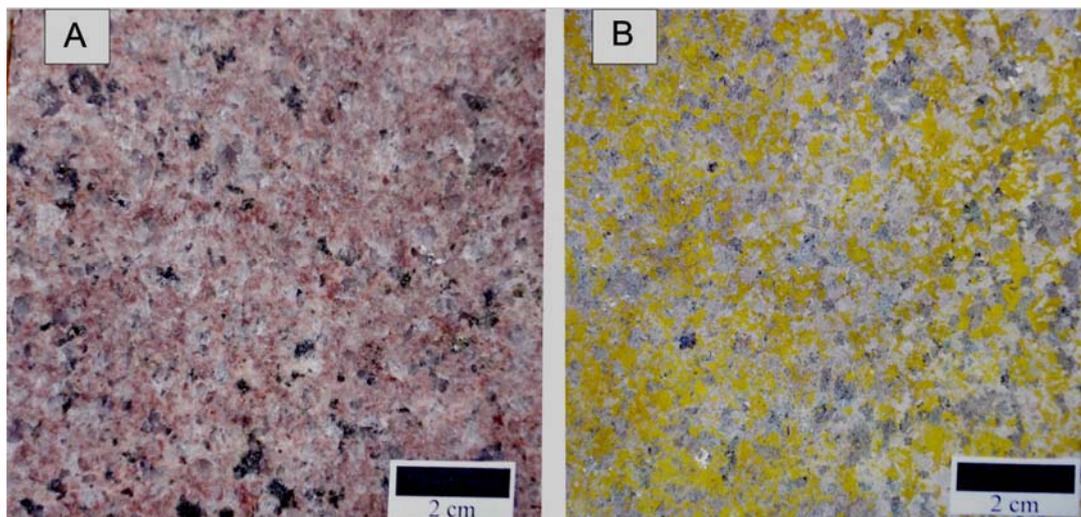
A terceira, *Fácies Monzogranito* é formada por intrusões localizadas e de pequeno porte onde a principal ocorrência aflora no extremo norte da área. É constituída por rochas róseas, leucocráticas, isotrópicas, inequigranulares, de granulação fina a média (0.2-5 mm) a localmente porfirítica.

As fácies petrográficas são compostas basicamente por diferentes porcentagens de microclínio, quartzo, oligoclásio, biotita, muscovita, apatita, zircão, opacos e por minerais de alteração como muscovita, sericita e clorita. A amostra estudada quanto aos parâmetros físico-mecânicos corresponde a *Fácies Muscovita Monzogranito*.

As feições petrográficas encontram-se identificadas na Prancha 1, 2 e o sumário das características petrográficas, texturais, estruturais e modais do Granito Sararé estão caracterizadas na Tabela 1.



Prancha 1. Aspectos macroscópicos do Granito Sararé.



Prancha 2. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Granito Sararé.

IV.1.2. GRANITO RIO BRANCO

A **Suíte Intrusiva Rio Branco (2)** ocorre em uma faixa de direção norte-sul, nas proximidades das cidades de Rio Branco e Salto do Céu, com aproximadamente 75 km de comprimento e 30 km de largura e são representadas por duas associações principais, uma de composição granítica representada pelo Suíte Ácida Rio Branco e outra de composição gabróica (mais subordinada) pela Suíte Básica Rio Branco.

O Batólito Rapakivi Rio Branco (ARAÚJO-RUIZ et al. 2007), agora redefinido na sua área geográfica abrange cerca de 1500 km² de área, constituindo um planalto entre os fortes da serra de Rio Branco sendo sua extensão formada por um relevo acidentado, na forma de colinas do tipo meia laranja, onde afloram suas rochas sob a forma de blocos e matacões.

Encontra-se em contato intrusivo com metassedimentos do Grupo Aguapeí, representado pela Formação Vale da Promissão que se estende por toda borda de leste a sul. Na parte norte e em algumas porções leste, dominam as sequências básicas, que será denominada informalmente de Suíte Intrusiva Básica Salto do Céu, enquanto que a oeste e sul é recoberto parcialmente pelos sedimentos da Formação Pantanal (Figura 18).

A **Suíte Básica Intrusiva Rio Branco** situa-se principalmente na borda oeste da intrusão sendo caracterizadas petrograficamente por litotipos mesocráticos, de cor cinza esverdeada a preto, equigranulares de granulação média a grossa, estrutura maciça e constituída por gabros a diabásios, eventualmente com termos subvulcânicos. São rochas

mesocráticas, isotrópicas e constituídas principalmente por plagioclásio, piroxênio (pigeonita) e anfibólio alterando-se para clorita, localmente resto de olivinas serpentinizadas, quartzo é raro e ocorre em pequenos grãos intersticiais e como acessórios ocorrem opacos e a apatita, além de produtos de alteração epidoto e calcita.

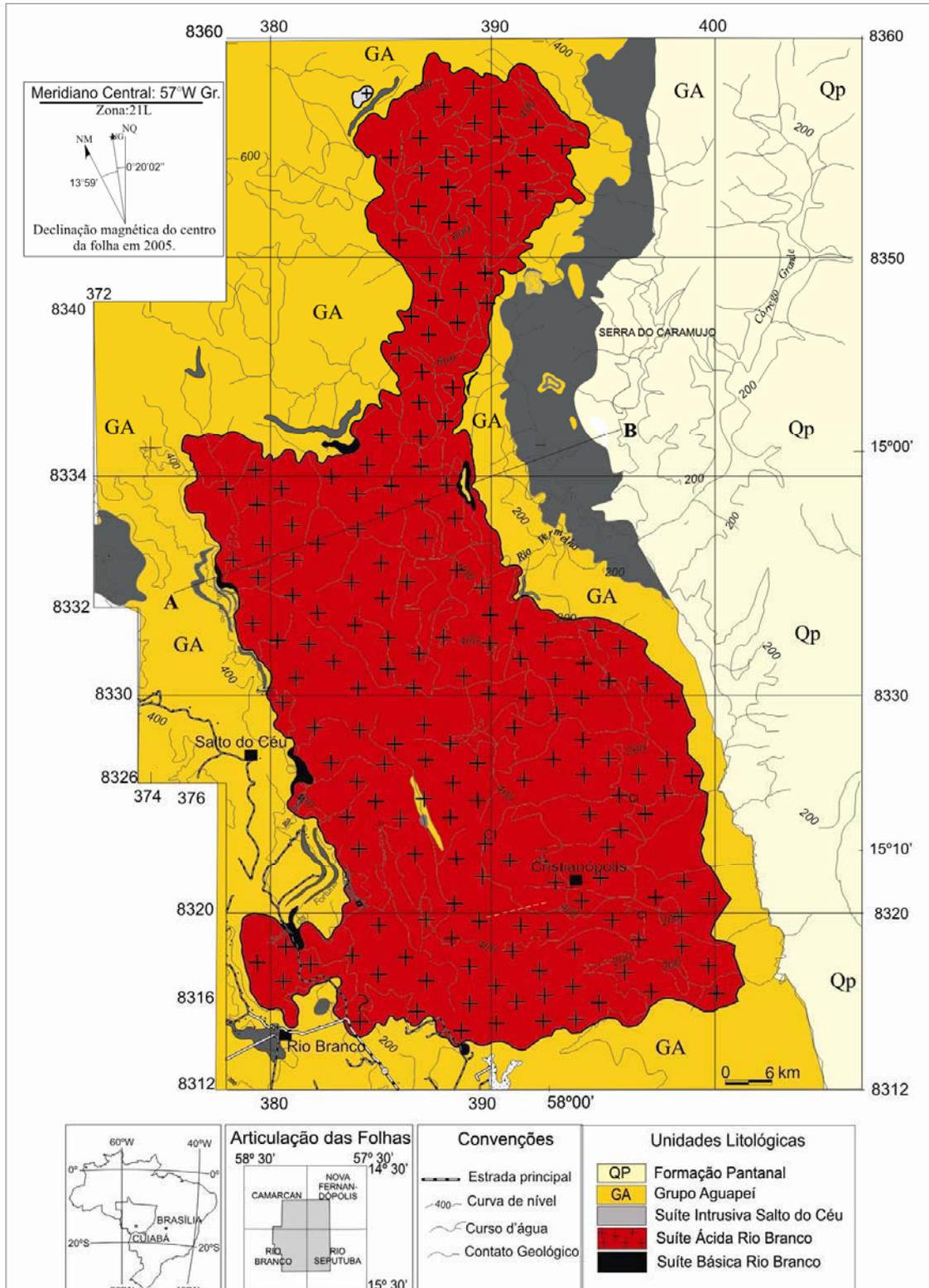


Figura 18. Mapa geológico do Batólito Rapakivi Rio Branco e suas encaixantes.

A **Suíte Ácida Intrusiva Rio Branco** ocorre em uma faixa de direção norte-sul, de acordo com o mapa, redefinido a sua área de exposição com aproximadamente 45 km de comprimento e 20 km de largura. Abrange uma área aflorante de aproximadamente 1.000 km², ocupando 95% da área do batólito.

O batólito compreende uma fácies básica (indivisa) e 3 fácies ácidas/intermediárias representadas principalmente por monzogranitos ao lado de quantidades menores de quartzo- monzogranitos e raros quartzo- monzodioritos que ocorrem na forma de enclaves. Estas fácies são frequentemente porfiríticas com raros a abundantes fenocristais manteados, constituindo texturas rapakivi e raramente anti-rapakivi.

A evolução magmática do batólito caracteriza-se pelas fases: a) fase inicial, definida pelas massas laterais de rochas máficas e localizadamente grandes enxames (localizados) de enclaves básicos no interior do maciço; b) fase intermediária preservada por micro-enclaves de quartzo monzodioritos, além de fácies, também de aspectos localizado, de monzogranito a quartzo monzonito vermelho escuro rapakivi; c) a principal caracterizada pelas grandes massas de monzogranitos rapakivi, que constituem a parte central do batólito e a final que é constituída pela fácies equigranulares e aplíticas que cortam todas as anteriores, às vezes de feições pegmatíticas.

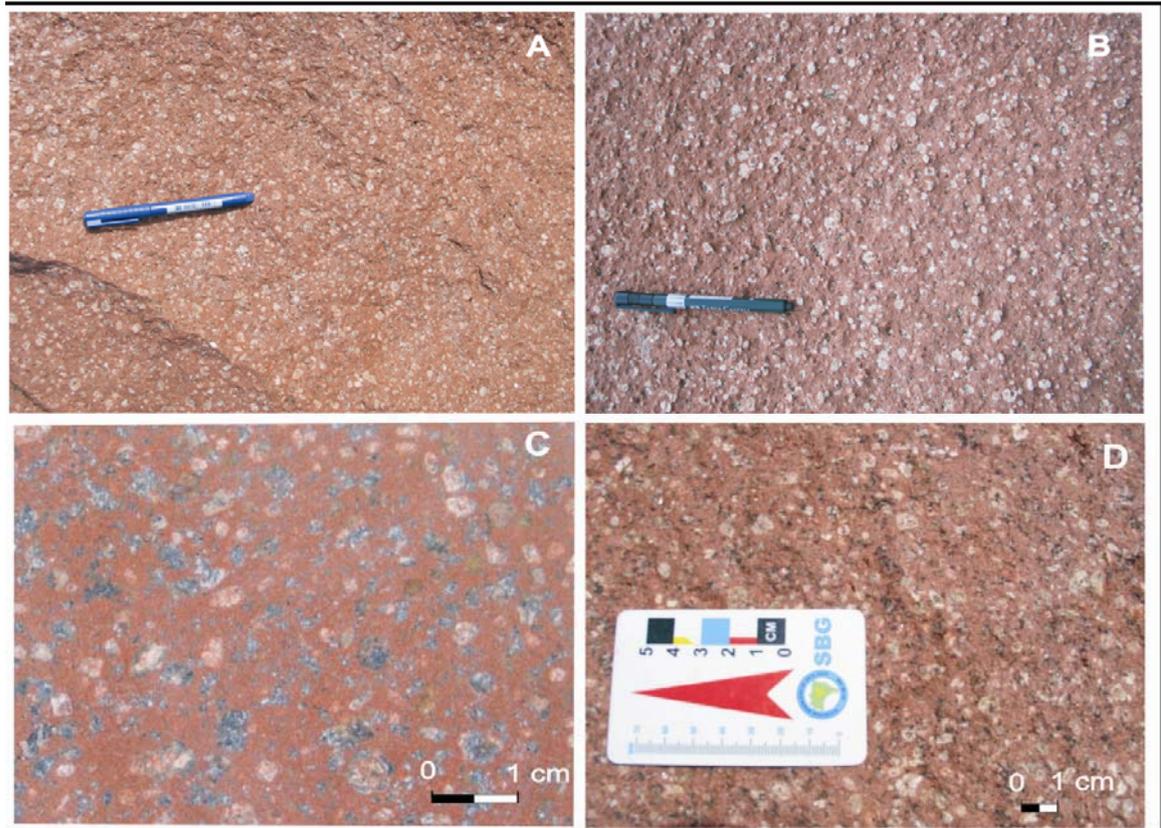
Todo o conjunto plutônico não exhibe evidências de deformação dúctil e metamorfismo, sendo apenas recortado por falhas normais de direção NNW e NEE que afetam também suas encaixantes.

A fácies *leuco-monzogranito equi-inequigranulares a pegmatóides* é caracterizado por diques centimétricos que ocorrem ao longo do maciço e são constituídos por aplitos e pegmatitos. São rochas hololeucocráticas a leucocráticas compostas basicamente por microclínio pertítico, oligoclásio, quartzo e rara biotita ao lado de zircão, apatita, titanita, allanita e opacos.

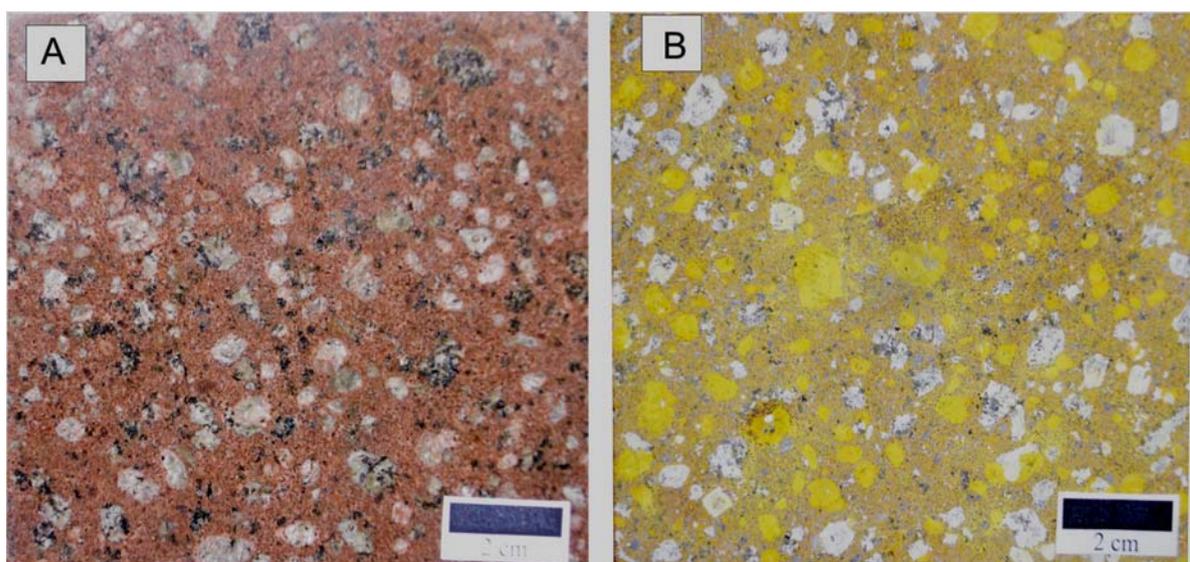
A fácies *leuco-monzogranito vermelho rapakivi* é constituída predominantemente por monzogranitos com textura rapakivi, isotrópicos, porfiríticos de cor vermelha a rosa, leucocráticos, com matriz de granulação fina a média, mostrando por vezes uma tendência para porções grossas, mas não possibilitando a individualização e a sua abrangência. As feições porfiríticas, com textura predominante rapakivi, em matriz de granulação fina a média, são dominantes.

A amostra estudada quanto aos parâmetros físico-mecânicos corresponde a *Fácies leuco-monzogranito vermelho rapakivi*. As feições petrográficas encontram-se identificadas

na Prancha 3, 4 e o sumário das características petrográficas e modais do Granito Rio Branco estão caracterizadas na Tabela 1.



Prancha 3. As fotos A, B C e D mostram detalhes das placas apresentando os aspectos macroscópicos e a típica textura rapakivi do Granito Rio Branco.



Prancha 4. Foto de placa de rocha (A) e em ensaio de Colorimetria (B) do Granito Rio Branco.

Os fenocristais de feldspato potássico são frequentemente arredondados a subédricos, de até 4 cm de comprimento, mas dominando o tamanho médio de 1 a 2 cm. O feldspato alcalino é constituído por fenocristais subédricos, pertíticos, com inclusões de quartzo e discreta corrosão em suas bordas.

O quartzo apresenta-se frequentemente com feições de corrosão das suas bordas gerando arredondamentos dos grãos. Os plagioclásios exibem grãos euédricos a subédricos, parcialmente alterados e, frequentemente, ocorrem como coroas nos feldspatos alcalinos.

A caracterização petrográfica do monzogranito rapakivi indica que a fácies predominante é de composição monzogranítica, granulação média, porfírica de matriz fina félsica (quartzo-feldspática), mineralogicamente constituída por quartzo anédrico a ovalado (corrosão).

O plagioclásio é subeuhedral, moderadamente a fortemente zonado, com núcleo cálcico e bordas mais sódicas e microclínio às vezes pertíticos com formas subeudrais de hábito tabular, dominando as formas com bordas corroídas e ovaladas com texturas rapakivi, desenvolvidas por bordas albíticas envolvendo totalmente ou parcialmente os fenocristais.

Às vezes, esse zoneamento é dado em função de fluxos magmáticos de composição mais sódica ou potássicos no desenvolvimento dos megacristais, marcado pela formação pontual do desenvolvimento de plagioclásio, constituindo anéis descontínuos.

O máfico principal é constituído por biotita sob a forma de finas placas anedrais a subeudrais, ou apresentando-se aglutinadas, alterando-se comumente para clorita. Os acessórios são: titanita, opaco, zircão e apatita. Os minerais de alteração são constituídos principalmente por sericita e epidoto.

A fácies *monzogranito a quartzo monzonito vermelho escuro rapakivi* constitui rochas leucocráticas de coloração vermelha escura e se caracteriza predominantemente por apresentar texturas rapakivi, seja ela bem definida, homogênea em todo o contorno ou às vezes irregular e descontínuo. Às vezes os fenocristais caracterizam-se por um zoneamento dado pela formação de feldspato com texturas rapakivi e nova feldspatização nas partes externas.

Os fenocristais de feldspatos potássico são subeudrais, com contornos parcialmente ovalados, porém quando apresentam texturas rapakivi exibem basicamente formas ovaladas, apresentam tamanhos inferiores a 1 cm de comprimento e porcentagens inferiores a fácies dominante.

Os fenocristais de plagioclásio são subhedrais e ocorrem em menores proporções, e o quartzo globular é raro, predominando a forma anedral, intersticial e granular na matriz predominantemente de granulação fina. A coloração escura deve-se a presença mais acentuada de biotita em pequenas palhetas dispersas ou aglutinada.

A amostra estudada quanto aos parâmetros físico-mecânicos corresponde a *Fácies leuco-monzogranito vermelho rapakivi*. As feições petrográficas encontram-se identificadas na Prancha 3, 4 e o sumário das características petrográficas e modais do Granito Rio Branco estão caracterizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Sumário das características petrográficas das variedades de granitos vermelhos.

TIPO VERMELHO ISOTRÓPICO				
% Mineral/Amostra		Sararé	Rio Branco	
Microclínio		37	38	
Plagioclásio		30	34	
Quartzo		30	24	
Biotita		2	3	
Hornblenda		tr	-	
Muscovita		1	-	
Acessórios	apatita	tr	tr	
	zircão	tr	tr	
	titanita	tr	tr	
	allanita	tr	-	
	rutilo	-	-	
	opaco	tr	tr	
Secundários	sericita	tr	tr	
	clorita	tr	tr	
	epidoto	tr	tr	
	carbonato	tr	-	
	argilo- minerais	-	-	
Estrutura		isotrópico	isotrópico	
Textura		Inequ.	porfíritico	
Cor		Vermelho	Vermelho	
Índice de cor		< 5	< 5	
Granulação (mm)	Matriz	média- grossa	média	
	fenocristal	Composição	FK/PL	FK/PL/Qz
		Cor	Verm.	Verm.
		Forma	Subeuhedrais	Subeuhedrais-ovalados
		Tamanho Máx.	1 cm	2 cm
		Tamanho Méd.	< 1 cm	1 cm
		Porcentagem	<4	< 15
Classificação (QAP)		Monzogranito Sienogranito	Monzogranito Sienogranito	

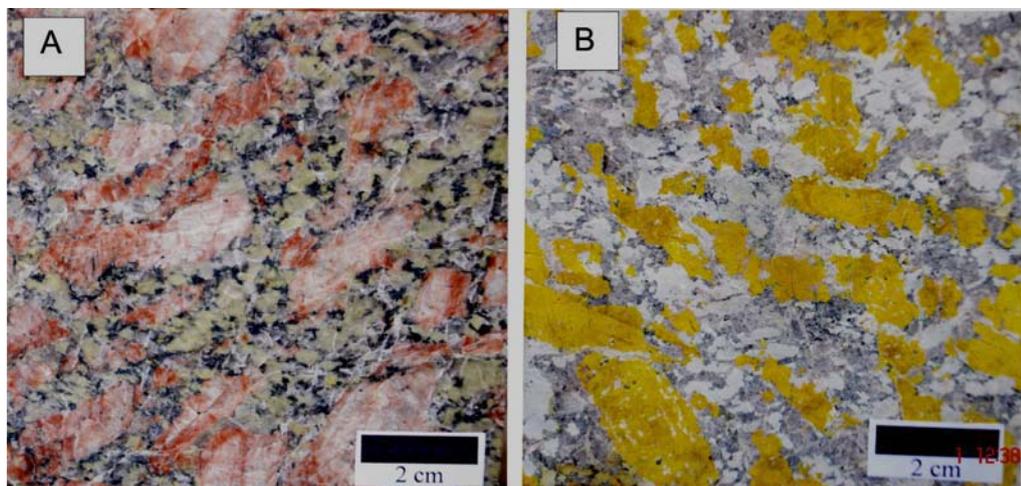
IV.1.3. ORTOGNAISSE FORTUNA

O **Ortognaisse Granítico Fortuna (3)** enquadra-se no conjunto litológico denominado informalmente como embasamento metamórfico da região do Destacamento Fortuna.

As feições petrográficas encontram-se identificadas na Prancha 5, 6 e o sumário das características petrográficas e modais do Ortognaisse Granítico Fortuna estão caracterizadas na Tabela 2.



Prancha 5. Aspectos de campo do Ortognaisse Fortuna, destacando os porfiroclastos de feldspato potássico, subidiomórficos, róseos



Prancha 6. Foto de placa de rocha (A) e em ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Fortuna.

Foram descritos dois tipos de rochas gnáissicas: um exibindo estrutura bandada, polideformado, representado por biotita gnaisses ou hornblenda biotita gnaisses; o outro tipo litológico descrito refere-se a gnaisses com estrutura ocelar cujos porfiroclastos de feldspato potássico são centimétricos, de cor rósea e matriz de granulação grossa e que apresentam feições de recristalização e deformação dúctil-rúptil.

Os gnaisses ocelares são rochas leucocráticas, de granulação grossa, inequigranulares, porfiroclásticas, de coloração rosa esverdeada e anisotrópica (miloníticas a protomiloníticas). Ao microscópio destacam-se os porfiroclastos de feldspato potássico, subidiomórficos, róseos, com até 5 cm de comprimento.

A matriz exhibe granulação média a grossa, invariavelmente orientada, constituída por plagioclásio subidiomórfico intensamente saussuritizados, conferindo à matriz da rocha uma incomum coloração verde clara.

O quartzo é xenomórfico, intersticial e intensamente recristalizado e deformado. O máfico dominante é a biotita que, na maioria dos casos, mostra-se cloritizada e associada com os agregados microgranulares de minerais acessórios como epidoto, apatita e zircão.

Observam-se ainda biotitas secundárias retrometamórficas da transformação de hornblendas e conseqüentemente a geração de epidoto. O microfissuramento é intenso em toda a rocha. Todavia são os porfiroclastos de feldspato potássico que se mostram mais fraturados, intensificando os processos de alteração.

IV.1.4. ORTOGNAISSE INDIAVAÍ VERMELHO

O **Ortognaisse Indiavaí** encontra-se exposto às margens do Rio Jauru, nas imediações da cidade homônima, sendo constituído por um conjunto de rochas graníticas, onde são reconhecidas três fácies petrográficas distintas, sendo que duas delas são enfocadas neste estudo: o hornblenda granito leucocrático, de granulação grossa, porfirítica, intensamente foliado e granito cinza, porfirítico, sieno a monzogranítico, menos foliado.

O **Ortognaisse Indiavaí Vermelho (4)** é constituído por hornblenda granito leucocrático, inequigranular, porfirítico, de granulação média a grossa, cor rósea a vermelha, com marcada anisotropia planar definida pela estrutura milonítica a protomilonítica.

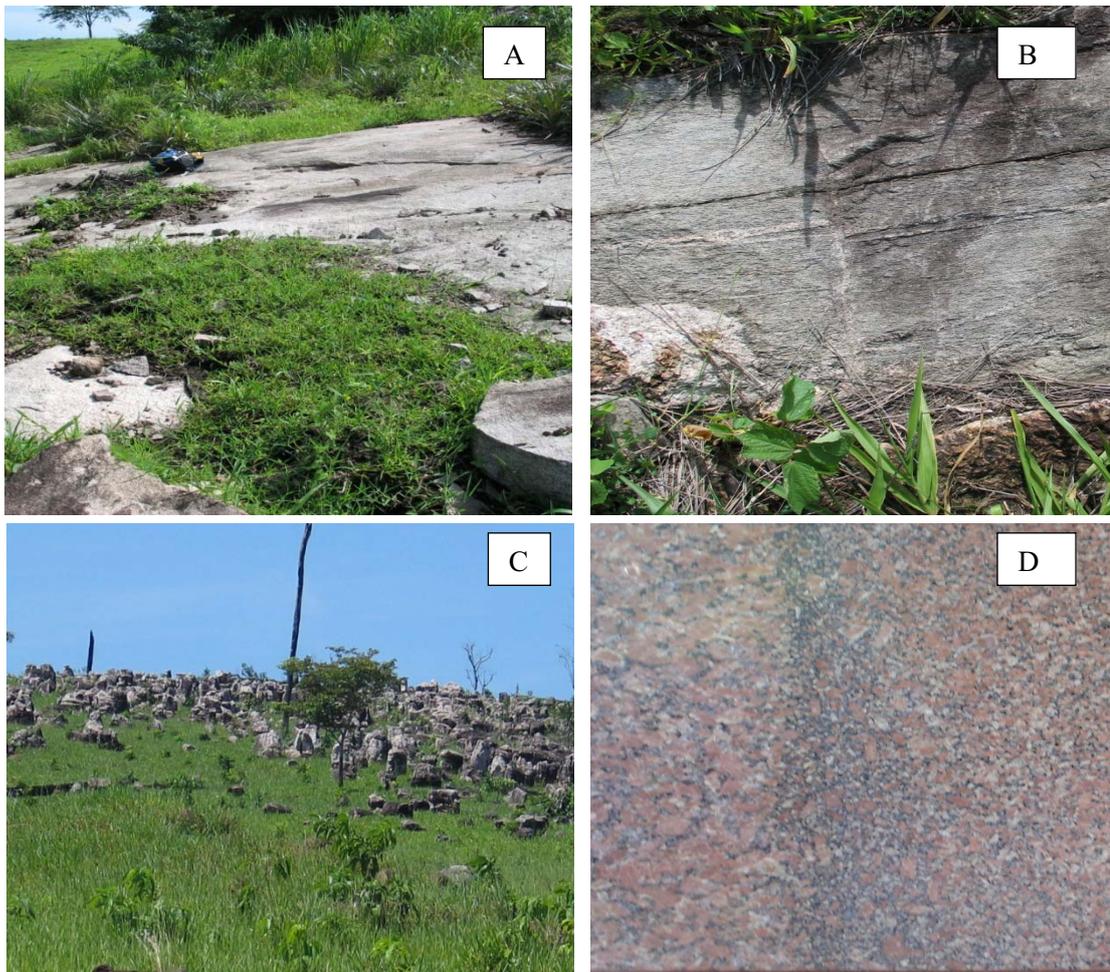
Os feldspatos apresentam-se como porfiroclastos exibindo formas anédricas e

subédricos e intensa saussuritização, conferindo à rocha localmente, uma cor verde.

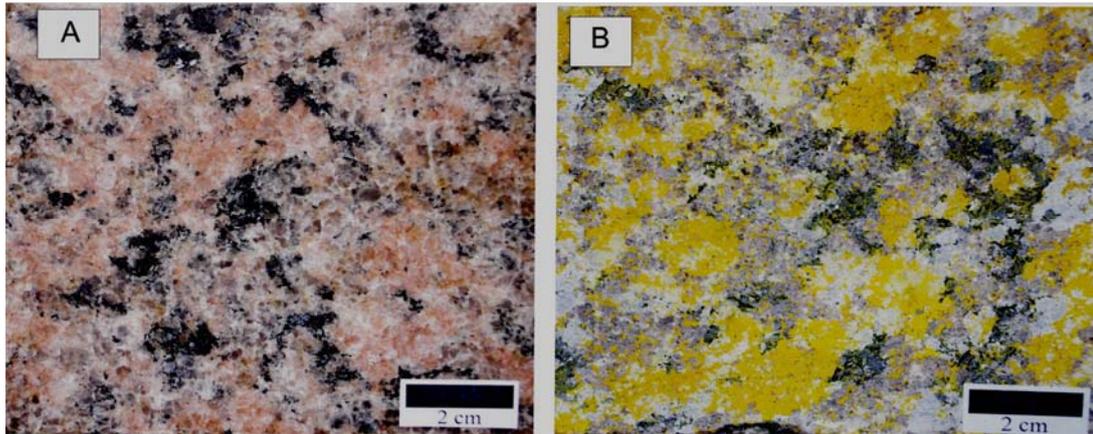
A matriz é constituída por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo intersticial, hornblenda e biotita. Os minerais máficos apresentam granulação média, ocorrendo isoladamente ou formando agregados irregulares e orientados, constituindo planos de orientação.

Os minerais acessórios são constituídos por zircão e apatita, além de epidoto e clorita como mineral de transformação de plagioclásios e anfibólios. O microfissuramento é pouco expressivo e, na maioria, restringe-se ao interior dos grãos de feldspato.

As feições petrográficas encontram-se identificadas na Prancha 7, 8 e o sumário das características petrográficas e modais do Ortognaisse Indiavaí Vermelho estão caracterizadas na Tabela 2.



Prancha 7. Aspecto de campo e petrográficos do Ortognaisse Indiavaí Vermelho



Prancha 8. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Indiauí Vermelho.

Tabela 2. Sumário das características petrográficas das variedades de rochas movimentadas vermelhas.

		TIPO VERMELHO ANISOTRÓPICO		
% Mineral/Amostra		Fortuna	Indiauí Vermelho	
Microclínio		36	31	
Plagioclásio		28	30	
Quartzo		22	24	
Biotita		10	12	
Hornblenda		3	5	
Muscovita		-	-	
Acessórios	apatita	tr	-	
	zircão	tr	tr	
	titanita	tr	tr	
	allanita	tr	tr	
	rutilo	tr	-	
	opaco	tr	tr	
Secundários	sericita	1	1	
	clorita	tr	-	
	epidoto	-	tr	
	carbonato	-	-	
	argilo- minerais	-	tr	
Estrutura		anisotrópico	anisotrópico	
Textura		porfíritico	porfíritico	
Cor		Verm.	Verm.	
Índice de cor		< 13	< 12	
Granulação (mm)	matriz	média	média	
	fenocristal	Composição	FK/PL	FK/PL/Qz
		Cor	róseo	róseo
		Forma	subeuhedrais-ovalados	subeuhedrais-ovalados
		Tamanho Máx.	2cm	3 cm
		Tamanho médio	1 cm	1,5 cm
Porcentagem	<10	<20		
Classificação (QAP)		Monzogranito	Monzogranito Sienogranito	

IV.2. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS

IV.2.1. GRANITO NOVA LACERDA

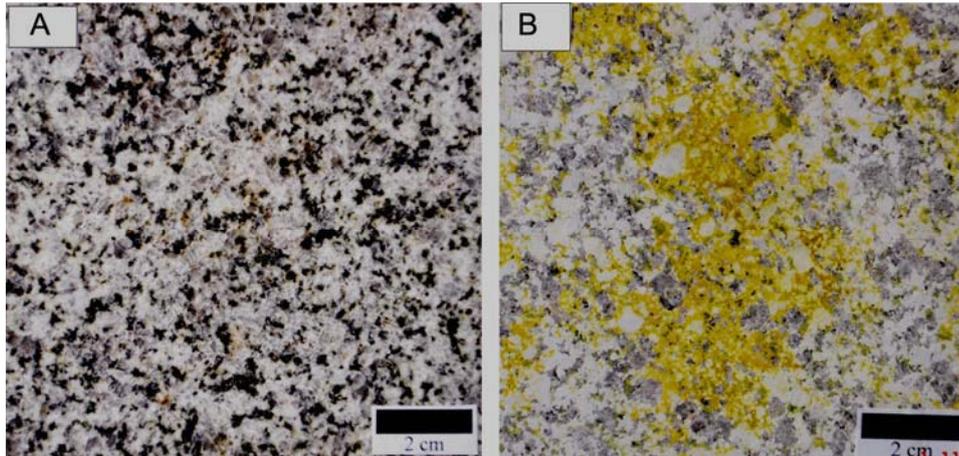
O **Granito Nova Lacerda (5)** corresponde a um corpo irregular, levemente orientado segundo o *trend* regional NNW, alojado em rochas pertencentes ao Domínio Rio Novo. É considerado tardi-cinemático por exibir estrutura maciça nas porções internas do corpo e foliação nas bordas.

Exibe duas fácies distintas: a) uma mais jovem é representada por diques centimétricos, compostos por rochas leucocráticas, equigranulares, finas a médias, maciças, exibindo cor rosa e apresentando composição sienogranítica; b) outra principal, com mais de 95% do corpo, composta por rochas maciças ou levemente orientada, leucocráticas, inequigranulares, de granulação média a grossa, cor cinza, composição variando de monzogranítica a granodiorítica composta principalmente por plagioclásios, feldspato potássico, hornblenda e biotita. Apatita, titanita e opacos ocorrem comumente. Os minerais de alteração são definidos pela presença de sericita, clorita e epidoto.

As feições petrográficas encontram-se identificadas na Prancha 9, 10 e o sumário das características petrográficas e modais do Granito Nova Lacerda estão caracterizadas na Tabela 3.



Prancha 9. Aspectos de campo do Granito Nova Lacerda.

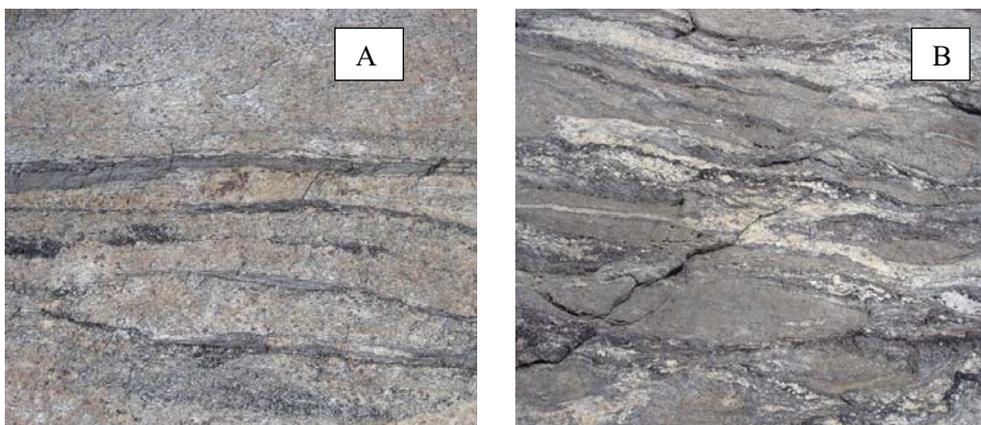


Prancha 10. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Granito Nova Lacerda.

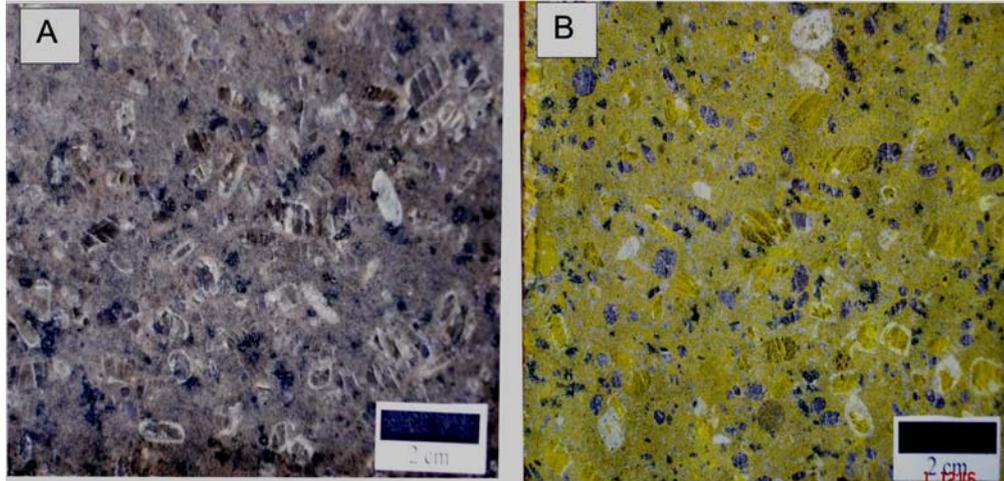
IV.2.2. ORTOGNAISSE INDIAVAÍ CINZA

O **Ortognaissse Indiavaí Cinza (6)** também se apresenta orientado segundo a direção norte-sul e encontra-se exposto às margens do Rio Jauru, nas imediações da cidade homônima. Aflora sob a forma de blocos e matacões, sendo compostos por tipos subvulcânicos, que exibem textura porfiroclásticas, com matriz fina a média e fenocristais zonados de plagioclásio.

Em termos petrográficos são biotita hornblenda gnaisses, leucocráticos, de composição existente de sieno a monzogranito, granulação média a grossa, porfírico, levemente foliado e localmente com textura ocelar. A mineralogia essencial é feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e máficos (biotita e raramente hornblenda), apatita, titanita e epidoto. As feições petrográficas da rocha encontram-se identificadas na Prancha 11 e do leucossoma analisado na Prancha 12. O sumário das características petrográficas e modais do Ortognaissse Indiavaí Cinza estão caracterizadas na Tabela 3.



Prancha 11. Aspectos de campo do Ortognaissse Indiavaí Cinza

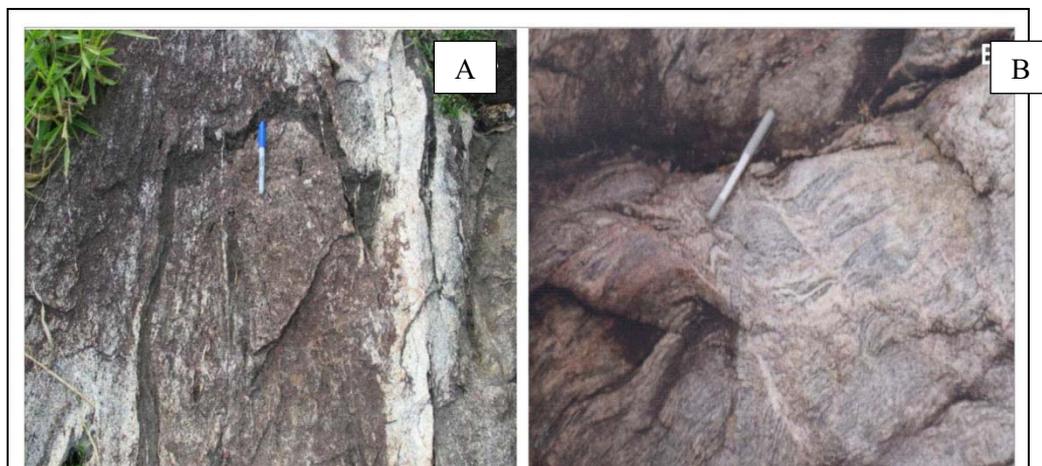


Prancha 12. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Indiavaí Cinza.

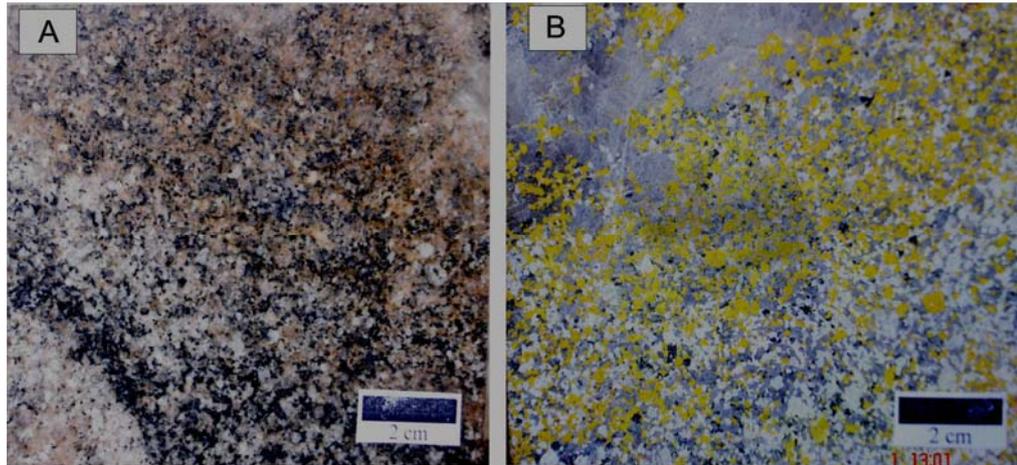
IV.2.3. ORTOGNAISSE CINZA CACHOEIRINHA

O **Ortognaisse Cinza Cachoeirinha (7)** corresponde a um corpo de ortognaisses, são rochas meso a leucocráticas, de cor cinza escura a cinza rosado, inequigranulares, granulação média a grossa, composição monzogranítica a tonalítica, comumente exibem o bandamento gnáissico, definido pela intercalação de níveis descontínuos e irregulares ou bandas contínuas e paralelas de agregados máficos (biotita \pm hornblenda) e félsicos (quartzo-feldspático).

No geral as feições gnáissicas transicionam para feições migmatíticas, apresentando um caráter descontínuo para o bandeamento composicional. As feições petrográficas encontram-se identificadas nas Pranchas 13, 14 e o sumário das características petrográficas e modais do Ortognaisse Cinza Cachoeirinha estão caracterizadas na Tabela 3.



Prancha 13. Aspectos de campo dos Ortognaisses do Domínio Cachoeirinha.



Prancha 14. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Ortognaisse Cachoeirinha.

Tabela 3. Sumário das características petrográficas das variedades de granitos e movimentados cinza.

		TIPO CINZA			
% Mineral/Amostra		<i>Nova Lacerda</i>	<i>Indiavai Cinza</i>	<i>Cachoeirinha</i>	
Microclínio		28	34	25	
Plagioclásio		32	31	33	
Quartzo		20	26	22	
Biotita		10	7	13	
Hornblenda		5	-	tr	
Acessórios	apatita	tr	-	5	
	zircão	tr	tr	tr	
	titanita	tr	tr	tr	
	allanita	tr	tr	tr	
	rutilo	tr	-	tr	
	opaco	tr	tr	tr	
Secundários	sericita	2	1	1	
	clorita	tr	1	tr	
	epidoto	-	tr	tr	
	carbonato	tr	-	tr	
Estrutura		isotrópico	isotópico	anisotrópico	
Textura		porfirítico	porfirítico	Porfirítico	
Cor		cinza escuro	cinza claro	cinza claro	
Índice de cor		< 15	7	13	
Granulação (mm)	matriz	média	média	Média- grossa	
	fenocristal	Composição	FK/PL	FK/PL/Qz	FK/PL
		Cor	róseo	róseo	Róseo
		Forma	subeuhedrais-ovalados	subeuhedrais-ovalados	Subeuhedrais-ovalados
		Tamanho Máx.	2	2 cm	3 cm
		Tamanho médio	<1 cm	<1 cm	<1 cm
Porcentagem		<5	<5		
Classificação (QAP)		monzogranito	monzogranito sienogranito	Monzogranito	

IV.3. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS

IV.3.1. ANFIBOLITO INDIAVAÍ

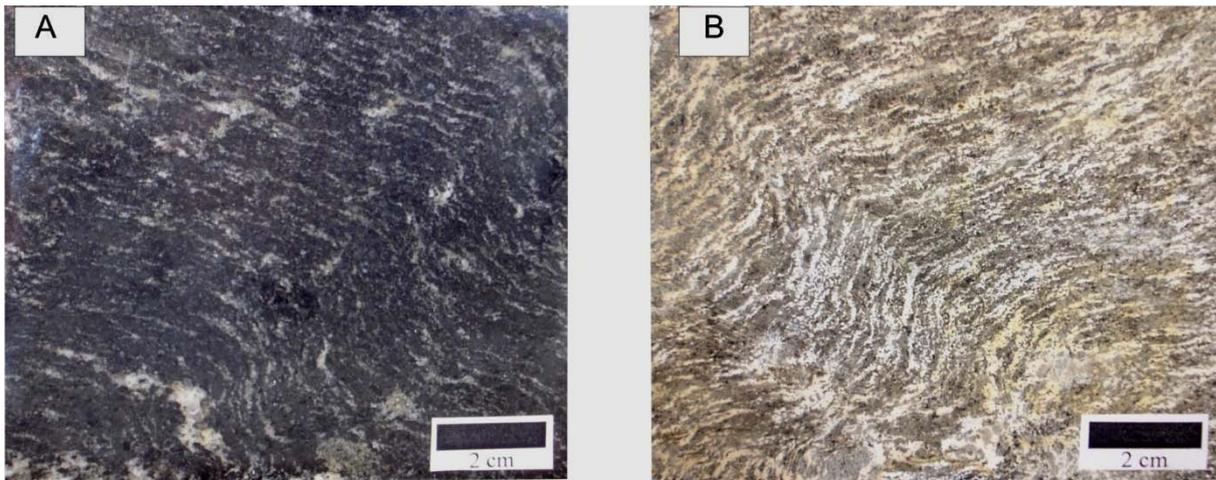
O **Anfibolito Indiavaí (8)** ocorre na região de Jauru, onde predominam os Ortognaisses Indiavaí. Estas rochas afloram sob a forma de matacões ou como extensas faixas. São constituídas essencialmente por olivina-gabros e gabro-noritos, exibem estrutura levemente foliada, granulação média a grossa e cor verde escura e evidenciando ainda feições magmáticas, caracterizadas por tipo subvulcânico e mesocrático.

A mineralogia é definida por anfibólio, plagioclásio, titanita, apatita e zircão e como minerais de alteração ocorrem a serpentina, clorita e epidoto.

As feições petrográficas encontram-se identificadas nas Pranchas 15, 16 e o sumário das características petrográficas e modais do Anfibolito Indiavaí estão caracterizadas na Tabela 4.



Prancha 15 Aspectos de campo Anfibolito Indiavaí



Prancha 16. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Anfíbolito Indaiavaí

IV.3.2. ANFIBOLITO CANAÃ

O **Anfíbolito Canaã (9)** trata-se de um corpo intrusivo subcircular, composto por um gabro metamorfisado, associado ao Complexo Metavulcano Sedimentar Alto Jauru, situados no Domínio Jauru.

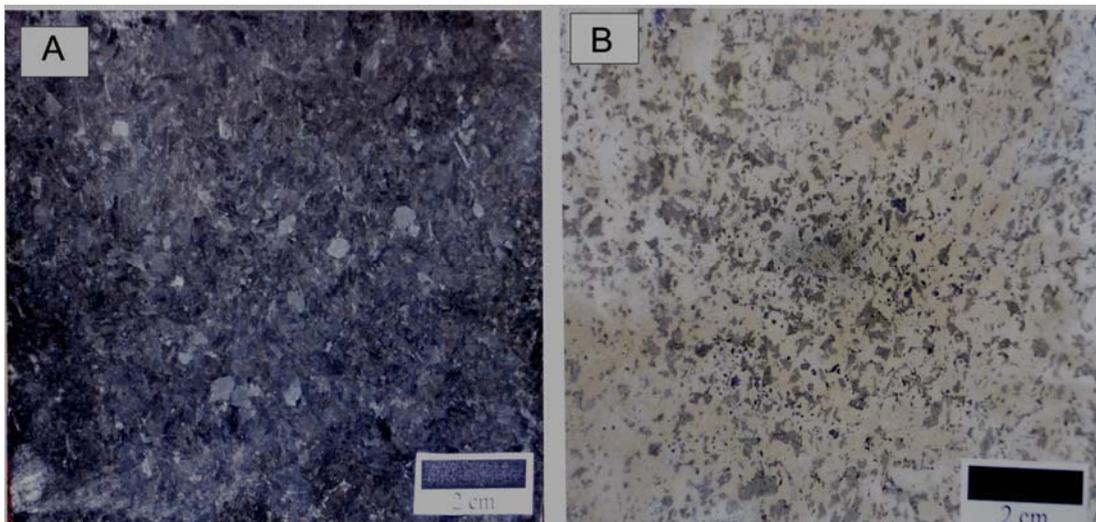
Estas rochas são compostas por hornblenda-anfíbolitos de granulação média a grossa, apresentando-se foliados a localmente bandados, definido pelo destaque dado pela presença de plagioclásio, às vezes estes bandamentos gnáissicos mostram-se dobrados suavemente (Prancha 17).

Mineralogicamente são compostos por hornblenda, mais empobrecido em labradorita/andesina, apatita, titanita, zircão e pelos minerais de alteração definidos por clorita, carbonatos e epidoto.

As feições petrográficas encontram-se identificadas nas Pranchas 17 e 18. O sumário das características petrográficas e modais do Anfíbolito Canaã estão caracterizadas na Tabela 4.



Prancha 17. Aspectos de campo do Anfibolito Canaã



Prancha 18. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Anfibolito Indiavai

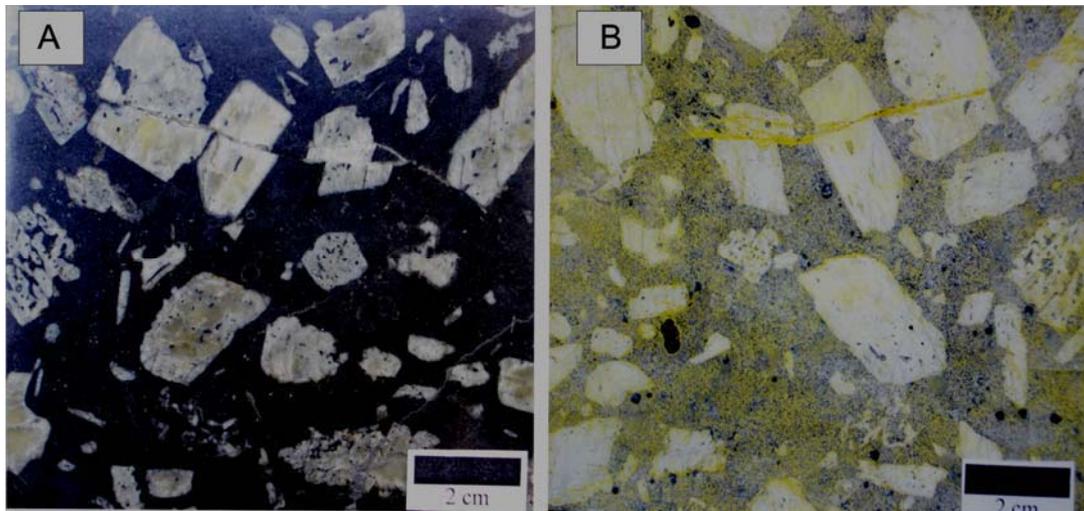
IV.3.3. DIABÁSIO SALTO DO CÉU

O diabásio (10) faz parte da Suíte Intrusiva Rio Branco, localizado na região do município de Rio Branco a 300 km de Cuiabá-MT. Esta unidade litológica encontra-se restrita ao extremo nordeste do Granito Rio Branco.

Os *sills* são constituídos por rochas mesocráticas, cinza escuras a pretas, equigranulares de granulação fina a média, raramente porfiríticas, maciças, composicionalmente variando de gabros a quartzo monzodioritos.

O plagioclásio (labradorita- andesina) ocorre comumente na matriz como cristais euédricos a subéudricos, tabulares, e menos freqüentemente, como fenocristais de até 5 cm

de comprimento (Prancha 19) e as feições de campo são identificada na Prancha 20.



Prancha 19. Foto de placa de rocha (A) e ensaio de Colorimetria (B) do Diabásio Salto do Céu.

A matriz é muito fina, com estrutura compacta e de coloração preta constituída principalmente por plagioclásio e augita, raramente microclínio, quartzo e olivina, além de minerais acessórios como ilmenita, titanita, apatita, óxidos, zircão e minerais de alteração como hornblenda, biotita, carbonato, clorita e epidoto.

São rochas porfíricas de matriz fina de coloração preta, apresentando fenocristais de labradorita/andesina com dimensões maiores ou iguais a 8 cm e apresentam comumente tonalidades amarelo-esverdeadas devido a intensa epidotização. É comum observar borda de reação nos cristais e no geral apresentam-se com inclusões de máficos, com formas tabulares subeuhedricas a levemente ovaladas e corroídas.

Esses fenocristais ocorrem localmente formando aglomerados, com pelo menos dois tamanhos, um com grandes fenocristais (> 6 cm) e outro com cristais menores ao redor de 2 cm. A matriz é muito fina, com estrutura compacta e de coloração preta constituída principalmente por plagioclásio e piroxênios (augita),

O sumário das características petrográficas e modais do Diabásio Salto do Céu estão caracterizadas na Tabela 4.



Prancha 20. Aspectos de campo e petrográficos das rochas do Diabásio Salto do Céu.

Tabela 4. Sumário das características petrográficas das variedades de movimentados diabásios pretos.

		TIPO PRETO			
% Mineral/Amostra		<i>Indiavai</i>	<i>Canaã</i>	<i>Diabásio</i>	
Plagioclásio		40	38	45	
Quartzo		5	5	5	
Microclínio		10	9	8	
Biotita		15	12	10	
Piroxênio		-	-	10	
Hornblenda		28	33	21	
Acessórios	apatita	tr	-	tr	
	zircão	tr	tr	tr	
	titanita	tr	tr	tr	
	allanita	tr	tr	tr	
	rutilo	tr	-	tr	
	opaco	tr	tr	tr	
Secundários	sericita	tr	1	1	
	clorita	tr	1	tr	
	epidoto	-	tr	tr	
	carbonato	-	-	-	
	argilo- minerais	-	tr	-	
Estrutura		anisotrópico	anisotrópico	isotrópico	
Textura		equigran.	equigran.	porfírico	
Cor		Preto	Preto	Preto	
Índice de cor		> 35	>35	>35	
Granulação (mm)	matriz	fino	Fino	fino	
	fenocristal	Composição	-	-	PL
		Cor	-	-	branco
		Forma	subeuhedrais- ovalados	subeuhedrais-ovalados	subeuhedrais-ovalado
		Tamanho Máx.			10 cm
		Tamanho médio			3 cm
		Porcentagem			20
Classificação (QAP)		Anfibolito	Anfibolito	Diabásio	

CAPÍTULO V

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

As análises geoquímicas das rochas graníticas e movimentadas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista DPM/IGCE/UNESP.

As análises serão discutidas quanto ao padrão de distribuição dos elementos maiores, com vista à caracterização dos litotipos rochosos, possibilitando assim, correlacioná-las à distribuição mineralógica e aos parâmetros físico-mecânicos das rochas e permitir assim a adequada identificação e tipificação das variedades estudadas, evitando designações genéricas e muitas vezes incorretas.

V.1. GEOQUÍMICA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS

Foram selecionadas na Tabela 5 as análises geoquímicas das fácies estudadas, para a possível definição do intervalo padrão de variação dos elementos maiores. O comportamento dos valores de SiO₂ para os granitos e movimentados vermelhos dos litotipos estudados mostram-se elevados, no intervalo de 70 a 75%. As variedades das rochas do Granito Sararé apresentam os valores mais elevados, enquanto as variedades do

Ortognaisse Fortuna apresentam os menores valores (Figura 19A). Os valores maiores de SiO₂ refletem na maior resistência ao desgaste dos tipos estudados.

Tabela 5. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores de granitos e movimentados vermelhos.

ROCHAS	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1. Granito Sararé	74,84	0,07	14,16	0,83	0,01	0,06	0,63	4,62	4,47	0,02
2. Granito Rio Branco	71,77	0,42	12,91	3,69	0,07	0,4	0,82	3,56	5,3	0,06
3. Ortognaisse Fortuna	70,64	0,45	14,06	2,72	0,03	0,6	1,64	3,04	5,79	0,17
4. Ort. Indiavaí Vermelho	72,76	0,32	13,46	2,73	0,03	0,29	1,32	3,41	5,28	0,06

A porcentagem TiO₂ (Figura 19B) é variável, mas se apresenta mais elevada para os litotipos Fortuna, Rio Branco, Tarumã e Indiavaí, com reflexos mineralógicos, evidenciados pela presença de minerais em maior porcentagem como titanita e rutilo, podendo, portanto, caso ocorra alterações na rocha podem refletir no manchamento avermelhado e pontual das placas de revestimento.

Os teores de Al₂O₃ também apresentam pequenas diferenças significativas entre as diversas variedades (Figura 19C), mostrando valores mais elevados para as rochas do Granito Sararé e para os ortognaisse Fortuna e Indiavaí vermelho, razão direta da sua composição mineralógica. O tipo Sararé, mesmo formado por rochas hololeucocráticas, apresenta valores elevados de alumínio em razão da presença de muscovita e relativamente pouca biotita. Os tipos Fortuna e Indiavaí mostram valores igualmente altos, mas caracterizados pela presença de elevadas quantidades de biotita. Estes altos valores de Al₂O₃ refletem na mineralogia da rocha com a presença de muscovita e biotita e, conseqüentemente na menor resistência e maior alterabilidade destes minerais.

Os teores mais elevados de Fe₂O₃ (Figuras 19D) estão diretamente correlacionados com os valores de Al₂O₃ na constituição biotita e/ou hornblenda, além da ocorrência dos minerais opacos, nos litotipos Indiavaí e Fortuna e conseqüentemente menores valores de resistência a alteração, resultando na maior facilidade de manchamento ao ataque de líquidos agressivos ou mesmo ao ataque intempérico.

Os teores de MgO (Figura 19F) são pouco expressivo, mas apresentando para os tipos Ortognaisse Fortuna e Ortognaisse Indiavaí Vermelho valores ligeiramente mais elevados que refletem a maior presença de hornblenda.

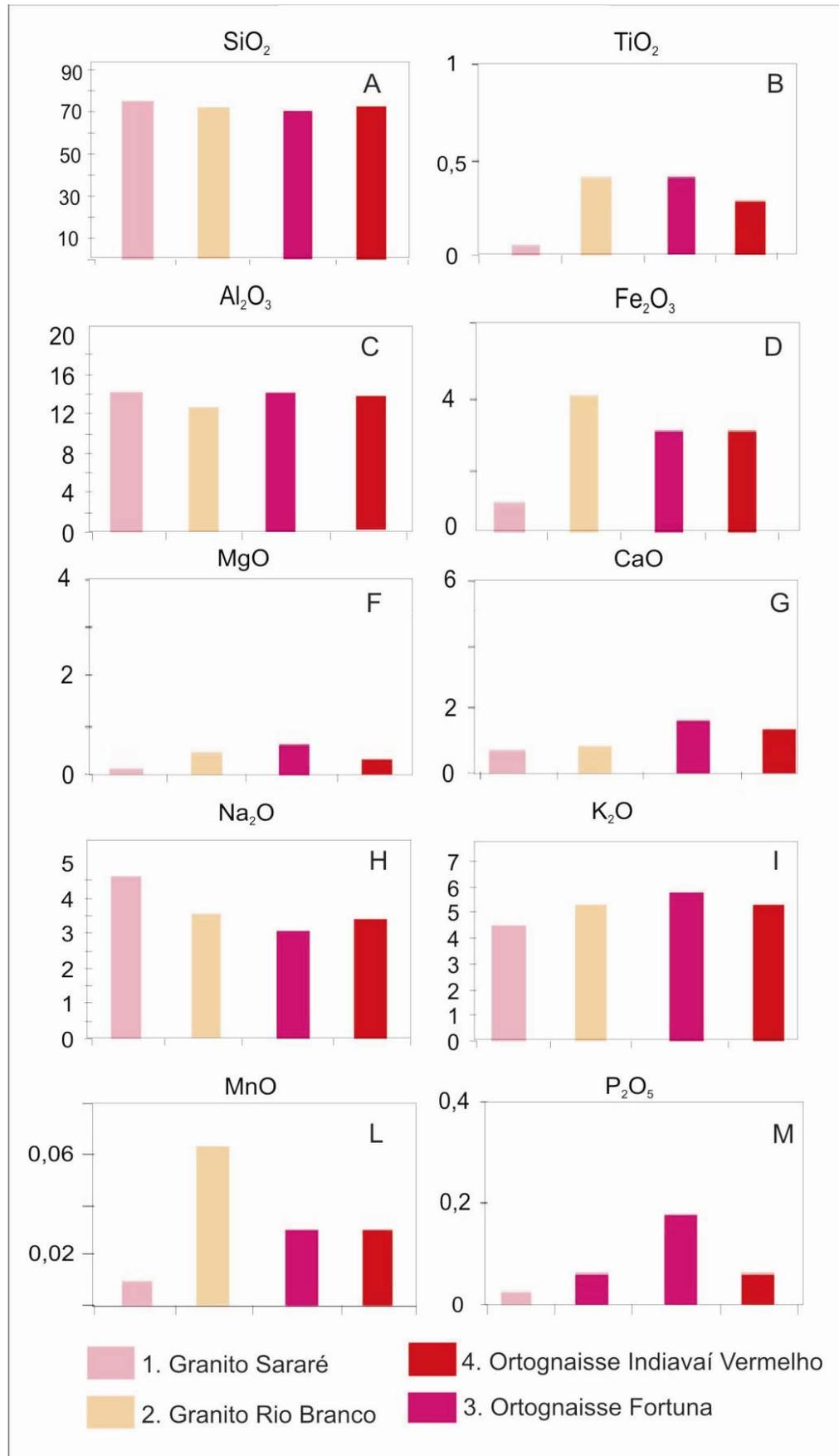


Figura 19. Distribuição dos elementos maiores das rochas graníticas e movimentados vermelhos.

Os teores levemente mais elevados de CaO (Figuras 19G) estão diretamente correlacionados com os valores de Al₂O₃ (Figuras 19C), principalmente nos litotipos Ortognaisse Fortuna e Ortognaisse Indiavaí Vermelho, em razão das altas quantidades de hornblenda e minerais secundários como epidoto

Os teores de Na₂O (Figura 19H) e de K₂O (Figura 19I) são altos e típicos de rochas evoluídas, apresentando pequenas diferenças entre os vários litotipos estudados. Este quimismo não representa um forte controle no comportamento físico-mecânico das rochas.

Quanto às variações de MnO (Figura 19L), estas apresentam valores pouco expressivos, evidenciando valores mais elevados nos litotipos Rio Branco e Ortognaisse Fortuna, e o P₂O₅ (Figura 19M) apresentam valor mais elevado para uma das amostras do Ortognaisse Fortuna.

V.2. GEOQUÍMICA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS

Foram selecionadas na Tabela 6 as análises geoquímicas das fácies estudadas, tornando possível a definição do intervalo padrão de variação dos elementos maiores.

Tabela 6. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores das rochas movimentadas cinzas.

ROCHAS	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
5. Gr. Nova Lacerda	65,19	0,55	16,48	4,81	0,07	1,50	3,86	4,14	1,78	0,18
6.Ort. Indiavaí Cinza	73,63	0,31	12,89	2,68	0,03	0,29	1,14	3,06	5,44	0,05
7.Ort. Cinza Cachoeirinha	69,73	0,31	15,18	4,2	0,04	1,16	3,19	3,91	1,57	0,13

O comportamento dos valores de SiO₂ para os **granitos e movimentados cinzas** apresentam valores de SiO₂ no intervalo entre 65 e 74% (Figura 20A). Os valores acima de 70% SiO₂ e conseqüentemente maiores volumes de quartzo, refletem conseqüentemente uma maior resistência ao desgaste.

Os valores de TiO₂ (Figura 20B) são variáveis nas fácies analisadas, apresentando-se levemente mais elevados no tipo Nova Lacerda devido às quantidades maiores de minerais acessórios, como titanita e rutilo, e portanto, caso ocorra alterações na rocha podem refletir no manchamento avermelhado e pontual das placas de revestimento.

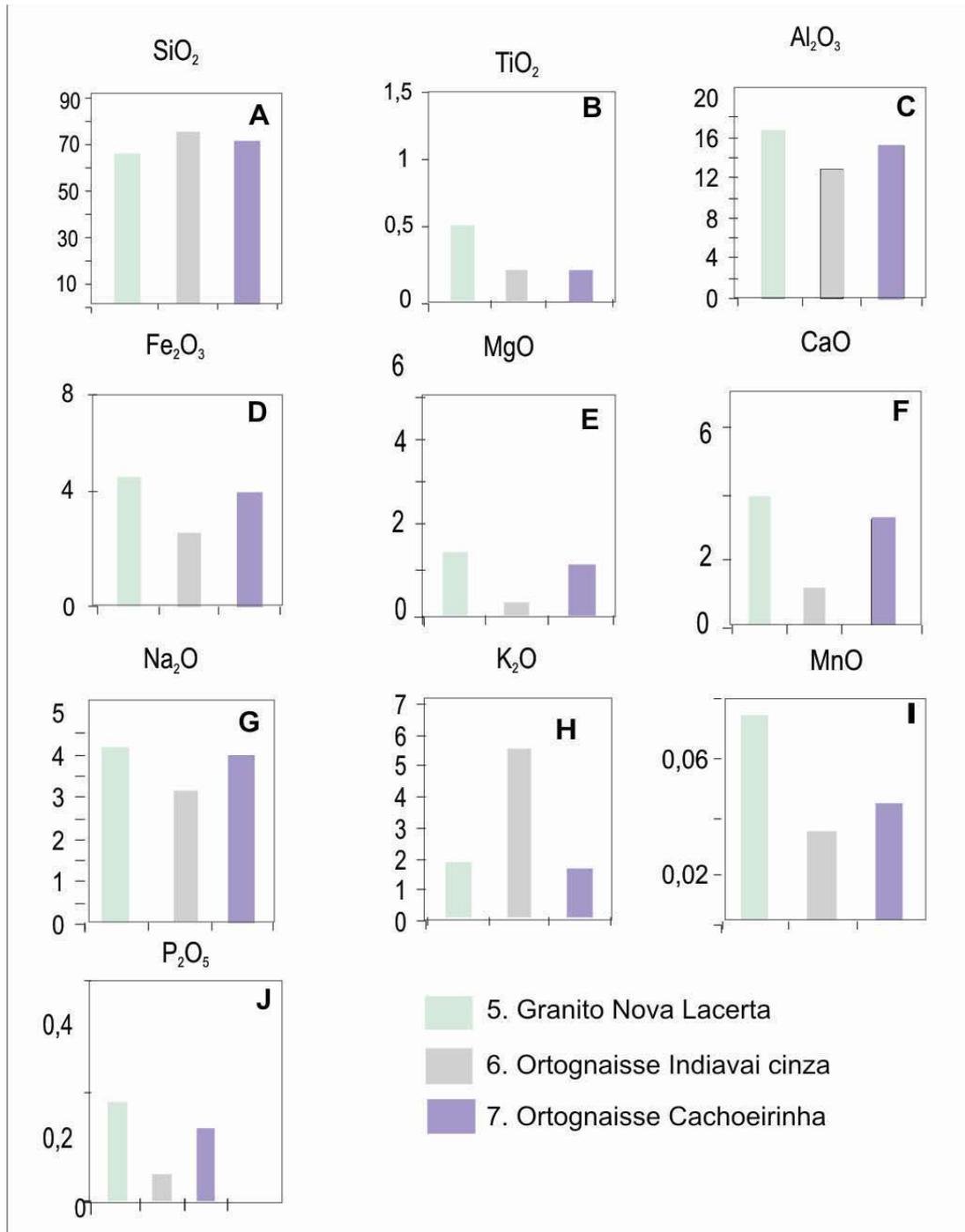


Figura 20. Distribuição dos elementos maiores das rochas movimentadas cinza.

Os teores de Al₂O₃ também apresentam diferenças entre as diversas variedades (Figura 20C), mostrando valores mais elevados para as rochas mais enriquecidas em biotitas. Estes altos valores de alumínio e consequentemente a presença de teores mais elevados de biotita refletem-se na menor resistência mecânica e na maior alterabilidade dos tipos estudados, especialmente se submetidos a substâncias com pH muito ácido ou básico.

Quanto ao Fe_2O_3 (Figura 20D), este encontra-se diretamente correlacionado à presença de minerais máficos (biotita e/ou hornblenda) e à presença dos minerais opacos (magnetita e ilmenita). A relação de valores mais elevados de minerais de Fe, especialmente opacos, propicia a geração de hidróxidos de Fe, quando em ambientes úmidos, podendo ocorrer o aparecimento de manchas avermelhadas ou amareladas, fenômeno esse acompanhado de expansão volumétrica. Os valores de MgO e CaO e (Figuras 20E e 20F) são reflexos diretos da mineralogia presente em razão de quantidades mais elevadas de hornblenda nos tipos Nova Lacerda e Cachoeirinha.

A relação apresentada dos valores de Na_2O (Figura 20G) é mais empobrecida no tipo Indiavaí Cinza e quanto ao K_2O (Figura 20H) mais elevado no Indiavaí Cinza, características das rochas mais ácidas e potássicas, enriquecidas em sílica.

O conteúdo de MnO (Figura 20I) apresenta valores pouco expressivos, porém mais elevados nos litotipos Granito Nova Lacerda e o P_2O_5 (Figura 20J) apresenta-se com valor mais elevado no Granito Nova Lacerda.

V.3. GEOQUÍMICA DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS

Foram selecionadas na (Tabela 7) as análises geoquímicas das fácies estudadas, tornando possível a definição do intervalo padrão de variação dos elementos maiores.

Tabela 7. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores de granitos e movimentos pretos.

ROCHAS	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
8. Anfibolito Indiavaí	50,22	1,12	14,22	10,91	0,09	8,75	10	3,17	0,18	0,09
9. Anfibolito Canaã	47,82	1,35	15,05	13,26	0,13	7,83	11,43	2,06	0,47	0,14
10. Diabásio Salto do Céu	47,64	2,7	18,7	10,77	0,11	3,49	6,52	3,39	3,22	0,57

O comportamento dos valores de SiO_2 dos **granitos e movimentados pretos** mostram-se no intervalo entre 47 e 50% (Figura 21A), refletindo na menor resistência ao desgaste abrasivo destes litotipos. Os valores de TiO_2 (Figura 21B) apresentam-se elevados devido às quantidades maiores de minerais acessórios, como titanita e rutilo, podendo, portanto, refletir no processo de manchamento amarelado pontualmente nas placas mais frequentes.

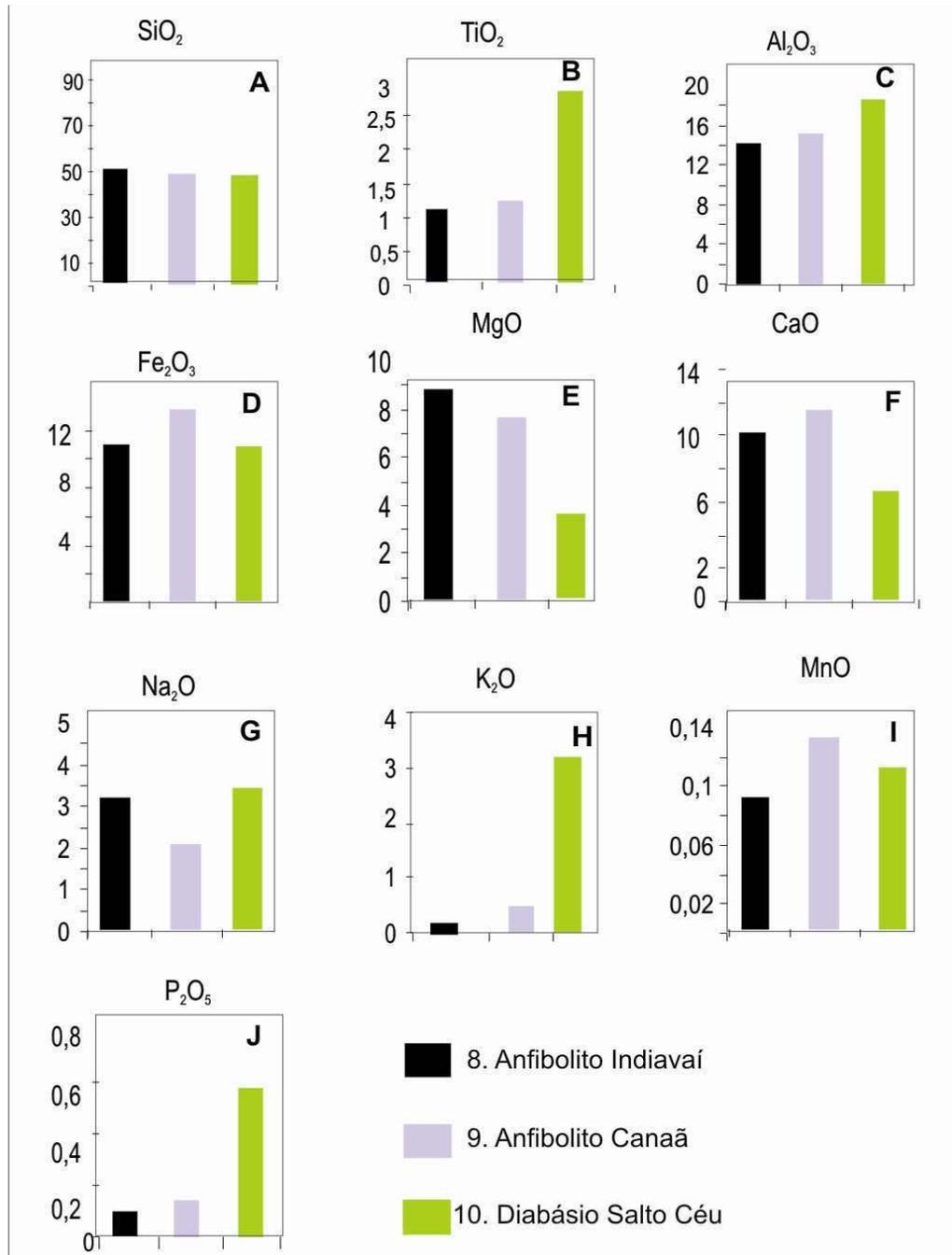


Figura 21. Distribuição dos elementos maiores dos granitos e movimentados pretos.

Os teores de Al₂O₃ também apresentam diferenças significativas entre as diversas variedades (Figura 21C), mostrando valor mais elevado para o Diabásio Salto do Céu deste conjunto de rochas analisadas. Estes altos valores de alumínio e consequentemente a presença de teores mais elevados de hornblenda refletem na menor resistência e na maior facilidade a alteração deste mineral.

Quanto ao óxido de Fe_2O_3 (Figura 21D) encontra-se diretamente correlacionado à presença de hornblenda e minerais opacos (magnetita e ilmenita). Esta relação de valores mais elevados de minerais de ferro propicia a geração de hidróxidos de ferro, quando em ambientes úmidos, podendo ocorrer o aparecimento de manchas avermelhadas. Os valores de MgO e CaO (Figuras 21E e 21F) e conseqüentemente maiores quantidades de hornblendas, o que facilita processos de alteração.

A relação apresentada dos valores de Na_2O (Figura 21G) e de K_2O (Figura 21H) é baixa, características das rochas básicas, mas com pequenas diferenças registradas entre os litotipos de pequenas amplitudes, sendo que o Anfibolito Canaã apresenta menores valores, reflexo da superior porcentagem de hornblenda.

Quanto as variações de MnO (Figura 21I) apresentam valores pouco expressivos, evidenciando valores mais elevados nos litotipos Anfibolito Canaã e o P_2O_5 (Figura 21J) apresenta valor mais elevado para uma das amostras do Diabásio Salto do Céu.

CAPÍTULO VI

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

V.1. INTRODUÇÃO

As características tecnológicas permitem qualificar uma rocha quanto as suas propriedades físicas e físico-mecânicas nas condições normais de utilização, permitindo diagnosticar problemas técnicos decorrentes da seleção e aplicação inadequadas dos materiais pétreos.

Este tipo de caracterização é importante pelo fato das rochas ornamentais, quando em uso, serem submetidas a diversas solicitações, ou seja, antecipar uma previsão de comportamento em serviços como impacto, atrito, ação de intempéries, etc.

Os resultados desses ensaios são correlacionados com os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais dessas rochas, visando o melhor entendimento do comportamento físico-mecânico apresentado por elas diante das diversas solicitações.

Os valores médios referentes aos ensaios realizados encontram-se resumidos em tabelas e diagramas ao longo dos respectivos itens, com a finalidade de possibilitar melhor visualização do comportamento tecnológico das rochas e correlações entre os diferentes

parâmetros obtidos nos ensaios tecnológicos.

Durante as discussões e interpretações dos resultados tecnológicos obtidos para os granitos e movimentados estudados, em termos de suas qualificações como materiais ornamentais e de revestimento procurou-se tecer considerações comparativas com dados físico-mecânicos de outros granitos brasileiros disponíveis na literatura especializada, bem como com os valores limítrofes fixados pela norma C-615 (ASTM, 1995) e os valores limites sugeridos por Frazão e Farjallat (1995).

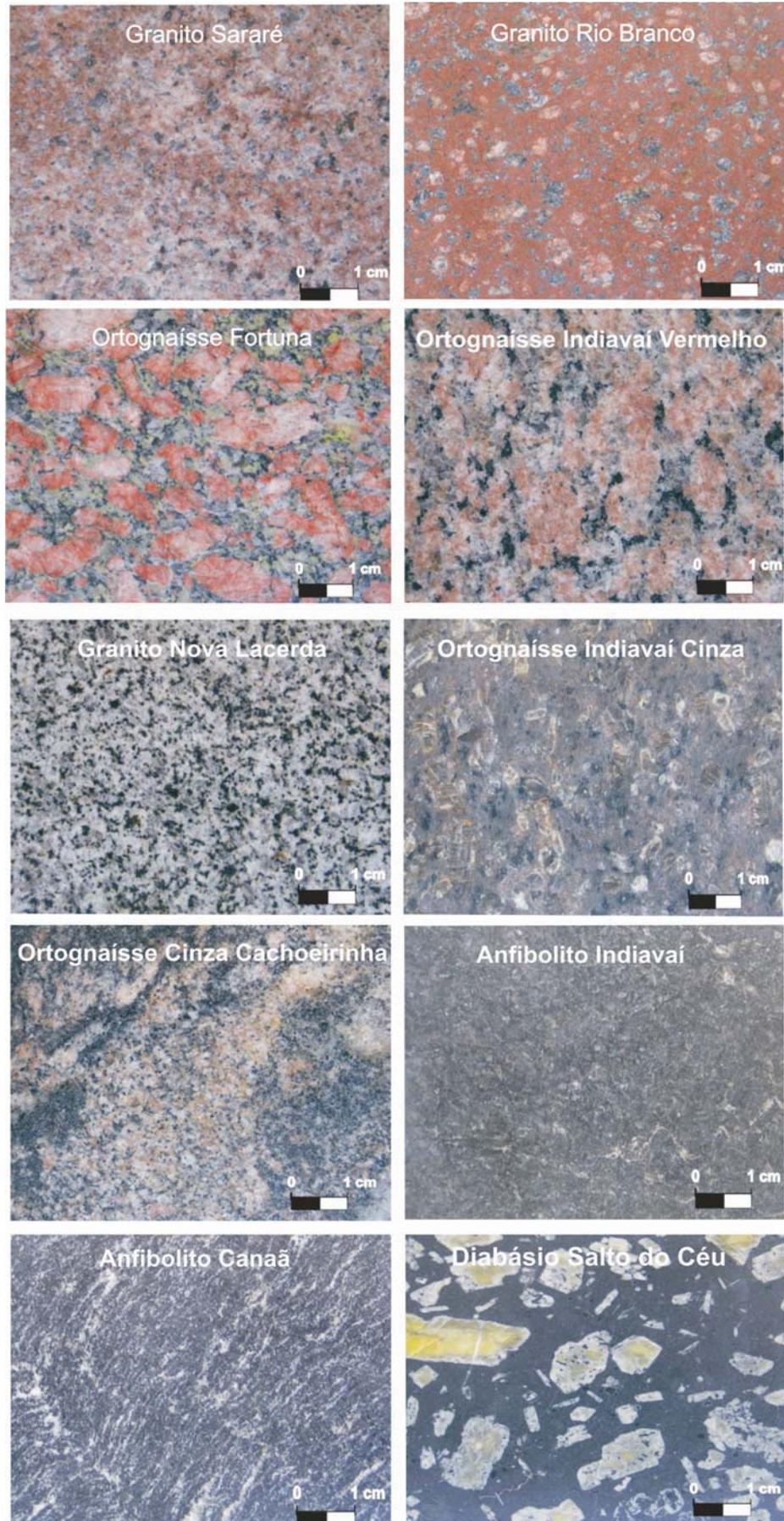
VI.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

As principais análises e ensaios tecnológicos realizados nesta tese permitiram avaliar e estipular a melhor qualificação de uma determinada rocha. Na tabela 8 encontram-se os valores limites propostos por ASTM (1995) e Frazão e Farjallat (1995) e exemplos de rochas vermelhas já padronizadas na literatura para comparações.

Na prancha 21 encontra-se representado o padrão estético das variedades analisadas.

Tabela 8. Valores especificados pela norma ASTM (1995), por Frazão e Farjallat (1995) e valores dos ensaios do Granito Vermelho Bragança e Capão Bonito.

Propriedades	Valores fixados ASTM (1995)	Valores sugeridos por Frazão e Farjallat (1995)	Dados do Catálogo de Rochas Ornamentais (IPT-SP)	
			Vermelho Bragança	Vermelho Capão Bonito
Unidades Estudadas/Tipo de Rocha			Vermelho Bragança	Vermelho Capão Bonito
Massa específica seca (Kg/cm ³)	≥2560	≥2550	2631	2638
Porosidade aparente (%)	n.e.	≤1,0	0.75	0.49
Absorção d'água (%)	≤0,4	≤0,4	0.28	0.19
Velocidade propagação de ondas (m/s)	n.e.	≥4000	5080	5590
Dilatação térmica linear (10 ⁻³ /mm °C)	n.e.	≤12,0	6.4	7.3
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)	n.e.	≤1,0	0.51	0.60
Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	≥10,34	≥10,0	19.39	12.51
Compressão uniaxial simples (MPa)	≥131	≥100	185.3	149.8



Prancha 21. Padrões estéticos das variedades analisadas

VI.2.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS

Os resultados das análises tecnológicas dos *Granitos e Movimentados Vermelhos* encontram-se relacionadas na Tabela 9 sendo (1) Granito Sararé, (2) Granito Rio Branco, (3) Ortognaisse Fortuna e (4) Ortognaisse Indiavaí Vermelho.

Nas Figuras 22 e 23 encontram-se as representações gráficas dos ensaios tecnológicos e nas Figuras 24, 25, 26 e 27 encontram-se os aspectos estéticos das placas polidas.

Tabela 9. Resultados dos ensaios físico-mecânicos dos granitos e movimentados vermelhos.

	1	2	3	4
Massa específica saturada (Kg/cm³)	2.604	2.611	2.669	2.646
Porosidade aparente (%)	1,25	0,77	0,84	0,68
Absorção d'água (%)	0,48	0,29	0,32	0,26
Massa específica seca (Kg/cm³)	2.592	2.603	2.661	2.639
Desgaste Abrasivo <i>Amsler</i> (mm)	0,71	0,6	0,64	0,89
Modulo Ruptura 3 pto (MPa)	12,57	15,29	6,71	9,97
Compressão uniaxial (MPa)	154,71	158,46	143,31	142,9
* VPO Uniaxial (m/s)	4900	5892	4520	4079
* VPO Três pontos (m/s)	4066	5583	3872	4242
Dil. Térm. Linear 10⁻³mm/m.°C	5,3	6,2	5,3	6,0

1 - Granito Sararé; 2 - Granito Rio Branco; 3 - Ortognaisse Fortuna e 4 - Ortognaisse Indiavaí Vermelho.

* Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais.

Os ensaios de índices físicos, incluindo massa específica seca e saturada aparentes, porosidade e absorção d'água aparente, serão apresentados a seguir. Os valores de massa específica aparente seca (Figura 22A) e saturada (Figura 22B) são próximos.

As unidades mais silicosas e composicionalmente homogêneas, Sararé, apresentam valores menores do que as amostras das unidades que apresentam minerais mais máficos e densos, Granito Rio Branco, Ortognaisse Indiavaí Vermelho e Ortognaisse Fortuna.

Quanto à absorção de água (Figura 22C), as amostras do Sararé ultrapassam o valor desejado propostos por Frazão e Farjallat (1995) e ASTM (1995). Estes valores geralmente elevados refletem o fraco entrelaçamento mineral e a granulação grossa, além da presença de argilo-minerais presentes na amostra.

Quanto à porosidade aparente (Figura 22D) o tipo Sararé é o que apresenta o pior valor, mais elevado, ultrapassando os limites normatizados, por Frazão e Farjallat (1995), refletido principalmente pela granulação mais grossa destes litotipos.

Assim, estes altos índices de porosidade e principalmente de absorção d'água, aliados à composição mineralógica na rocha Sararé, importam em cuidados especiais, principalmente o ataque de líquidos agressivos que devido à alta absorção, potencializa processos de alteração e manchamento, com redução estética da placa.

Os valores de resistência à compressão uniaxial (Figura 22E) encontram-se dentro dos limites sugeridos por Frazão e Farjallat (1995). Os valores mais elevados apresentados pelos tipos Sararé e Rio Branco refletem uma menor coesão da rocha do que os tipos Ortognaisse Tarumã e Ortognaisse Indiavaí Vermelho.

Os valores de resistência ao modulo de ruptura flexão (figura 22F) encontram-se acima do valor sugerido por Frazão e Farjallat (1995) para as amostras dos granitos Sararé e Rio Branco e Ortognaisse Indiavaí Vermelho. Para os tipo Ortognaisse Fortuna os valores estão abaixo dos limites sugeridos devido à forte estrutura anisotrópica.

Os valores dos ensaios de desgaste abrasivo *Amsler* (Figura 22G), apresentam valores de desgastes próximos ao máximo propostos por Frazão e Farjallat (1995) e ASTM (1995) (Tabela 8) e apresentando, para as amostras, parâmetros semelhantes, em razão da composição rica em quartzo dos litotipos.

A exceção aparece na amostra do tipo Ortognaisse Indiavaí Vermelho que acentua um pouco mais o desgaste em razão da presença de foliação e da presença mais acentuada de minerais máficos como biotita e hornblenda.

Os valores da velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos (Figura 22H) apresentam resultados bem acima do valor limítrofe mínimo normatizado. Os menores valores de propagação estão diretamente relacionados, ou com a granulação da rocha ou com o grau de anisotropia do material rochoso, o que é visto na redução dos valores para o tipo Granito Sararé que apresenta granulação mais grossa e pela redução dos valores para os tipos Ortognaisse Fortuna e Ortognaisse Indiavaí Vermelho mais anisotrópico.

As determinações do coeficiente de dilatação térmica linear (Figura 22I) variaram entre 5,3 e 6,2 (10^{-3} mm/m°C) mostrando, portanto bons resultados.

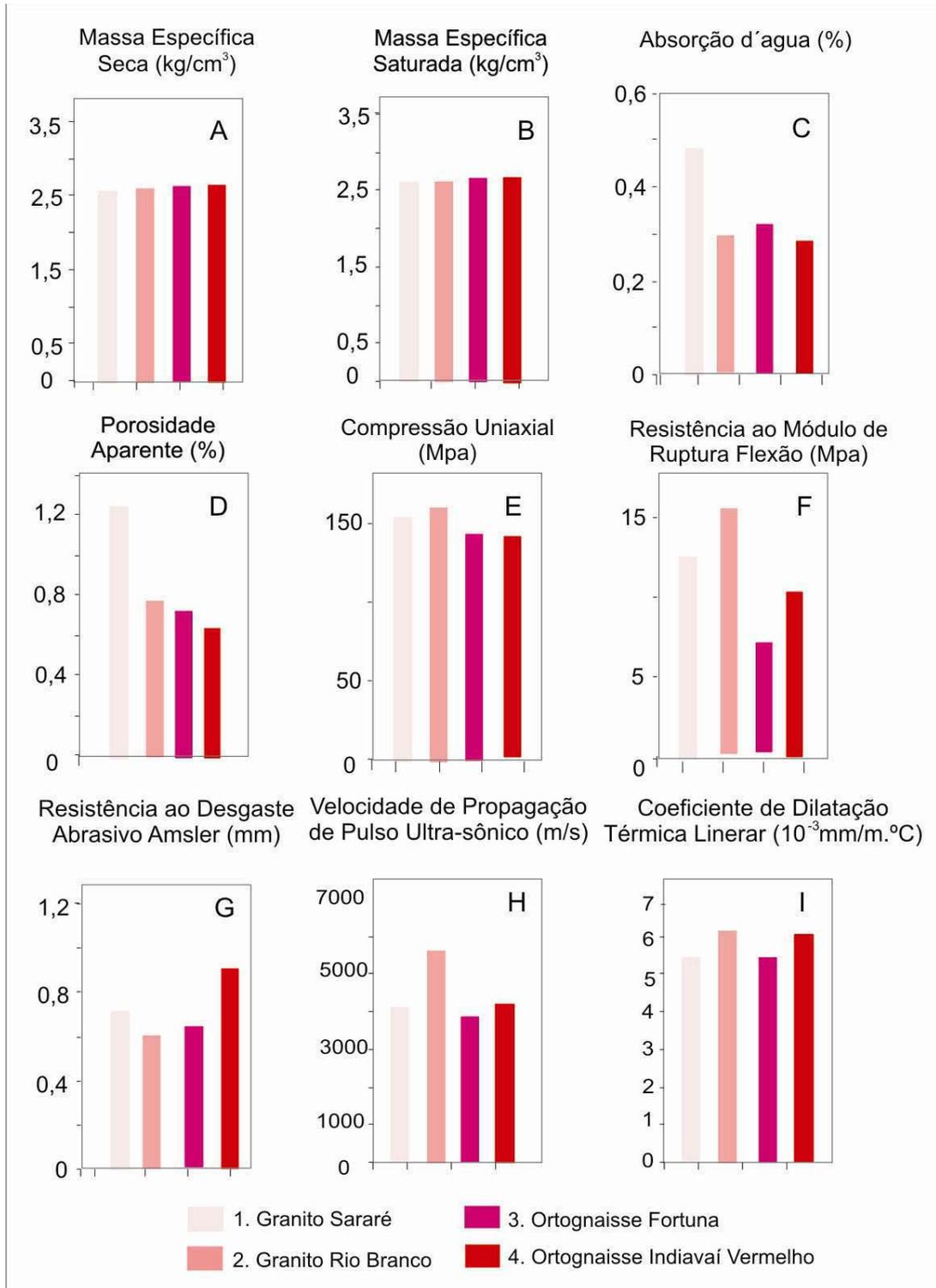


Figura 22. Representação gráfica dos resultados dos ensaios físico-mecânicos dos granitos e movimentados vermelhos.

A Figura 23 refere-se às correlações entre os diversos ensaios tecnológicos obtidos para os *Granitos e Movimentados Vermelhos*, possibilitando interpretações comparativas e identificação de correspondências ou não entre os diversos ensaios.

A Figura 23A evidencia a correlação existente entre absorção d'água *versus*

porosidade aparente demonstrando a relação direta entre estas propriedades do material rochoso, portanto, quanto mais poroso for o material, maior será a sua capacidade de absorção d'água, característica que contribuem para acentuar os processos de alterabilidade.

A correlação da massa específica *versus* desgaste abrasivo *Amsler* (Figura 23B) demonstra a menor resistência das rochas com valores de massa específica maiores em razão da associação de minerais presentes mais máficos e redução de quartzo que é o fator mais relevante no desgaste.

Na correlação da resistência ao módulo de ruptura (MPa) *versus* porosidade aparente (Figura 23C), demonstram diretamente uma relação inversa, quanto menos porosa for a rocha, maior resistência aos esforços.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos uniaxial *versus* módulo de ruptura 3 pontos (Figura 23D) demonstra que quanto maiores os valores de velocidade de propagação de ondas mais resistente à flexão a rocha se comportará.

A análise da figura 23E porosidade aparente *versus* velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos 3 pontos evidencia que quanto mais poroso for o material analisado menor será a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas através desse corpo.

A correlação da velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos 3 pontos *versus* resistência a compressão uniaxial (Figura 23F) demonstra correlação direta, sendo que ambos decrescem em função da maior granulação, de volume de minerais félicos e da anisotropia da rocha.

Os valores de compressão uniaxial *versus* porosidade aparente (Figura 23G) demonstram a relação inversa entre estes dois índices, quanto menor a porosidade maior serão os valores de resistência.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos uniaxial *versus* porosidade aparente (Figura 23H) evidenciam que quanto menos poroso for o material analisado maior será a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas através desse corpo.

Os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos das variedades mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites freqüentemente utilizados como referência, com poucos itens abaixo do parâmetro referência, e dessa forma apontam para um bom desempenho dessas rochas como material de revestimento.

Considerando-se fachadas, salienta-se a importância para a realização de estudos adequados visando o dimensionamento das placas pétreas destinadas a essa finalidade, posto que as rochas ora analisadas, em função da textura porfírica e heterogênea,

apresentam baixos valores de módulo de ruptura.

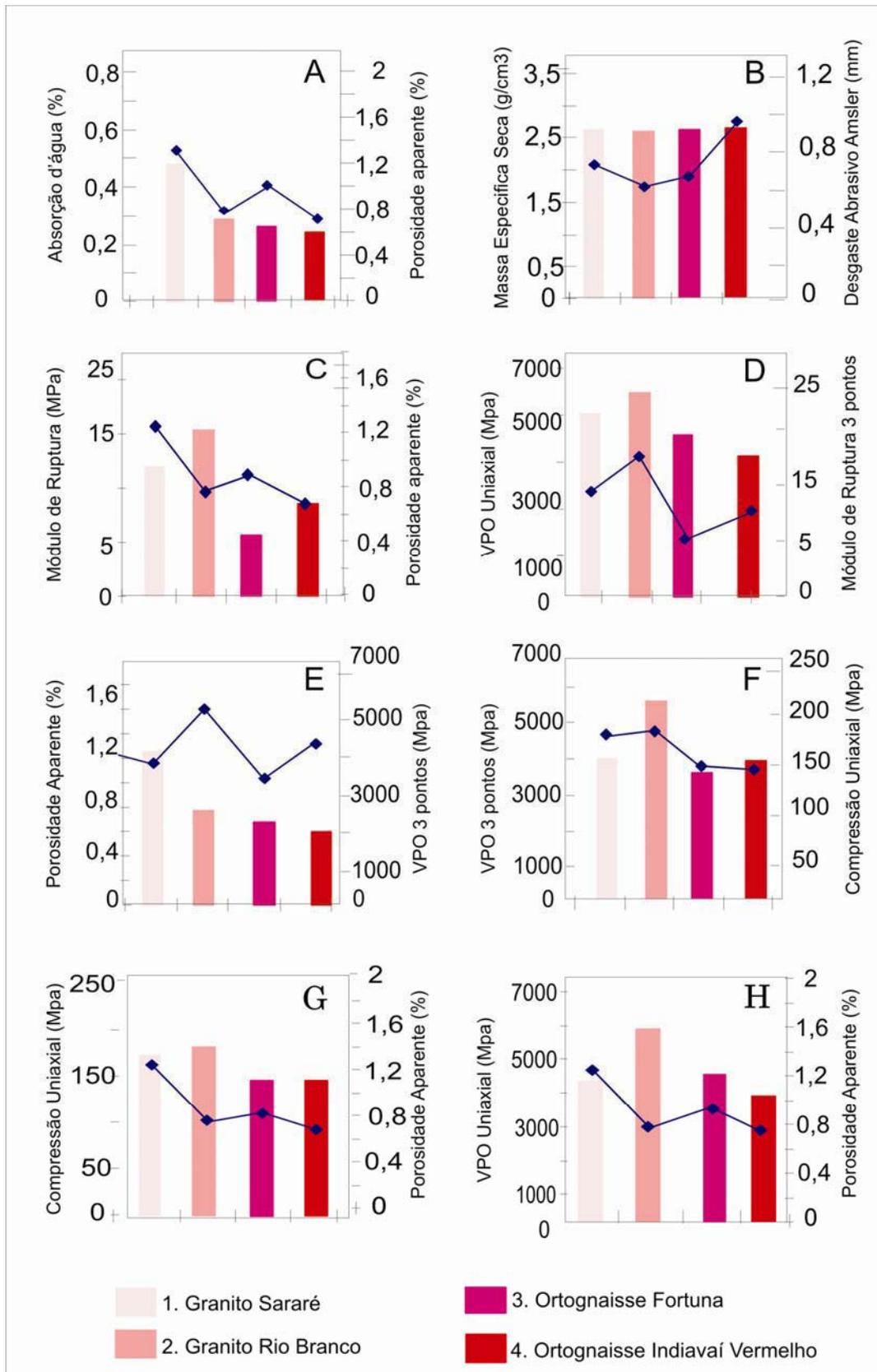


Figura 23. Correlações dos ensaios físicos-mecânicos das rochas graníticas e movimentadas vermelhas.

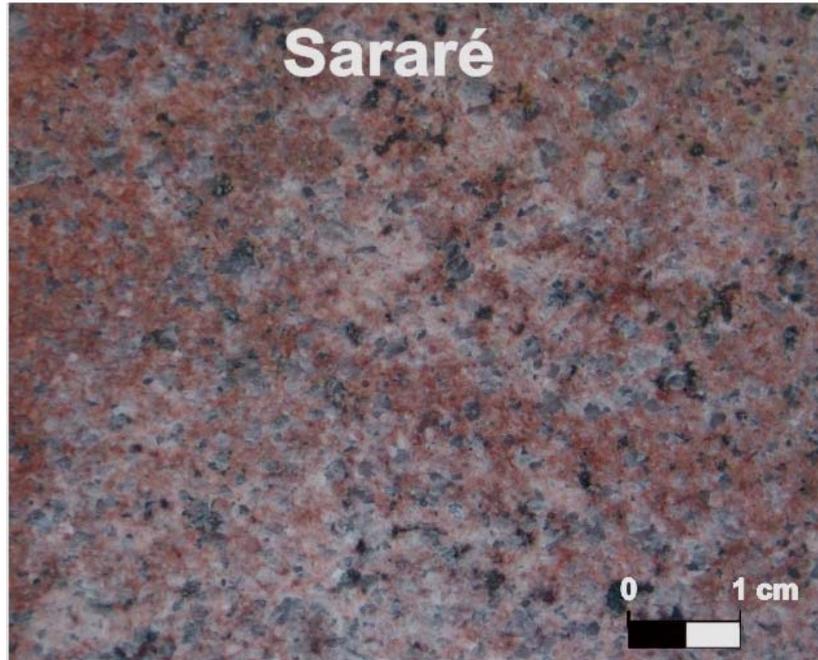


Figura 24. Aspectos de placas polidas do Granito Sararé

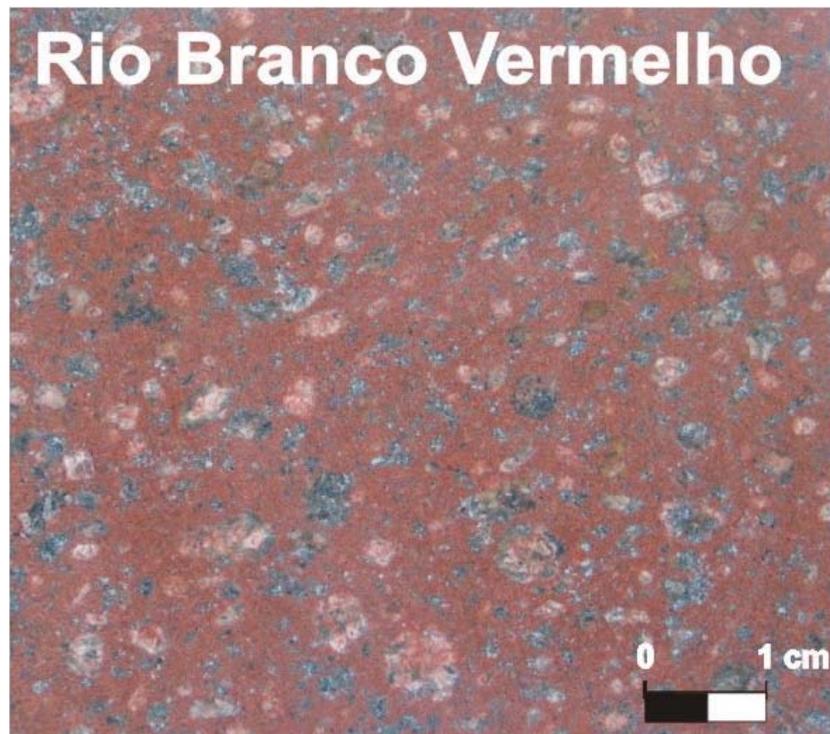


Figura 25. Aspectos de placas polidas do Granito Rio Branco

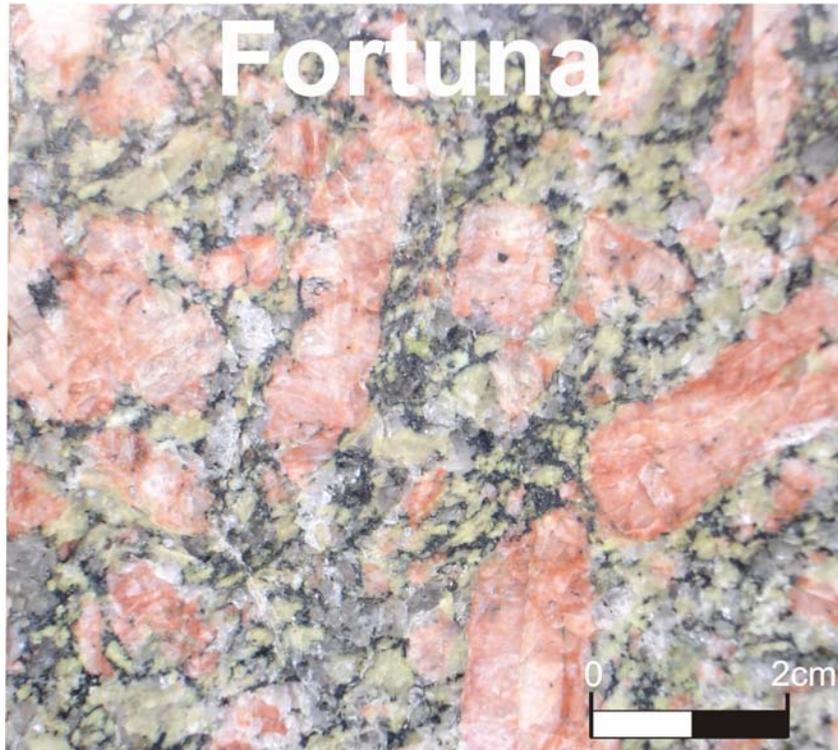


Figura 26. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Fortuna.



Figura 27. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Indiavaí Vermelho.

VI.2.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS

Os resultados encontram-se relacionadas na Tabela 10 sendo (5) Granito Nova Lacerda, (6) Ortognaisse Indiavaí Cinza e (7) Ortognaisse Cachoeirinha) e como referências para comparação dos resultados obtidos em laboratório foram utilizadas os valores limítrofes para rochas graníticas estabelecidos pela norma C-615 da ASTM (1995) e os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995).

Nas Figuras 28 e 29 encontram-se as representações gráficas dos ensaios tecnológicos e nas Figuras 30, 31 e 32 encontram-se os aspectos estéticos das placas polidas.

Tabela 10. Resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos movimentados cinzas.

	5	6	7	Valores fixados pela ASTM (1995)	Valores sugeridos Frazão e Farjallat (1995)
Massa específica saturada (Kg/cm ³)	2.683	2.646	2.688	n.e	n.e
Porosidade aparente (%)	1,55	0,33	0,42	n.e	≤1,0
Absorção d'água (%)	0,58	0,12	0,16	≤0,4	≤0,4
Massa específica seca (Kg/cm ³)	2.668	2.643	2.684	≥2560	≥2550
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)	1,04	0,5	0,65	n.e.	≤1,0
Modulo Ruptura 3 pto (MPa)	10,49	20,73	17,42	≥10,34	≥10,0
Compressão uniaxial (MPa)	170,75	229,04	166,84	≥131	≥100
* VPO (m/s) Uniaxial	3568	5546	5077	n.e.	≥4000
* VPO (m/s) Três pontos	3568	5084	5007	n.e,-	n.e,-
Dil. Térm. Linear 10 ⁻³ mm/m.°C	5,0	6,0	6,8	n.e	n.e

5 - Granito Nova Lacerda; 6 - Ortognaisse Indiavaí Cinza e 7 - Ortognaisse Cachoeirinha.

* VPO - Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais.

Os valores para os ensaios tecnológicos dos *Granitos e Movimentados Cinzas* encontram sintetizados na (Figura 28). Para massa específica aparente seca (Figura 28A) e saturada (Figura 28B) para tipo granítico, composicionalmente homogêneo, apresentam valores levemente menores destes ensaios, do que as amostras das unidades gnáissicas que são foliadas ou que apresentam porcentagem maior de minerais máficos e densos.

A absorção d'água (Figura 28C) e a porosidade aparente (Figura 28D) dos tipos analisados apresentam valores bastante discrepantes, com resultado acima do limite estabelecido para o tipo Nova Lacerda, estes valores encontram-se diretamente relacionado

a granulação grossa e textura granoblástica, além da presença de argilo- minerais.

Os valores de resistência à compressão uniaxial simples (Figura 28E), apresentam para todas as amostras analisadas valores superiores aos sugeridos por Frazão e Farjallat (1995). O tipo Ortognaisse Indiavaí Cinza apresenta os valores mais acentuados, que refletem uma melhor coesão exibida pelos minerais e um menor microfissuramento e granulação.

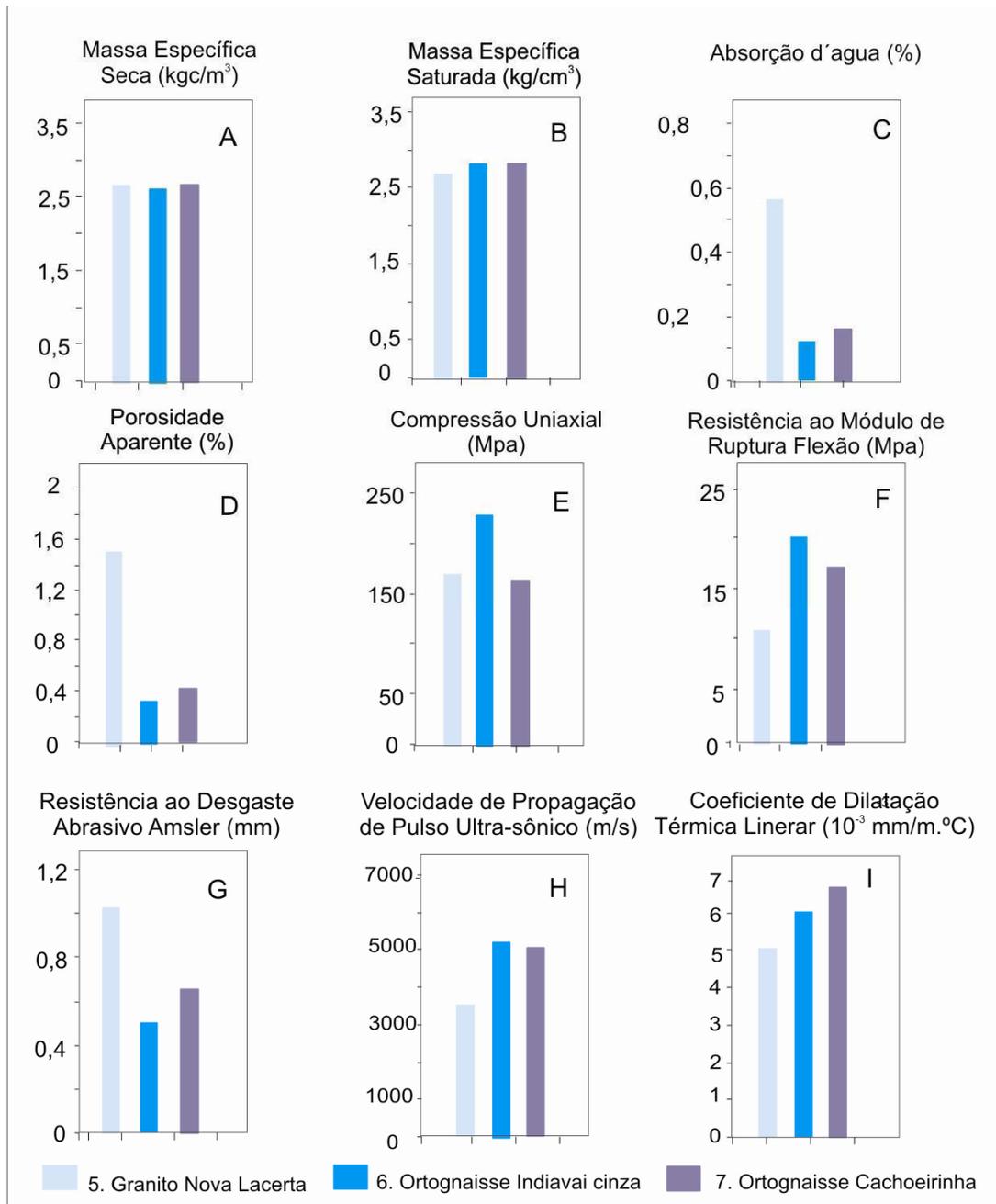


Figura 28. Representação gráfica dos resultados dos ensaios físicos-mecânicos das rochas graníticas e movimentados Cinza.

Os ensaios de resistência ao modulo de ruptura a flexão (Figura 28F) apresentam

resultados dentro dos limites sugeridos por Frazão e Farjallat (1995), mas não muito elevados, com exceção dos tipos Ortognaisse Indiavaí Cinza, que são rochas com foliação menos proeminentes e com menor microfissuramento.

Os valores dos ensaios de desgaste abrasivo *Amsler* (Figura 28G) apresentam bons resultados do ponto de vista tecnológico, com índices de desgastes próximos ou levemente menores que o máximo sugerido. O melhor valor para o Ortognaisse Indiavaí Cinza reflete diretamente a maior porcentagem de quartzo, menor granulação, foliação incipiente e finalmente, menor presença de minerais máficos (Tabela 3).

Os valores da velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos (Figura 28H) apresentam resultados iguais e acima do valor limítrofe mínimo estabelecido. O melhor valor de propagação para o tipo Ortognaisse Indiavaí Cinza está diretamente relacionado, ou com a menor granulação da rocha ou com o menor grau de anisotropia do material rochoso.

Os resultados obtidos de coeficiente de dilatação térmica linear (Figura 28I) das variedades mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites freqüentemente utilizados como referência, e dessa forma apontam para um bom desempenho dessas rochas como material de revestimento.

A figura 29 apresenta diversas correlações entre as propriedades físicas e mecânicas obtidas para os *Granitos e Movimentados Cinzas*. A correlação direta existente entre a propriedade de absorção d'água *versus* porosidade aparente é demonstrada na (Figura 29A) onde se verifica a correlação direta; quanto mais porosa for o material maior será a capacidade de absorção d'água dos litotipos.

A correlação da massa específica seca *versus* desgaste de *Amsler* (Figura 29B) demonstra a menor resistência das rochas com valores de massa específica maiores em razão da associação de minerais presentes de mais máficos e conseqüentemente redução de quartzo que é o fator mais relevante no desgaste, visto na Tabela 3.

Os valores de módulo de ruptura *versus* porosidade aparente (Figura 29C) demonstram a relação inversa evidenciada no tipo escuro, quanto menos porosa for a rocha, maior resistência aos esforços.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônico uniaxial *versus* módulo de ruptura 3 pontos (Figura 29D) evidenciam uma correlação direta apresentando valores melhores nas rochas que apresentam menor granulação da matriz, comportando-se, portanto mais coesas e homogêneas.

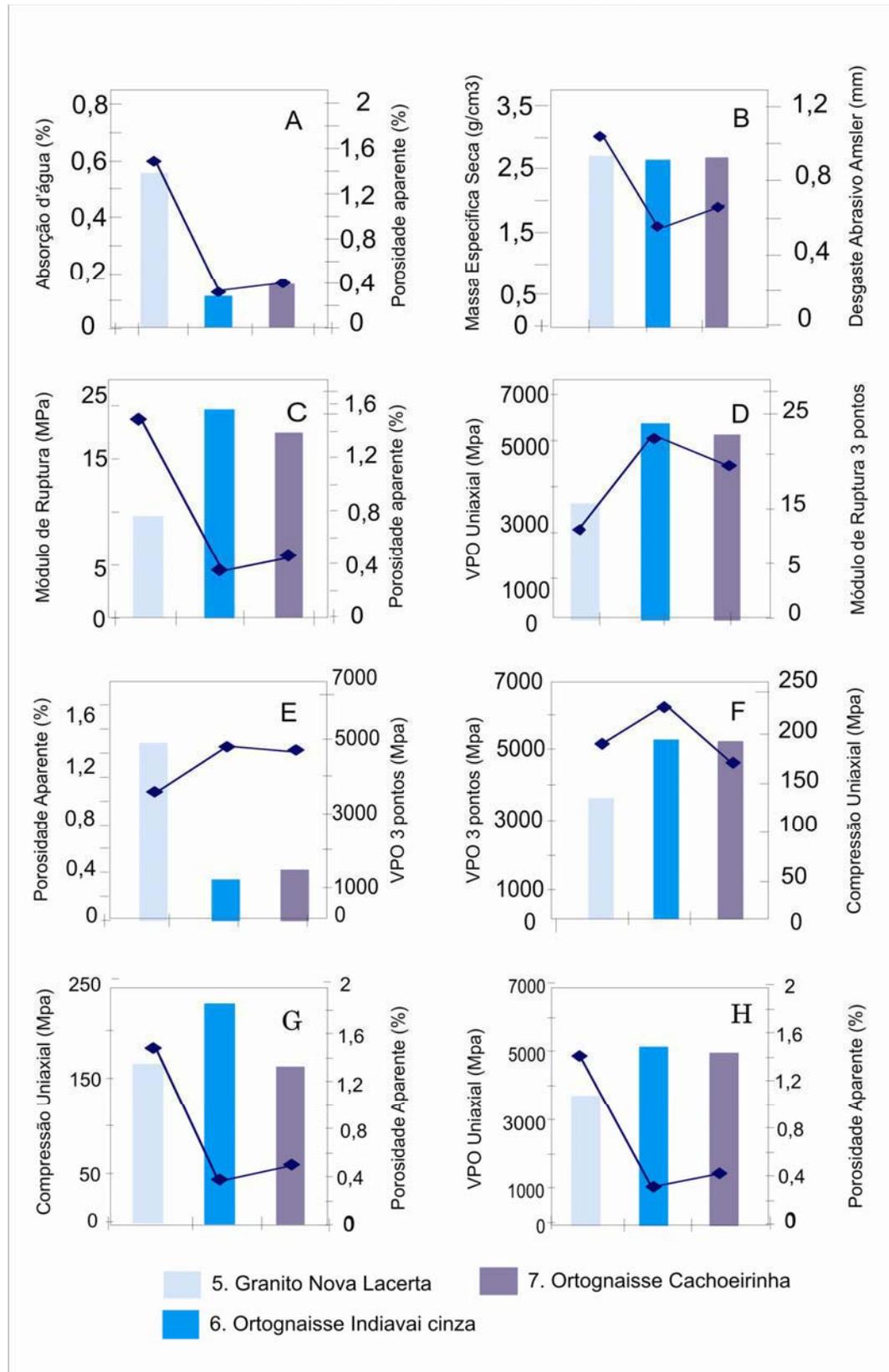


Figura 29. Correlações dos ensaios físico-mecânicos das rochas movimentados cinzas.

A figura 29E mostra a relação entre a porosidade aparente *versus* velocidade de propagação de pulso ultra-sônico 3 pontos, onde se demonstra que meios com mais poros ou

com maior grau de alteração mineralógica (Tabela 3), apresentam valores baixos de propagação de ondas.

Os valores de velocidade de pulso ultra-sônico 3 pontos *versus* compressão uniaxial (Figura 29F) decrescem em função da granulação, da mais fina para a grossa e da relação do menor volume de minerais fémcicos. A correlação entre essas duas propriedades determina que quanto maiores os valores de velocidade de propagação de ondas mais resistente à flexão a rocha se comportará.

Os valores de compressão uniaxial *versus* porosidade aparente (Figura 29G) demonstram a relação inversa entre estes dois índices, quanto menor a porosidade maior serão os valores de resistência, fator controlado pela dimensão granulométrica da matriz da rocha.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônico uniaxial *versus* porosidade aparente (Figura 29H) evidenciam que quanto menos poroso for o material analisado maior será a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas através desse corpo.

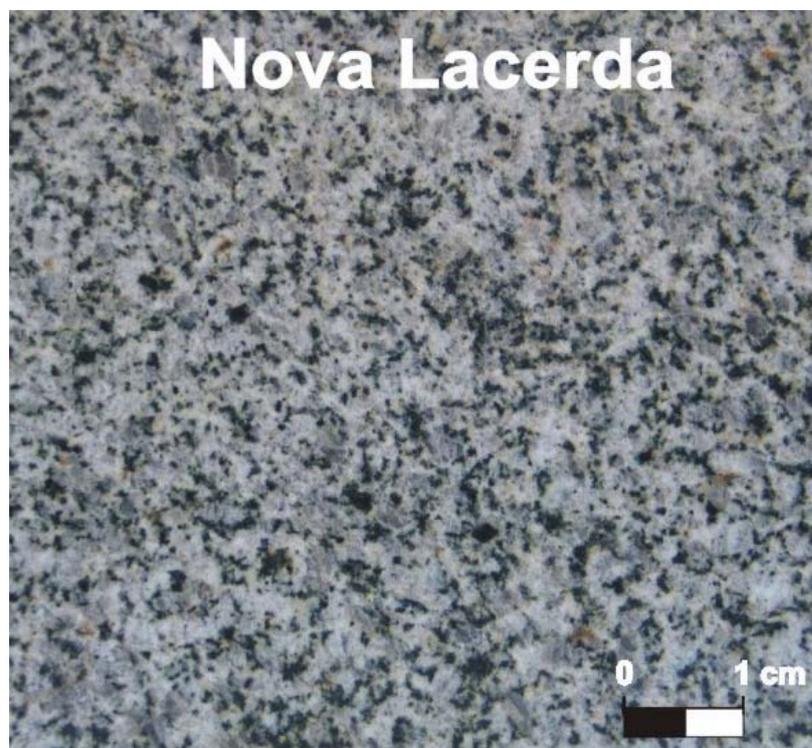


Figura 30. Aspectos de placas polidas do Granito Nova Lacerda



Figura 31. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Indiavaí Cinza.

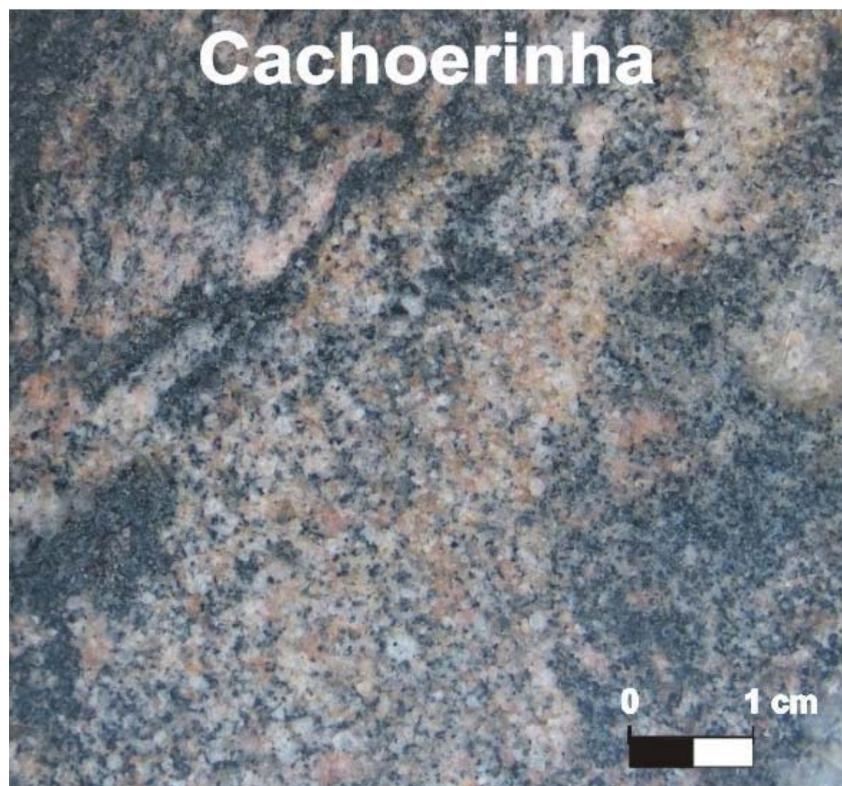


Figura 32. Aspectos de placas polidas do Ortognaisse Cinza Cachoeirinha.

VI.2.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DOS GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS

Os resultados dos ensaios tecnológicos nas variedades dos Granitos e Movimentados Pretos estudadas situam-se dentro dos limites padrões estabelecidos pelas normas vigentes e obedecem satisfatoriamente os valores limites fixados pela norma C615 (ASTM, 1995) quer para ambientes interiores, quer para exteriores.

Os resultados das análises tecnológicas dos *Granitos e Movimentados Pretos* encontram-se relacionadas na Tabela 11 sendo (8) Anfibolito Indiavaí, (9) Anfibolito Canaã, (10) Diabásio Salto do Céu). Como referência para comparação dos dados obtidos em laboratório foi utilizados os valores de rochas graníticas pretas da Tabela 12.

Nas Figuras 33 e 34 encontram-se as representações gráficas dos ensaios tecnológicos e nas Figuras 35, 36 e 37 encontram-se os aspectos estéticos das placas polidas.

Tabela 11. Resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos granitos e movimentados pretos.

	8	9	10
Massa específica saturada (Kg/cm³)	3.118	2.908	2.870
Porosidade aparente (%)	0,27	0,59	0,45
Absorção d'água (%)	0,09	0,19	0,16
Massa específica seca (Kg/cm³)	3.112	2.905	2.850
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)	1,04	0,98	0,61
Modulo Ruptura 3 pto (MPa)	18,55	10,92	10,382
Compressão uniaxial (MPa)	152,94	164,91	125,475
* VPO (m/s) Uniaxial	6707	6090	6305
* VPO (m/s) Três pontos	6305	5855	6707
Dil. Térm. Linear 10⁻³ mm/m.°C	4,9	4,4	4,8

8- Anfibolito Indiavaí, 9- Anfibolito Canaã, 10- Diabásio Salto do Céu.

* Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais.

Os valores de massa específica seca (Figura 33A) e saturada (Figura 33B) são distintos, apresentando o valor mais elevado para o Anfibolito Canaã ao que se deve ao seu maior teor de minerais máficos.

A absorção d'água (Figura 33C) e a porosidade aparente (Figura 33D) apresentam valores maiores para a amostra do Anfibolito Canaã caracterizado por uma foliação gnáissica mais proeminente.

Os valores de compressão uniaxial (Figura 33E) apresentam bons valores e superiores aos sugeridos pela norma C615, que refletem uma melhor coesão exibida pelos minerais e menores microfissuramento e granulação. A amostra do Diabásio Salto do Céu (Suíte Intrusiva Salto do Céu) que apresenta valores menores encontra-se diretamente correlacionada a porcentagem de fenocristais de plagioclásio e os seus tamanhos centimétricos.

Tabela 12. Valores de ensaios tecnológicos de rochas pretas

ENSAIOS	1*	2*	3*	4**	5***	6***
Massa Espec. Aparente. (kg/cm ³)	2.844	3.065	2.770	2.952	2.920	2.931
Porosidade Aparente (%)	0,50	0,54	0,44	0,06	0,16	0,20
Absorção d'água %	0,18	0,18	0,16	0,02	0,05	0,07
Compres. Uniaxial cong/deg.(MPa)	149,5	-	176,1	-	143,6	115,7
Compres. Uniaxial (MPa)	167,1	195,5	178,9	-	128,9	113,3
Flexão 3 Pontos (MPa)	15,75	26,4	25,1	-	25,71	22,43
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)	1,05	0,76	0,85	0,82	1,14	2,02
Impacto Corpo Duro(cm)	88	61	73	-	98	88
Mód. Def. Estática (MPa)	32,96	47,13	42,45	-	73,54	64,20
Dil. Térm. 10 ⁻³ mm/m.°C	6,3	5,4	6,6	-	9,1	9,7
Velocid. Propag. de Ondas (m/s)	5010	6040	5330	-	-	-

1- Preto Piracaia (Hornbl. Biot.- Monzodiorito) 2- Preto Apiá (Gabro); 3- Preto Bragança (Quartzo-Monzonito); 4- Confresa (Olivina Gabro); 5- São Gabriel (Norito); 6- Preto Total (Grabronorito). Fontes: *IPT 2000; **IPT 1993; ***DNPM 1998

Os ensaios de resistência ao módulo de ruptura à flexão (Figura 33F) apresentam resultados dentro dos limites sugeridos pela norma C615 (Tabela 8), com exceção do tipo Anfibolito Indiavaí que apresenta valores mais elevados, em razão de apresentar uma foliação menos proeminente.

Os valores dos ensaios de desgaste abrasivo *Amsler* (Figura 33G) apresentam valores próximos aos esperados, com valores de desgastes próximos ao máximo sugerido por Frazão e Farjallat (1995). Os desgastes relativamente elevados relacionam-se a ausência e/ou baixíssimos teores de quartzo (no máximo entre (<4) de quartzo intersticial. O valor melhor deste parâmetro para o Diabásio Salto do Céu é atribuído a matriz fina desta rocha.

Os valores da velocidade de propagação de pulso ultra-sônicos (Figura 33H) apresentam resultados iguais e acima do valor limítrofe mínimo estabelecido. O menor valor de propagação para o Anfibolito Canaã está diretamente relacionado ao maior grau de anisotropia do material rochoso.

Os resultados obtidos de coeficiente de dilatação térmica linear (Figura 33I) destas

variedades mostram que os valores encontram-se dentro dos limites freqüentemente utilizados como referência.

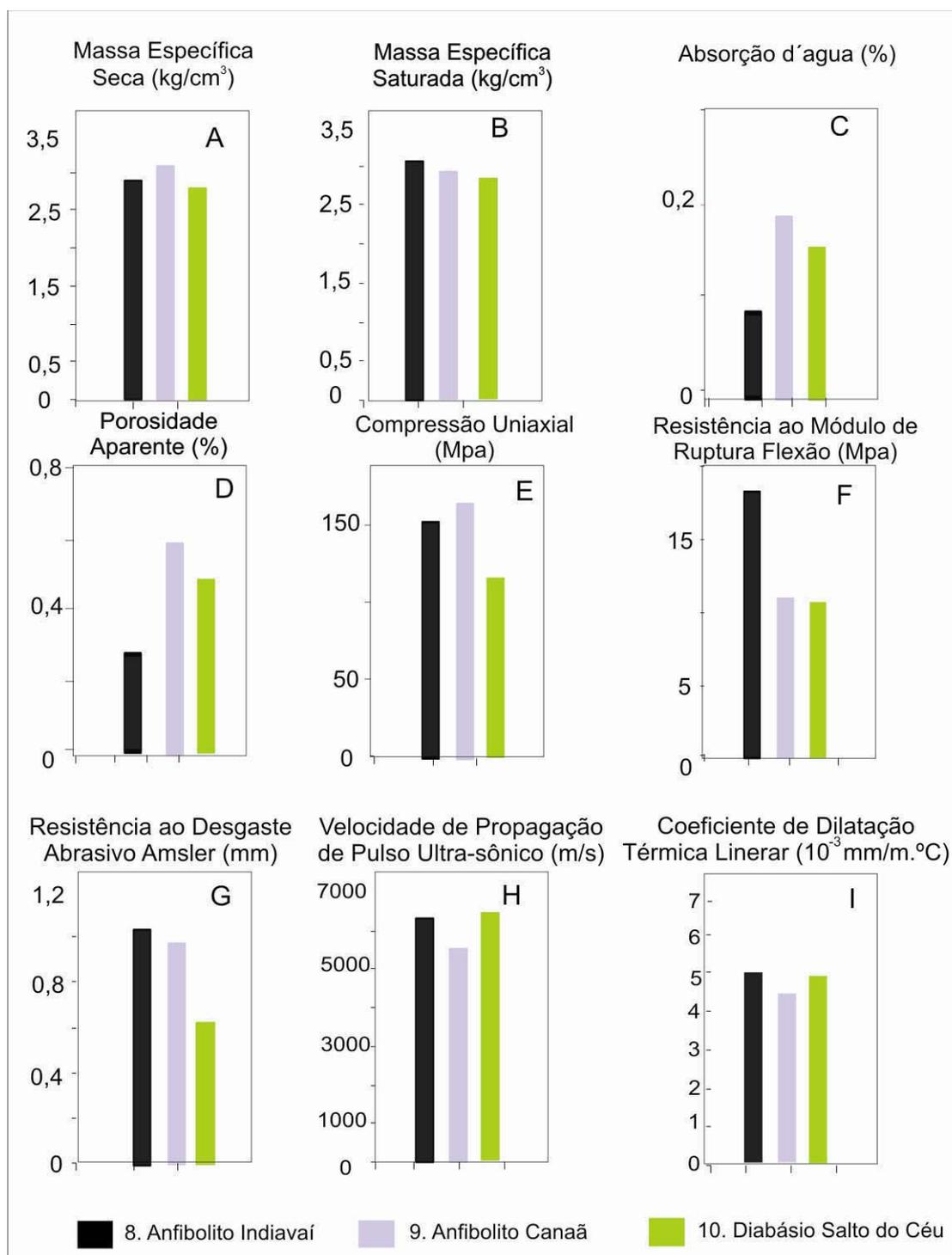


Figura 33. Representação gráfica dos resultados dos ensaios físicos-mecânicos das rochas graníticas e movimentados pretos.

A Figura 34 apresenta correlações dos ensaios entre as propriedades físicas e mecânicas obtidas para os *Granitos e Movimentados Pretos*. A Figura 34A mostra a correlação direta que existe entre as propriedades de absorção d'água *versus* porosidade

aparente, onde temos que, quanto mais poroso maior será a capacidade de absorção d'água.

A correlação da massa específica seca *versus* desgaste abrasivo Amsler (Figura 34B), demonstra que a menor resistência das rochas encontram-se diretamente relacionado à a baixa presença de quartzo (Tabela 3).

Os valores de módulo de ruptura *versus* porosidade aparente (Figura 34C) demonstram a relação inversa evidenciada no tipo escuro, quanto menos porosa for à rocha, maior resistência aos esforços.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônico uniaxial *versus* módulo de ruptura 3 pontos (Figura 34D) evidenciam uma correlação direta apresentando valores melhores nas rochas que apresentam menor granulação e anisotropia, comportando-se, portanto mais coesas e homogêneas.

A Figura 34E mostra a relação entre a porosidade aparente *versus* velocidade de propagação de pulso ultra-sônico 3 pontos, onde se demonstra que o meio com maior anisotropia (mais porosos) apresenta valores mais baixos de propagação de ondas. A exemplo do Anfibolito Indiavaí.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônico 3 pontos *versus* compressão uniaxial (Figura 34F) decrescem em função da porfirítica apresentado pelo Diabásio Salto do Céu. A correlação entre essas duas propriedades determina que quanto maiores os valores de velocidade de propagação de ondas mais resistente à flexão a rocha se comportará.

Os valores de compressão uniaxial *versus* porosidade aparente (Figura 34G) demonstram a relação inversa entre estes dois índices, quanto menor a porosidade maior serão os valores de resistência, fator controlado pela dimensão e granulação da matriz da rocha.

Os valores de velocidade de propagação de pulso ultra-sônico uniaxial *versus* porosidade aparente (Figura 34H) evidenciam que quanto menos poroso for o material analisado maior será a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas através desse corpo.

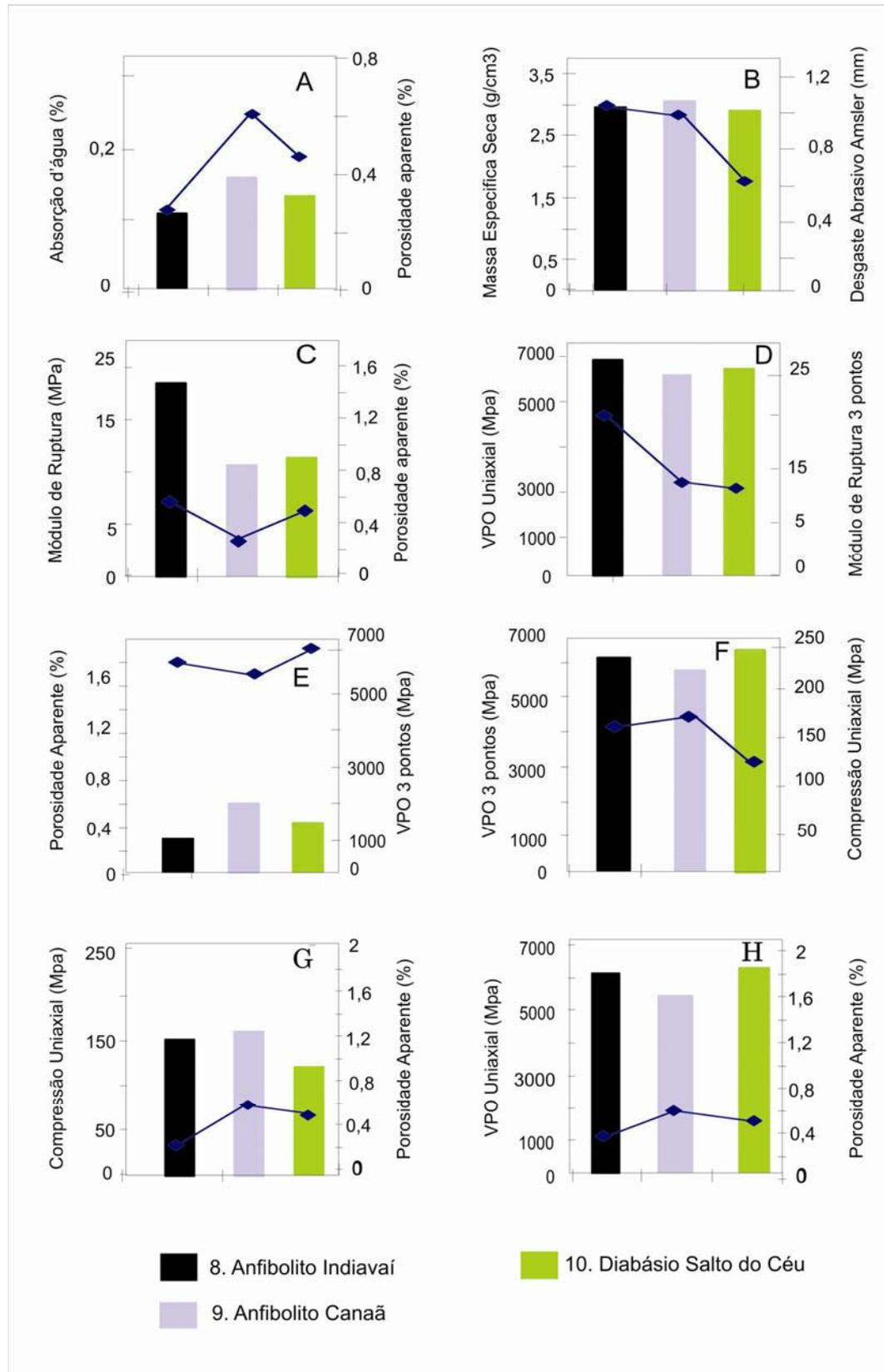


Figura 34. Correlações dos ensaios físico-mecânicos dos granitos e movimentados pretos.



Figura 35. Aspectos de placas polidas do Anfibolito Canaã

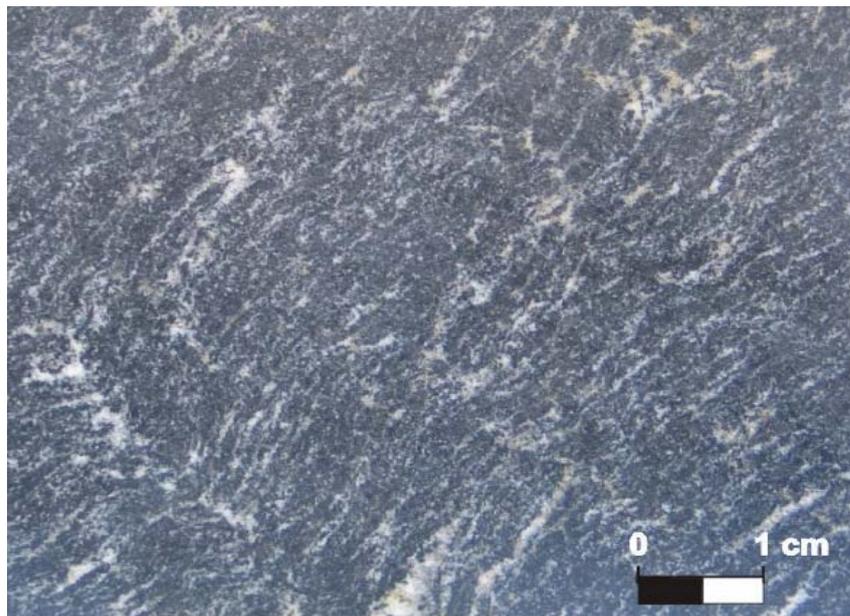


Figura 36. Aspectos de placas polidas do Anfibolito Indiavaí

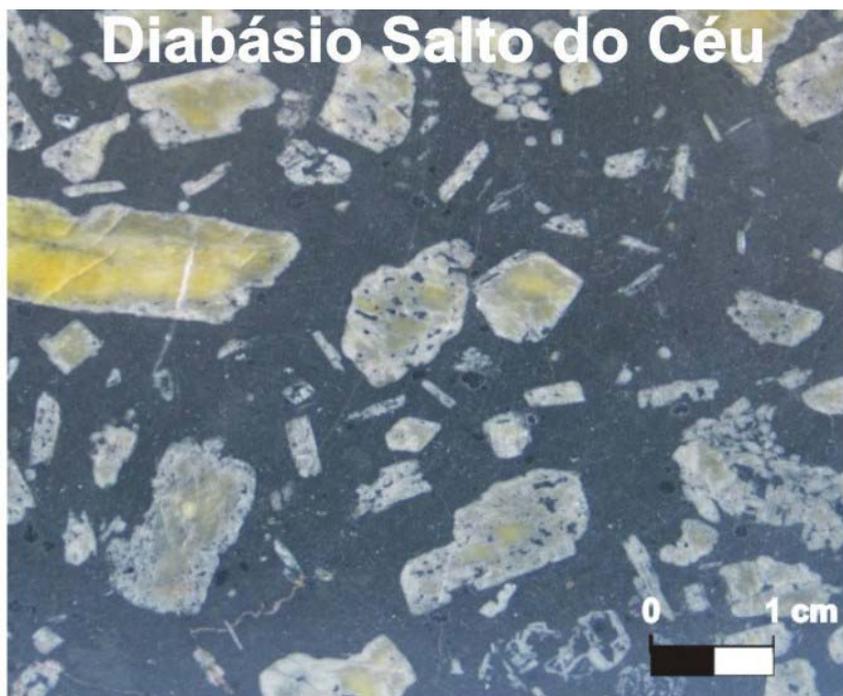


Figura 37. Aspectos de placas polidas do Diabásio Salto do Céu.

VI.2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os valores dos parâmetros tecnológicos foram correlacionados com os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais das respectivas rochas, visando o melhor entendimento do comportamento físico e físico-mecânicos. Os valores totais dos ensaios apresentados na (Figura 39) têm por finalidade possibilitar melhor visualização dos resultados obtidos e de facilitar correlações entre os diferentes parâmetros físico-mecânicos dos conjuntos litológicos estudados. Os valores dos resultados referentes aos ensaios realizados encontram-se reunidos nas Tabelas (9, 10 e 11) e as planilhas com os dados completos dos ensaios físicos-mecânicos encontram-se relacionados nos Anexos.

Os resultados dos ensaios de índices físicos, que englobam massa específica aparente, porosidade e absorção d'água aparente, apresentam para os granitos e movimentados vermelhos valores de massa específica aparente seca (Figura 38A) e saturada (Figura 38B) bastante próximos entre os tipos graníticos. Nota-se um crescimento dos valores de índices físicos das unidades mais silicosas e composicionalmente homogêneas, tipos Sararé e Rio Branco, para aquelas que apresentam mais minerais máficos e densos,

tipos Fortuna e Indiavaí Vermelho.

Para os granitos e movimentados cinza observa-se que o tipo granítico, composicionalmente homogêneo, apresenta valores levemente menores do que as amostras das unidades gnáissicas que são foliadas, mas compensados pela presença de minerais máficos e densos, o que reflete no aumento dos valores para os tipos movimentados cinzas. Em função da mineralogia mais densa para os tipos pretos, observa-se o acréscimo destes parâmetros.

A absorção d'água (Figura 38C) e a porosidade aparente (Figura 38D) dos tipos analisados apresentam valores bastante variáveis, refletindo a forma, contatos dos minerais e a granulação, além da feição estrutural de parte das amostras.

As amostras dos tipos Sararé e Nova Lacerda ultrapassam o valor desejado e estes valores mais elevados refletem o fraco entrelaçamento mineral e a granulação grossa, além da presença de argilo-minerais presentes na amostra, necessitando, portanto cuidados especiais, principalmente ao ataque de líquidos agressivos, que devido à alta absorção potencializa processos de alteração e manchamento, com redução estética da placa.

Valores levemente superiores aos demais, mas dentro dos padrões desejados, para a amostra do Anfibolito Canaã é diretamente vinculada a foliação gnáissica mais proeminente. Os valores ligeiramente mais altos desses parâmetros, principalmente em tipos petrográficos que apresentem maiores porcentagens de minerais máficos podem ocorrer eventualmente, em virtude de pontos dispersos em que a transformação de minerais máficos e mais raramente dos feldspatos pode estar presente.

Os valores obtidos para esses materiais não restringem a aplicação em ambientes úmidos internos ou externos. Ressalta-se apenas a observação da presença ou não de cavidades provenientes de alteração nos tipos, e quando constatada, devem ser impermeabilizadas com produtos adequados, disponíveis no mercado, valorizando o material.

Além destes fatores os subtipos apresentam valores distintos levando em consideração os aspectos texturais (porfíricos) e estruturais e granulação da rocha e, portanto no geral observam-se os tipos porfíricos grosseiros e com maiores porcentagens com valores maiores destes índices.

Os valores de resistência à compressão uniaxial simples (Figura 38E), encontram-se dentro dos parâmetros desejados, sendo que o tipo Indiavaí Cinza apresenta os valores mais acentuados, que refletem uma melhor coesão exibida pelos minerais e menores valores de

microfissuramento e de granulação, enquanto a amostra do Diabásio Salto do Céu apresenta valores menores encontra-se correlacionada a porcentagem e tamanhos dos fenocristais.

Este parâmetro é um índice de qualidade mecânica da rocha, cujos valores obtidos fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, e valores elevados de resistência à compressão implicam, geralmente, em valores baixos de porosidade e altos de resistência à flexão. Os tipos de contatos minerais, textura heterogênea, grosseira e inequigranular e planos de clivagem dos fenocristais de feldspato relativamente altos, são os responsáveis pelo fraco desempenho mecânico de alguns destes materiais.

Os resultados obtidos são muito próximos aos limites propostos, sendo que os tipos cinzas e escuros (pretos) apresentaram o melhor desempenho, devido principalmente à porcentagem e tamanho de minerais micáceos da matriz. Os baixos valores de módulo de ruptura, comuns em rochas porfíricas, são devido principalmente ao caráter inequigranular dessas rochas, havendo influência significativa do microfissuramento e planos de clivagem dos fenocristais de feldspato.

Uma solução tecnológica simples, mas não desejável, é o aumento da espessura das placas. Dependendo do tipo de aplicação, garante a resistência mecânica sem exigir grandes alterações de projeto para o suporte das placas, visto pela massa específica das rochas analisadas. De modo geral todas as rochas analisadas demonstram boa resistência mecânica, o que permite qualificá-los como adequados para uso com funções estruturais.

Os valores de resistência à flexão três pontos (Figura 38F) apresentam resultados dentro do padrão desejado, encontrando-se abaixo do padrão para as amostras dos ortognaisses vermelhos, Granito Nova Lacerda, Anfíbolito Canaã e o Diabásio Salto do Céu.

Estes valores estão diretamente relacionados à intensidade da foliação presente e a heterogeneidade da granulação das amostras, a exemplo da rocha porfírica Diabásio Salto do Céu. Os baixos valores de módulo de ruptura, comuns em rochas porfíricas, são devido principalmente ao caráter inequigranular da rocha e inequigranular dessas rochas e planos de clivagem dos fenocristais de feldspatos.

Soluções para utilização destes materiais como placas em fachada, é o aumento da espessura das placas e/ou uma solução adotada com frequência é a fixação de telas com resinas no *tardoz* das placas para garantir maior resistência mecânica. Em virtude dos baixos valores desse parâmetro recomenda-se a realização de estudos detalhados para a aplicação em fachadas.

Os valores dos ensaios de desgaste abrasivo *Amsler* (Figura 38G) apresentam bons resultados do ponto de vista tecnológico, sendo que para os granitos e movimentados vermelhos os valores de desgastes são próximos ao máximo sugerido. A exceção ocorre no tipo Indivaí Vermelho que acentua um pouco mais o desgaste em razão da presença da marcante foliação e da presença mais acentuada de máficos como biotita e hornblenda.

Os maiores valores para o Granito Nova Lacerda e os anfibolitos (Indivaí e Canaã) refletem diretamente a menor porcentagem de quartzo, e/ou a foliação mais acentuada e, finalmente, a maior presença de minerais máficos.

O valor melhor deste parâmetro para o Diabásio Salto do Céu é atribuído à presença mais acentuada de plagioclásio como fenocristais. Os valores mais elevados são reflexos da granulação da matriz e da porcentagem de mica, do tamanho dos fenocristais e das micros granulações do quartzo presente.

Dessa forma os valores de desgaste não são proibitivos para a aplicação dessas rochas como revestimentos de pisos, cabendo, entretanto, bastante cuidado para a aplicação em pisos de alto tráfego, especialmente em áreas externas, pois sob determinadas condições de trânsito, podem apresentar erosão diferencial devido à diferença de dureza média dos minerais da matriz e dos fenocristais.

Os valores da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas (Figura 38H) apresentam resultados iguais a acima do valor limítrofe mínimo normatizado. Os menores valores de propagação estão diretamente relacionados, ou com a granulação da rocha ou com o grau de anisotropia do material rochoso, o que é visto na redução dos valores para o de granulação mais grossa e pela redução dos valores para os tipos mais anisotrópicos.

Os maiores valores registrados mostram-se coerentes devido ao seu maior índice de massa específica entre todas as amostras e em rochas que apresentem valores de velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas bastante similares, encontram-se também associadas aos índices de porosidade e de absorção, também similares, além de que as maiores velocidades de propagação das ondas são fornecidas, sobretudo pelos materiais com fracas anisotropias e granulações mais finas. O valor mais baixo obtido foi no tipo Nova Lacerda e pode ser atribuído ao grau de alteração mais intenso.

Os resultados obtidos dos valores de coeficiente dilatação térmica (Figura 38I) das variedades mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites freqüentemente utilizados como referência e dessa forma apontam para um bom desempenho dessas rochas como material de revestimento.

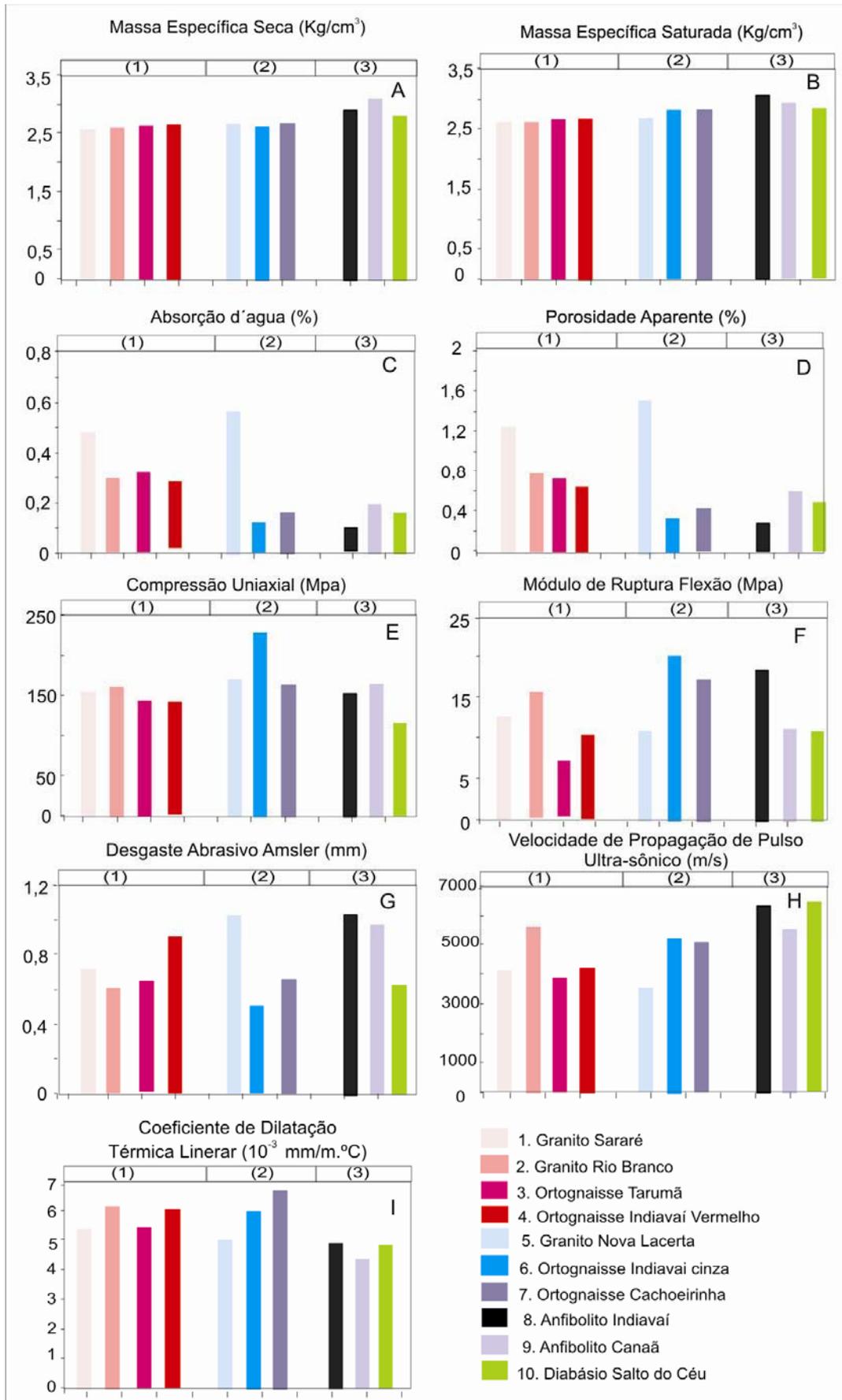


Figura 38. Diagramas de distribuições dos ensaios tecnológicos das rochas.

CAPÍTULO VII

ATAQUE QUÍMICO

VII.1. AVALIAÇÃO VISUAL E INSTRUMENTAL AOS ATAQUES DOS REAGENTES

Os resultados da análise da avaliação visual e instrumental dos Granitos e Movimentados que sofreram ataques dos reagentes, encontram-se apresentados nas tabelas - Granitos e Movimentados Vermelhos: Granito Sararé (Tabela 13 e Prancha 22); Granito Rio Branco (Tabela 14 e Prancha 23); Ortognaisse Fortuna (Tabela 15 e Prancha 24); Ortognaisse Indiavaí Vermelho (Tabela 16 e Prancha 25), Granitos e Movimentados Cinzas: Granito Nova Lacerda (Tabela 17 e Prancha 26); Ortognaisse Indiavaí Cinza (Tabela 18 e Prancha 27); Ortognaisse Cinza Cachoeirinha (Tabela 19 e Prancha 28), e os Granitos e Movimentados Pretos: Anfibolito Indiavaí (Tabela 20 e Prancha 29); Anfibolito Canaã (Tabela 21 e Prancha 30); o Diabásio Salto do Céu (Tabela 22 e Prancha 31).

VII.1.1. GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS

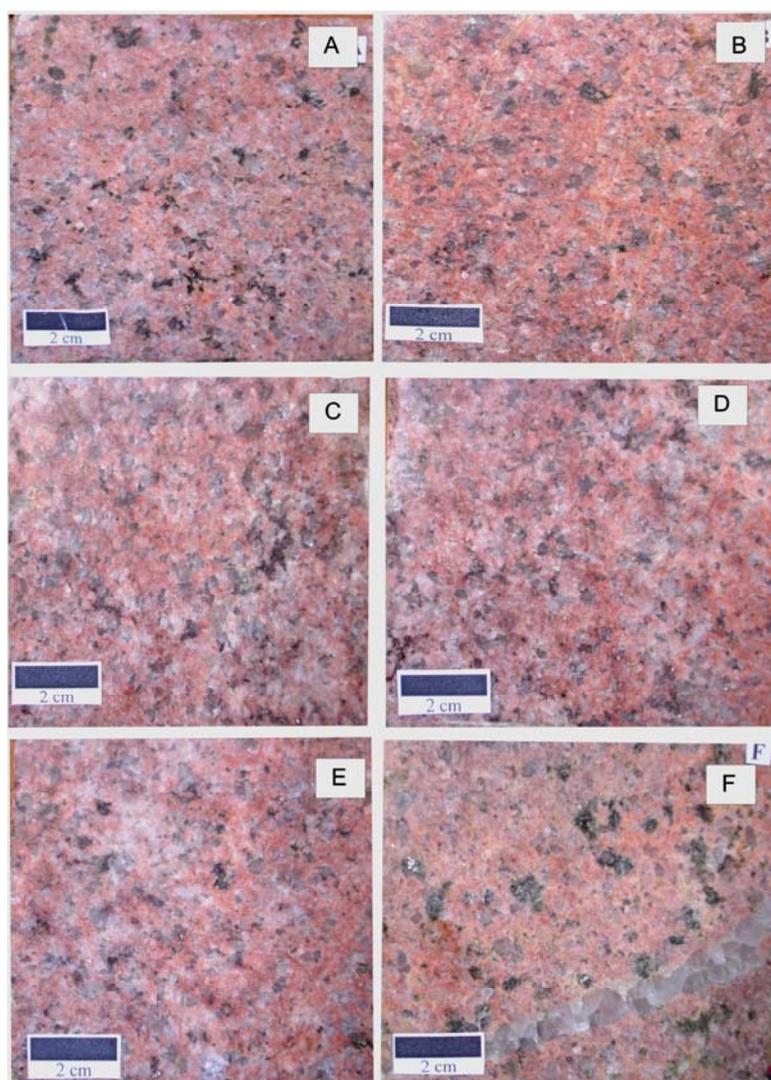
Os ensaios de resistência ao Ataque Químico para os *Granitos e Movimentados Vermelhos* foram executados em placas polidas.

VII.1.1.1. Granito Sararé

Na avaliação visual e instrumental ao ataque dos diferentes tipos de reagentes químicos, o Granito Sararé apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 13) e as alterações visuais (Prancha 22).

Tabela 13. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Granito Sararé.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda de Brilho%
A) Neutra	68,3		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	63,5	57,8	8,98
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	67,0	54,3	18,95
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	60,7	55,2	9,06
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	64,7	52,3	19,16
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)–(20mg/l)	51,0	50,0	1,96



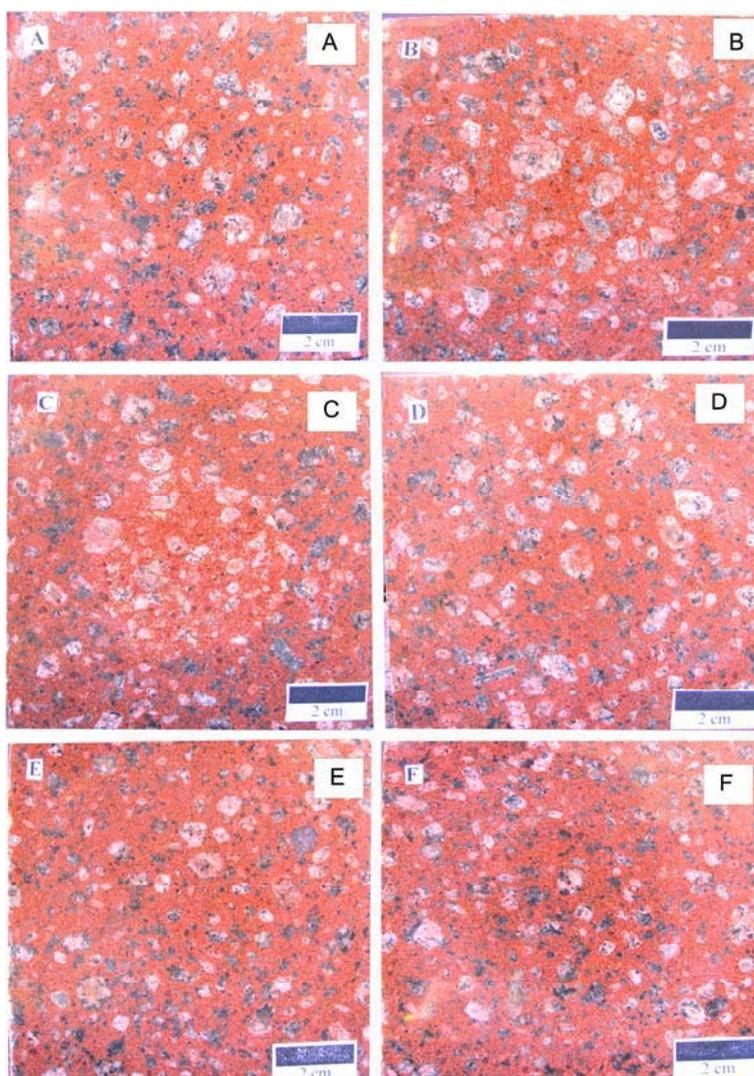
Prancha 22. Granito Sararé (01) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.1.2. Granito Rio Branco

Na avaliação visual e instrumental ao ataque dos diferentes tipos de reagentes químicos, o Granito Rio Branco apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 14) e as alterações visuais (Prancha 23).

Tabela 14. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Granito Rio Branco

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	68,5		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	78,5	57,5	26,75
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	60,5	43,2	28,60
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	55	39,3	28,55
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	65,5	55,3	15,57
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)–(20mg/l)	70,5	65,3	7,38



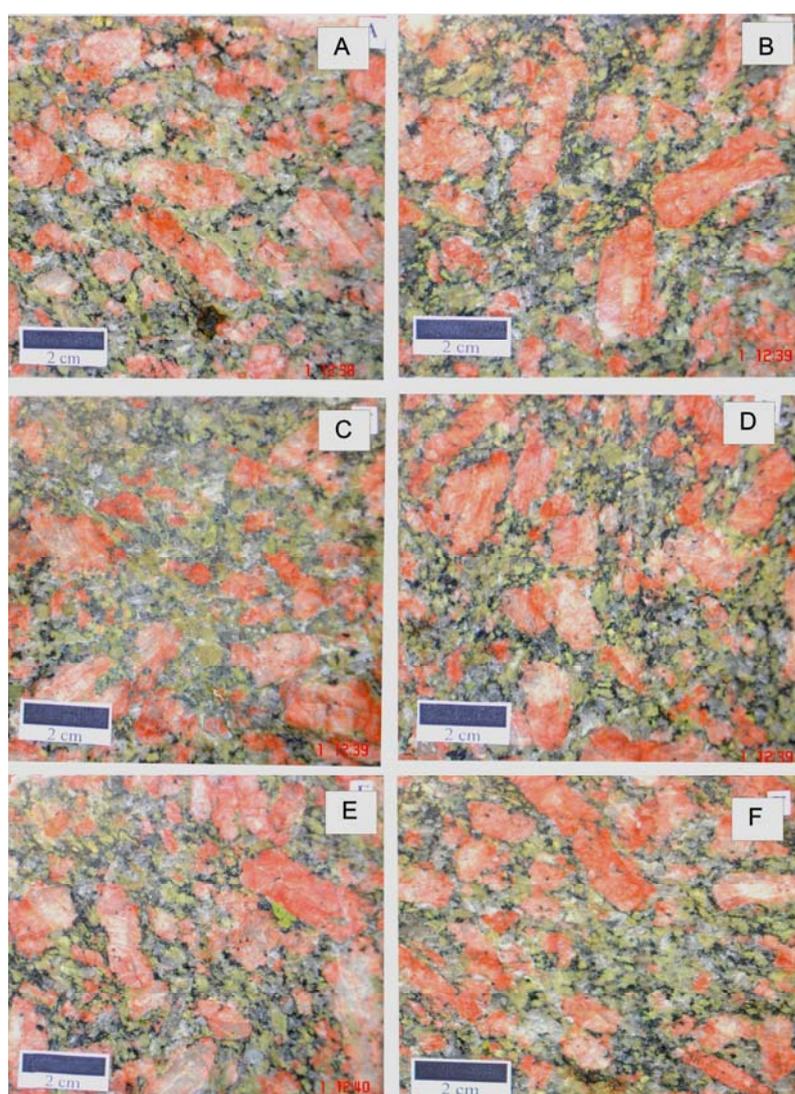
Prancha 23. Granito Rio Branco (02) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.1.3. Ortognaisse Fortuna

Na avaliação visual e instrumental ao Ataque dos diferentes tipos reagentes químicos, o Ortognaisse Fortuna apresentou as seguintes perda de brilho (Tabela 15) e as alterações visuais (Prancha 24).

Tabela 15. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Fortuna

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	76,5		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	75,2	63,2	15,96
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	71,5	49,5	30,77
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	70,7	62,8	11,18
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	69,3	55,7	19,62
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)–(20mg/l)	68,7	55,8	18,78



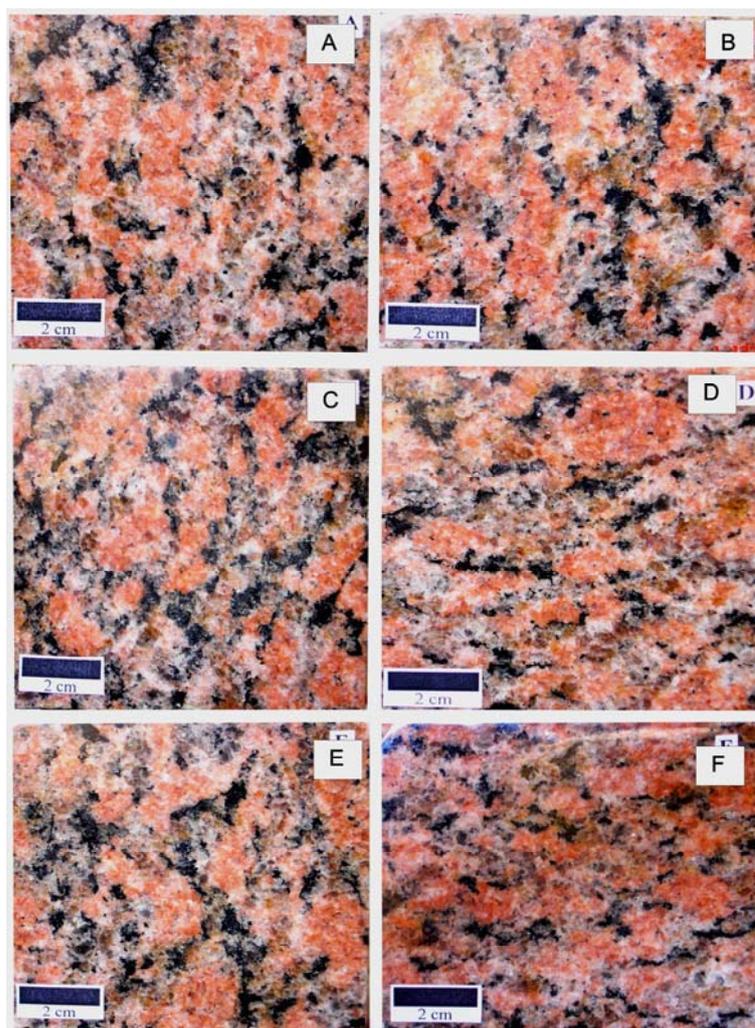
Prancha 24. Ortognaisse Fortuna (03) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.1.4. Ortognaisse Indiavaí Vermelho

Na avaliação visual e instrumental ao Ataque dos diferentes tipos reagentes químicos, o Ortognaisse Indiavaí Vermelho apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 16) e as alterações visuais (Prancha 25).

Tabela 16. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Indiavaí Vermelho.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	76,8		
B) Acido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	73,7	66,2	10,18
C) Acido Clorídrico (HCl) – (3 %)	72	58,8	18,33
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	73,8	71,8	2,71
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	71	54,7	22,96
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)-(20mg/l)	64	51,8	19,06



Prancha 25. Ortognaisse Indiavaí Vermelho (04) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.2. GRANITOS E MOVIMENTADOS CINZAS

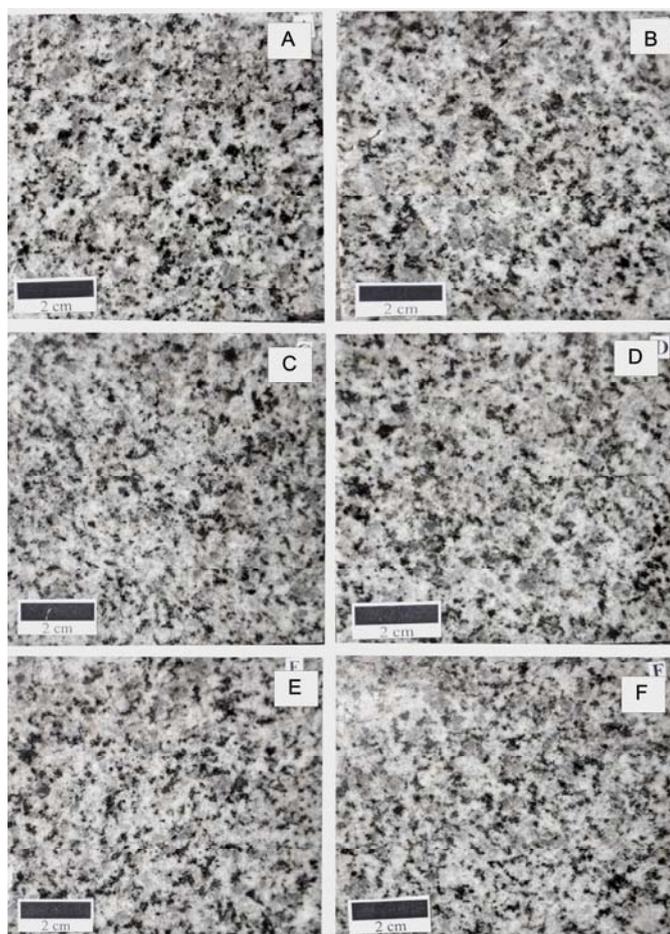
Os ensaios de resistência ao Ataque Químico para os *Granitos e Movimentados Cinzas* foram executados em placas polidas.

VII.1.2.1. Granito Nova Lacerda

Na avaliação visual e instrumental ao ataque químicos, o Granito Nova Lacerda apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 17) e as alterações visuais (Prancha 25).

Tabela 17. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Granito Nova Lacerda.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	66,7		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	58,2	54,3	6,70
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	57,7	45,2	21,66
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	51,5	48,2	6,40
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	45,8	40,2	12,23
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)-(20mg/l)	39,2	38,5	1,78



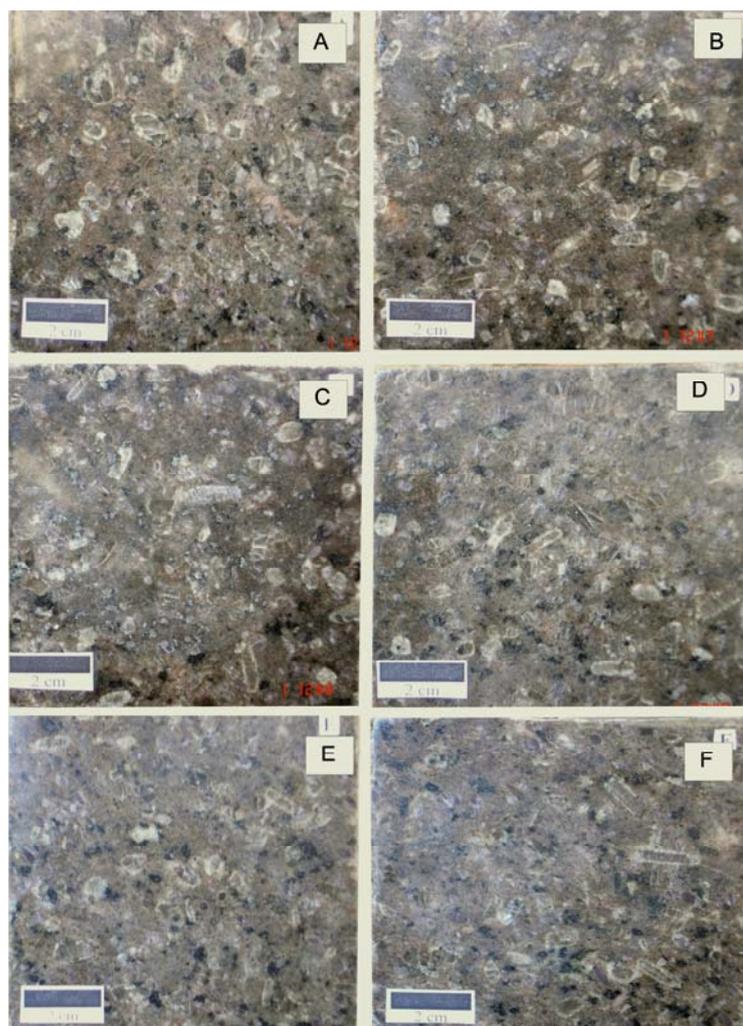
Prancha 26. Granito Nova Lacerda (05) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.2.2. Ortognaisse Indiavaí Cinza

Na avaliação visual e instrumental ao Ataque dos diferentes tipos reagentes químicos, o Ortognaisse Indiavaí Cinza apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 18) e as alterações visuais (Prancha 27). No geral esta rocha mostrou grande resistência aos agentes agressivos.

Tabela 18. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Indiavaí Cinza.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	76,6		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	75,0	72,0	4,00
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	77,2	73,0	5,44
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	68,4	68,0	0,58
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	70,5	63,8	9,50
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)–(20mg/l)	66,0	61,5	6,82



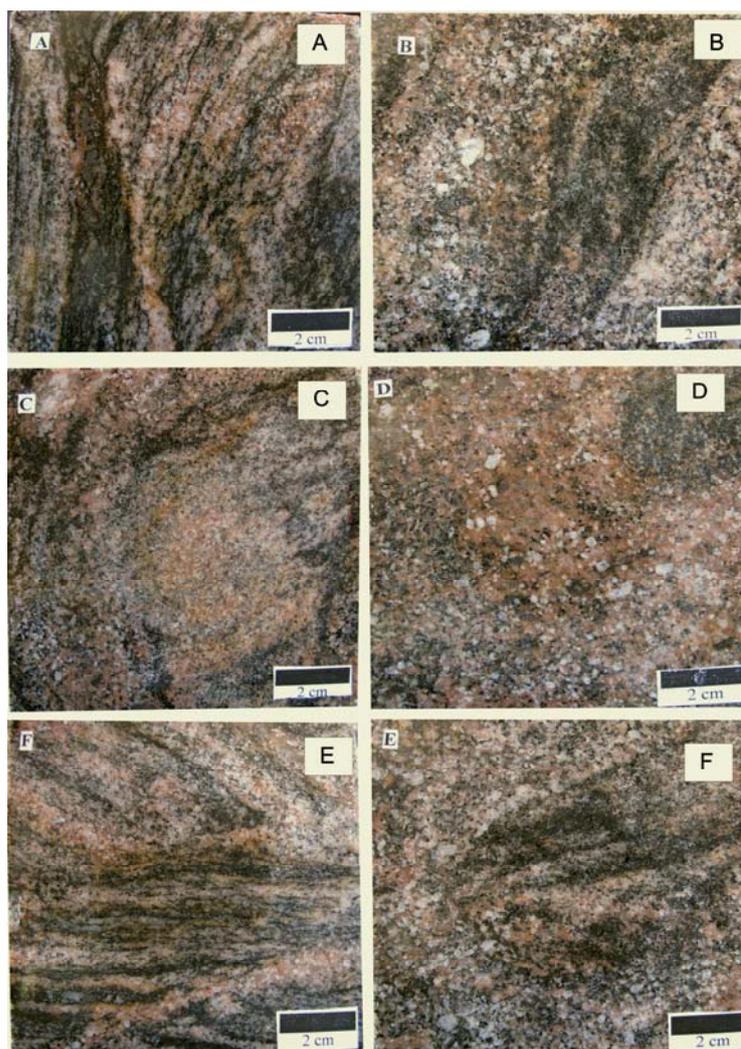
Prancha 27. Ortognaisse Indiavaí Cinza (06) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.2.3. Ortognaisse Cinza Cachoeirinha

Na avaliação visual e instrumental ao ataque dos diferentes tipos reagentes químicos, o Ortognaisse Cinza Cachoeirinha apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 19) e as alterações visuais (Prancha 28).

Tabela 19. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Ortognaisse Cinza Cachoeirinha.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	57,6		
B) Acido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	52,5	38,5	26,66
C) Acido Clorídrico (HCl) – (3 %)	47,5	37,8	20,42
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	51,8	49,5	4,44
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	47,1	28,8	38,85
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)–(20mg/l)	49,8	36,7	26,30



Prancha 28. Ortognaisse Cinza Cachoeirinha (07) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.3. GRANITOS E MOVIMENTADOS PRETOS

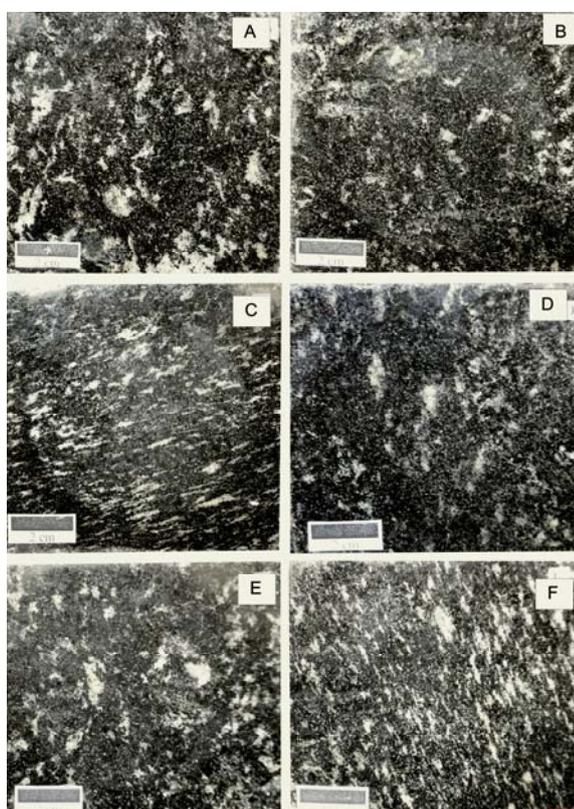
Os ensaios de resistência ao Ataque Químico para os *Granitos e Movimentados Pretos* foram executados em placas polidas.

VII.1.3.1. Anfibolito Indiavaí

Na avaliação visual e instrumental ao ataque químicos, o Anfibolito Indiavaí apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 20) e as alterações visuais (Prancha 29).

Tabela 20. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Anfibolito Indiavaí.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	86,4		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	78,5	68,2	13,12
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	79,0	50,2	36,45
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	72,3	62,8	13,14
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	67,5	57,5	14,81
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)-(20mg/l)	67,0	62,7	6,42



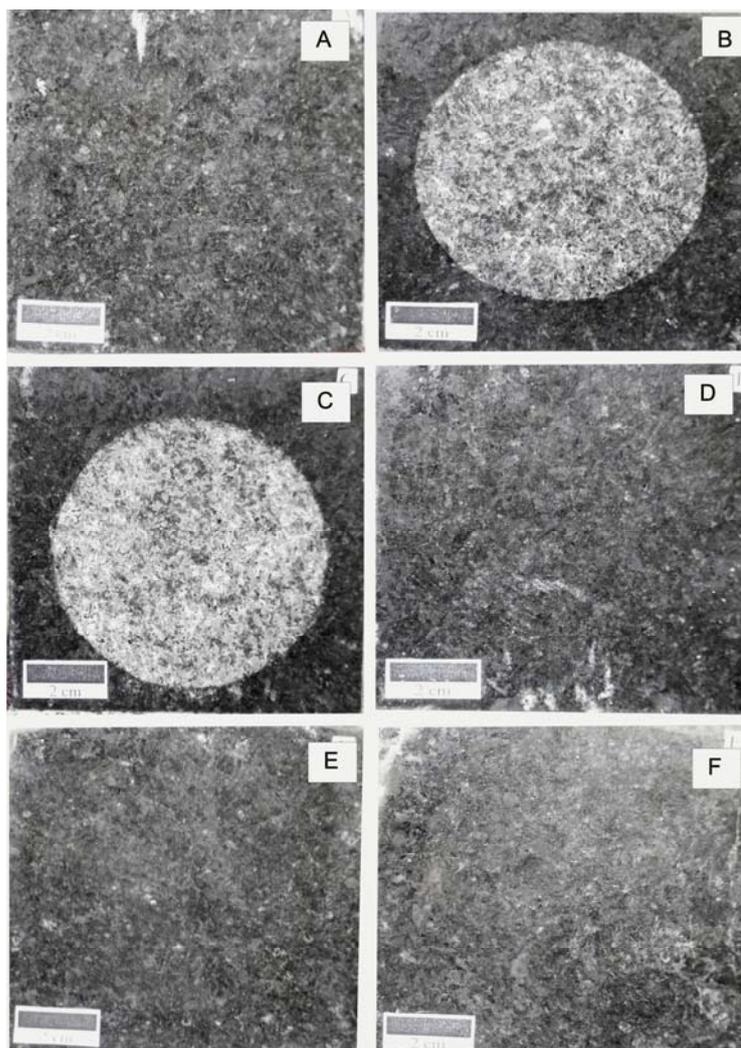
Prancha 29. Anfibolito Indiavaí (08) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.3.2. Anfibolito Canaã

Na avaliação visual e instrumental ao ataque dos diferentes tipos reagentes químicos, o Anfibolito Canaã apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 21) e as alterações visuais (Prancha 30).

Tabela 21. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Anfibolito Canaã.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	78,9		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	72,0	44,0	38,89
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	62,0	42,6	31,29
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	70,0	68,5	2,14
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	66,2	52,8	20,24
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)–(20mg/l)	57,0	51,8	9,12



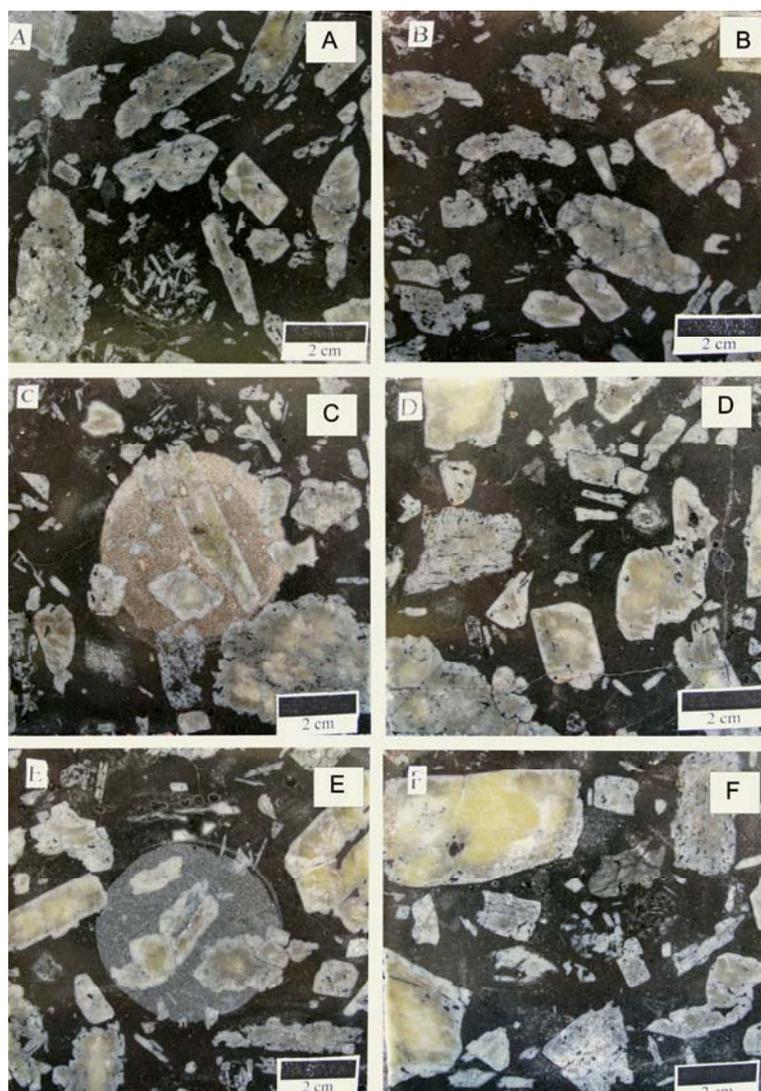
Prancha 30. Anfibolito Canaã (09) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.1.3.3. Diabásio Salto do Céu

Na avaliação visual e instrumental ao ataque dos diferentes tipos reagentes químicos, o Diabásio Salto do Céu apresentou as seguintes perdas de brilho (Tabela 22) e as alterações visuais (Prancha 31).

Tabela 22. Resultado das medidas de brilho efetuado no ensaio de resistência ao ataque químico antes e após a ação das substâncias químicas utilizadas no Diabásio Salto do Céu.

Substância Química	Brilho Inicial	Brilho Final	Perda Brilho%
A) Neutra	72,8		
B) Ácido Cítrico ($C_6H_8O_7$) – (100 g/l)	73,5	52,2	28,98
C) Ácido Clorídrico (HCl) – (3 %)	73	51,3	29,73
D) Cloreto de Amônia (NH_4Cl) – (100 g/l)	64,5	51,6	20,00
E) Hidróxido de Potássio (KOH)–(30 g/l)	68,2	47,8	33,50
F) Hipoclorito de Sódio ($NaClO$)-(20mg/l)	76,3	66,8	12,45



Prancha 31. Diabásio Salto do Céu (10) amostra neutra (A); ácido cítrico (B), ácido clorídrico (C), cloreto de amônia (D), hidróxido de potássio (E), hipoclorito de sódio (F).

VII.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ATAQUE QUÍMICO

A avaliação das classes de resistência ao ataque químico (Tabelas 23, 25 e 27) e o resumo das principais alterações (Tabelas 24, 26 e 28) observadas nas placas rochosas que sofreram ataque químico será dada da seguinte forma: Baseando-se em trabalhos de Meyer (2003) e Arrais (2006) que indica classes de resistência ao ataque químico de acordo com o comportamento dos materiais analisados, levando-se em conta a perda de brilho, corrosão e as alterações cromáticas observadas, adota-se a classificação de acordo com o (Quadro 7).

Quadro 7. Classes de resistência ao ataque químico (ARRAIS, 2006).

Conjunto de Alterações Observadas (patologias)	Valores Atribuídos	Perda brilho%	Resistência	Classe de resistência química	Grau de Recuperação das placas (patologias)
Perda de Brilho (PB)	0	<10%	alta	A	I -Secagem -polimento
Eflorescência + PB	0	≤30%	alta a moderada	B	
Desbotamento + PB	1	≤50%	moderada a baixa	C	II -Poulticing -lixar
Desbotamento+eflorescência+PB	2	≤50%	Baixa	C*	
Eflorescência + covas + PB	3	>50%	baixa sem corrosão	D	III Substituição
Desbotamento + covas + PB	4	>50%	baixa e forte corrosão	S*	

Foi detectado nas análises das placas que sofreram ataque químico 3 (três) conjuntos de alterações: perda de brilho, eflorescência e desbotamento, a cada uma destas alterações foi atribuído valores de 0 (zero) a 4 (quatro) em ordem crescente de patologias, em seguida agrupou-se o fator perda de brilho em: <10% até >50%, com isto se determinou a resistência do material atacado, por fim, definimos o grau de recuperação das placas atacadas no ataque químico, em algarismos romanos de I a III (HUESTON, 1999).

Os elevados índices na perda de brilho de um modo geral estão relacionados com a qualidade do polimento inicial do material que foi realizado manualmente deve-se a fatores petrográficos inerentes às amostras analisadas, tais como: composição mineralógica, cor, grau de alterações minerais, texturas (granulação, relações de contatos minerais e estruturas).

Considerando-se a diversidade composicional das rochas, de natureza granítica a básica, certamente a perda de brilho é menos expressiva nas composições mais enriquecidas em quartzo. Quanto à isotrópica e anisotrópica das rochas os resultados também expressam

valores bem distintos, sendo maior a alteração nas rochas fortemente anisotrópica em razão da facilidade de percolação e a ação danosa das substâncias sobre os diversos minerais formadores das rochas.

Analisando o conjunto de dados, observa-se que todas as soluções usadas no ataque a estas rochas, afetaram em maior ou menor grau o polimento das mesmas. Todavia, as substâncias que demonstraram maiores agressividades foram o ácido clorídrico e o ácido cítrico.

Quando comparados os efeitos do ácido clorídrico com os do ácido cítrico é possível afirmar que o poder corrosivo do ácido clorídrico é bem maior, indicando cuidados quanto da utilização de produtos que possuam esse ácido.

A seguir apresentaremos as principais alterações observadas nas placas dos *Granitos e Movimentados Vermelhos* que sofreram ataque químico. Nestas Tabelas são apresentadas as avaliações visuais das respostas dos materiais aos ataques dos reagentes causados pela ação das substâncias químicas utilizadas neste ensaio de envelhecimento acelerado sobre as rochas:

Tabela 23. Resumo das principais alterações observadas nas placas dos granitos e movimentados vermelhos.

SUBSTÂNCIA QUÍMICA AGRESSIVA		GRANITO SARARÉ	GRANITO RIO BRANCO	ORTOGNAIS SE FORTUNA	ORTOGNAISSE INDIAVAÍ VERMELHO
Ácido Cítrico	$C_6H_8O_7$	perda de brilho e fluorescência	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho	perda de brilho
Ácido Clorídrico	HCl	perda de brilho e fluorescência	perda de brilho, desbotamento e fluorescência	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e fluorescência
Cloreto de Amônia	NH_4Cl	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho	perda de brilho
Hidróxido de Potássio	KOH	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento
Hipoclorito de Sódio	NaClO	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho	perda de brilho e desbotamento

Nas análises das placas que sofreram ataque químico foram observados 3 (três) tipos de alterações visuais: perda de brilho, fluorescência e desbotamento. Neste conjunto de rochas graníticas, elas exibem um elevado percentual em minerais de quartzo e feldspatos e tendem a serem normalmente mais resistentes às substâncias agressivas.

Os valores obtidos encontram-se dentro dos parâmetros sugeridos por Arrais (2006). Para as variações da perda de brilho (todas as placas analisadas tiveram perda),

necessitando cuidados na limpeza com líquidos agressivos para uma maior manutenção dessas rochas.

Dentre as rochas atacadas com o *Ácido Cítrico*, o Granito Sararé apresentou uma sutil eflorescência nas fraturas e o Granito Rio Branco apresentou um sutil desbotamento, originando um aspecto levemente áspero em sua superfície ao raspar de unha (tato) e visualizada com auxílio de lupa binocular.

Dentre as rochas atacadas com o *Ácido Clorídrico*, observa-se desbotamento nos Granitos Rio Branco e no Ortognaisse Fortuna apresentou um sutil desbotamento, ocorreu eflorescência no Granito Sararé e Ortognaisse Indiauí Vermelho.

Os materiais atacados com o *Cloreto de Amônia* foi o menos agressivo dos reagentes e visualmente não ocorreram mudanças significativas nas rochas analisadas, sua maior agressividade foi um sutil desbotamento nos granitos Sararé e Rio Branco.

Tabela 24. Avaliação (classe de resistência) da resposta dos materiais ensaiados, aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre os granitos e movimentados vermelhos.

Rochas	Valor	Reagentes				
		C ₆ H ₈ O ₇	HCl	NH ₄ Cl	KOH	NaClO
GRANITO SARARÉ	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
GRANITO RIO BRANCO	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
ORTOGNAISSE FORTUNA	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
ORTOGNAISSE INDIVAÍ VERMELHO	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					

As placas atacadas com o *Hidróxido de Potássio* tiveram um comportamento semelhante ao atacado com o Cloreto de Amônia, não demonstraram mudanças visíveis, observações feitas com auxílio de lupa binocular, notou-se um sutil desbotamento. As rochas atacadas com o *Hipoclorito de Sódio* apresentaram apenas um sutil desbotamento, com exceção do Ortognaisse Fortuna.

A seguir apresentaremos as principais alterações observadas nas placas dos *Granitos e Movimentados Cinzas* que sofreram ataque químico. Nestas Tabelas são apresentadas as avaliações visuais das respostas dos materiais aos ataques dos reagentes causados pela ação das substâncias químicas utilizadas neste ensaio de envelhecimento acelerado sobre as rochas:

Nas análises das placas que sofreram ataque químico foram observados 3 (três) tipos de alterações visuais: perda de brilho, eflorescência e desbotamento. Os valores obtidos encontram-se dentro da referência adotada.

Para as variações da perda de brilho (todas as placas analisadas tiveram perda), necessitando cuidados na limpeza com líquidos agressivos para uma maior manutenção e durabilidade dessas rochas.

Tabela 25. Resumo das principais alterações observadas nas placas dos granitos e movimentados cinzas.

SUBSTÂNCIA QUÍMICA AGRESSIVA		GRANITO NOVA LACERDA	ORTOGNAISSE INDIAVAÍ CINZA	ORTOGNAISSE CINZA CACHOEIRINHA
Ácido Cítrico	$C_6H_8O_7$	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento
Ácido Clorídrico	HCl	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho, desbotamento e eflorescência	perda de brilho e desbotamento eflorescência
Cloreto de Amônia	NH_4Cl	perda de brilho e eflorescência	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento
Hidróxido de Potássio	KOH	perda de brilho	perda de brilho	perda de brilho
Hipoclorito de Sódio	NaClO	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho

As rochas atacadas com o *Ácido Cítrico* o Granito Nova Lacerda apresentou um sutil desbotamento, originando um aspecto levemente áspero em sua superfície, notado somente ao raspar de unha (tato) ou visualizada com auxílio de lupa binocular.

As rochas atacadas com o *Ácido Clorídrico* apresentaram sutil desbotamento nas três rochas estudadas deste grupo e uma sutil eflorescência nos Ortognaisse Indiauí cinza e Cinza Cachoeirinha.

O *Cloreto de Amônia* foi o menos agressivo dos reagentes e visualmente não ocorreram mudanças significativas nas rochas analisadas, sua maior agressividade foi um sutil desbotamento nos ortognaises Indiavaí Cinza e no Cinza Cachoeirinha e uma insipiente eflorescência no Granito Nova Lacerda.

As placas atacadas com o *Hidróxido de Potássio* tiveram um comportamento semelhante ao atacado com o Cloreto de Amônia, não demonstrou mudanças visíveis, somente perda de brilho.

As rochas atacadas com o *Hipoclorito de Sódio* apresentaram apenas um sutil desbotamento, no Granito Nova Lacerda e Ortognaise Indiavaí Cinza.

Tabela 26. Avaliação (classe de resistência) da resposta dos materiais ensaiados, aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre os granitos e movimentados cinzas.

Rochas	Valor	Reagentes				
		$C_6H_8O_7$	HCl	NH_4Cl	KOH	NaClO
GRANITO NOVA LACERDA	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
ORTOGNAISSE INDIAVAÍ CINZA	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
ORTOGNAISSE CINZA CACHOEIRINHA	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					

A seguir apresentaremos as principais alterações observadas nas placas dos *Granitos e Movimentados Pretos* que sofreram ataque químico. Nestas Tabelas são apresentadas as avaliações visuais das respostas dos materiais aos ataques dos reagentes causados pela ação das substâncias químicas utilizadas neste ensaio de envelhecimento acelerado sobre as rochas:

Tabela 27. Resumo das principais alterações observadas nas placas dos granitos e movimentados pretos.

SUSBTÂNCIA QUÍMICA AGRESSIVA		ANFIBOLITO INDIAVAÍ	ANFIBOLITO CANAÃ	DIABÁSIO SALTO DO CÉU
Ácido Cítrico	$C_6H_8O_7$	perda de brilho, desbotamento e eflorescência	perda de brilho, desbotamento e eflorescência	perda de brilho, desbotamento e eflorescência
Ácido Clorídrico	HCl	perda de brilho, desbotamento e eflorescência	perda de brilho, desbotamento e eflorescência	perda de brilho desbotamento e eflorescência
Cloreto de Amônia	NH_4Cl	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento
Hidróxido de Potássio	KOH	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho, desbotamento e eflorescência
Hipoclorito de Sódio	NaClO	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento	perda de brilho e desbotamento

Nas análises das placas que sofreram ataque químico foram observadas 3 (três) tipos de alterações visuais: perda de brilho, eflorescência e desbotamento. Os valores obtidos encontram-se dentro da referência adotada.

Para as variações da perda de brilho (todas as placas analisadas tiveram perda), mostram a necessidade de planejamento e elaboração de orientações adequadas para a limpeza e a manutenção.

As rochas atacadas com o *Ácido Cítrico* apresentaram desbotamento muito acentuado no Anfibolito Canaã, originando um aspecto áspero em sua superfície e eflorescência nos minerais máficos e nas fraturas, alterando a estética da rocha, no Anfibolito Indiauí e Diabásio Salto do Céu apresentaram um sutil desbotamento e eflorescência nos minerais máficos.

As rochas atacadas com o *Ácido Clorídrico* o Anfibolito Indiauí apresentou uma discreta alteração visual (desbotamento) não alterando a estética da rocha. No Anfibolito Canaã e Diabásio Salto do Céu o desbotamento foi muito acentuado e observa-se uma sutil eflorescência nos minerais máficos. Esses fatores afetaram a estética da rocha.

As rochas atacadas com o *Cloreto de Amônia* foi o menos agressivo dos reagentes e visualmente não ocorreram mudanças significativas nas rochas analisadas, apresentando apenas um discreto desbotamento.

As placas atacadas com o *Hidróxido de Potássio* tiveram um comportamento semelhante ao atacado com o Cloreto de Amônia, não demonstraram mudanças visíveis nos

Anfibolitos Indiauí e Canãa, já no Diabásio Salto do Céu apresentaram alterações evidentes com desbotamento e uma discreta eflorescência nos minerais máficos, esses fatores afetaram a estética da rocha.

As rochas atacadas com o *Hipoclorito de Sódio* apresentaram apenas um discreto desbotamento, nos Anfibolito Indiauí, Canãa e Diabásio Salto do Céu.

Tabela 28. Avaliação (classe de resistência) da resposta dos materiais ensaiados, aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre os granitos e movimentados pretos.

Rochas	Valor	Reagentes				
		$C_6H_8O_7$	HCl	NH_4Cl	KOH	NaClO
ANFIBOLITO INDIAVAÍ	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
ANFIBOLITO CANAÃ	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					
DIABÁSIO SALTO DO CÉU	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe C*					
	Classe D					
	Classe S*					

CAPÍTULO VIII

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As amostras estudadas incluem “granitos” (granitos e diabásio) e “movimentados” (gnaisse e anfibolitos), vermelhos, cinzas e pretos oriundos de regiões distintas do sudoeste do Estado de Mato Grosso as quais apresentam aspectos composicionais, texturais e estéticos favoráveis à utilização como rochas ornamentais e para revestimento.

As rochas analisadas apresentam uma ampla variação de litotipos, representando diferentes padrões estéticos, que podem ser agrupados em associações com volume suficiente para a extração de blocos.

Quanto aos aspectos mineralógicos das variedades graníticas, estas representam rochas com baixa/moderada absorção d’água e porosidade, com boas resistências mecânicas (compressão uniaxial e flexões 3 pontos).

Com relação à resistência ao desgaste abrasivo, as rochas graníticas apresentam valores altos de resistências, fato este atribuído à maior ou menor % em quartzo e também textura média/grossa, o que permite a aplicação dessas rochas em ambientes de alto tráfego.

A presença de minerais alteráveis (a ex. hornblenda) em condições ambientais naturais ou quimicamente sensíveis a produtos industriais de limpeza poderá afetar as

características estéticas iniciais das pedras, bem como poderão reduzir sua vida útil como revestimento e propiciar maior capacidade de absorção d'água, com a consequente diminuição da resistência mecânica da rocha.

Apresentam feições texturais que os distinguem entre si, e são caracterizados por feições inequi-granulares porfiríticas, definida por variações em razão do tamanho de matriz, tamanho de fenocristais e porcentagem destes, além da distinção por variações nos teores entre microclínio, quartzo e plagioclásios (albita e oligoclásio), minerais acessórios (biotita, hornblenda, apatita, opacos, titanita, allanita e fluorita) e minerais secundários (sericita, muscovita, clorita, epidoto, carbonatos e argilo-minerais, além da presença de óxidos e hidróxidos de ferro).

Quanto aos aspectos texturais das variedades graníticas a granulação predominantemente porfirítica, provoca, com ressalvas, o desgaste diferenciado em relação à resistência apresentada entre os feldspatos potássico e a matriz dos minerais da rocha.

O desgaste apresenta-se mais acentuado nos tipos porfiríticos e com maiores porcentagens de fenocristais, merecendo, portanto cuidados em áreas de alto tráfego e estudos de resistência mais acentuados na utilização como revestimento de fachadas, pois provoca uma diminuição nas propriedades físico-mecânicas da rocha.

Para os tipos porfiríticos e de granulação heterogênea e que apresentam baixos valores de módulo de ruptura, é necessário o controle do possível aparecimento de porções onde a alteração e o desgaste mineral é mais intenso, para que medidas mitigadoras, como a impregnação com resina reduza ou cesse a porosidade desses pontos, fator importante, mas que não chega a desqualificar o uso dessa rocha como material de revestimento.

Salienta-se também a importância para a realização de estudos adequados visando o dimensionamento das placas pétreas destinadas a essa finalidade, posto que as rochas ora analisadas, em função da textura porfirítica e heterogênea, apresentam baixos valores de módulo de ruptura.

Assim, diferenças no grau de entrelaçamento, imbricamento e tamanho entre os cristais podem ser responsáveis por diferenças na resistência à abrasão e a escarificação de placas rochosas. As diferenças granulométricas apresentadas pelas rochas estudadas (porfiríticas) podem corresponder às diferenças na alterabilidade potencial diante de líquidos agressivos.

Quanto aos aspectos estruturais, a anisotropia é um fator relevante na diversificação da resistência que a rocha oferece em diferentes planos de corte aos esforços

a que é submetida. Essa diferença é marcante em rochas foliadas ou com planos estruturais bem definidos (foliação, lineação etc.).

Uma dependência direcional (anisotropia) da resistência às aplicações de esforços mecânicos é frequentemente observada em rochas, condicionada pela orientação das estruturas internas ou pela presença de descontinuidades, tais como orientação preferencial de minerais, microfraturas ou disposição de vazios na rocha, ocasionando ressalvas na utilização em função da redução da resistência à flexão, o que leva a maiores cuidados quanto ao emprego dessa rocha em revestimentos verticais externos.

A fraca anisotropia reflexa de estruturas de fluxo magmática encontra-se presente e localizada e também merece necessariamente considerações, a exemplo a orientações de fenocristais potássicos que tendem a delinear uma anisotropia planar para a rocha. Essa anisotropia também é refletida no comportamento mecânico da rocha apresentando, portanto características distintas.

Os granitos e movimentados estudados, não são explorados e comercializados como rochas ornamentais, mas que em termos gerais, apresentam características tecnológicas que os qualificam para utilização em obras civis, com padrões estéticos agradáveis ao mercado consumidor, grau de homogeneidade e limites de resistência dentro dos padrões aceitáveis.

Destacam-se ainda outros fatores relevantes como aspectos geomorfológicos que favorecem a exploração, a distribuição geográfica de pólos consumidores e de cidades com infra-estrutura adequada para a instalação de plantas de beneficiamento.

As características químicas dos tipos rochosos estudados estão dentro dos padrões normais atuando no controle das propriedades físico-mecânicas das rochas em razão da mineralogia presente, possibilitando ainda correlacioná-las à distribuição dos minerais de transformação ou de alteração, permitindo assim a adequada identificação e tipificação das variedades estudadas, evitando designações genéricas e muitas vezes incorretas.

Do ponto de vista tecnológico os materiais graníticos analisados apresentam bons resultados, que sugerem a aplicação desses materiais em ambientes internos e externos, como elemento de revestimento de pisos ou fachadas. O comportamento tecnológico *versus* aspectos petrográficos exibidos pelas rochas estudadas permite considerar que todos os materiais são indicados para utilização como rochas ornamentais e de revestimento em obras civis.

Para os movimentados pretos devem ser observadas algumas restrições, como a

utilização para pisos internos em ambientes de alto tráfego ou sujeitos à emissão de poeira, os tipos mais escuros, devem ser evitados nestas situações pela tendência que apresentam em realçar a perda de brilho.

Já para os de susceptibilidade ao ataque químico (resistência à agentes químicos agressivos), abordou-se apenas os aspectos de perda de brilho, alterações observadas e classe de resistência.

Analisando o conjunto de dados, observa-se que todas as soluções usadas no ataque a estas rochas, afetaram em maior ou menor grau o polimento das mesmas. Todavia, as substâncias que demonstraram maiores agressividades foram o ácido clorídrico e o ácido cítrico.

Quando comparados os efeitos do ácido clorídrico com os do ácido cítrico é possível afirmar que o poder corrosivo do ácido clorídrico é bem maior, indicando cuidados quanto à utilização de produtos que possuam esse ácido.

Como trabalhos futuros recomendam-se estudos de cubagem e viabilidade econômica dos depósitos desses complexos e a realização de estudos de alterabilidade e resistência ao manchamento para complementação dos dados aqui apresentados.

CAPÍTULO IX

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIROCHAS- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Rochas ornamentais no Século XXI - Bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. In: PEITER, C.C. (Coord.). Rio de Janeiro: CETEM / ABIROCHAS, 2001.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12042). Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3p. 1992e.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12763). Rochas Para Revestimento. Determinação da resistência à flexão. 3p. 1992d.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12764). Rochas Para Revestimento. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 2p. 1992f.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12765). Rochas para revestimento – Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear, 3p. 1992d.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12766). Rochas para Revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2p. 1992b

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–(NBR 12766). Rochas para revestimento – Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de água Aparente, 2p. (1992).
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12767). Rochas para revestimento. Análise petrográfica. 2p. 1992g.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 12767). Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2p. 1992c.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–(NBR 12768). Rochas para revestimento – Análise Petrográfica, 2p. (1992g).
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–(NBR 13708). Execução e Inspeção de Revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha, 3p. (1992).
- ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-(NBR 13818-Anexo H: normativo). Determinação da resistência ao ataque químico. 1997.
- AIRES- BARROS, L. Alteração e alterabilidade de rochas. Lisboa: Imprensa Nacional, Casa da Moeda, 1991.
- AIRES- BARROS, L. As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias. **Ministério da Cultura**. Inst. Port. Patrim. Arquitetônico. Lisboa, v. 2, 535 p. 2001
- AIRES- BARROS, L. e MIRANDA, A.M. A alteração laboratorial de rochas pelo Extrator de Soxhlet e sua repercussão na oxidação de $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ e na variação da densidade aparente. **Serviço Geológico Português**, Lisboa, n. 44, p. 243-256, 1979.
- ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D.L.C. Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento. Fortaleza: **Instituto Euvaldo Lodi**- Federação das Indústrias do Estado do Ceará, v. 3, 1996.
- ALMEIDA, F.F.M e HASUI, Y. **O Pré-cambriano do Brasil**. Edgard Blücher, São Paulo, 378p., 1984.
- ALMEIDA, F.F.M. Antefossa do Alto Paraguai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. **Anais...**Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974a. v.4, p. 3-6.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Evolução Tectônica do Cráton do Guaporé comparado com o do Escudo Báltico. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 4 (3): 191-204, 1974.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Geologia do centro-oeste mato-grossense. **Boletim do Departamento de Produção Mineral/DGM**, Rio de Janeiro, n. 215, 137 p., 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim do Departamento de Produção Mineral/DGM**, Rio de Janeiro, n. 241, 36 p., 1967.

- ALMEIDA, F.F.M. de. Sistema tectônico marginal do Cráton Guaporé. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. **Anais...**Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974c. v. 4, p. 9-17.
- ALMEIDA, F.F.M.. Tectonic map of south america 1:5.000.000. **Explanatory note**. Brasília DNPM/DGMW/UNESCO, 23p., 1978
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; FUCK, R.A. **Brasilian structural provinces: An introduction**. Earth Sciences Review, 1981, 17:1-29.
- ALMEIDA, H.L.; RUIZ, A.S.; VOLLBRECHT, A.; COSTA, P.C.C.; ARCHANJO, C.J. Análise microestrutural dos milonitos da Zona de Cisalhamento Indiavai- Lucialva, porção SW do Cráton Amazônico (MT). In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10., 2005, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005, p. 415–417.
- AMARAL, G. **Geologia Pré-Cambriana da região Amazônica**. 1974. 212p. Tese (Livre Docência)-Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.
- ARAÚJO RUIZ, L.M.B.; GODOY, A.M.; SOUZA, M.Z.A.; RUIZ A.S. Geologia da Porção Noroeste da Folha Rio Pindaituba–MT, SW do Cráton Amazônico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 8., 2003a, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005a, p. 122 – 123.
- ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. **Caracterização Petrográfica, Geoquímica e Geocronologia (U/Pb e Ar/Ar) do Maciço Sararé-MT**. 2003, 89 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- ARAUJO-RUIZ, L.M.B. de; GODOY, A.M.; AGUIAR, M.Z.S. de; RUIZ, A.S.; GERALDES, M.C.; MATOS, J.B. de. Caracterização petrográfica e litogeoquímica preliminar da Suíte Intrusiva Rio Branco na região SW de Mato Grosso In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10 E SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICA DE PAÍSES DO MERCOSUL, 2, 2005, Porto de Galinhas. **Atas...** Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2005, v.1.
- ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. de; GODOY, A.M.; RUIZ, A.S.; MANZANO, J.C; SOUZA, M.Z.A.; MONTANO, L.F.M de. Caracterização Geológica e Geoquímica do Batólito Rapakivi Rio Branco, SW do Cráton Amazônico- MT. **Revista de Geociência da Universidade de São Paulo**, Serie Científica, USP, São Paulo v.7, p. 57-72, 2007.
- ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. de; RUIZ, A.S.; GODOY, A.M.; SOUSA, M.Z. de. A. Soleiras Máficas Tonianas (Suíte Intrusiva Salto do Céu) no SW do Cráton Amazônico: Regime Extensional Relacionado à Orogenia Sunsás? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO

- CENTRO OESTE, 10., 2005a, Goiânia. **Anais...Goiânia**: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005a, v.1, p. 5.
- ARAÚJO-RUIZ, L.M.B.; GODOY, A.M.; SOUZA M.Z.A.; RUIZ, A.S.; Gerald, M.C.; MATOS, J.B. Caracterização Petrográfica e Litogeoquímica preliminar da Suíte Intrusiva Rio Branco na região SW de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 2004. Araxá. **Anais...** Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004, Cd-Rom.
- ARCHANJO, C.J. Análise microestrutural dos milonitos da Zona de Cisalhamento Indiavaí-Lucialva, porção SW do Cráton Amazônico (MT). In: X SIMPÓSIO DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10., Curitiba, 2005. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005p., 415–417.
- ARRAIS, J. C. P. **Caracterização geológica e tecnológica de rochas ornamentais dos granitóides porfiróides dos maciços Sorocaba, São Francisco, São Roque, Ibiúna, Piedade e Caucáia, sudoeste do Estado de São Paulo**. 2006. 222 p. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2006.
- 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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1 / SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2, 2001, Salvador. **Anais...** Salvador: Museu Geológico da Bahia, 2001, p. 13-19.
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; RODRIGUES, E.P.; ANDRIGHETTI, R.M.; SOUZA, P.H.G. de. Perda de Lustro em Rochas Ornamentais Durante Abrasão Progressiva: Principais Fatores Condicionantes. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 30, 2002, Recife-PE. **Anais...**Recife-PE, Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2002, v. 1, p.24-37.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS -(ASTM C 615). Standard specification for granite dimension stone. 2p., 1992.
- ASTM- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM D 2845). Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. 361-365p., 1990.
- ASTM- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (C-615). Sloudart specification for granite dimension stone. 2 p. 1992.
- ASTM- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (C880). Standard

- Test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks. 8 p. 1998.
- ASTM- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (D-2845). 1995.
- BARD, J.P. **Microtextures of igneous and metamorphic rocks**. Paris: Masson, 1986, 192p.
- BARROS, A.M.; SILVA, R.H. da; CARDOSO, O.R.F.A.; FREIRE, F.A.; SOUZA Jr., J.J. da; RIVETTI, M.; LUZ, D.S. da; PALMEIRA, R.C.; TASSINARI, C.C.G. Geologia. In: MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. PROJETO RADAMBRASIL, FOLHA SD. 21. 1982. Cuiabá. Rio de Janeiro, 544 p. Levantamentos de Recursos Naturais, 1982, v. 26, p. 25-192.
- CARNEIRO, M.A. **Contribuição à geologia da região de São José dos Quatro Marcos-MT**. 1985. 156p. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.
- CARNEIRO, M.A.; ULBRICH, H.H.G.J.; KAWASHITA, K. Proterozoic crustal evolution at the southern margin of the Amazonian craton in the State of Mato Grosso, Brazil: evidence from Rb-Sr and K-Ar data. **Precambrian Research**, n. 59, p. 263-282, 1992.
- CHIODI FILHO, C. Aspectos técnicos e econômicos no setor de rochas ornamentais. **Série Estudos e Documentos**, Rio de Janeiro, CNPq/CETEM, n. 28, 75 p. 1995.
- CORDANI, U.G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; BASEI, M.A.S. **Crustal evolution of the South American Platform**. In: TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA. Rio de Janeiro: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A. & Campos, D.A. (eds.), 2000, p. 19 – 40.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2., Arica. **Actas...** Arica, 1979, v. 4, p. 137–148.
- DIONÍSIO, M.A.A.R. A pedra de Ançã: Características minero-químicas e petrofísicas. 1997. Dissertação (Mestrado)- UTL. IST. Lisboa, 1997.
- DNPM- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral de rochas ornamentais, 2000.
- DNPM- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Catálogo de rochas ornamentais do Estado do Mato Grosso. **Publicação DNPM: CDD 553.098 1**. Coord. A. Rajab. Cuiabá, DNPM, 78p., 1998
- EN–Norma Européia 1925. Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do

- coeficiente de absorção de água por capilaridade. (Versão portuguesa). CEN – COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO, 5 p, 1999.
- ESBERT, R.M.; ORDAZ, J.; ALONSO, F.J.; MONTOLO, M.. Manual de Diagnosis y tratamiento de materiales pétreos e cerámicos. **Col. legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona**. Barcelona. 140 p., 1997
- FIGUEIREDO, A.J.; RODRIGUES, A.P.; PIMENTEL, G. B.; REISCHL, J.L.; REZENDE FILHO, S.T.E.; RIBEIRO F.W. **Relatório Final**. In: Projeto Alto Guaporé. Goiânia, DNPM/CPRM., 1974. v.4, 35 p.
- FIGUEIREDO, C. **Alteração, Alterabilidade e patrimônio cultural construído: o caso da Basílica da Estrela**. 1999. 321 p. Tese (Doutorado)- IST. Lisboa, 1999.
- FIGUEIREDO, P.M.S.L.R. **Estudo tecnológico das rochas calcárias de Lisboa (Jurássico e Cretácico)**. 1997. 179 p. Tese (Doutorado). IST. Lisboa, 1997
- FRASCÁ, M.H.B. de O. e QUITETE, E.B. Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo Características Tecnológicas. **Rochas de Qualidade**. São Paulo. n. 154, p. 154-171, 2000.
- FRASCÁ, M.H.B. de O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1 SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2, 2002, Salvador. Anais... Rio de Janeiro: CETEM, 2002, p. 53-59.
- FRAZÃO, E.B. e FARJALLAT, J.E.S. Características tecnológicas das Principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: 1º CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURA, 1., 1995, Lisboa, Portugal. **Atas...**Lisboa: 1995, p. 47-58.
- FRAZÃO, E.B. e FARJALLAT, J.E.S. Proposta de especificação para rochas silicáticas De revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996, v.1, p. 369-380.
- GALAN, C.G.; RODRIGUES, E. de P.; SILVEIRA, G. Proposta de metodologia para avaliação de desempenho de produtos químicos hidro-óleo-repelentes utilizados em rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1 / SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2, 2002, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, 2002, p. 53-59.
- GERALDES, M.C. **Geocronologia e geoquímica do plutonismo mesoproterozóico do SW do Estado de Mato Grosso (SW do Cráton Amazônico)**. 2000. 193 p. Tese

- (Doutorado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- GERALDES, M.C.; BETTENCOURT, J.S.; TEXEIRA, W.; MATOS, J.B. Geochemistry and isotopic constraints on the origin of the mesoproterozoic Rio Branco ‘anorogenic’ plutonic suite, SW of Amazônia craton, Brazil: high heat flow and crustal extension behind the Santa Helena arc? **Journal of South American Earth Sciences**, n. 17, p.195-208, 2004.
- GERALDES, M.C.; VAN SCHMUS, W.R.; CONDIE, K.C., BELL, S.; TEIXEIRA, W.; BABINSKI, M. Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso state, Brazil. **Precambrian Research**, n. 111, 91–128, 2001.
- GODOY, A.M.; QUADROS, Á.P.; LEITE, J.; RUIZ, L.M.B. de A.; RUIZ, A.S; SOUZA, M.Z.A de; MATOS, J.B. de; ARRAIS, J.C. de P.. **Potencialidade para Rochas Ornamentais dos Granitos e Movimentados da Região Sul do Estado do Mato Grosso**. Minerais e Rochas Industriais e o Uso e Ocupação do Solo em Mato Grosso. VIANA, R.r.; FERNANDES, C.j. (Org.), Cuiabá, 2005, v. 1, p. 48-64
- GODOY, A.M.; QUADROS, A.P.; LEITE, J.A.D.; RUIZ, L.M.B.A.; RUIZ, A.S.; SOUSA, M.Z.A.; MATOS, J.B.; ARRAIS, J.C.P. Caracterização Geológica, Geoquímica e Físico-Mecânica Preliminar de Granitos e Movimentados Vermelhos da Região Sul/Sudoeste do Estado de Mato Grosso, como potencial para Rochas Ornamentais e de Revestimento. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2003, Fortaleza-CE. **Anais...Fortaleza-CE**, Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2003, v.1, p. 106 - 117.
- I.S.R.M.- INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. **International Journal of Rock Mechanics**, v. 16. 1979.
- IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 2000 Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo. (**Publicação IPT 2651**). Coord. FRASCÁ, H.B. de O. São Paulo. SCTDE. CD-ROOM.
- IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Catálogo das rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo. (**Publicação IPT 2048**). Coord. FRAZÃO, E.B. São Paulo. Secretaria de do Desenvolvimento Econômico. 79p., 1993
- IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2000 Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo. (**Publicação IPT**). **2651**). Coord. FRASCÁ M.H.B. de O. São Paulo. SCTDE. CD-Roon, v. 5, p.

2193-2204.

- ISRM 1977. Suggested methods for the quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. In: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. e geomech. Abstr. 15.
- KÖPPEN, W. 1948. Climatologia, com un studio de los climas de la Terra. **Version de Pedro R. Hendrichs. Fondo de Cultura Econômica.** México, 478 pp.
- LACERDA FILHO, J.W.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C.R.; OLIVEIRA, C.C.; ALBUQUERQUE, M.C. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso.** Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Conv.CPRM/SICME-MT, MME. 235 p. 2004.
- LASA-ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S.A. **Levantamento foto-geológico e geoquímico do Centro-Oeste de Mato Grosso, vale do Jauru e adjacências.** Rio de Janeiro. Relatório Técnico do arquivo da DGM DNPM, n. 153, 1968. 77p.
- LEITE, J.A.D.; SAES, G.; WESKA, R.K. A suíte Rio Branco e o Grupo Aguapeí nas serra de Rio Branco e Roncador In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 1985, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, 1985, v. 1, p. 247-255.
- LIMA, J.J.C. **Estudo da dilatação térmica de rochas usadas em revestimento de edificações.** 2002. 121 p. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- MALAGUTTI, M.I.A.; BAHIA FILHO, O.; MORENO, M.M.T.; NARDY, A.J.R. (1998) Determinação de elementos terras raras e ítrio em rochas silicáticas por ICP-AES com separação em resina trocadora de íons. *Geochimica Brasiliensis*, 12(1/2): 75-80.
- MATOS, J.B. **Contribuição à Geologia de Parte da Porção Meridional do Cráton Amazônico – Região de Rio Alegre, MT.** Universidade de São Paulo, 1995, 108 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, USP, 1995.
- MATOS, J.B.; RUIZ, A.S. Contribuição à geologia da Folha Santa Rita – Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 3., **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Geologia, 1991, p. 122 – 130.
- MATOS, J.B.; RUIZ, A.S.; SOUSA, M.Z.A.; CALACHIBETE, C.; GERALDES, M.C. Caracterização litoestrutural dos Distritos de Taquarussu e Lucialva – Município de Jauru (MT). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 8., **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003, p. 40 – 42.
- MATOS, J.B.; SCHORSCHER, J.H.D.; GERALDES, M.C.; SOUSA, M.Z.A.; RUIZ, A.S. Petrografia, geoquímica e geocronologia das rochas do Orógeno Rio Alegre, Mato

- Grosso: um registro de crosta oceânica Mesoproterozóica no SW do Cráton Amazônico. **Geologia**. Série Científica, São Paulo, v. 4, p. 75 – 90, 2004.
- MATOS, J.B.; SOUSA, M.Z.A.; RUIZ, A.S.; SILVA, C.H.; SOUZA, F.J. Caracterização preliminar do Granodiorito Água Clara do Distrito de Farinópolis (Araputanga – MT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Comburui. **Anais...** Comburui: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996, p. 64–66.
- MENEZES, R.G. de; SILVA, P.C.S.; SILVA, L.C.; TAKAHASHI, A.T.; LOPES Jr., I.; BEZERRA, J.R.I. **Pontes e Lacerda. Folha SD. 21-Y-C-II**. In: MME/DNPM, PROJETO LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL. Brasília, 126 p. 1993.
- MESQUITA, M.P.S. de. **Composição, estruturas, propriedades tecnológicas e alterabilidade dos granitos ornamentais do stock Morrinho, Santa Quitéria (Ce)**. 2002. 171p. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Universidade Estadual Paulista. Rio Claro (SP), 2002.
- MEYER, A.P.; ARTUR A.C.; NAVARRO, F.C. Principais fatores condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2003, Recife. **Anais...**Recife: Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2003, p. 153-164.
- MONTEIRO, H.; MACEDO, P.M. de; SILVA, M.D. da; MORAES, A.A. de, MARCHETO, C.M.L. O greenstone belt do Alto Jauru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34 , 1986, Goiânia, 2. **Anais...**Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, 1986, p. 630-646.
- MORAIS, M.C. e RODRIGUES, E.P. Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspato potássico e cálcicos – Técnica auxiliar no estudo de rochas. **Revista Cerâmica**, v. 24 (97): p. 32-35, 1978.
- MOUZA, J.; AISSAOUI, A.; PAVONE, D. Étude de diverses roches au laboratoire par ondes ultrasonores. **Bulletin of International Association of Engineering**. Paris, 28, p. 133-139, 1983
- NAVARRO, F.C. & ARTUR, A.C. Caracterização Petrográfica como Ferramenta para a previsão do Comportamento Físico e Mecânico de Granitos Ornamentais: Uma Discussão. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 30, 2002, Recife-PE. **Anais...**Recife: Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2002, v. 1, p. 2-9.
- NAVARRO, F.C. **Caracterização Petrográfica como técnica para a precisão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais**. 2002. 88p. Dissertação

- (Mestrado)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2002.
- NAVARRO, F.C. Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento Físico-mecânico. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2, 1998, Punta del Este. **Actas...** Punta del Este: Socirdad Uruguaya de Geologia, 1998, p. 103-107.
- PADILHA, A.V.; MONTES, A.S.L.; MENEZES FILHO, N.R.; LEMOS, D.B.; CARDOSO, O.R.S.A.; LIMA, P.S.C.; ALMEIDA, V.J.; ABREU FILHO, W.; SILVEIRA, W.P.; LUZ, J.S.; MONTES, M.L. **Projeto Centro-Oeste de Mato Grosso.** Goiânia: DNPM/CPRM, p.1 – 5, 1974
- PINHO, F.E.C.; FYFE, W.S.; PINHO, M.A.S.B. Early proterozoic evolution of the Alto Jauru Greestone Belt, southern Amazonian Craton, Brazil. **Intern. Geol. Review**, n.39, p. 220-229, 1997.
- RICHTER, D. e SIMMONS, G. Thermal expansion behavior of igneous rocks. **International journal of rock mechanics and mining sciences.** New York. n. 10, 11v, p. 403-411. 1974.
- ROBERTO, F.A. da C. **Rochas ornamentais do Ceará–Geologia, pesquisa, lavra, beneficiamento e mercado.** 1998. 175 p. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal do Ceará: Fortaleza, 1998.
- RODRIGES, E.P.; CHIODI FILHO, C.; ARTUR, A.C. Estudo sobre a alterabilidade de rochas silicáticas e carbonáticas usadas em revestimento. **Geociências**, v. 17, n. I, p. 263-128, 1998.
- RODRIGUES, E.P. Petrografia, caracterização, alterabilidade e assentamento de rochas ornamentais. In: SEMINÁRIO DE ROCHAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1999, Fortaleza. Fortaleza. **Atas...**Fortaleza: SENAI, 1999.
- RODRIGUES, E.P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.J.M. Importância da Petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. **Rochas e Equipamentos.** Lisboa. v. 47, 2 p. 1997.
- RODRIGUES, J.D. Sobre a determinação quantitativa da alterabilidade: um caso de aplicação. **Geotécnica**, 24, p. 29-42, 1978.
- RUIZ, A.S. **Contribuição a Geologia da Região do Distrito de Cachoeirinha – MT.** 1992. 98 p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- RUIZ, A.S. **Evolução Geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico Região Limítrofe Brasil Bolívia- Mato Grosso.** 2005. 289 p. Tese (Doutoramento). Instituto de

- Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.
- RUIZ, A.S.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. de; GODOY, A.M.; SOUSA, M.Z de A.; MATOS, J.B. de; GERALDES, M.C. Magmatismo granítico tarde-pós cinemático do domínio tectônico cachoeirinha (suíte intrusiva alvorada) no SW do cráton amazônico. In: IX SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 9., 2005, Goiânia. Atas...Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005, CD Roon.
- RUIZ, A.S.; GERALDES, M.C.; MATOS, J.B.; TEIXEIRA, W.; VAN SCHMUS, W.R.; SCHMITT, R. **The 1590 – 1520 Ma Cachoeirinha magmatic arc and its tectonic implications for the Mesoproterozoic SW Amazonian craton crustal evolution.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. v. 4, n. 76, p. 807-824, 2004.
- RUIZ, A.S.; MATOS, J.B.; SIMÕES, L.S.A.; QUADROS, A.P.; RUIZ, L.M.B.A.; SOUSA, M.Z.A.; GODOY, A.M.; COSTA, P.C.C.; FERNANDES, C.J. **Arcabouço Litoestratigráfico e Tectônico do Cráton Amazônico no SW do Mato Grosso: Revisão e Atualização.** Minerais e Rochas Industriais e o Uso e Ocupação de Solo em Mato Grosso. R.R. VIANA; C.J. FERNANDES. (Org.) Cuiabá, 2005, v. 1, p. 65-80
- RUIZ, A.S.; RUIZ, L.M.B.A.; GODOY, A.M.; SOUSA, Z.A.; GERALDES, M.C.; SIMÕES, L.S.A.; MATOS, J.B. Maciços Graníticos Tonianos (1.0–0.85 Ga.) no SW do Cráton Amazônico: Bolívia Oriental e SW de Mato Grosso/BR. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 7., 2003, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003, p.112–113.
- RUIZ, A.S.; SIMÕES, L.S.A.; ALMEIDA, H.L. de; GODOY, A.M.; MANZANO, J.F. Análise estrutural do batólito Santa Helena: implicações sobre a evolução tectônica do SW do Cráton Amazônico durante as Orogenias San-Ignácio-Rondoniano e Sunsás-Aguapeí. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10., 2005, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005, p. 411–414.
- RUIZ, A.S.; SIMÕES, L.S.A.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B.A.; MATOS, J.B.; GODOY, A.M.; AGUIAR, M.Z.A. Caracterização geológica do quadrante sudeste da Folha Rio Novo (SD-21-Y-A-I) – Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 8., Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003, p. 114-115.
- RUIZ, A.S.; SOUSA, M.Z.A.; SIMÕES, L.S.A.; MATOS, J.B.; GODOY, A. M.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B.A. Aspectos petrográficos e estruturais da porção meridional do batólito Santa Helena – SW do Cráton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. **Anais...**Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004, v.2, 630-647.

- SAES, G.S. e FRAGOSO CÉSAR, A.R.S. Acresção de terrenos Mesoproteróicos no SW da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Boletim de Resumos Expandidos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996, v.1, p. 348.
- SAES, G.S. **Evolução tectônica e paleogeográfica do Aulacógeno Aguapeí (1.2 – 1.0Ga) e dos terrenos do seu embasamento na porção sul do Cráton Amazônico.** 1999. 135 p. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- SAES, G.S.; FRAGOSO CÉSAR, A.R.S. Acresção de terrenos mesoproteróicos no SW da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Boletim de Resumos Expandidos...**Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 348, 1996.
- SAES, G.S.; LEITE, J.A.D.; WESKA, R.K. Geologia da Folha Jauru (SD. 21.Y.C.III): uma síntese dos conhecimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro., **Anais...**Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984, v. 5, p. 2193–2204.
- SANTOS, R.O.B.; PITTHAN, J.H.L.; BARBOSA, E.S.; FERNANDES, C.A.C.; TASSINARI, C.C.G.; CAMPOS, D.A. 1979. Geologia. In: BRASIL MME-SG. Projeto RADAMBRASIL.Folha SD.20 Guaporé Rio de Janeiro. (Levantamentos de Recursos Naturais, 19). p. 21-123.
- SANTOS, R.O.B.; PITTHAN, J.H.L.; BARBOSA, E.S.; FERNANDES, C.A.C.; TASSINARI, C.C.G.; CAMPOS, D. A. **Geologia.** BRASIL MME-SG. 1979.
- SCANDOLARA, J. e AMORIM J.L. A faixa móvel Guaporé, sua definição e inserção no contexto geotectônico do SW do Cráton Amazônico. In: SIMPOSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6., 1999. Anais...: Sociedade Brasileira de Geologia,1999, p. 24-27.
- SECEX– SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR/DECEX. Programa Novos Pólos de Exploração – Diagnóstico setorial de rochas ornamentais. Rio de Janeiro, 1998. 23 p.
- SOUSA, M.Z.A.; RUIZ, A.S.; MATOS, J.B.; GODOY, A.,M.; SIMÕES, L.S.A.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B.; BATATAS, M.E.F. O batólito Santa Helena, SW do Cráton Amazônico – MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 10., 2005, Porto de Galinhas. **Anais...**Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2005, CD Room.
- SOUZA, E.P. e HILDRED, P.R. Contribuição ao estudo da geologia do Grupo Aguapeí, Oeste de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980,

- Camboriu. **Anais...**Camboriu: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, v. 2, p. 813–825.
- SPRY, A. **Metamorphic textures**. Pergamon Press, Oxford, 1969.
- STRECKEISEN, A.L. Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the systematics of igneous rocks. **Geotimes**, n. 18, p. 26–30, 1973.
- TASSINARI, C.C.G. e MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes.*, v. 38, p. 174-182, 1999.
- TASSINARI, C.C.G. **Evolução tectônica da Província Rio Negro-Juruena na região Amazônica**. 1981. 99 p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.
- TASSINARI, C.C.G. **O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: Revisão dos dados isotópicos**. 1996. 139 p. Tese (Livre-Docência)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES, M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. The Amazonian Craton. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A. & Campos, D.A. (eds.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro, p. 41 – 95. 2000.
- TASSINARI, C.C.G. e MACAMBIRA, M.J.B. **A evolução tectônica do Cráton Amazônico**. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Org. Neto-Mantesso, V., Bartorelli, A, Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. de B., 2004p., 471-486.
- TORQUATO, M. de F.B. **Rochas Ornamentais do Noroeste do Ceará (Brasil). Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará**. 2004. Tese (Doutorado)- Instituto Superior Técnico-Universidade Técnica de Lisboa, 2004
- TROMPETTE, R. Geology of Westem Gondwana. **A.A. Balkema**. Rotterdam, 340p., 1994
- VIDAL, F.W.H.; BESSA, M. de F.; LIMA, M.A.B. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. **Série Tecnologia Mineral-CETEM/MCT**, 76, 30 p., 1999.
- VIEIRA, A.J. Geologia do Centro-Oeste do Mato Grosso. **PETROBRÁS/DEBSP**. Rio de Janeiro, 58p., 1965
- WINKLER, H.G.F. **Petrogenese das Rochas Metamórficas** (Trad. C.B. Burger Jr.) Porto Alegre. Edgard Blucher/URGS 4ª ed., 1977, 254p.