UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005737

**CONTRIBUIÇÃO À PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA
DA PARTE SETENTRIONAL DO COMPLEXO
VULCANO-PLUTÔNICO MORRO REDONDO, DIVISA
DO PARANÁ COM SANTA CATARINA**

José Roberto de Góis

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
1995

RESUMO

O presente trabalho objetivou a caracterização petrográfica e litogeoquímica da porção setentrional do Maciço Granítico Morro Redondo e de rochas vulcânicas (ácidas e básicas) associadas ao mesmo, as quais são descritas pioneiramente neste trabalho. Paralelamente, procurou-se reconhecer as relações genéticas entre as unidades plutônica e vulcânica.

O maciço Morro Redondo aflora no extremo sudeste do Estado do Paraná, já na divisa com o Estado de Santa Catarina. Possui cerca de 300 Km² de área aflorante, com forma grosseiramente retangular e orientação segundo a direção N20-25W.

As rochas vulcânicas ocorrem na forma de derrames e diques, recobrando parcialmente o maciço granítico na sua porção oeste, sendo indeformadas e não metamorfasadas.

O estudo petrográfico revelou que os granitos e os riolitos mostram uma mesma paragénese essencial predominante, constituída por quartzo e feldspato perítico, como fase precoce, e riebeckita, egerina e biotita (+-), como fase tardia intersticial. A presença de faciologia contendo apenas um feldspato (perítico), demonstra a ocorrência de granito tipo *hipersolvus* neste maciço.

Do ponto de vista geoquímico, o conjunto granito-riolito é caracterizado pelos altos teores em SiO₂, Na₂O + K₂O, Fe₂O₃, F, Zr, Nb, Y e Th, e baixas concentrações em CaO, MgO, Al₂O₃, Ba e Sr, sendo este comportamento similar ao dos granitos tipo-A. Os riolitos e basaltos exibem distribuição bimodal nos diagramas de classificação. O índice agpático (N+K/Al) varia entre 0,86 e 1,06 para o riolito e 0,86 a 1,22 para os granitos, atestando o caráter alcalino/peralcalino destas rochas.

Em relação ao ambiente tectônico, os vários diagramas discriminantes utilizados são concordantes em termos de um ambiente intra-placa e anorogênico para geração dos riolitos e granitos. Para os basaltos, também ficou evidenciado um ambiente continental (intra-placa), com base na utilização de diagramas de elementos incompatíveis ($Zr/4 \times Nb \times 2 \times Y$; $Zr/Y \times Zr$).

A hipótese de uma vinculação genética entre riolito-granito e basalto-riolito foi testada com base na relação entre elementos incompatíveis ($Zr \times Ce$, $Hf \times La$ e $Nb \times Zr$), no padrão de ETR e da paragénese mineral das rochas ácidas. Estes dados, quando interpretados conjuntamente, indicam cogeneticidade entre riolitos e granitos, enquanto a vinculação entre riolitos e basaltos não é conclusiva, sendo ainda necessários dados complementares, principalmente isotópicos.

Do ponto de vista geoquímico, petrográfico e tectônico, as rochas plutônicas e vulcânicas aqui estudadas mostram forte semelhança com outras unidades equivalentes do sul e sudeste do Brasil e de outros países. Por outro lado, é importante ressaltar as diferenças geoquímicas entre os basaltos aqui estudados e os da bacia do Paraná, descartando-se com isso qualquer similaridade entre eles.

ABSTRACT

This work presents the petrographic and geochemistry studies of the northern portion the Morro Redondo Granitic Massif and acid and basic vulcanic rocks, that are described here for the first time. The genetic relationship between plutonic and volcanic units is demonstrated.

The Morro Redondo massif occur is neighboring regions of Paraná e Santa Catarina States, covering about 300 Km², with approximately rectangular form and n N20-25W orientation.

The volcanic rocks are represented by sills and dikes, partially covering the western portion of the granitic massif. This roks are not deformed and metamorphised.

The petrographic study indicated the same essencial mineralogical paragenesis, with quartz and perthitic feldspar as early phases, and riebbckite, aegirine and biotite (+ -) as late phases. The occurence of facies characterized by perthitic feldspar alone, is characteristic of hypersolvus granites.

Geochemically, the granite and rhyolite are characterized by high concentration of SiO₂, Na₂O + K₂O, Fe₂O₃, F, Zr, Nb, Y and Th, and low concentration of CaO, MgO, Al₂O₃, Ba and Sr, a behaviour similar to A- type granites. The rhyolites and basalts showed bimodal distribution in the classification diagrams. The agpaitic index variated between 0,86 and 1,06 to rhyolites and between 0,86 and 1,22 to granites, showing the alkaline/peralkaline caracter of the rocks.

Tectonically, discriminant diagrams are concordant with intraplate and anorogenic enviroments of generation the rhyolites and granites. The basaltic rocks also showed an intraplate enviroment, based in the utilization of incompatible elements ($Zr/4 \times Nb \times 2 \times Y$; $Zr/Y \times Zr$).

The hypothesis of a genetic relation between rhyolite and granite was tested, using the incompatible element ratios ($Zr \times Ce$, $Hf \times La$ e $Nb \times Zr$), the rare earth elements and mineralogical paragenesis of acid rocks. The analysis suggested that genetic is a relation between the rhyolites and granites. The tests do not conclusively show any relationship between basalts and rhyolites, and complementary studies (specially isotopic) are necessary.

The geochemical, petrographic and tectonic characteristics of the plutonic and vulcanic rocks studied here showed great similarities with others units of southern southeastern of Brazil and other world regions. Geochemically, the basaltic rocks studied here are different of the basalts rocks of Paraná basin.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças a colaboração de algumas pessoas e Instituições, às quais manifesto meus sinceros agradecimentos:

- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pelo auxílio financeiro através de bolsa de estudo.
- À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP (Proc. n. 92/1863-4), cujo auxílio financeiro para os trabalhos de campo e aquisição de materiais foi de extrema valia.
- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN, na pessoa da Dra. Ana Maria G. Figueiredo, que gentilmente realizou as análises de elementos terras raras das rochas vulcânicas.
- Ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná-DG/UFPR, na pessoa do Dr. Ellmar Trein (então Chefe do Departamento), pela autorização do uso do Laboratório de Microscopia Óptica.

Agradecimentos especiais devo fazer ao Prof. Dr. Rômulo Machado do Departamento de Geologia Geral do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, pela orientação firme e coerente deste trabalho, ao longo das várias etapas de seu desenvolvimento, não poupando esforços em nenhum momento para a sua perfeita consecução.

- Ao Prof.Dr. José Manoel dos Reis Neto, que muito contribuiu nas análises petrográficas e na elaboração dos diagramas de elementos terras raras.
- Ao Prof. Dr. Alberto Pio Fiori, pela análise e discussão das fotografias aéreas, cujos comentários foram muito proveitosos.
- Aos geólogos Rodolito Stevanato e Elvo Fassbinder, pela companhia em várias fases de campo, e pela ajuda no trato dos meandros da informática.
- Ao geólogo João Nogueira Filho, que muito colaborou na confecção de diagramas quílicos.
- Ao Prof. Dr. Herbert Conceição e ao geólogo Jorge Plá Cid, ambos do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, pelo auxílio na análise e interpretação de várias lâminas de granitos e riolitos.
- Aos graduandos do Curso de Geologia do IGc-USP, Luis Eduardo G. Almeida e Ricardo Galeno F. de A. Pereira, pela valiosa ajuda na preparação das amostras e na confecção e tratamento de diagramas quílicos.

Finalmente, agradeço a minha esposa, Ligia, e a minha filha, Annabel, pela inevitável paciência demonstrada e pelo incentivo oferecido durante estes anos.

Dedico este trabalho a memória de José Henrique Godoy Ciguel (1957-1991), cujo exemplo de conduta ética e moral, deve ser seguido de forma irrestrita.

Í N D I C E

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Índice das Figuras	vi
Índice das Fotos	vii
Índice das Tabelas	viii
Índice das Pranchas	viii
1. INTRODUÇÃO	
1.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	01
1.2 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	01
1.3 - OBJETIVOS	02
2. MATERIAIS E MÉTODOS	
2.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	04
2.2 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	04
2.3 - TRABALHOS DE CAMPO	04
2.4 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO	04
2.5 - TERMINOLOGIA E NOMENCLATURA	06
3. ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOMORFOLÓGICOS	
3.1 - RELEVO	07
3.2 - CLIMA	07
3.3 - HIDROGRAFIA	08
3.4 - SOLOS	08
3.5 - VEGETAÇÃO	08
4. TRABALHOS ANTERIORES	
4.1 - GEOLOGIA REGIONAL	09
4.2 - GEOLOGIA LOCAL	12
5. GEOLOGIA	
5.1 - UNIDADE PLUTÔNICA	15
5.2 - UNIDADE VULCÂNICA	18
6. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	
6.1 - CLASSIFICAÇÃO ADOTADA	22
6.1.1 - Rochas Vulcânicas	22
6.1.2 - Rochas Plutônicas	22
6.2 - PETROGRAFIA	26
6.2.1 - Maciço Granítico Morro Redondo	26
6.2.2 - Rochas Subvulcânicas	31
6.2.3 - Rochas Vulcânicas	34

7. LITOGEOQUÍMICA	
7.1 - ROCHAS PLUTÔNICAS	41
7.1.1 - Diagramas de Harker	41
7.1.2 - Diagramas de Alcalinidade	44
7.1.3 - Diagramas Discriminantes de Ambiente Tectônico	45
7.1.4 - Elementos Terras Raras-ETR	48
7.2 - ROCHAS VULCÂNICAS	50
7.2.1 - Diagramas de Harker	52
7.2.2 - Diagramas de Alcalinidade	62
7.2.3 - Diagramas Discriminantes de Ambiente Tectônico	64
7.2.4 - Elementos Terras Raras-ETR	65
7.3 - INDICATIVOS DE COGENETICIDADE	67
8. CORRELAÇÃO COM UNIDADES SIMILARES	
8.1 - UNIDADES PLUTÔNICAS	72
8.2 - UNIDADES VULCÂNICAS	74
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	78
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

ANEXOS:

- I - Mapa de Pontos**
- II - Mapa Geológico**

ÍNDICE DAS FIGURAS

- Figura 1** - Mapa de localização da área e principais vias de acesso, 3.
- Figura 2** - Contexto geológico regional simplificado da parte da região sul-sudeste do Brasil, ressaltando as grandes unidades litoestratigráficas. Bacias vulcano-sedimentares: [1] Grupo Castro, [2] Fm. Camarinha, [3] Fm. Guaratubinha, [4] Fm. Campo Alegre; [5] Fm. Corupá. Fonte: modificado de DNPM, 1984; Kaul & Teixeira, 1982, 10.
- Figura 3** - Compartimentação geotectônica do Maciço de Joinvile segundo Basei *et alli*, 1990, 14.
- Figura 4** - Diagrama contendo os valores TAS para classificação das rochas vulcânicas da área estudada (Le Maitre, 1989), 23.
- Figura 5** - Diagrama Zr/TiO_2 versus Nb/Y de Winchester & Floyd (1977), contendo os valores correspondentes para as rochas vulcânicas estudadas, 23.
- Figura 6** - Diagrama QAP (Le Maitre, 1989), contendo as análises modais (estimativa visual) de 17 amostras do maciço granítico Morro Redondo, as quais se concentram preferencialmente no campo dos álcali-feldspato granitos (2), 25.
- Figura 7** - Diagrama TAS de Middlemost (1985) contendo os valores para as rochas graníticas do maciço Morro Redondo, 25.
- Figura 8** - Diagramas de variação de Harker (SiO_2 x óxidos) com a distribuição das amostras analisadas do maciço granítico Morro Redondo. As amostras JR-75A1 e JR-75C foram lançadas com símbolos diferentes (), 42.
- Figura 9** - Diagramas de variação de Harker (SiO_2 x elementos menores e traços) para as amostras do maciço granítico Morro Redondo, 43.
- Figura 10** - Diagrama de Maniar & Piccoli (1989) com a distribuição das rochas graníticas estudadas, situando-as nos campos peralcalino (maioria) e peraluminoso (JR-75A1 e JR-75C), 44.
- Figura 11** - Diagrama de alcalinidade de Wright (1969), contendo os valores para as rochas plutônicas e vulcânicas da área, 45.
- Figura 12** - Diagrama tectônico de Maniar & Piccoli (1989) contendo os valores de granitos (●) e riolitos (▼) da área estudada. (RRG=granitos relacionados a rifte; CEUG=granitos relacionados a soerguimento epirogênico continental; POG=granitos pós-colisionais; IAG=granitos de arco de ilha; CAG=granitos de arco continental; CCG=granitos de colisão continental), 46.
- Figura 13** - Diagrama tectônico R1-R2 de Batchelor & Bowden (1985) para as rochas graníticas estudadas, as quais se concentram preferencialmente no campo dos granitos anorogênicos, 47.
- Figura 14** - Diagrama $Rb \times Y+Nb$ de Pearce *et alli* (1984), para granitos e riolitos da área estudada. (WPG=granitos intra-placa; ORG=granitos de cadeia oceânica; VAG=granitos de arco vulcânico; syn-COLG=granitos sincolisionais), 47.
- Figura 15** - Diagrama Nb versus Y de Pearce *et alli* (1984) contendo as análises de granitos e riolitos da área estudada, 48.
- Figura 16** - Padrão dos elementos terras raras normalizados aos condritos, de amostras do maciço Morro Redondo. A normalização é segundo os valores de Nakamura (1974), 49.
- Figura 17** - Gráfico $SiO_2(\%)$ versus $ETR(ppm)$, mostrando correlação positiva entre estes elementos, 49.
- Figura 18** - Espectro de ETR para os granitos tipo A da Suite Mumbulla, do sudeste da Austrália (extraído de Collins *et alli*, 1982), 50.
- Figura 19** - Diagramas de variação de Harker - SiO_2 x elementos maiores - para as rochas vulcânicas ácidas, intermediária e básica estudadas, 53.

- Figura 20** - Diagramas de variação tipo Harker (SiO_2 x elementos menores e traços) para as rochas vulcânicas da área, 54.
- Figura 21** - Diagramas de Harker - SiO_2 x elementos (+Nb e Th) - para as rochas vulcânicas ácidas (riolitos) da área, 57.
- Figura 22** - Diagramas de Harker - SiO_2 x elementos menores e traços - para os riolitos da área estudada, 58.
- Figura 23** - Diagramas de Harker - MgO x elementos maiores - para as rochas vulcânicas intermediária e básicas da área, 60.
- Figura 24** - Diagramas de Harker - MgO x elementos menores e traços - para basaltos e andesito-basalto da área, 61.
- Figura 25** - Diagrama de MacDonald (1974), separando riolitos peralcalinos em comenditos e panteleritos, 63.
- Figura 26** - Diagrama de Maniar & Piccoli (1989), com o posicionamento dos riolitos da área estudada que se concentram preferencialmente no campo peralcalino junto ao limite do campo peraluminoso, 63.
- Figura 27** - Diagrama tectônico de Pearce & Norry (1979), sugerindo ambiente intra-placa para os basaltos da área estudada, 64.
- Figuras 28 e 29** - Padrões de elementos terras raras das rochas vulcânicas aqui estudadas (Fig. 24) e de riolitos e andesitos da Formação Guaratubinha (GUA) e Grupo Castro (RCA). Andesitos = GUA 13b e RCA 22; Riolitos = GUA 1b, RCA 12, RCA 13 e RCA 23, 66.
- Figura 30** - Diagramas Zr x Ce (a) e Hf x La (b) com os valores correspondentes para as rochas plutônicas e vulcânicas estudadas; b=basalto; an=andesito-basáltico e ri=riolito, 68.
- Figura 31** - Diagrama Nb x Zr (a) e Zr x Ce (b) mostrando o comportamento das rochas plutônicas e vulcânicas da área. Legenda da Fig. 31b como da Figura 31a, 69.
- Figura 32** - Padrão de elementos terras raras (ETR) para o maciço granítico Morro Redondo e riolitos associados; normalização segundo Nakamura (1974), 70.
- Figura 33** - Intervalo de variação dos elementos terras raras (ETR) do granito Morro Redondo e riolitos associados, 70.
- Figura 34** - Diagrama ternário Rb-Ba-Sr de El Bouseily & El Sokkary (1975), para as amostras do granito Morro Redondo, 79.
- Figura 35** - Diagrama $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} / \text{FeO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (100 \times \text{FeO} + \text{TiO}_2 / \text{SiO}_2)$ de Sylvester (1989), 79.
- Figura 36** - Diagrama tectônico $\text{Nb}_2 - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ de Meschede (1986), para os basaltos estudados, 79.

ÍNDICE DAS FOTOS

- Foto 1** - Vista da borda oeste do maciço mostrando o vale escavado pelo rio Pinhal; a seta indica a Serra da Papanduva, ponto mais altode todo o corpo granítico. Em primeiro plano observa-se o domínio da área de ocorrência das rochas vulcânicas, 15.
- Foto 2** - Afloramento típico na forma de matações arredondados exibindo decomposição esferoidal. Notar estrutura de fluxo ígneo incipiente, a qual é subparalela a borda horizontal da foto (Ponto JR-31/72), 16.
- Foto 3** - Aspecto do afloramento no ponto JR-03, onde ocorre alternância de riolitos e basaltos, podendo indicar a presença de derrames; neste ponto tem-se a presença de riolitos com enclaves de basalto, 19.

Foto 4 - Cristal de riebeckita (azul) com alteração complexa para biotita+óxidos (vermelho). Nicóis X, aumento 50X (JR-81B), 27.

Foto 5 - Cristal de riebeckita, mostrando forte pleocroísmo marrom a azul, nicóis X, aumento 50X (JR-68D), 27.

Foto 6 - Quartzo anédrico, mostrando embainhamento, associado a feldspato peritítico. Nicóis X, aumento 40X (JR-34), 28.

Foto 7 - Associação riebeckita+aegirina+magnetita, intersticiais a fase quartzo-feldspática. Nicóis //, aumento 50X (JR-33), 31.

Fotos 8 e 9 - Características microtexturais de rochas subvulcânicas da área estudada, mostrando intercrescimentos granofírico, micrográfico e porfiróide. Aumento 50X, nicóis X. Amostras JR-39B e 75A, 32.

Fotos 10 - Basalto exibindo textura subofítica. Nicóis X, aumento 50X. JR-03 e JR-11, 34.

Fotos 11 e 12 - Andesito-basalto com textura intergranular e ofítica (12) e com xenocrístais de feldspato potássico exibindo bordas corroídas, evidenciando reação com o líquido magmático, 36.

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1 - Composição modal (em %) de 17 amostras do maciço granítico Morro Redondo, 24.

Tabela 2 - Dados químicos de elementos maiores, menores, traços e ETR do maciço granítico Morro Redondo, 41.

Tabela 3 - Dados químicos de elementos maiores, menores e traços da unidade vulcânicas, 51.

Tabela 4 - Média da composição química de alguns granitóides alcalinos do sul-sudeste do Brasil e Australia comparativamente a do granito Morro Redondo, obtida neste trabalho, 73.

Tabela 5 - Composição química de unidades vulcânicas do sul do Brasil e Uruguai e das vulcânicas estudadas neste trabalho, 76.

Tabela 6 - Composição química média de basaltos da Bacia do Paraná, Complexo Naivasha (Quênia) e dos estudados neste trabalho, 77.

ÍNDICE DAS PRANCHAS

Prancha 1 - Características macroscópicas de algumas fácies graníticas do maciço Morro Redondo. [a] = fácies branca, [b] = fácies rósea-avermelhada, [c] = fácies azulada e [d] = dique da fácies azul intrudido na fácies branca, 17.

Prancha 2 - Tipos de afloramentos e feições macroscópicas da unidade vulcânica. [a,b] = aspecto do afloramento de riolitos nos pontos JR-02 e JR-63, [c,d] = riolitos com enclaves de vulcânica básica, [e] = bloco de riolito porfirítico e [f] = vulcânica básica com fenocrístais de feldspato (a direita, bloco de riolito afanítico). As amostras c,d,e,f ocorrem no leito do rio Pirizal, flanco leste do maciço granítico, 20.

Prancha 3 - Variações texturais das rochas vulcânicas ácidas. [a] = riolito fluidal ignimbrítico(?), [b,c] = riolito porfirítico com matriz vítreo-afanítica e fenocristais de k-feldspato e [d] = riolito microporfirítico com enclaves de rocha básica, 21.

Prancha 4 - Feições microtexturais ds rochas vulcânicas ácidas: [a] = riolito com textura esferulítica, [b] = riolito porfirítico com fenocristais de quartzo esquelético e allanita em matriz heterogranular, [c] = riolito fluidal porfirítico com fenocristal de quartzo corroído(?), [d] = provável tufo soldado (welded tuff) exibindo textura de fluxo proeminente, principalmente próximo do contato com o fenocristal 41.

1. INTRODUÇÃO

1.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada situa-se no limite sudeste do estado do Paraná, junto a divisa com Santa Catarina, na transição entre o Primeiro Planalto Paranaense e a Serra do Mar. Abrange parte dos municípios de Tijucas do Sul e Guaratuba (PR) e Garuva (SC), sendo balizada pelas coordenadas 25°50' / 26°05' de latitude Sul, e 48°50' / 49°05' de longitude Oeste. As principais localidades inseridas na área são Pinhal, Rio do Fôjo, Pinhal dos Borges e São João do Piral, todas no estado do Paraná.

A partir de Curitiba pode-se atingir a área através da rodovia federal BR-376 (Curitiba-Joinville), num trajeto de cerca de 65 km; a partir daí utiliza-se estrada de terra municipal que atinge o canto oeste da mesma. Internamente as vias de acesso são escassas e, quando existentes, nem sempre trafegáveis, com algumas estradas sendo mantidas sazonalmente por empresas de reflorestamento. Na Figura 1 pode-se visualizar melhor a situação da área.

1.2 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Os eventos situados entre o Proterozóico Superior (III) e o Eopaleozóico, na região sul-sudeste do Brasil, foram responsáveis pela geração de granitos subalcalinos a peralcalinos pós-tectônicos (anorogênicos?) e bacias vulcano-sedimentares não metamorfasadas e pouco deformadas. Nestas, em geral, o vulcanismo possui caráter ácido a intermediário, tendo como litotipos principais riolitos, dacitos, andesitos e rochas piroclásticas associadas. Diversos autores têm se referido a esses depósitos como bacias molássicas relacionadas à fase evolutiva terminal do Ciclo Brasileiro (Almeida, 1967; Popp, 1972, etc.)

Na década de 60, durante os trabalhos da Comissão da Carta Geológica do Paraná, inúmeros corpos granitóides e depósitos molássicos foram pioneiramente reconhecidos e definidos no estado do Paraná, dentre os quais incluem-se: formações Camarinha e Guaratubinha, e o Grupo Castro (Muratori, 1966; Fuck et al., 1967a e Trein & Fuck, 1967). Desde então pouco têm sido feito no sentido de caracterizar estas unidades em termos do quimismo das rochas vulcânicas, ambiente tectônico, estratigrafia, idade, etc. Dentre os trabalhos de compilação e sínteses regionais, abrangendo a porção sul do país, destacam-se os de Ebert (1971), Ebert & Brochini (1971), Daix (1979a,b), Arioli (1981), Basei *et alii* (1987), Fragozo Cesar *et alii* (1985), Fragozo Cesar (1986), Soares (1987), Ciguel & Góis (1989), Ciguel *et alii* (1990). Trabalhos mais recentes sobre as bacias de Guaratubinha e Castro, enfatizando aspectos petrográficos, litogeoquímicos e geocronológicos, devem-se a Castro (1993) e Moro (1993).

A sequência de rochas vulcânicas associada espacialmente ao granito Morro Redondo, que constitui o objeto principal do presente trabalho, posiciona-se geograficamente entre duas unidades vulcano-sedimentares eopaleozóicas, consideradas como depósitos relacionados a bacias molássicas: a Formação

Guaratubinha, 10 km ao norte, no Estado do Paraná, e a Formação Campo Alegre, 30 km ao sudoeste, já no estado de Santa Catarina. O reconhecimento desta ocorrência de rochas vulcânicas foi feito inicialmente por Góis & Machado (1992), ocasião em que sugeriram uma possível vinculação genética entre o citado granito e as rochas vulcânicas, baseados em dados de observações de campo.

1.3 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização petrográfica e litogeoquímica de uma unidade de rochas vulcânicas/subvulcânicas associada ao Maciço Granítico Morro Redondo, situada na divisa dos Estados do Paraná e Santa Catarina.

Paralelamente, objetivou-se caracterizar a vinculação genética entre as rochas vulcânicas/subvulcânicas e o referido granito, valendo-se de informações de cartografia geológica na escala 1:50.000 e do tratamento e interpretação dos dados petrográficos e químicos (elementos maiores, menores, traços e terras raras), disponíveis sobre ambas as unidades.

FIGURA 1 - Mapa de localização da área e principais vias de acesso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nos objetivos propostos, foi adotado o seguinte procedimento metodológico:

2.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foram levantados na literatura geológica os trabalhos disponíveis sobre a área estudada, incluindo aqueles de caráter regional, os quais de alguma forma fazem referência ao tema estudado. Uma síntese deste levantamento encontra-se no Capítulo 4.

2.2 - FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

Foram interpretadas fotos aéreas nas escalas 1:70.000 (Cruzeiro do Sul, 1963) e 1:25.000 (Cruzeiro do Sul, 1980), com o objetivo de delinear as principais feições litoestruturais da área e gerar um mapa fotogeológico preliminar, que pudesse servir de auxílio nos trabalhos de campo.

2.3 - TRABALHOS DE CAMPO

O mapeamento objetivou a delimitação entre as unidades vulcânica e plutônica. Inicialmente pretendia-se individualizar internamente a unidade vulcânica, visando separar os diferentes tipos litológicos. Porém, este objetivo não foi alcançado, em virtude da escassez e descontinuidade dos afloramentos, bem como das dificuldades de acesso.

Durante esta etapa foi procedida a coleta sistemática de amostras das rochas das unidades vulcânica e plutônica, visando a realização de estudos petrográficos, litogeoquímicos e geocronológicos.

Esta etapa foi desenvolvida no período de fevereiro/1992 a outubro/1992, ocasião em que foram descritos cerca de 90 afloramentos (Anexo I) e coletadas em torno de 80 amostras. Ainda nesta fase foi gerado um esboço geológico na escala 1:70.000, com o mapa final sendo apresentado na escala 1:50.000.

2.4 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO

a) Petrografia

Foram confeccionadas 70 lâminas delgadas no setor de laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), sendo 40 de rochas vulcânicas e 30 do granito Morro Redondo. As descrições das lâminas foram realizadas no laboratório de Microscopia Óptica do Departamento de Geologia Geral (DGG-IGc) e no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná (DG-UFPPr). O estudo petrográfico envolveu a identificação e caracterização das fases minerais, suas relações texturais, fases de alteração, estimativa modal e classificação da rocha.

b) Litogeoquímica

Foram selecionadas 21 amostras para análises químicas de elementos maiores, menores e traços, sendo 12 da unidade vulcânica e 9 da unidade plutônica. Na preparação do material seguiu-se o procedimento normal utilizado do laboratório de preparação de amostras do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IGc-USP, o qual consiste nas seguintes etapas:

- britagem das amostras em britador de mandíbula, com redução para uma fração média de 0,1 a 0,3 cm, obtida com o auxílio de uma prensa hidráulica, seguida pelo quarteamento do material.

- pulverização a seco em moinho de ágata tipo planetário, por um período de 15 minutos, até chegar a uma fração de 150#.

A confecção das pastilhas para análise por Fluorescência de Raios-X envolveu as seguintes etapas:

- remoagem em moinho de ágata a úmido (Micronising Mill-McCrone) durante 20 minutos, utilizando-se solução de álcool etílico e acetona a 50%, com redução da granulometria para 200#.

- secagem completa do material em estufa, por um período de 12 horas.

- moldagem da pastilha com ácido bórico (H_3BO_3) e aglutinante a base de álcool polivinílico a 20% e álcool etílico a 20%, com a prensagem final sendo realizada em prensa hidráulica.

As amostras foram analisadas na Divisão de Laboratórios da GEOSOL (GEOLAB) em Belo Horizonte-MG. A seguir são descritos os métodos analíticos utilizados, os elementos dosados com seus respectivos limites de detecção para os elementos traços (em ppm) assim como a precisão (%):

- Fluorescência de Raios-X - SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO, TiO_2 , P_2O_5 , Rb (5), Ba (10), Sr (5), Ta (5), Th (5) e Cl. A precisão para os óxidos é de $\pm 2\%$.

- Absorção Atômica - Na_2O , K_2O , MnO e NiO (precisão = $\pm 2\%$).

- Titulação com $KMnO_4$ - FeO.

- Eletrodo de íon específico - F

- Espectrografia Óptica de Emissão - Nb (5), Hf (8), Zr (5) e Y (3).

- Espectrometria de Plasma/ICP - La (0,5), Ce (1,0), Nd (0,5), Sm (0,1), Eu (0,05), Gd (0,2), Dy (0,1), Ho (0,05), Er (0,05), Yb (0,05) e Lu (0,03).

Os elementos terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e Lu) de seis amostras da unidade vulcânica, bem como alguns elementos menores (Rb, Ba, Ta, Hf,

Th, Sc e Co), foram analisados por Ativação Neutrônica nos laboratórios do Instituto de Pesquisas de Energia Nuclear-IPEN, em São Paulo.

Os "spiderdiagrams" dos elementos de terras raras (ETR) foram normalizados ao condrito, segundo os padrões de Nakamura (1974).

2.5 - TERMINOLOGIA E NOMENCLATURA

Neste item são definidos, com base na literatura corrente, alguns termos que serão adotados no presente trabalho.

Para as rochas plutônicas e vulcânicas são usados os termos definidos por Le Maitre (1989) da seguinte maneira:

Rocha Plutônica: rocha ígnea com textura fanerítica e granulação relativamente grossa, na qual os cristais individuais podem ser reconhecidos a olho nú.

Rocha Vulcânica: rocha ígnea com textura afanítica e granulação relativamente muito fina, muitas vezes contendo vidro, na qual a maioria dos cristais individuais não pode ser reconhecida a olho nú.

O termo *subvulcânico* é aqui utilizado para caracterizar rochas ígneas com texturas macroscópicas de rochas vulcânicas típicas ou de rochas com granulação mais grossa (Sial & McReath, 1984), sobretudo quando associadas a microtexturas granofíricas e microgranulíticas (Bard, 1986). Este último autor define textura *microgranulítica* como aquela formada por "fenocristais incluídos numa matriz heterogranular (sub-isogranular) microgranulítica". As relações de campo são igualmente importantes e muitas vezes decisivas na separação entre rochas vulcânicas e subvulcânicas.

Rochas ígneas *peralcalinas*, plutônicas ou vulcânicas, são aquelas cuja relação molecular $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ (Índice agpático=IA). No caso de riolitos peralcalinos, Le Maitre (1989) sugere a divisão dos mesmos em *comenditos* e *panteleritos*, com base no diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{FeO}_t$ (Figura 21; Macdonald, 1974).

Os elementos químicos formadores de minerais e rochas, em geral são classificados como *maiores*, *menores* e *traços*. Para a definição do limite entre eles, serão adotados os valores estabelecidos por Shaw (1964 *apud* Fujimori, 1990):

- elementos maiores: > 1%
- elementos menores: > 0,1% < 1%
- elementos traços: < 1%

3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS

3.1 - RELEVO

Na área em estudo merecem destaque os domínios montanhosos constituídos pelas Serras Itararé (1.445m), Imbira (1.415m), Grande (1.360m), Facão (1.260m) e Papanduva (1.450m).

Estas serras estão inseridas em restos de planaltos fortemente dissecados, apresentando vertentes muito íngremes e intensamente recortadas, situadas à margem direita do vale do rio São João e afluentes; o padrão de drenagem verificado é paralelo e sub-paralelo, fortemente controlado pelas estruturas da região.

Distinguem-se três níveis de erosão bem diferenciados. Estes níveis estão representados por pediplanos residuais com subníveis distintos, principalmente nas superfícies mais antigas. Ocorrem ainda áreas de piemonte, zonas escarpadas e pedimentos na porção leste (Rocha, 1992).

Os pediplanos residuais (Pd₃) mostram pelo menos quatro subníveis distintos, com intensa rochiosidade e ocorrência de solos litólicos. Estes pediplanos se interligam por contato com zonas de piemonte, frequentemente associadas a áreas escarpadas. Os níveis de pediplanos mais baixos, correspondem a restos de superfície pediplanada residual. Tais pediplanos acham-se mais preservados à medida que avançam para o interior do planalto.

Pedimentos ocorrem em toda a porção leste da área, apresentando inclinação acentuada, sendo este um aspecto típico da região. É comum a presença de "boulders" e pedregosidade ao longo do corpo da superfície pedimentar. Ocorrem subníveis, formando ombreiras pequenas quase imperceptíveis no grande corpo dos pedimentos, onde frequentemente o substrato rochoso pode aflorar, sendo aí encontrados migmatitos.

3.2 - CLIMA

Devido seu posicionamento limítrofe entre o Primeiro Planalto Paranaense e a Serra do Mar, a área do trabalho sofre a influência de dois tipos climáticos, segundo a classificação de W. Köppen (*apud* Maack, 1947):

Cfb: clima subtropical úmido sem estação seca e verão quente; a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C.

Cfa: clima subtropical úmido sem estação seca e verão quente; a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C.

Ambos os climas são mesotérmicos, sendo que a temperatura média do mês mais frio fica abaixo de 18°C. Em função desta situação geográfica específica, os índices pluviométricos na região variam de 1.400mm a 3.000mm anuais (ITCF, 1980).

3.3 - HIDROGRAFIA

Hidrograficamente a área comporta-se como um grande divisor de águas, separando bacias hidrográficas distintas. Na porção norte a drenagem é realizada pelos afluentes da margem direita do rio São João que deságua na Baía de Guaratuba, pertencente à Bacia Hidrográfica do Litoral. Na parte oeste-sudoeste da área, dominam os afluentes dos rios Cachoeira e Piraí-Guaçu, formadores do rio Negro, que pertence à Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu.

Em relação à rede de drenagem, a mesma apresenta-se encaixada, exibindo forte controle estrutural, o que resulta num padrão geralmente retangular a paralelo. Nas zonas mais dissecadas com predomínio de rochas gnáissico-migmatíticas, podem aparecer os padrões sub-paralelo e dendrítico.

3.4 - SOLOS

Na área predominam os Solos Litólicos e Afloramentos de Rocha, englobando unidades simples e combinadas como membros dominantes, representando cerca de 46% da área total (Rocha, 1992). Aproximadamente 10% da área é constituída de Solos Podzólico Vermelho-Amarelo como membro dominante da associação e o restante - 44% - são representados por Cambissolos, que contém unidades simples e combinadas como membro dominante.

Observa-se ainda, que nos pediplanos residuais predominam Cambissolos e Podzólicos; nos pedimentos também predominam os Cambissolos, e, nas zonas de piemonte, os Solos Litólicos e Afloramentos de Rocha são as associações mais comuns.

3.5 - VEGETAÇÃO

Segundo o levantamento realizado por Rocha (*op.cit.*), a região apresenta diferentes tipos vegetacionais com ambiente e fisionomia distintos. Neste contexto destacam-se a Floresta Ombrófila Densa Submontana (ou Floresta Tropical Perúmida), Floresta Ombrófila Densa Montana (ou Floresta Tropical Altimontana), Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Floresta Ombrófila Mista Submontana, Ecótona, Refúgios Ecológicos (ou Campo Subtropical Natural).

4. TRABALHOS ANTERIORES

4.1 - GEOLOGIA REGIONAL

No Estado do Paraná, a Serra do Mar, devido às dificuldades de acesso, a maioria dos trabalhos disponíveis são de reconhecimento regional, incluindo também alguns trabalhos de detalhe de prospeção em alvos potenciais a mineralizações.

Somente a partir do mapeamento geológico efetuado pela Comissão da Carta Geológica do Paraná e dos projetos regionais desenvolvidos pela CPRM (Projeto Leste), é que se verificou um real avanço no conhecimento da região, oportunidade em que se fez a delimitação e o estabelecimento das unidades geológicas regionais.

A Figura 2 ilustra o contexto geológico regional simplificado e a localização da área estudada. Nela, são delimitadas as unidades geológicas regionais mais importantes, sendo realçadas as bacias vulcano-sedimentares molássicas e os maciços graníticos que constituem a Suite Intrusiva Serra do Mar (Kaul, 1984).

Os primeiros trabalhos geológicos existentes sobre a região descrevem-na genericamente como sendo constituída por gnaisses de idade arqueana. Oliveira (1925,1927) descreve como arqueana toda a região de rochas cristalinas da Serra do Mar, embora reconheça os granitos e rochas eruptivas afins como sendo mais jovens. Na mesma linha, Oliveira & Leonardos (1943) observam ainda a ocorrência de quartzitos com magnetita na região de Antonina-PR. Maack (1947) já distingue neste contexto duas etapas de dobramento e intrusões graníticas afetando as rochas do Complexo Cristalino. No Mapa Geológico do Estado do Paraná (1953), este autor refere-se a duas faixas gnáissicas com idades distintas dentro do citado complexo. Finalmente, Maack (1961) numa importante contribuição para o conhecimento da região, descreve os granitos alcalinos da Serra do Mar, correlacionando-os com o final da segunda fase de dobramentos da "Série Açungui".

Os levantamentos geológicos sistemáticos realizados pela Comissão da Carta Geológica do Paraná, sintetizados por Bigarella *et alii* (1967) e Fuck *et alii* (1969), representam o maior e mais completo acervo de dados disponíveis sobre a região. O mapeamento efetuado nas escalas 1:50.000 (folha São José dos Pinhais) e 1:70.000 (folhas Tijucas do Sul, Guaratuba, Pedra Branca de Araraquara, Serra da Igreja, Paranaguá, Antonina e Morretes, dentre outras), definiu as grandes unidades que compõem a geologia desta porção do estado, onde são destacados:

- Uma extensa sequência de rochas metamórficas com estrutura gnáissica predominante e ocorrência subordinada de quartzitos, anfibolitos, xistos e ultrabásicas (Fuck et al., 1967b).
- Rochas granitóides constituindo "stocks" e batólitos de granitos de "anatexia" e de rochas granitóides alcalinas (Fuck et al., 1967c).

Figura 2 - Contexto geológico regional simplificado de parte da região sul-sudeste do Brasil, ressaltando as grandes unidades litoestratigráficas. Bacias vulcano-sedimentares: [1] Grupo Castro, [2] Fm. Camarinha, [3] Fm. Guaratubinha, [4] Fm. Campo Alegre e [5] Fm. Corupá.
 Fonte: modificado de DNPM (1984) e Kaul & Teixeira (1982)

- Uma bacia vulcano-sedimentar com vulcanismo ácido-intermediário e diques ácidos associados, não metamórfica e pouco deformada, constituída pela Formação Guaratubinha (Fuck *et alli*, 1967a).
- Inúmeros diques básicos de idade mesozóica ocorrem discordantes da estrutura regional.
- Depósitos de tálus e colúvio-aluvionares de idade recente.

A partir destes levantamentos surgiram os trabalhos enfatizando a evolução geotectônica da região, com o estabelecimento das grandes unidades regionais. Hasui *et al.* (1975) integram a região no contexto do Maciço Mediano de Joinville, o qual representaria uma grande zona estável entre as Faixas Móveis Apiaí, a norte, e Tijucas, a sul. Posteriormente, é reconhecido seu caráter de zona remobilizada pelo ciclo brasileiro (Kaul, 1980), em contraste com os terrenos granulíticos a sul (Cordani & Brito Neves, 1982). Esta característica levaria à denominação de Maciço Marginal de Curitiba por Basei (1985). Soares (1987, 1988) traça o quadro evolutivo do Escudo Paranaense com base na evolução de margens continentais passivas, envolvendo a formação de arco e colisões de arco e de continente-continente.

Trabalhos regionais sobre a granitogênese sul-brasileira são desenvolvidos por Hasui *et alli* (1978), Wernick & Penalva (1978), dentre outros. Hasui *et alli* (*op.cit.*) agrupa os granitos de São Paulo e Paraná em cinco fácies: Migmatítica, Cantareira, Graciosa, Itu e Granofírica. A fácies Graciosa, na qual se enquadra o granito Morro Redondo, é constituída por granitóides com afinidades alcalinas contendo, em geral, plagioclásio, anfibólio e piroxênio sódicos. As rochas desta fácies teriam se colocado em níveis epizonais e, em função disso, as evidências do caráter subvulcânico já teriam sido removidas pelos processos erosivos.

Kaul *et alli* (1982) e Kaul (1984) reúnem os granitos anteriormente definidos por Maack (1961), juntamente com outros corpos, na Suite Intrusiva Serra do Mar, a qual é composta de inúmeros "stocks" e batólitos de derivação *sienítica* e *quartzo-sienítica*. Estes corpos, entre eles Marumbi, Graciosa, Serra da Igreja, Agudos do Sul e Morro Redondo, seriam de natureza pós-tectônica, estando de alguma forma vinculados com as bacias vulcano-sedimentares eopaleozóicas, bem como relacionados a um episódio de distensão e rifteamento, ao qual denominaram de "*Episódio Campo Alegre*".

Trabalhos de maior detalhe, abrangendo áreas específicas, foram desenvolvidos por Lopes & Lima (1985) e Lima & Lopes (1985). Estes autores definiram a Formação Rio das Cobras e descreveram a sua constituição litológica. Posteriormente, Lopes (1987a e 1987b) redefiniu esta formação dentro do Complexo Metamórfico Serra da Prata, juntamente com os gnaisses da Suite Morro Alto. Este autor também definiu os granitóides Morro Inglês (Serra da Prata), Rio do Poço, Estrela, Canavieiras e Cubatãozinho, bem como reconheceu várias zonas e fácies cataclásticas dentro desses granitóides.

Basei *et alli* (1990) denominam "Batólito de Paranaguá" toda a região leste do Paraná e nordeste de Santa Catarina, inserindo-o dentro do contexto do Maciço

de Joinville. Propuseram ainda a compartimentação deste Maciço em três grandes domínios, de características distintas: os Domínios Setentrional, Meridional e Costeiro (Figura 3). Neste quadro, o maciço Morro Redondo achase inserido no Domínio Setentrional, o qual é constituído principalmente por rochas gnáissico-migmatíticas, juntamente com granitóides de características tardi a pós-tectônicas, intrusivos nos gnaisses.

Basei *et alli* (1992), propõem o abandono do termo Maciço Mediano de Joinville, sugerindo a sua substituição pelos termos: Microplaca Curitiba (norte), Microplaca Luis Alves (sul) e Cinturão Granitóide Costeiro (leste). Segundo os autores tais unidades são separadas por grandes zonas de cisalhamento. Salientam ainda que a interação destas unidades seria responsável pela evolução tectônica dos terrenos granito-gnáissicos da região, através de eventos sucessivos de subducção-colisão continental. Neste quadro de evolução, o granito Morro Redondo e os depósitos de molassas são considerados tardios, de idade cambriana, cujo desenvolvimento seria o produto do rearranjo crustal resultante do espessamento litosférico originado das colisões.

4.2 - GEOLOGIA LOCAL

É provável que a primeira referência sobre o maciço Morro Redondo tenha sido feita por Maack (1953), quando o maciço, juntamente com outros maciços da Serra do Mar, como "rochas alcalinas ácidas" intrusivas pós-Açungui. Retomando o estudo dos granitos alcalinos no Paraná, Maack (1961) fez um minucioso estudo petrográfico e químico destas rochas, sem contudo fornecer dados analíticos do granito Morro Redondo, o qual aparece no esboço publicado pelo autor (1:500.000), como "provavelmente granito alcalino".

Trein (1967), durante o levantamento da folha Tijucas do Sul (1:70.000), refere-se ao "granito do Morro Redondo" como intrusivo nos migmatitos, com forma alongada e discordante das rochas encaixantes. Relata ainda que o caráter intrusivo do mesmo é realçado pela ocorrência de diques de microgranito ou filões pegmatíticos que "emanam" do granito. Este autor descreve a rocha como equigranular leucocrática, de granulação média e caráter provavelmente alcalino. A petrografia é descrita como sendo constituída por quartzo, feldspato alcalino perítico, plagioclásio sódico, anfibólio sódico (riebeckita ?), ferrohastingsita, egirina-augita, barkevicita (?) e biotita como mineralogia principal; zircão, fluorita, clorita, apatita, epidoto, allanita, titanita, moscovita e opacos como acessórios.

Kaul (1984) associa a intrusão do granito Morro Redondo a "falha de abertura" com orientação N30W, conjugada a zonas de cisalhamento N80E; relata ainda que o corpo foi afetado por tectonismo mesozóico relacionado à reativação Wealdeniana.

O reconhecimento pioneiro da ocorrência de "derrames" de rochas vulcânicas ácidas a básicas, associadas ao granito Morro Redondo, foi feito por Góis & Machado (1992), quando sugeriram uma possível vinculação genética entre as duas unidades. Machado *et alli* (1993) fazem uma abordagem petrográfica

preliminar das rochas vulcânicas e plutônicas, reconhecendo as seguintes características:

- O Maciço Granítico Morro Redondo inclui faciologias rósea, cinza e branca com granulação fina a média e estrutura maciça e uma fácies foliada a norte. Exibem textura hipidiomórfica com fenocristais de quartzo e feldspato alcalino. As fases intersticiais são cristalizadas simultaneamente, gerando intercrescimentos granofíricos. Riebeckitas e egirinas acham-se intercrescidas com magnetita, associando-se ainda a biotita e titanita. A fácies foliada possui um percentagem de matriz, sendo em geral mais rica em quartzo e máficos, com ausência de magnetita.

- Os riolitos são de textura porfírica e esferulítica e mostram afinidade alcalina. Os fenocristais, quando presentes, são de quartzo e feldspato peritítico, em meio a uma matriz criptocristalina de quartzo e feldspato alcalino intercrescidos, associados a egirinas, riebeckita e magnetita; Os esferulitos são formados por riebeckitas aciculares radiais, tendo em geral, na parte central, cristais de quartzo e/ou de feldspato peritítico.

Estes autores concluem, com base nos dados petrográficos, que estas rochas mostram uma mesma paragénese ao *liquidus*, caracterizada pela cristalização precoce do quartzo e feldspato peritítico; esta paragénese condicionaria a existência de um magma parental alcalino. Em condições *subsolidus*, uma mesma paragénese a riebeckita-egirina-magnetita-biotita seria estável para os dois grupos de rochas.

Kaul & Cordani (1994) inserem o granito Morro Redondo na categoria dos granitos/quartzo-sienitos/sienitos, constituída basicamente por álcali-feldspato-granitos, do tipo *hipersolvus*, contendo anfibólio e piroxênio sódicos. Referem-se a estas rochas como sendo representantes de um evento magmático tardio com forte afinidade alcalina, originadas em ambiente intra-placa, em condições pós-orogênicas a anorogênicas.

Siga Jr. *et alli* (1994), estudando os maciços graníticos do Paraná e Santa Catarina, fornecem para o granito Morro Redondo, idades Rb/Sr = 590-525 Ma ($R_0=0,706-0,720$), Sm/Nd (TDM) = 1980 Ma e K/Ar (em minerais) = 565 Ma aproximadamente.

Cabe mencionar que as idades Rb/Sr fornecem um intervalo relativamente amplo para o granito Morro Redondo (± 65 Ma), assim como o intervalo da razão inicial. Deste modo, os dados isotópicos disponíveis não permitem qualquer tipo de discussão sobre o significado petrológico destas rochas.

Figura 3 - Compartimentação geotectônica do Maciço de Joinville segundo Basei et alii (1990).

5. GEOLOGIA

5.1 - UNIDADE PLUTÔNICA

O Maciço Granítico Morro Redondo constitui um corpo com cerca de 300 km² de área de exposição, situado na divisa dos estados do Paraná e Santa Catarina. Possui bordas poligonizadas e forma alongada na direção N20-25W, tendo o eixo maior em torno de 30 km e o eixo menor (médio) de cerca de 11 km. O maciço sustenta as formas de relevo mais proeminentes desta parte da Serra do Mar, destacando-se as serras do Papanduva (1.570 m), do Araçatuba, da Imbira e do Quiriri (Foto 1).

Este maciço acha-se encaixado em rochas gnáissico-migmatíticas do leste paranaense, nas quais é intrusivo e discordante. Acha-se limitado, a leste e sudoeste por zonas de cisalhamento rúptil-dúctil. Na parte oeste-noroeste, o corpo encontra-se parcialmente recoberto por rochas vulcânicas.

A colocação do maciço está controlada por zonas de cisalhamento N20W, o que permite distingui-lo de outros corpos semelhantes na região, relacionados à zonas de cisalhamento N-S e N20E. O maciço é cortado por zonas de cisalhamento rúpteis destrais (N130 e N160-170) e sinistrais (N20 e N70).

O corpo, em geral, é constituído por fácies leucocráticas médias à grossas e colorações branca, rósea-avermelhada, cinza e azulada (Prancha 1). Predomina a estruturação maciça, embora localmente, na porção norte do corpo, observe-se uma estrutura foliada com orientação N160 e mergulhos acentuados para o quadrante NW; estrutura de fluxo primário foi verificada no ponto JR-31/72 (Foto 2).

Foto 1 - Vista da borda oeste do maciço mostrando o vale escavado pelo rio Pinhal; a seta indica a Serra do Papanduva, ponto mais alto de todo o corpo granítico. Em primeiro plano observa-se o domínio da área de ocorrência das rochas vulcânicas.

Foto 2 - Afloramento típico na forma de matacões arredondados, exibindo decomposição esferoidal. Notar estrutura de fluxo ígneo incipiente, a qual é subparalela a borda horizontal da foto. (Ponto JR-31/72).

a

b

c

d

Prancha 1 - Características macroscópicas de algumas fácies graníticas do Maciço Morro Redondo: [a] fácies branca, [b] fácies rósea-vermelhada, [c] fácies azulada, e [d] dique da fácies azulada intrudido na fácies branca.

5.2 - UNIDADE VULCÂNICA

As rochas vulcânicas ocorrem preferencialmente na porção oeste e central da área, dispondo-se sobre rochas gnáissico-migmatíticas e sobre parte do granito Morro Redondo (Anexo I). No flanco leste do granito foram observados blocos métricos de riolitos e andesito-basaltos, ao longo do leito do rio Pirizal (Prancha 2). A distribuição areal da unidade abrange, no mínimo, cerca de 50 km², sendo que o seu limite sul ainda não foi estabelecido.

Esta unidade é caracterizada por rochas de composição desde ácida até básica, sendo constituída por riolitos diversos, andesito-basalto e basaltos. Ocorre como "derrames" delgados e descontínuos ou como diques, sobretudo de riolitos. Estes últimos predominam amplamente sobre basaltos e andesito-basaltos, tanto em volume quando em distribuição areal, perfazendo cerca de 80-90% da unidade.

Embora a ocorrência de derrames não tenha sido verificada diretamente numa mesma área de afloramento (p.ex: intercalações de riolitos e basaltos), algumas feições observadas em campo e em lâminas são indicativas disso (Pranchas 2C, 2D, 3A e 3D; Foto 3), como por exemplo:

- Ocorrência de riolitos contendo enclaves de basaltos e/ou andesito-basaltos, verificada em vários pontos (p.ex: JR-03 e JR-96).
- Presença de riolitos com estrutura de fluxo, tanto em escala de afloramento quanto de lâmina. Estas feições são particularmente marcantes nos pontos JR-05 e JR-27. Adicione-se a isso feições características de derrames de lava, incluindo rotação de fenocristais (Pranchas 3a, 4c e 4d).
- No ponto JR-03, cujo afloramento pode ser visto parcialmente na Foto 3, a alternância e/ou intercalação de riolitos e basaltos, pode ser constatada pela recorrência destas rochas ao longo da estrada que passa pelo leito do Rio Pinhal (Anexo I), indo até o topo da vertente oposta, num desnível de cerca de 30 metros. Em ambas as vertentes do vale observa-se a mesma alternância de riolitos e basaltos.

A espessura dos "derrames" não foi observada diretamente, devido a ausência de afloramentos que expusessem as relações de contato dos mesmos com os migmatitos ou com o granito. Os dados de campo sugerem tratar-se de derrames pouco espessos. A área de ocorrência das rochas vulcânicas representa apenas remanescentes de um pacote de lavas já parcialmente erodido. A espessura máxima estimada para estas rochas é de cerca de 200 metros, com base no perfil realizado ao longo da estrada que dá acesso à fazenda da Confloresta. Ao longo deste perfil, a ocorrência de rochas vulcânicas se estende desde a cota 920 m (vale do Rio São João; Anexo I) até a cota 1.127 m. Trata-se do local de melhor exposição da unidade.

Os riolitos são predominantemente maciços, de coloração variável entre rósea, vermelha, violácea e cinza. São afaníticos à faneríticos, variando de fino a muito

fino, equigranulares ou porfíricos (fenocristais de quartzo e feldspato potássico); variedades fluidais e esferulíticas são comuns (Pranchas 2 e 3).

As rochas intermediárias e básicas estão representadas por andesito-basaltos e basaltos, cor verde escura a preta, com variedades afanítica, fanerítica muito fina e porfíricas (fenocristais de plagioclásio e feldspato potássico) (Prancha 2).

Foto 3 - Aspecto do afloramento do ponto JR-03, onde ocorre alternância de riolitos e basaltos, podendo indicar a presença de derrames; neste ponto tem-se a presença de riolitos com enclaves de basaltos.

Prancha 2 - Tipos de afloramentos e feições macroscópicas da unidade vulcânica. [a,b] = aspecto do afloramento de riolitos nos pontos JR-02 e JR-63; [c,d] = riolitos com enclaves de vulcânica básica; [e] = bloco de riolito porfirítico; [f] = vulcânica básica com fenocristais de feldspato (a direita, bloco de riolito afanítico). As amostras c, d, e, f ocorrem no leito do Rio Pirizal (ponto JR-96), flanco leste do maciço granítico.

Prancha 3 - Variações texturais das rochas vulcânicas ácidas: [a] = riolito fluidal ignimbrítico(?); [b,c] = riolito porfirítico com matriz vítreo-afanítica e fenocristais de feldspato potássico; [d] = riolito microporfirítico com enclaves de rocha básica.

6. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

6.1. CLASSIFICAÇÃO ADOTADA

6.1.1 - Rochas Vulcânicas

Os litotipos vulcânicos aflorantes na área de estudo, dada sua granulação extremamente fina e mesmo afanítica, não permitem um reconhecimento satisfatório de seus constituintes minerais de modo a se utilizar critérios classificatórios modais para os mesmos.

Portanto, a classificação adotada no presente trabalho para as rochas vulcânicas é a recomendada pela Subcomissão de Sistemática de Rochas Ígneas (Le Maitre, 1989), que utiliza parâmetros químicos simples através do diagrama TAS, definido pela razão $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$. Conforme salienta a Subcomissão, esta classificação é essencialmente descritiva, e não implica nenhum significado genético.

A Tabela 3 contém os resultados analíticos de elementos maiores, menores e traços de 12 amostras de rochas vulcânicas, analisadas na Divisão de Laboratórios da GEOSOL (GEOLAB) em Belo Horizonte.

O lançamento das análises químicas neste diagrama pode ser visualizado na Figura 4, onde quatro amostras se situam no campo dos basaltos (B), uma no campo dos andesito-basaltos (01) e sete no campo dos riolitos (R), sugerindo inicialmente, como primeira interpretação, uma suite vulcânica bimodal ácida-básica.

Relativamente ao teor de sílica, o diagrama separa os termos básicos ($45 < \text{SiO}_2 < 52\%$), intermediários ($52 < \text{SiO}_2 < 63\%$) e ácidos ($\text{SiO}_2 > 63\%$).

O diagrama da Figura 5 de Winchester & Floyd (1977) discrimina os vários tipos de rochas vulcânicas com base na relação Zr/TiO_2 versus Nb/Y . Esses autores consideram ambas as razões como índices de alcalinidade, sendo que apenas a razão Zr/TiO_2 representa um índice de diferenciação

A comparação deste diagrama com o TAS (Figura 4) revela uma franca concordância em termos de composição, ficando realçado no diagrama Zr/TiO_2 X Nb/Y uma tendência dos riolitos migrarem para o campo dos comendito-panteleritos, traduzindo assim um aumento do grau de diferenciação e do caráter com afinidades peralcalinas dos mesmos, aspectos estes que serão abordados no capítulo 7.

Figura 4 - Diagrama contendo os valores TAS para classificação das rochas vulcânicas da área estudada. (Le Maitre, 1989).

Figura 5 - Diagrama Zr/TiO_2 versus Nb/Y de Winchester & Floyd (1977) contendo os valores correspondentes para as rochas vulcânicas estudadas.

6.1.2 - Rochas Plutônicas

Seguindo ainda a recomendação da Subcomissão de Sistemática de Rochas Ígneas da IUGS (Le Maitre, 1989), será adotada neste trabalho, para as rochas plutônicas que compõem o maciço granítico Morro Redondo, a classificação mineralógica modal, com base no diagrama QAP. Os valores modais estimados visualmente em lâminas de 17 amostras do maciço encontram-se na Tabela 1, tendo sido lançados no diagrama QAP, conforme pode ser visualizado na Figura 6.

A leitura do diagrama mostra que a maioria das amostras se posicionam no campo dos álcali-feldspato-granitos (campo 2), sendo que algumas poucas se situam no dos sienogranitos (campo 3A). Este posicionamento é consistente com o elevado grau de diferenciação dessas rochas e sua afinidade alcalina.

Na Tabela 2 encontram-se as análises químicas de elementos maiores, menores e traços de nove amostras do maciço. Utilizando-se a classificação química de Middlemost (1985), a qual se baseia na relação $\text{SiO}_2 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (TAS), nota-se que a maioria das amostras se situa no campo dos álcali-feldspato-granitos (campo 3); com apenas duas delas se posicionando no campo dos granitos (campo 6), embora já no limite do campo 3 (Figura 7). Observa-se, portanto, através da comparação entre os dois diagramas, uma forte consistência entre a classificação química e os dados petrográficos.

Tabela 1 - Composição modal (em %) de 17 amostras do maciço granítico Morro Redondo

	JR-23	JR-26A	JR-30	JR-33	JR-34	JR-36B	JR-37	JR-38	JR-39B
Q	41	41	46	44	33	41	37	50	33
A	57	51	54	51	65	51	58	48	60
P	2	8	0	1	2	8	5	2	7
	JR-68D	JR-71A	JR-71D	JR-75A	JR-79A	JR-81B	JR-92	JR-95	
Q	45	38	42	32	45	41	44	48	
A	53	45	53	64	55	58	54	50	
P	2	17	5	4	0	1	2	2

Figura 6 - Diagrama QAP (Le Maitre, 1989), contendo as análises modais (estimativa visual) de 17 amostras do maciço granítico Morro Redondo, as quais se concentram preferencialmente no campo dos álcali-feldspato-granitos (2).

Figura 7 - Diagrama TAS de Middlemost (1985) contendo os valores para as rochas graníticas do maciço Morro Redondo.

6.2 - PETROGRAFIA

6.2.1 - Maciço Granítico Morro Redondo

As várias fácies constituintes do maciço Morro Redondo são essencialmente leucocráticas com predomínio de granulação média a grossa, sendo raramente fina; em geral são maciças sendo que localmente ocorrem variedades foliadas. A coloração mostra-se bastante variável e, para fins descritivos, as rochas foram agrupadas em quatro faciologias (Prancha 1): cinza, branca, rósea-avermelhada e azulada.

a) *Fácies Cinza*

Aflora preferencialmente na porção norte-nordeste do maciço e é constituída em sua maior parte por álcali-feldspato-granitos com quartzo, feldspato alcalino pertítico, riebeckita, egirina e/ou egirina-augita e albita-oligoclásio.

Ao nível macroscópico são rochas equigranulares de granulação média a grossa e cor cinza escura à verde oliva; predomina a estrutura maciça embora localmente ocorram tipos foliados associados a zona de cisalhamento rúptil N20-30W.

Em lâmina delgada reconhece-se a presença de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e máficos, estes geralmente representados por riebeckita e egirina e/ou egirina-augita. Quartzo ocorre na forma de massas e agregados de cristais anédricos, podendo constituir dois grupos: o primeiro, predominante, é formado por cristais com dimensão entre 3 e 8 mm; o segundo é constituído de cristais menores que 3 mm - média em torno de 1 mm - ocorrendo intimamente associado aos feldspatos da matriz.

O feldspato potássico é fortemente pertítico e ocorre como cristais subhédricos prismáticos e quadráticos, atingindo 3-4 mm de dimensão. São observados intercrescimentos micrográfico e inclusões de quartzo e riebeckita, esta em provável continuidade cristalográfica com o feldspato potássico, sugerindo um arranjo epitaxítico. Não rara é a presença de pertitas exibindo bordas de reação, com geminação tipo Carlsbad sendo a mais comum.

Albita ou albita-oligoclásio ocorre como cristais subhédricos a anédricos, prismáticos, entre 0,1 e 0,2 mm, distribuídos pela matriz juntamente com quartzo feldspato potássico; são comuns geminações segundo a lei da Albita, sendo mais raro as do tipo Carlsbad.

Os minerais máficos estão representados por anfibólio e piroxênio sódicos (3% em média), ocorrendo em íntima associação. O anfibólio - riebeckita - possui forma prismática e arranjo acicular, com tamanho desde submilimétrico até 3-4 mm. São cristais subédricos, com pleocroísmo de marrom à azulado (Fotos 4 e 5) podendo ocorrer como fenocristal. O piroxênio - egirina - ocorre associado à riebeckita ou em pequenos cristais isolados com hábito prismático ou acicular, em geral subhédricos; a cor é verde exibindo forte birrefringência e alto relevo.

Foto 4 - Cristal de riebeckita (azul) com alteração complexa para biotita(?) + óxidos (vermelho). Nicóis X, aumento 50X (JR-81B). e=egirina, fK=feldspato potássico, bi=biotita.

Os minerais acessórios mais frequentes reconhecidos zircão, allanita e opacos; os minerais de alteração são biotita e muscovita, além de óxidos complexos.

As variedades petrográficas desta faciologia exibem texturas holocristalinas heterogranulares com tendência porfírica seriada e micrográfica. Nota-se que os máficos se dispõem preferencialmente como fases intersticiais na matriz quartzo-feldspática (precoce), sugerindo afinidade agpática para estas rochas. Registram-se localmente, em algumas lâminas, feições de deformação pós-estado sólido, com o quartzo exibindo extinção ondulante: nos locais onde esta deformação é mais intensa, sobretudo nas zonas de cisalhamento que afetam o maciço, a textura da rocha evolui para cataclasito e protomilonito (?).

Foto 5 - Cristal de riebeckita mostrando forte pleocroísmo marrom a azul. Nicóis X, aumento 50X (JR-68D). rb=riebeckita, qz=quartzo, fK=feldspato potássico.

b) Fácies Branca

As rochas agrupadas nesta fácies foram reconhecidas principalmente na parte centro-oeste do corpo. Em amostra de mão exibem coloração branca a cinza clara, granulação grossa e estrutura maciça (Prancha 1). Estimativas modais revelam predomínio amplo de feldspato alcalino (65%), seguido de quartzo (35%) e plagioclásio (2%), o que confere uma composição álcali-feldspato-granítica para estas rochas.

Ao microscópio observa-se cristais de quartzo geralmente anédricos com dimensão entre 0,5 e 5 mm; às vezes são fraturados e podem conter inclusões de máficos. Feições dendríticas como embainhamentos (Foto 6) também são comuns. Na sequência de cristalização acha-se intimamente associada aos feldspatos, constituindo ambos a fase precoce de cristalização do magma.

Feldspato alcalino pertítico é a fase potássica dominante, ocorrendo como cristais subédricos em prismas longos (até 8 mm), podendo conter ainda inclusões de quartzo, máficos e plagioclásio sódico. Geminação do tipo Carlsbad é a mais frequente; microclina parece ocorrer localmente em cristais submilimétricos. O plagioclásio dominante é albita, subédrica, sendo ripiforme e prismática, podendo alcançar até 0,8 mm de comprimento. Ocorre, em geral, como inclusão ou nas bordas do feldspato alcalino (albititização), formando intercrescimentos complexos, inclusive do tipo epitaxítico. Geminações segundo a lei da Albita e Carlsbad são as mais comuns.

Foto 6 - Quartzo anédrico, mostrando embainhamento, associado a feldspato pertítico. Nicóis X, aumento 40X. (JR-34).

qz = quartzo
fk = feldspato pertítico

Riebeckita e egrina são os minerais máficos principais da fácies, perfazendo entre 3-4% do volume da rocha. Riebeckita ocorre em cristais fibrosos a lamelares, subédricos a anédricos, isolados ou em agregados, com dimensão entre 0,3-0,5 mm e entre 4-5 mm. O pleocroísmo varia de marrom a verde-azulado; fenômeno de biotitização pode ocorrer associado aos cristais de anfíbolio. A egrina ocorre como agregados irregulares em associação a riebeckita; mostra relevo forte e cor de interferência incolor à verde pálido; em geral os cristais são submilimétricos, anédricos-subédricos, sendo muito difícil a distinção de seu hábito.

Zircão, allanita e opacos constituem a mineralogia acessoria da rocha; biotita e microclina(?) parecem ocorrer como produtos de alteração, embora a identificação das mesmas não tenha sido conclusiva

O arranjo das fases minerais descritas gera textura tipicamente holocristalina e heterogranular grossa; o caráter agpático é fortemente sugerido pela cristalização tardia das fases máficas, sempre nos espaços intersticiais do quartzo e feldspato alcalino.

c) Fácies Rósea-Avermelhada

Com ocorrência restrita à porção centro-norte do maciço, as rochas desta fácies estão representadas essencialmente por granitos com biotita, cuja composição modal estimada é sienogranítica à álcali-feldspato-granítica. Como na fácies branca, o feldspato alcalino predomina sobre o quartzo. Macroscopicamente são rochas inequigranulares finas a médias, de coloração rósea com tons vermelho e cinza claro. Possuem estrutura maciça e exibem localmente feições de cataclase, como fraturas preenchidas por epidoto.

Ao microscópio, são formadas principalmente por quartzo, feldspato potássico, biotita ($\pm$ anfibólio), plagioclásio e raro piroxênio; stilpnomelano com hábito fibroso ocorre associado a biotita (Coutinho, com. pessoal). O quartzo se apresenta em cristais anédricos a subédricos com tamanho até 4-5 mm de, sendo geralmente fraturado. Inclusões de feldspato e máficos no quartzo são comuns, sendo que o mesmo pode ocorrer como inclusões submilimétricas nos feldspatos. Localmente encontra-se intercrescido com feldspato potássico ou plagioclásio, formando arranjos texturais granofíricos e mirmequíticos.

O feldspato dominante é pertítico em cristais bem desenvolvidos subédricos, com dimensão entre 0,3 e 5 mm e de 2-3 mm, com predomínio neste último intervalo; a geminação típica é segundo Carlsbad. Quartzo e plagioclásio ocorrem como inclusões, conferindo aspecto poiquilítico aos megacristais.

Plagioclásio possui composição albita-oligoclásio, ocorrendo em pequenos cristais subédricos, prismáticos a lamelares, com tamanho de 0,1 a 0,3 mm. Em geral acham-se associados ao quartzo e exibem geminação da Albita e de Carlsbad.

A proporção de minerais máficos é bastante reduzida nesta fácies, correspondendo a cerca de 2-3% em volume da rocha. A biotita predomina em cristais subédricos, lamelares e fibrosos (stilpnomelano), com pleocroísmo marrom a verde. Associa-se geralmente a minerais de alteração como epidoto, clorita, e opacos; tratar-se provavelmente de biotita rica em Fe. Anfibólio é raro e ocorre na forma de cristais fibrosos com pleocroísmo verde escuro a azulado, devendo se tratar de riebeckita. O piroxênio também é de ocorrência rara, ocorrendo em cristais submilimétricos anédricos a subédricos, prismáticos, com forte relevo e alta birrefringência, devendo corresponder a egirina. Segundo Coutinho (com. pessoal), a egirina ocorre formando "massas" de pseudomorfos juntamente com biotita e epidoto.

Feições de cataclase são dadas pela presença de microfraturas preenchidas por epidoto, feldspatos com lamelas recurvadas, assim como quartzo fraturado. Os minerais acessórios são zircão, allanita e opacos, e os de alteração são epidoto e clorita.

O arranjo das fases minerais resulta em textura heterogranular com tendência porfíritica.

d) Fácies Azulada

Esta fácies ocorre na porção central do maciço (pontos JR-32 e 33), possuindo coloração azulada, granulação fina a média e estrutura maciça. Sua ocorrência parece se restringir a uma crista estreita e alongada, parecendo corresponder a um dique. Tal feição pode ser visualizada no ponto JR-35 (Prancha 1) onde um "dique" de cerca de 3-5 cm corta o granito claro e grosso da fácies branca. Estas feições parecem indicar uma fase tardia em relação às demais.

Ao microscopicamente reconhece-se como mineralogia essencial quartzo, feldspato potássico, riebeckita, egirina e plagioclásio; a composição modal estimada permite classificar a rocha como um álcali-feldspato-granito (egirina-riebeckita-granito).

O quartzo perfaz 40% do volume da rocha e ocorre como cristais anédricos, de seção quadrática, com tamanho até 5 mm, às vezes fraturados, com raras inclusões submilimétricas de minerais máficos aciculares e/ou prismáticos.

O feldspato potássico aparece em grandes cristais - até 5 mm - anédricos a subédricos e quase sempre pertíticos. Uma característica marcante deste mineral é a presença frequente de inclusões de riebeckita de forma acicular-filamentosa, com textura do tipo poiquilitica.

Riebeckita e egirina ocorrem em continuidade cristalográfica, preenchendo os espaços intersticiais numa matriz de quartzo+peritita. A riebeckita ocorre em cristais prismáticos a fibrosos e tabulares, atingindo até 0,5 cm de comprimento, aparecendo também como inclusões submilimétricas nas perititas. É fortemente pleocróica, com a cor variando de marrom-esverdeada a azul intenso (Foto 7). A egirina ocorre em cristais menores - entre 0,2 a 0,3 mm - anédricos a subédricos em prismas longos. Apresenta relevo alto e cor esverdeada. A associação com riebeckita é marcante; a biotita pode ocorrer como fase de alteração.

Plagioclásio é de composição albita e aparece localmente intercrescido com feldspato potássico, sugerindo crescimento epitaxítico (continuidade cristalográfica), sendo esta uma feição comum em processos de albitização.

Na fase acessória destaca-se a magnetita euédrica (Foto 7) associada à fase máfica, juntamente com zircão, allanita e outros óxidos de Fe-Ti; a biotita aparece como fase de alteração.

Texturalmente a rocha exibe arranjo tipicamente heterogranular, holocristalina com forte tendência agpaltica; textura poiquilítica aparece de maneira incipiente.

Foto 7 - Associação riebeckita+egirina+magnetita, intersticiais a fase quartzo-feldspática. Nicóis //, aumento 50 X (JR-33).
fK=feldspato potássico; mt=magnetita; eg=egirina

6.2.2 - Rochas Subvulcânicas

Rochas com características subvulcânicas foram reconhecidas em vários pontos da área, posicionadas preferencialmente nas bordas do corpo granítico e também relacionadas às rochas vulcânicas. Os critérios normalmente utilizados para a identificação destas rochas são de campo (forma de ocorrência e exame de contato) e, também microtexturais. Segundo Sial & McReath (1984), rochas subvulcânicas podem exibir tanto feições típicas de rochas vulcânicas quanto texturas mais características de plutônicas. Texturas granofíricas e microgranulíticas são citadas por Bard (1986) como típicas de rochas subvulcânicas, embora isto possa ser questionável; quartzo esqueletal é reconhecido em ambientes vulcânicos e subvulcânicos (Swanson & Fenn 1986).

Em campo estas rochas exibem grande variação texturalmente e granulométrica. Possuem granulação fina a média e textura porfírica com fenocristais de quartzo bipiramidal e feldspato potássico, que podem atingir até 10% do volume da rocha; a cor, em geral, é avermelhada com tons róseo e cinza claro.

O estudo petrográfico definiu como mineralogia principal feldspato potássico, quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita, sendo estas raras; a moda estimada para estas rochas permite classificá-las como sienogranitos e álcali-feldspato-granitos.

O quartzo ocorre de duas formas: a primeira como cristais submilimétricos - 0,2 a 0,3 mm - anédricos, integrando a matriz juntamente com feldspato alcalino; a segunda como cristais vermiculares - simplectitos - gerando texturas gráficas, mirmequíticas e granofíricas, também distribuídos por toda a rocha (Fotos 8 e 9). Os fenocristais apresentam formas: quadráticas, subédricas, hexagonais (seção bipiramidal), arredondados e com bordas corroídas, com tamanho entre 3-4 mm; inclusões máficas são frequentes.

Fotos 8 e 9 - Características microtexturais das rochas vulcânicas da área estudada, mostrando intercrescimentos granofírico, micrográfico e porfiróide. Aumento 50 X, nicóis X. Amostras JR-39B e JR-75A.

Com exceção da amostra JR-38, nas demais o feldspato potássico é predominante, perfazendo cerca de 50-55% em volume da rocha. É representado por feldspato alcalino perítico ou não, ocorrendo em cristais anédricos-subédricos quadráticos ou tabulares (0,3 a 5 mm), podendo mostrar-se fortemente sericitizados; são comuns inclusões de quartzo e minerais máficos. A geminação é do tipo Carlsbad; a microclina ocorre em cristais submilimétricos de difícil caracterização.

O plagioclásio perfaz de 2 a 5% do volume da rocha, aparecendo geralmente muito sericitizado; os cristais são em geral prismáticos a lamelares - 0,2 a 3 mm - subédricos a euédricos, geminados segundo a lei da Albite e de Carlsbad, mais raramente segundo a lei do periclinio. São frequentes inclusões de quartzo e minerais submilimétricos, de difícil identificação. A composição provável do plagioclásio é albita-oligoclásio.

A fase máfica é formada por biotita e hornblenda (JR-26A, 39B e 75A), biotita (JR-30 e 38) e provável piroxênio (JR-79A). A biotita ocorre como massas irregulares ou em cristais individualizados, subédricos, em lamelas longas ou curtas, com pleocroísmo marrom-esverdeado a avermelhado, sugerindo teores altos de Fe e Ti. Quando em massas, são comuns produtos de alteração como clorita e epidoto, ou quando associada à hornblenda, representa a fase de alteração desta. Estas feições apontam para a existência de duas gerações de biotita. Hornblenda aparece em cristais bem formados ou em prismas longos ou curtos e também na forma de navio, pleocroísmo marrom a verde oliva, com cerca de 2 mm. Ocorre também associada a biotita, clorita e óxidos de ferro, todos derivados diretamente da hornblenda como produtos de alteração. Na lâmina JR-79A observa-se mineral incolor a marrom pálido, não pleocróico, exibindo alto relevo, com birrefringência alta a moderada e extinção quase reta; os cristais são prismáticos (curtos ou longos), lamelares e fibrosos, anédricos e subédricos e alteram-se para uma massa escura quase isotropa, devendo tratar-se possivelmente de piroxênio.

Os minerais acessórios mais frequentes são zircão, magnetita e microclina; os minerais de alteração são representados por clorita, epidoto, sericita, óxidos e hidróxidos de ferro.

Estas rochas exibem uma gama variada de texturas, as quais são indicativas do seu caráter subvulcânico. São comuns feições como quartzo corroído, bipiramidal e esquelético, assim como intercrescimentos de quartzo+feldspato gerando texturas granofíricas e micrográficas (Foto 9). Estruturas esferulíticas foram observadas na lâmina JR-30, onde o núcleo dos esferulitos pode apresentar ou não cristais de quartzo. A Foto 8 mostra um intercrescimento granofírico incipiente, onde o campo total da foto representa uma textura microgranulítica (Bard, 1986) com tendência microporfírica, com o fenocristal de feldspato potássico inserido numa matriz sub-isogranular; observe-se ainda um cristal de quartzo esquelético no canto inferior direito da foto.

6.2.3 - Rochas Vulcânicas

a - Vulcânicas Básicas

Os tipos básicos reconhecidos formam delgados derrames(?) de basaltos - centimétricos até métricos - podendo ser recorrentes como demonstram as intercalações com os riolitos (p.ex: pontos JR-03 e 96; Prancha 2 e 3). São rochas afaníticas a faneríticas finas, raramente porfíricas com fenocristais de plagioclásio, maciças, exibindo coloração cinza escura a preta e verde escura.

O exame ao microscópio mostra que estas rochas são formadas essencialmente por plagioclásio (50-65%), piroxênio (20-35%), clorita (10-20%) e opacos (3-10%) (Fotos 10). Nos tipos porfíricos, os fenocristais de plagioclásio - possivelmente andesina-labradorita - são euédricos de forma quadrática a retangular, com dimensão entre 1,5-8 mm, exibindo geminação segundo a lei da Albite e de Carlsbad. Em geral apresentam-se alterados para sericita e carbonato ao longo dos planos de geminação e em fraturas; podem conter ainda inclusões de máficos. Estes fenocristais perfazem entre 20 e 25% em volume da rocha.

Foto 10 - Basalto exibindo textura subofítica. Nicóis X, aumento 50 X. (ponto JR-03)

Na matriz microcristalina, o plagioclásio comparece em cristais euédricos a subédricos, ripiformes e/ou quadráticos, com dimensão entre 0,2-3 mm, geminados frequentemente segundo a lei da Albite e de Carlsbad e mais raramente segundo periclínio. A composição, segundo o método de Michel-Levy, varia entre andesina e bytownita (?).

O piroxênio ocorre como cristais prismáticos anédricos a subédricos, de tamanho entre 0,2 e 2 mm, englobando e/ou preenchendo os interstícios dos plagioclásios num arranjo subofítico; é frequente a alteração para clorita. Trata-se de provável augita, embora na lâmina JR-85 ocorram cristais submilimétricos com pleocroísmo azul-arroxado e alta birrefringência dispersos por toda a rocha, sugerindo uma possível titano-augita ou epidoto (Coutinho, com. pessoal).

A clorita aparece sempre em cristais placóides e fibrosos, esverdeados, subédricos a anédricos, com dimensão entre 0,1 - 2mm. Na amostra JR-85 ela aparece em vários pontos da lâmina como única fase preenchendo os espaços entre as ripas de plagioclásio, gerando textura do tipo intersertal.

Minerais opacos - magnetita/ilmenita - distribuem-se amplamente pela lâmina com volume médio em torno de 3-5%, podendo atingir até 10%. Associam-se ao piroxênio e clorita, sendo anédricos a euédricos com hábito retangular e quadrático. São cristais em geral submilimétricos - 0,02 a 0,05 mm - devendo se tratar de magnetita primária.

A biotita ocorre associada a clorita na lâmina JR-85, na forma de cristais subédricos lamelares, submilimétricos, de coloração verde-amarronada; ocorre também associada ao piroxênio e opacos, evidenciando processo de alteração a partir da augita.

A mineralogia acessória mais frequente é representada por rutilo, titanita e epidoto; quartzo e feldspato potássico(?) são mais raros. A fase de alteração é constituída por biotita, clorita, opacos, sericita e carbonato, sempre associada a piroxênio e plagioclásio.

O arranjo entre piroxênio-plagioclásio-clorita, resulta numa textura subofítica; coexistem também domínios ou texturas ofítica, intergranular, intersertal, além de texturas porfíricas (Foto 10).

b - Vulcânicas Intermediárias

As rochas vulcânicas intermediárias reconhecidas nos pontos JR-61, 96 e 28, foram classificadas com base em critérios químicos e petrográficos como andesitos e andesito-basaltos. São rochas em geral afaníticas ou muito finas e não raro porfíricas (fenocristais de plagioclásio); a coloração é preta esverdeada, com estrutura maciça (Prancha 2).

Em lâmina observa-se como paragênese principal o plagioclásio (40-50%), piroxênio (10-40%), biotita+clorita (10-20%), opacos (5-10%) e quartzo+feldspato potássico ($\pm 5\%$), sendo estes valores variáveis dependendo da amostra. Nos tipos porfíricos predominam fenocristais de plagioclásio - oligoclásio/andesina - euédricos, quadráticos, com tamanho variando entre 1,5 - 7 mm; podem ocorrer cristais com zoneamento incipiente. Os fenocristais de feldspato potássico são em geral euédricos-subédricos, de forma também quadrática, podendo chegar até 2,5 mm; exibem bordas corroídas ou apresentam evidências de reação com o líquido magmático (Foto 11). Estes fenocristais podem corresponder a *xenocristais* de feldspato potássico, segundo Coutinho (com. pessoal).

Na matriz destaca-se o plagioclásio em cristais ripiformes (curtos ou longos) (Foto 12), subédricos, de dimensão submilimétrica, entre 0,1 e 0,5 mm, geminados segundo a lei da Albita e de Carlsbad; são geralmente ricos em

inclusões de quartzo e de máficos. É comum a alteração para epidoto e sericita. A composição estimada é de andesina (JR-61), embora em algumas lâminas situa-se entre oligoclásio-labradorita.

Fotos 11 e 12 - Andesito-basalto com textura intergranular e ofítica (12) e com *xenocristais* de feldspato potássico exibindo bordas corroídas, evidenciando reação com o líquido magmático (13). Nicóis X, aumento 50 X. (Amostras JR-28 e 96C, respectivamente)

Piroxênio - augita - ocorre como cristais prismáticos, com secção quadrática, de forma anédrica a subédrica, com tamanho entre 0,2-1 mm, exibindo baixa birrefringência (cinza a amarelo), pleocroísmo castanho claro a amarelo pálido e relevo alto. A ocorrência de cristais poiquilíticos com plagioclásio sugere textura ofítica.

Biotita e clorita ocorrem associadas. Neste sistema predomina a clorita como fase de alteração da biotita, a qual permanece como fase reliquiar; possui forma lamelar-fibrosa subédrica a anédrica, e dimensão submilimétrica até 1 mm; o pleocroísmo varia de verde a marrom. Na lâmina JR-28 (Foto 12) estes minerais se associam a piroxênio, sugerindo duas gerações de biotita.

Minerais opacos, representados provavelmente por magnetita-ilmenita, distribuem-se por toda a rocha e podem atingir até 5% em volume da mesma.

São em geral anédricos ou euédricos, submilimétricos de forma quadrática. É possível a ocorrência de duas gerações, sendo uma de magnetita primária e outra secundária, associada às fases máficas como produto de alteração.

Quartzo e feldspato potássico aparecem como traços em algumas amostras, sendo que este último pode ocorrer também como fenocristais. Os minerais acessórios mais frequentes são apatita com secção hexagonal e em bastonetes, epidoto e provável zircão na amostra JR-96C. Sericita, carbonato, clorita e opacos representam os minerais de alteração.

As texturas mais comuns observadas neste tipo composicional são intersetal, intergranular, ofítica e porfírica. Localmente, na amostra JR-28, há desenvolvimento de textura com tendência esferulítica. Uma disposição orientada das ripas de plagioclásio, confere uma textura de fluxo na amostra JR-61.

c - Vulcânicas ácidas

As rochas vulcânicas ácidas predominam em volume e distribuição geográfica na área de estudo, em relação aos outros tipos composicionais. Embora com feições texturais, estruturas e coloração bastante variadas, sua composição mineralógica é razoavelmente simples e muito similar das rochas plutônicas. Algumas destas feições mesoscópicas encontram-se ilustradas nas amostras da Prancha 2 e 3.

Com base nas feições texturais e estruturais das amostras de mão, podem ser distinguidos os seguintes tipos de riolitos:

- Riolitos maciços afaníticos (ou vítreos) a faneríticos finos;
- Riolitos porfíricos com fenocristais de quartzo e feldspato potássico dominantes, inseridos em matriz afanítico-vítrea ou fanerítica muito fina;
- Riolitos com textura fluidal, exibindo estrutura de fluxo proeminente, com rotação de fenocristais (ignimbritos ?), aspectos estes sendo observados em amostras de escala mão e de afloramento.

Os riolitos descritos em campo como maciços, quando analisados em lâmina, revelam-se porfíricos com a matriz mostrando textura de fluxo (Prancha 4C). Conforme referido por Cox *et ali* (1987), a textura porfírica é uma característica marcante de lavas e rochas subvulcânicas, sendo muito rara a ausência de fenocristais nestas rochas.

Ao microscópio os riolitos porfíricos mostram como mineralogia essencial feldspato alcalino, quartzo, riebeckita + egirina. Como paragénese secundária aparece biotita, hornblenda (rara), plagioclásio e magnetita; os acessórios são principalmente zircão e allanita; os minerais de alteração são sericita, clorita, epidoto(?), apatita, óxidos-hidróxidos e leucoxênio (?).

Quartzo e feldspato potássico representam quase a totalidade dos fenocristais, podendo ocorrer ainda plagioclásio, biotita e às vezes piroxênio e allanita (Prancha 4B, 4C e 4D); estes fenocristais perfazem entre 5 e 35% da em volume rocha.

Os fenocristais de quartzo são euédricos a anédricos com formas quadráticas, bipiramidais (secção trigonal) e dendríticas (embainhados, corroídos, etc.), com tamanho entre 0,5 e 5 mm, perfazendo cerca de 5-10% dos fenocristais. Fenocristais de feldspato potássico - pertítico ou não - ocorrem como prismas quadráticos, subédricos a euédricos, ou ainda formas arredondadas. Com dimensão entre 0,2 - 5 mm, é comum exibirem intercrescimento granofírico, mirmequítico e micrográfico; alguns cristais são zonados e mostram bordas de reação. É comum alteração para sericita, assim como inclusões de plagioclásio, quartzo e de minerais máficos; a geminação mais frequente é segundo a lei de Carlsbad. Na lâmina JR-60E alguns destes fenocristais mostram feição de microclinização.

A matriz destes riolitos é sempre criptocristalina e microcristalina, constituída por quartzo+feldspato potássico, que perfazem cerca de 80% da rocha, intercrescidos de forma complexa resultando em texturas micrográfica, granofírica, mirmequítica e simplectítica. **Riebeckita e egirina** comparecem associadas em cristais submilimétricos subédricos a euédricos, com hábitos prismático, lamelar e acicular, em cristais isolados ou formando agregados. Geralmente perfazem entre 1 e 5% do volume da rocha; a riebeckita predomina nesta associação, exibindo pleocroísmo intenso de cor azul indigo. Na lâmina JR-21 (Prancha 4B), os máficos hornblenda e biotita cloritizada, não sendo reconhecidas riebeckita e egirina. A magnetita primária é euédrica, ocorrendo associada a riebeckita e egirina. A composição do plagioclásio é albita, ocorrendo em pequena quantidade, seja como integrante da matriz ou como inclusão no feldspato potássico. Em geral são subédricos, em prismas curtos de até 1 mm e em geral sericitizados. Mais raramente ocorrem como fenocristais euédricos (JR-96D), agrupados ou isolados com dimensão de até 5 mm, mostrando localmente cristais com bordas corroídas (reabsorção).

As relações texturais nas rochas vulcânicas ácidas são complexas e variadas, podendo-se destacar nas rochas estudadas as seguintes texturas: porfíritica, porfíritica seriada, glomeroporfíritica, esferulítica, microgranulítica, microlítica, granofírica, micrográfica; a matriz quase sempre é criptocristalina. A Prancha 4 ilustra algumas destas texturas.

Nos pontos JR-5, 87 e 96 aflora rocha com estrutura de fluxo proeminente, sendo possível distinguir bandas finas irregulares, devendo corresponder a um ignimbrito riolítico. A característica principal é a presença de grande quantidade de esferulitos, que atingem 50% em volume da rocha. Os esferulitos ocorrem em níveis centimétricos, sendo alternados com níveis de riolito maciço, também com espessura centimétrica (1-3 cm). A matriz é formada predominantemente por quartzo, feldspato potássico e riebeckita, com subordinação de cristais de egirina e albita. Os esferulitos são constituídos por riebeckita+egirina aciculares, dispostas radialmente em torno de um núcleo, que pode estar presente ou não, de feldspato potássico ou quartzo; o diâmetro destes

esferulitos pode atingir até 5 mm. Magnetita euédrica e zircão, às vezes zonado, formam os principais acessórios ; óxidos e hidróxidos aparecem como fases de alteração.

No ponto JR-27A (Prancha 3C, 4D), aflora uma rocha de cor escura a preta, com aparência vítrea, de composição riolítica, devendo corresponder a um tufo soldado (*welded tuff*). Contém fenocristais de quartzo e feldspato potássico. A matriz com textura fluidal proeminente, é composta por uma associação com quartzo+riebeckita+feldspato alcalino, que contorna e envolve os fenocristais de quartzo quadrático, os quais mostram embainhamentos frequentes. Magnetita euédrica, com secção quadrática, submilimétrica, ocorre tanto na matriz como inclusões nos fenocristais. Ortoclásio micropertítico é o feldspato potássico dominante, embora alguns deles parecem corresponder a cristais de sanidina.

Prancha 4 - Feições microtexturais das rochas vulcânicas ácidas. [a] = riolito com textura esferulítica, [b] = riolito porfirítico com fenocristais de quartzo esquelético e allanita em matriz heterogranular, [c] = riolito fluidal porfirítico com fenocristal de quartzo embainhado, [d] = provável tufo soldado (*welded tuff*), exibindo fluxo proeminente, principalmente próximo do contato com o fenocristal.

7. LITOGEOQUÍMICA

Os resultados analíticos para elementos maiores, menores, traços e terras raras, estão listados nas Tabelas 2 e 3, correspondendo a nove amostras de rochas Maciço Morro Redondo e 12 de rochas vulcânicas, respectivamente.

7.1 - ROCHAS PLUTÔNICAS

As rochas que compõem o maciço granítico Morro Redondo se enquadram entre os granitos ricos em SiO_2 , com média de 76,3% e valores extremos entre 77,5% e 75,2%; isto resulta num intervalo de variação de apenas 2,3%, que é extremamente reduzido. Os teores de K_2O se situam entre 3,87%-5,45%; Na_2O entre 3,22%-4,79%; Al_2O_3 entre 9,89%-13,31%; FeO^* entre 1,09%-5,42%; CaO é bastante variável com os teores variando entre 0,07% e 0,67% e o MnO com teores entre 0,08% e 0,1%. Para a maioria das amostras, os teores de MgO estão abaixo do limite de detecção.

Cabe mencionar que o teor elevado de F deste maciço, situado entre 300 e 2600 ppm, e teor médio de 1288 ppm para o conjunto de amostras analisadas, é semelhante ao dos Granitos Jovens da Nigéria, onde o teor neste elemento é em geral acima de 1000 ppm (Collins *et alii*, 1982; p. 1994).

7.1.1 - Diagramas de Harker

A análise dos diagramas da Figura 8 mostra grande dispersão para o CaO , FeO^* e MnO , embora estes dois últimos elementos mostrem uma tendência de diminuição com a diferenciação. O TiO_2 apresenta um aumento e o Na_2O um pequeno decréscimo com a diferenciação. O Al_2O_3 e o K_2O têm comportamento mais ou menos constante.

Nos diagramas da Figura 9, onde figura a maior parte dos elementos menores e traços analisados, nota-se numa primeira análise, a existência de aparentemente duas séries. Porém, numa análise mais detalhada, observa-se que os alinhamentos sugeridos não se repetem para as mesmas amostras nos diferentes diagramas. Cabe salientar o comportamento semelhante de alguns elementos, tais como Ba-Sr e Nb-Zr-Hf.

Com relação ao comportamento dos elementos menores e traços, deve-se ressaltar alguns aspectos, excetuando-se as amostras JR-75A1 e 75C, que mostram comportamento discrepante em relação as demais, os quais são os seguintes:

- As concentrações de Ba e Sr são muito baixas, com teores médios de 33 ppm e 10 ppm respectivamente, para o conjunto das amostras analisadas, excetuando as duas acima referidas. Embora demonstre uma preferência pelo feldspato potássico, que é abundante nestas rochas, Bonin (1982) ressalta que granitos tipo "hipersolvus" em geral são empobrecidos em Ba e Sr, sendo este aspecto observado no diagrama destes elementos.

Tabela 2 - Dados químicos de elementos maiores, menores, traços e ETR do Maciço Granítico Morro Redondo.

	JR-67A	JR-69B	JR-71A	JR-72	JR-74A	JR-75A1	JR-75C	JR-78A	JR-81B
SiO ₂	76.67	75.72	75.2	76.87	78.45	76.57	75.95	75.75	77.5
TiO ₂	0.1	0.15	0.1	0.13	0.17	0.15	0.18	0.17	0.23
Al ₂ O ₃	10.22	11.08	10.92	11.86	10.83	12.8	13.91	9.89	10.88
Fe ₂ O ₃	2.4	1.7	3.2	1.8	3.5	0.67	0.28	5.6	2.1
FeO	2.1	2.1	1.4	0.42	1.1	0.71	0.85	0.28	0.71
FeO _i	3.88	3.65	4.33	2.05	4.3	1.32	1.09	5.42	2.62
MnO	0.07	0.05	0.1	0.05	0.08	0.01	nd	0.03	0.04
MgO	nd	nd	nd	nd	nd	0.21	0.12	nd	nd
CaO	0.15	0.39	0.16	nd	0.08	0.57	0.67	0.07	0.15
Na ₂ O	3.99	4.33	4.75	4.32	3.95	3.22	3.33	4.79	3.83
K ₂ O	4.91	4.63	4.45	4.72	4.15	5.14	5.45	3.87	4.74
F	0.18	0.26	0.13	0.05	0.09	0.19	0.17	0.03	0.23
P.Fogo	0.1	0.24	0.27	0.23	0.51	0.55	0.74	0.66	0.12
TOTAL	99.90	99.99	99.66	99.99	99.71	99.68	100.09	99.37	99.78
Rb	328	164	225	161	255	2	185	374	156
Ba	22	120	21	20	27	651	854	nd	23
Sr	8	16	9	7	7	85	98	12	9
Ta	nd	nd	nd	nd	7.09	nd	nd	10.19	nd
Nb	26.6	24.2	37.4	35.2	105.3	24.2	17.1	143.7	48.4
Hf	15.33	10.07	48.51	11.05	73.82	nd	nd	112.14	22.17
Zr	728	67	1766	656	2977	218	228	4591	1109
Y	96	11.08	125	368	110	156	251	204	310
Th	20.45	11	32.34	25.12	41.52	38.29	33.28	114.19	36.28
La		76.7		98.54	99.77	142.7			222.3
Ce		174.4		231.5	241.1	299.8			347.2
Nd		69.89		133.2	128.4	96.15			225.5
Sm		14.05		31.09	29.71	17.69			41.85
Eu		0.642		1.449	1.162	0.0875			1.741
Gd		11.79		24.35	20.46	15.02			40.75
Dy		11.71		21.53	24.18	15.35			39.67
Ho		2.335		3.969	5.983	2.65			7.23
Er		6.234		9	21.84	6.561			16.95
Yb		6.519		4.631	33.07	5.289			11.05
Lu		0.901		0.484	3.52	0.811			1.283
ETR		375.17		557.72	609.54	571.8			954.52
TRL/TRP		8.50		7.70	4.60	11.52			7.23
La/Yb		11.76		20.84	3.02	28.98			20.11
Eu/Sm		0.05		0.05	0.04	0.05			0.04
I. Agpaitico	1.16	1.09	1.15	1.03	1.01	0.85	0.85	1.22	1.05

Obs.: - Óxidos, F e Perda ao Fogo expressos em (%); demais elementos em (ppm)
 - ETR analisados no GEOLAB LTDA. (Belo Horizonte-MG)
 - Índice Agpaitico = $(Na_2O + K_2O / Al_2O_3)$; nd = não determinado

Figura 8 - Diagramas de variação de Harker (SiO_2 X óxidos) com a distribuição das amostras analisadas do maciço Granítico Morro Redondo. As amostras JR-75A1 e JR-75C foram lançadas com símbolos diferentes (*)

Figura 9 - Diagramas de variação de Harker (SiO_2 X elementos menores e traços), para as amostras do maciço granítico Morro Redondo.

- O teor médio de Rb=236 ppm é relativamente baixo, sendo de se esperar concentrações maiores deste elemento, que em geral tende a se fixar nas fases magmáticas finais.

- Zr exibe teor médio de 1.785 ppm e máximo 4.700 ppm. Estes valores são consistentes uma vez que o Zr mostra forte afinidade a magmas residuais ricos em feldspato alcalino.

- Por último, cabe destacar as altas concentrações de F nestas rochas, que é compatível com o caráter alcalino das mesmas, a exemplo dos granitos jovens da Nigéria (Collins *et al*, 1982).

A distribuição dos elementos maiores, menores e traços contra SiO_2 , exibe em geral grande dispersão. Entretanto, vale salientar o comportamento semelhante entre Ba-Sr e Nb-Zr-Hf que apresentam um *trend* horizontalizado e outro inclinado, este último em decréscimo com a diferenciação. O Y sugere dois alinhamentos de evolução paralela, que aumentam com a diferenciação; o Rb exibe ampla dispersão, enquanto que o Th não varia durante a diferenciação.

7.1.2 - Diagramas de Alcalinidade

O caráter alcalino das rochas graníticas do maciço Morro Redondo é dado não apenas pela sua paragéneses mineral característica (Cap. 6), mas também pelo comportamento das amostras nos diagramas químicos de Maniar & Piccoli (1989) e Wright (1969) (Figuras 10 e 11).

O diagrama da Figura 10, que é obtido pela razão molar entre $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) \times \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, discrimina os campos peralcalino, peraluminoso e metaluminoso. Neste diagrama, a maioria das amostras analisadas situa-se no campo dos granitos peralcalinos, com exceção das amostras JR-75A1 e JR-75C, que situam-se no campo peraluminoso. Nota-se que a distribuição das amostras deste granito coincide com o campo delimitado para os granitos alcalinos (pós-orogênicos e anorogênicos), com base no índice de Shand, por Maniar e Piccoli (1989; fig.2, p.637).

Figura 10 - Diagrama de Maniar & Piccoli (1989) com a distribuição das rochas graníticas estudadas, situando-as nos campos peralcalino (maioria) e peraluminoso (JR-75A1 e JR-75C).

O diagrama da Figura 11 (Wright, 1969) separa os campos cálcio-alcálico, alcálico e peralcálico através da relação SiO_2 versus $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}$ em porcentagem de peso, sendo que esta última razão define o grau de alcalinidade, segundo o referido autor.

Com exceção das amostras JR-75A1 e JR-75C, que apresentam razão de alcalinidade anômala, 30 e 40 respectivamente, as demais situam-se no intervalo de 4 a 8 e dispõem-se no campo alcálico do citado diagrama. Estes valores são compatíveis com os dos granitos anorogênicos do Grupo 3, e similares aos granitos jovens da Nigéria (Jacobson *et alli*, 1958). O comportamento anômalo das amostras acima referidas, provavelmente se deve aos processos de alteração verificados em lâmina delgada, como forte sericitização dos feldspatos e propilitização dos anfibólios, os quais seriam responsáveis pelo aumento dos teores de Al_2O_3 e CaO ; a rocha aflorante no ponto JR-75 é subvulcânica, apresentando textura porfírica, granofírica e micrográfica e cristais de quartzo corrodidos com forma esquelética.

Figura 11 - Diagrama de alcalinidade de Wright (1969) contendo os valores para as rochas plutônicas e vulcânicas da área estudada.

7.1.3 - Diagramas Discriminantes de Ambiente Tectônico

O ambiente tectônico de colocação das rochas graníticas estudadas foi investigado com base em vários diagramas já consagrados na literatura, optando-se por aqueles que se utilizam de razões simples entre elementos maiores, relações multicatiônicas e elementos traços considerados imóveis.

A Figura 12 ilustra o diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$ (% peso) de Maniar & Piccoli (1989), onde foram lançadas as amostras do maciço granítico Morro Redondo. Nota-se que um grupo situa-se no campo dos granitos pós-orogênicos (POG), enquanto outro grupo dispõe-se no campo dos granitos anorogênicos (RRG+CEUG). Este último grupo corresponde granitos relacionados a riftes (RRG) e a soerguimento epirogênico continental (CEUG). Na distinção entre os grupos RRG e CEUG, estes autores utilizam o diagrama $\text{TiO}_2 \times \text{SiO}_2$ (% peso); neste caso as rochas

analisadas posicionam-se predominantemente no campo dos CEUG. Com relação as características mineralógicas e químicas dos tipos RRG e CEUG, Maniar & Piccoli (1989) destacam:

- O tipo RRG mostra distribuição bimodal e são representados por álcali-granitos, quartzo-álcali-sienitos e quartzo-monzonitos; CEUG são granitos, álcali-granitos, quartzo-álcali-sienitos e quartzo-sienitos.

- Anfibólio alcalino é reportado apenas a estes dois tipos, com ou sem biotita associada.

- Quimicamente RRG e CEUG possuem distribuição bimodal de SiO_2 , são classificados como alcalinos e apenas eles podem ser considerados peralcalinos, com relação aos demais grupos do diagrama.

Com exceção do aspecto bimodal assinalado pelos autores, as demais características são observadas no maciço granítico Morro Redondo, podendo-se ressaltar a afinidade com o tipo CEUG.

Figura 12 - Diagrama tectônico de Maniar & Piccoli (1989) contendo os valores de granitos (●) e riolitos (▼) da área estudada. (RRG=granitos relacionados a rifte; CEUG=granitos relacionados a soerguimento epirogênico continental; POG=granitos pós-colisionais; IAG=granitos de arco de ilha; CAG=granitos de arco continental, e CCG=granitos de colisão continental).

No diagrama multicatiônico R1-R2 de Batchelor & Bowden (1985), ilustrado na Figura 13, as amostras deste maciço granito situam-se no campo 5 dos granitos anorogênicos, próximo ao campo 7 dos granitos pós-orogênicos. O campo 5 representa magmatismo pós-orogênico ou anorogênico, sendo importante notar que na construção deste diagrama, a delimitação do referido campo foi estabelecida por rochas alcalina-peralcalinas pós-orogênicas da Nigéria (Batchelor & Bowden, op. cit.; p. 46).

Pearce *et alli* (1984) utilizou elementos traços como Y, Nb e Rb na discriminação de sítios tectônicos para rochas granitóides. Nos diagramas das Figuras 14 e 15 ($\text{Rb} \times \text{Y} + \text{Nb}$ e $\text{Nb} \times \text{Y}$, em ppm), a maioria das rochas estudadas se situa no

campo dos granitos intra-placa (WPG). Esses autores assinalam as principais características químico-mineralógicas dos granitos WPG, como sendo quartzosienitos, granitos e álcali-granitos; a paragénes mineral contém anfibólio e piroxênio sódicos, com o índice de alcalinidade variando de peraluminoso a peralcalino.

Figura 13 - Diagrama tectônico R1-R2 de Batchelor & Bowden (1985) para as rochas graníticas estudadas, as quais se concentram preferencialmente no campo dos granitos anorogênicos.

Figura 14 - Diagrama Rb versus Y+Nb de Pearce et al. (1984), para os granitos e riolitos da área. *Legenda dos campos:* WPG=granitos intra-placa; ORG=granitos de cadeia oceânica; VAG=granitos de arco vulcânico, e syn-COLG=granitos sincolisionais. Granitos (●); Riolitos (▼).

Figura 15 - Diagrama Nb versus Y de Pearce *et alii* (1984) contendo as análises de granitos e riolitos da área estudada. Simbologia e legenda como na figura 14.

7.1.4 - Elementos Terras Raras - ETR

O espectro dos elementos terras raras (ETR) de cinco amostras analisadas do maciço Morro Redondo, acha-se ilustrado na Figura 16; a concentração obtida para estes elementos foi normalizada ao condrito segundo os valores de Nakamura (1974).

O maciço Morro Redondo apresenta concentrações elevadas em ETR, com um teor médio de 614 ppm; a amostra JR-69B exibe o teor mais baixo (375 ppm), sendo a amostra JR-81B a mais enriquecida (954 ppm) (Tabela 2). Neste aspecto, cabe ressaltar a existência de uma correlação entre os teores em SiO_2 e em ETR da maioria das amostras analisadas (Figura 17). Observa-se que a amostra com menor teor em SiO_2 , apresenta, também, a menor concentração em ETR ($\text{SiO}_2=75,7\%$; ETR=375ppm); no outro extremo, tem-se a amostra JR-81B com os mais altos teores em SiO_2 e em ETR ($\text{SiO}_2=77,5\%$; ETR=954,5 ppm).

A análise dos espectros obtidos para estas rochas, permite observar o seguinte:

- o conjunto das amostras analisadas exibe moderada a forte anomalia negativa de Eu;
- os elementos terras raras leves (ETRL) mostram fracionamento moderado, com a amostra JR-75A1 apresentando grau de fracionamento levemente mais acentuado, sendo este comportamento realçado pela razão $(\text{La/Yb})_n = 27$, que é a mais elevada do conjunto;
- os elementos terras raras pesadas (ETRP) apresentam fracionamento muito suave, sendo o padrão quase horizontal para o conjunto; a exceção é a amostra JR-74A que mostra um suave enriquecimento em ETRP, sendo esta feição também refletida pela baixa razão $(\text{La/Yb})_n = 3$ da amostra.

Figura 16 - Padrão dos elementos terras raras normalizados ao condrito, de amostras do maciço Morro Redondo. A normalização é segundo os valores de Nakamura (1974).

Figura 17 - Gráfico SiO_2 versus ΣETR (ppm), mostrando correlação positiva entre estes elementos. Riolitos ($\blacktriangledown$), granitos ($\bullet$).

As concentrações de ETR obtidas para este granito mostram-se consistentes com a dos granitos ricos em feldspato alcalino, os quais exibem anomalia negativa em Eu moderada a acentuada (Henderson, 1984). Este autor apresenta para os *granitos alcalinos*, os seguintes parâmetros estatísticos: $\Sigma\text{ETR} = 40\text{-}1977$ ppm, $\text{ETRL}/\text{ETRP} = 1,1\text{-}22$ e $\text{Eu}/\text{Sm} = 0,009\text{-}0,074$. As rochas aqui estudadas mostram os seguintes valores para estes parâmetros: $\Sigma\text{ETR} = 375\text{-}954$ ppm ($\bar{x}=614$ ppm), $\text{ETRL}/\text{ETRP} = 4,6\text{-}11,5$ ($\bar{x}=7,9$) e $\text{Eu}/\text{Sm} = 0,04\text{-}0,05$ ($\bar{x}=0,045$).

Comparando-se o padrão dos ETR do maciço Morro Redondo com os granitos tipo A da Suite Mumbulla da Austrália (Collins *et alii*, 1982) (Figura 18), verifica-se semelhanças entre os dois conjuntos, ressaltando-se os seguintes aspectos:

- ambos apresentam forte anomalia negativa em Eu, sendo pouco mais acentuada nas rochas aqui estudadas;
- ambos apresentam padrão inclinado para os ETRL, sendo que o maciço Morro Redondo mostra um grau de fracionamento um pouco mais acentuado;
- o comportamento dos ETRP da Suíte Mumbulla é mais horizontalizado que o do Morro Redondo;
- como diferença mais acentuada, nota-se que o Morro Redondo é mais enriquecido em ETR que a Suíte Mumbulla.
- finalmente, a fraca anomalia negativa em Tm observada no espectro da Suíte Mumbulla, não pode ser comparada com o do Morro Redondo, pois este elemento não foi aqui analisado.

Figura 18 - Espectro de ETR para os granitos tipo A da Suíte Mumbulla, do sudeste da Austrália (extraído de Collins *et alii*, 1982).

7.2 - ROCHAS VULCÂNICAS

As rochas vulcânicas ácidas - riolitos s.l - são composicionalmente semelhantes ao granito Morro Redondo. O teor em SiO_2 é mais elevado, com média de 77,2% (pouco superior a do granito) e intervalo entre 75,6% e 78,3%, resultando numa faixa de variação igualmente reduzida (2,7%). Relativamente aos granitos, os riolitos possuem teores levemente mais elevados em Ba, Sr, Zr, Y, Th e SiO_2 , menores em Na_2O e Rb, sendo que as concentrações médias de Al_2O_3 e K_2O são similares.

Tabela 3 - Dados químicos de elementos maiores, menores, traços e ETR da unidade vulcânica.

	JR-03B	JR-05C	JR-08A	JR-19	JR-21A	JR-28	JR-36F	JR-51	JR-03C	JR-09	JR-16A	JR-45
S ₀₂	77.8	77.1	75.0	75.2	77.3	76.4	76.6	54.2	48.1	47.5	47.5	47.6
Al ₂ O ₃	12.1	11.4	9.7	12.4	12.6	11.1	11.1	14.9	17.0	16.9	17.1	16.6
Fe ₂ O ₃	0.36	1.7	3.9	1.2	0.26	2.1	2.4	2.6	2.6	2.3	2.6	3.4
FeO	0.85	0.85	1.7	1.4	0.42	1.1	0.71	7.1	7.5	8.1	7.5	7.1
CaO	0.32	0.15	0.05	0.54	0.35	0.17	0.26	6.7	9.7	9.5	8.9	9.3
MgO	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	4.2	7.6	7.1	6.7	7.0
TiO ₂	0.10	0.19	0.18	0.23	0.08	0.23	0.18	1.8	1.5	1.9	1.7	1.9
P ₂ O ₅	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	0.65	0.25	0.29	0.28	0.30
Na ₂ O	3.3	3.3	4.0	3.9	3.3	3.7	3.6	3.2	2.8	2.8	2.7	2.5
K ₂ O	4.6	4.6	3.5	4.7	5.0	4.7	4.6	1.7	0.91	0.34	1.4	1.1
MnO	<0.01	0.07	0.11	0.04	<0.01	0.04	0.04	0.16	0.15	0.16	0.20	0.16
Co ₂ SO ₄	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.013	0.013	0.016	0.016	0.016
NiO	0.005	0.004	0.006	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.006	0.010	0.009	0.009	0.010
F	0.14	0.11	0.041	0.096	0.019	0.072	0.11	0.090	0.030	0.031	0.022	0.032
Cl	0.004	0.003	0.002	0.004	<0.002	<0.002	0.002	0.012	0.006	0.002	0.004	0.005
P.Fogo	0.46	0.55	1.03	0.22	0.46	0.29	0.24	1.81	1.21	2.07	2.58	2.10
TOTAL	100.04	100.03	99.22	99.93	99.79	99.90	99.84	99.14	99.18	99.02	99.22	99.13
Rb	146	136	356	116(106)	141(127)	137(136)	159	32(31.9)	41(46)	17	42	27(26.1)
Ba	117	130	33	261(271)	206(210)	29(24.9)	13	1194(1222)	234(264)	173	324	292(309)
Sc	61	13	22	37	53	9	11	339	293	291	318	313
Y	<5	<5	6	<5(1.74)	<5(2.06)	<5(2.75)	<5	<5(0.86)	<5(0.29)	<5	<5	<5(0.22)
Nb	31	42	163	29	25	37	45	19	11	9	9	8
Hf	<8	24	107	15(16.6)	<8(5.23)	27(23.7)	27	11(9.2)	<8(3.23)	<8	<8	<8(3.66)
Zr	262	1126	5200	749	170	1038	1153	432	142	179	169	167
Y	647	542	796	139	242	150	166	58	67	31	29	40
Th	41	52	148	36(24)	42(26)	34(27)	44	<5(7.5)	<5(0.43)	<5	<5	<5(0.49)
Ca				0.31	0.48	0.46		0.39	2.3			1.0
Sc				1.69	0.87	0.71		23.9	25.1			29.5
Co				1.80	nd	0.74		32.8	43			45
U				2.71	4.59	3.30		0.72	0.11			nd
La				135	323	216		75	12.8			15
Co				239	445	284		142	27			34
Nd				100	300	172		67	23			21
Sm				18	49	29		11.6	5.7			5.7
Eu				1.1	3.8	2.2		3.6	2.45			2.3
Gd				na	na	na		na	na			na
Tb				2.96	6.8	4.16		1.76	1.46			1.3
Dy				na	na	na		na	na			na
Ho				na	na	na		na	na			na
Er				na	na	na		na	na			na
Yb				8.7	12	13		5.3	4.4			4.4
Lu				1.18	1.37	1.56		0.70	0.56			0.56
ETR				506	1141	722		307	77.4			84.3
Th/L/ThP				38.4	55.5	37.6		38.5	11.05			12.5
La/Yb				15.5	26.9	16.6		14.1	2.9			3.4
Eu/Sm				0.06	0.07	0.07		0.31	0.43			0.40
Índice Agpaitico	0.86	0.91	1.06	0.93	0.86	1.01	0.98	0.47	0.309	0.29	0.35	0.32

Obs.: - Óxidos, F e Perda ao Fogo expressos em (%); demais elementos em (ppm)
 - ETR, Cs, Sc, Co, U e os elementos entre parênteses foram analisados no IPEN-SP.
 - Índice Agpaitico = $(Na_2O + K_2O / Al_2O_3)$; na = não analisado; nd = não determinado

7.2.1 - Diagramas de Harker

Os resultados analíticos obtidos para as rochas vulcânicas básicas a ácidas encontram-se na Tabela 3 contendo elementos maiores, menores, traços e terras raras, os quais foram utilizados na construção dos diagramas de variação das Figuras 19 e 20. A SiO_2 foi usada como elemento de diferenciação em relação aos demais óxidos. Tanto as rochas ácidas quanto as básicas se concentram em dois extremos, não sendo possível visualizar a evolução interna de cada grupo composicional. Neste sentido, estes dois grupos serão analisados, mais adiante, em diagramas com índices de diferenciação distintos: as ácidas com a SiO_2 como índice, enquanto que para as básicas será utilizado o MgO .

O diagrama da Figura 19 mostra a relação das SiO_2 com os demais óxidos. Observa-se, neste diagrama, o agrupamento das amostras em dois grupos distintos: um básico, à esquerda, e outro ácido, à direita. Uma amostra de andesito-basalto situa-se numa posição intermediária. Esta distribuição permite fazer uma análise relativa entre os dois grupos composicionais, onde são salientados os seguintes aspectos:

- Com o aumento da SiO_2 há um empobrecimento sistemático de TiO_2 , FeO^* , MnO , CaO , Al_2O_3 e P_2O_5 .
- Ao contrário, os elementos K_2O e Na_2O aumentam juntamente com o incremento em SiO_2 .

Já nos diagramas da Figura 20, onde é lançado a SiO_2 em função dos elementos menores e traços, observa-se um razoável alinhamento das análises, com exceção do andesito-basalto que se posiciona fora do mesmo e cujo significado deve ser melhor investigado. Entretanto, considerando os termos extremos, é possível reconhecer um alinhamento que mostra os seguintes aspectos:

- Diminuição dos teores de Sr e Ba com aumento da SiO_2 , sendo mais acentuada no primeiro.
- Enriquecimento em Hf, Y, Rb, Nb, Zr e Th com o aumento da diferenciação.

Conforme referido anteriormente, foram confeccionados diagramas de Harker para cada um dos grupos separadamente, utilizando a SiO_2 como elemento de diferenciação para as ácidas (Figuras 21 e 22) e MgO para as básicas (Figuras 23 e 24).

a - Vulcânicas Ácidas

O tratamento destas rochas nos diagramas de Harker revelou um comportamento relativamente coerente para o conjunto das amostras, com exceção da amostra JR-08A que exibe comportamento anômalo; em relação as

demais, ela mostra-se enriquecida em Fe_2O_3 , Rb, Nb, Hf, Zr e Th, sendo empobrecida em Al_2O_3 , Ca e Ba.

Figura 19 - Diagramas de variação de Harker (SiO_2 X elementos maiores) para as rochas vulcânicas ácida, intermediária e básica estudadas.

Figura 20 - Diagramas de variação de Harker (SiO_2 X elementos menores e traços) para as rochas vulcânicas da área.

Elementos Alcalinos e Alcalinos Terrosos (+Al₂O₃)

De um modo geral, a análise destes elementos com a diferenciação revela um decréscimo dos teores em Na₂O, Ba e Sr e um aumento dos teores em Rb e K₂O. O CaO mostra dispersão, enquanto o Ba sugere dois níveis de empobrecimento. A amostra JR-08A é fortemente enriquecida em Rb (cerca de 3 X) e empobrecida em K₂O; a amostra JR-96F apresenta um enriquecimento menos acentuado em Rb.

A análise de cada diagrama mostra o seguinte:

- O CaO apresenta dispersão dos dados, com teores compreendidos entre 0,05% (JR-08A) e 0,54% (JR-19). A amostra JR-08A é a que mostra menor teor em SiO₂, sendo portanto incoerente em termos de evolução com as demais amostras, onde os teores em CaO e SiO₂ são mais elevados.
- O Rb denota um enriquecimento: a amostra JR-08A exibe um teor anômalo neste elemento, cerca de 3 X maior do que o esperado (364 ppm); a amostra JR-96F possui teor ligeiramente maior que as demais (160 ppm).
- O Ba parece apresentar dois níveis de empobrecimento: na curva superior, com teores mais elevados, onde se alinham as amostras JR-19, JR-21A, JR-05C e JR-03B, e outro, inferior, com o alinhamento das amostras JR-08A, JR-88 e JR-96F.
- O Sr, apesar de certa dispersão, sugere um alinhamento decrescente com a diferenciação, formado pelas amostras JR-19, JR-08A, JR-96F e JR-05C; as amostras JR-03B e JR-21A situam-se fora deste alinhamento.
- O diagrama do Na₂O mostra um empobrecimento suave com a diferenciação, com as amostras formando um bom alinhamento.
- O K₂O mostra bom alinhamento, comportando-se de forma relativamente constante, excetuando-se a amostra JR-08A, que possui o teor mais baixo neste óxido (3,58%).
- O diagrama do Al₂O₃ parece sugerir dois níveis com comportamento mais ou menos constante. No nível superior alinham-se as amostras JR-19, JR-21A e JR-03B; no inferior, se alinham as amostras JR-88, JR-96F e JR-05C. A amostra JR-08A apresenta o teor mais baixo neste óxido (9,92%), o que também foi verificado para o CaO e Ba, refletindo portanto, uma mobilidade destes elementos seja por ação de líquidos residuais na fase final de cristalização ou pela presença de uma fase fluida associada com o evento de cataclase que afetou as estas rochas.

Elementos de Transição (+Th)

A análise destes elementos revela um comportamento sempre particular da amostra JR-08A, com teores mais enriquecidos que as demais amostras. No

conjunto, nota-se um enriquecimento com a diferenciação para Zr, Y e Th; um empobrecimento em FeO^* e TiO_2 , e comportamento constante de Nb, Hf e MnO.

- O Nb mostra bom alinhamento indicando um comportamento constante; a amostra JR-08A apresenta teor cerca de 4 X mais elevado do que o esperado (163 ppm).

- O Hf não foi detectado na amostra JR-03B; nas demais, indica um comportamento mais ou menos constante, exceto a amostra JR-08A que é cerca de 5 X mais enriquecida neste elemento.

- O MnO exibe bom alinhamento das amostras, indicando um comportamento constante para o conjunto; a amostra JR-08A é mais enriquecida que as demais (0,11%).

- O diagrama do Zr denota um ligeiro enriquecimento, com exceção das amostras JR-21A e JR-03B que apresentam teores mais baixos nestes elementos; a amostra JR-08A é cerca de 5 X mais enriquecida (5320 ppm).

- O Y apresenta comportamento constante, tendendo a um enriquecimento ao final da diferenciação. Nota-se, ainda, que duas amostras são mais enriquecidas, a JR-05C (546 ppm) e JR-03B (651 ppm); a amostra JR-08A, com comportamento particular, possui um teor de 814 ppm de Y.

- O diagrama do TiO_2 mostra um bom alinhamento das análises e indica um ligeiro empobrecimento neste óxido.

- O Fe_2O_3^* , mostra dois níveis de empobrecimento: um nível superior com teores mais elevados, onde são agrupadas as amostras JR-88, JR-96F, JR-05C e JR-03B; e outro inferior onde se alinham as amostras JR-19 e JR-21A. A amostra JR-08A possui teor significativamente mais alto neste óxido (5,33%).

- O Th apresenta um bom alinhamento para o conjunto de amostras e indica um suave enriquecimento com a diferenciação; a amostra JR-08A, com 151 ppm, é cerca de 4 X mais enriquecida.

Figura 21 - Diagramas de Harker - SiO_2 X elementos maiores (+Nb e Th) - para as rochas vulcânicas ácidas (riolitos) da área.

Figura 22 - Diagramas de Harker - SiO_2 X elementos menores e traços - para os riolitos da área estudada.

b - Vulcânicas Básicas e Intermediárias

O tratamento destas rochas nos diagramas de variação revelou um comportamento coerente para o conjunto de cinco amostras. Relativamente às demais amostras, a amostra JR-61 (andesito-basalto) exibe teores mais elevados em K_2O , Na_2O , P_2O_5 , Ba, Sr, Zr, Y e Nb; teores mais baixos em Al_2O_3 , $Fe_2O_3^*$ e MgO , e, concentrações similares em Rb, MnO e TiO_2 .

Elementos Alcalinos e Alcalinos Terrosos (+ Al_2O_3 e P_2O_5)

A análise destes elementos mostra, de maneira geral, um decréscimo do CaO com a diferenciação, um rápido aumento do K_2O e um enriquecimento mais suave em Na_2O , Ba e Sr.

- O CaO mostra um bom alinhamento do conjunto, indicando um decréscimo com a diferenciação;
- Ocorrem dois níveis de Rb, sugerindo um enriquecimento suave neste elemento. Na curva superior se alinham as amostras JR-03C e JR-16A e, na curva inferior, o alinhamento é dado pelas amostras JR-85 e JR-61; a amostra JR-09 apresenta um teor baixo para este elemento (18 ppm);
- No diagrama do K_2O apenas três amostras se encontram alinhadas, indicando um enriquecimento com a diferenciação; a amostra JR-09 exibe teor abaixo do esperado (0,35%).
- Para o Na_2O nota-se uma certa dispersão do conjunto de análises, apesar de sugerir um ligeiro aumento deste óxido com a diferenciação.
- O Ba apresenta um bom alinhamento para quatro amostras, indicando um aumento suave com a diferenciação;
- No diagrama do Sr parecem ocorrer dois níveis: o superior, indica enriquecimento com a diferenciação e é formado pelas amostras JR-16A e JR-85; o inferior mostra comportamento constante e reúne as amostras JR-03C e JR-09;
- O diagrama do P_2O_5 exibe alinhamento para as amostras, com valores baixos e mais ou menos constantes, entre 0,26% e 0,31%; a amostra JR-61 possui teor mais elevado neste elemento (0,67%).
- O comportamento do Al_2O_3 é relativamente constante para as quatro amostras de basaltos, com teores entre 17,18% e 17,74%; o andesito-basalto apresenta concentração menor, com 15,37%.

Figura 23 - Diagramas de Harker - MgO X elementos maiores - para as rochas vulcânicas intermediária e básica da área.

Figura 24 - Diagramas de Harker - MgO X elementos menores e traços - para basaltos e andesito-basalto da área.

Elementos de Transição

Os diagramas dos elementos de transição mostram um empobrecimento em Fe_2O_3^* com a diferenciação; comportamento estável para Zr e MnO; teores extremamente baixos em Cr e Ni; dispersão em TiO_2 , Y e Nb, o que dificulta a definição de tendências.

- O MnO exibe bom alinhamento, com valores baixos e constantes (0,15%-0,17%); a amostra JR-16A possui teor ligeiramente superior - 0,21%;
- Os diagramas de Fe_2O_3^* e TiO_2 mostram dispersão dos dados, sendo que o primeiro sugere um decréscimo com a diferenciação, enquanto o segundo se apresenta mais ou menos constante;
- Para o Zr observa-se comportamento relativamente constante para as amostras de basaltos, com os teores variando entre 145 ppm e 185 ppm; o andesito-basalto é fortemente enriquecido em Zr, com um teor de 446 ppm..
- O Y e o Nb mostram dispersão das análises, sendo difícil o reconhecimento de tendências, embora o conjunto de amostras pareça indicar um decréscimo com a diferenciação.

7.2.2 - Diagramas de Alcalinidade

No diagrama de Wright (1969, p.45, Figura 11), os riolitos posicionam-se no campo das rochas alcalinas, com razão de alcalinidade entre 4,5 e 8; os basaltos e o andesito-basalto situam-se no campo cálcio-alcalino, sendo que aqueles se posicionam próximo ao limite do campo alcalino.

A Subcomissão de Sistemática de Rochas Ígneas (Le Maitre, 1989) recomenda a subdivisão de riolitos peralcalinos em riolito comendítico e pantelerítico, com base no diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{FeO}^*$ (% peso) (Figura 25) de MacDonald (1974). Para a utilização deste diagrama é necessário que a rocha tenha razão molecular $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$.

As sete análises de riolitos disponíveis mostram Índice agpáitico (IA) entre 0,86 e 1,06, com apenas duas amostras atingindo $\text{IA} > 1$ - JR-08A e JR-88 - sendo classificadas, respectivamente, como pantelerito e comendito, conforme mostra a Figura 25.

A alcalinidade dos riolitos fica também evidenciada no diagrama de Maniar & Piccoli (1989) (Figura 26; Índice de Shand), no qual as amostras situam-se no campo peralcalino, próximo ao limite com o campo peraluminoso.

Figura 25 - Diagrama de MacDonald (1974), separando riolitos peralcalinos em comenditos e panteleritos.

Figura 26 - Diagrama de Maniar & Piccoli (1989), com o posicionamento dos riolitos da área estudada, que concentram preferencialmente no campo peralcalino junto ao limite do campo peraluminoso.

7.2.3 - Diagramas Discriminantes de Ambiente Tectônico

Para discutir o ambiente tectônico gerador das rochas vulcânicas ácidas, foram utilizados os mesmos diagramas discriminantes dos granitos, excetuando-se o R1-R2 de Batchelor & Bowden (1985).

Quando plotados no diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$ (% peso) de Maniar e Piccoli (1989), ilustrado na Figura 12 (pag. 46), os riolitos se sobrepõem ao campo dos granitóides relacionados a rifte (RRG) e ao dos granitóides associados a soerguimento epigênico continental (CEUG).

Da mesma forma que os granitos, os riolitos também possuem características quimico-mineralógicas consistentes com as reportadas por esses autores, relativamente aos tipos RRG e CEUG (ver Item 7.1.3).

Nos diagramas de Pearce *et alii* (1984) - $\text{Rb} \times \text{Y} + \text{Nb}$ e $\text{Nb} \times \text{Y}$ em ppm - (Figuras 14 e 15, p. 47 e 48) os riolitos se posicionam no campo dos granitos intra-placa (WPG), juntamente com as rochas plutônicas do maciço Morro Redondo, sugerindo portanto condições de ambiente tectônico similares para a geração dos mesmos.

As rochas básicas quando lançadas no diagrama $\text{Zr/Y} \times \text{Zr}$ de Pearce & Norry (1979) posicionam-se predominantemente no campo dos basaltos intra-placa (WPB), com exceção da amostra JR-03C que se situa no limite do campo MORB (Figura 27), sugerindo de maneira consistente a afinidade continental para estes basaltos. A amostra JR-03C, quando comparada às demais rochas básicas, exibe teores mais elevados em MgO , Nb e Y, e mais baixos em TiO_2 e Zr, sendo este comportamento refletido nos diagramas de Harker (Figuras 23 e 24). Feições de alteração são observadas na análise petrográfica, através de teores elevados em carbonato (cerca de 3%) e também de clorita (cerca de 20%), descartando-se portanto esta amostra para interpretações tectônicas.

Figura 27 - Diagrama tectônico de Pearce & Norry (1979), indicando ambiente intra-placa para os basaltos da área estudada.

7.2.4 - Elementos Terras Raras - ETR

As análises de oito elementos terras raras de seis amostras de rochas vulcânicas encontram-se listadas na Tabela 3. São três amostras de vulcânicas ácidas (JR-19, 21A e 88), duas vulcânicas básicas (JR-03C e 85) e uma intermediária (JR-61). As amostras foram analisadas por ativação neutrônica nos laboratórios do IPEN em São Paulo, sob a responsabilidade da Dra. Ana Maria G. Figueiredo.

O espectro dos elementos terras raras (ETR), normalizado ao condrito encontra-se na Figura 28; os valores de normalização utilizados são de Nakamura (1974).

O espectro dos ETR é diferente para cada tipo composicional. As vulcânicas ácidas são mais enriquecidas em ETR do que as vulcânicas intermediária e básicas. Além disso, mostram fracionamento dos elementos terras raras leves (ETRL) e acentuada anomalia negativa em Eu.

O comportamento quase plano (não fracionado) dos elementos terras raras pesadas (ETRP) é idêntico nos três tipos composicionais. Apenas uma amostra de vulcânica ácida (JR-21A) exibe um certo fracionamento dos ETRP.

O espectro de ETR das duas amostras de vulcânicas básicas é muito semelhante, sendo aproximadamente plano para os ETRL e para os ETRP.

A amostra de vulcânica intermediária apresenta um espectro idêntico ao das vulcânicas ácidas, porém não exibe a anomalia negativa de Eu.

É interessante salientar que nas vulcânicas ácidas, existe uma relação direta entre os teores relativos de ETR com o teor em SiO_2 , de tal modo que as amostras mais ricas em SiO_2 (JR-21A), são também mais enriquecidas em ETR; por outro lado, a amostra mais empobrecida em SiO_2 (JR-19), com 75,99%, é a que exibe os teores globais em ETR mais baixos. A amostra JR-88, com teor em $\text{SiO}_2 = 76,92\%$, situa-se numa posição intermediária aos dois outros espectros.

Na comparação entre os espectros de ETR das rochas aqui estudadas com os da Formação Guaratubinha e do Grupo Castro (Figura 29), disponíveis na literatura (Castro, 1993 e Moro, 1993), nota-se semelhanças, mas também existem diferenças, que são as seguintes:

- as vulcânicas aqui estudadas são mais enriquecidas no conjunto de ETR;
- apresentam também maior fracionamento de ETRL;
- as anomalias negativas de Eu são, em geral, menos acentuadas;

As semelhanças observadas são as seguintes:

- comportamento similar entre os ETRP;

- a vulcânica intermediária aqui estudada tem espectro semelhante ao dos andesitos da Formação Guaratubinha e do Grupo Castro, inclusive com ausência de anomalia negativa de Eu;

- as vulcânicas básicas também não exibem anomalia negativa de Eu, mostrando também um espectro plano para os ETRL e ETRP.

Figuras 28 e 29 - Padrões de elementos terras raras das rochas vulcânicas aqui estudadas (fig. 28) e de riolitos e andesitos da Formação Guaratubinha (GUA) e do Grupo Castro (RCA) (fig. 29). Andesitos = GUA 13b e RCA 22; Riolitos = GUA 1b, RCA 12, RCA 13 e RCA 23 (Fonte: Castro, 1993 e Moro, 1993).

7.3 - INDICATIVOS DE COGENETICIDADE

Considerando que a avaliação da cogeneticidade entre as rochas plutônicas e vulcânicas constitui um dos principais objetivos deste trabalho, neste item trataremos deste aspecto com base principalmente nas características petrográficas e litogeoquímicas das mesmas.

7.3.1 - Relação Basalto-Riolito

As análises químicas da unidade vulcânica investigada, quando tratada no diagrama TAS de classificação - $\text{SiO}_2 \times (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - (Figura 4), apresentam uma distribuição tipicamente bimodal, com uma parte das amostras se concentrando no campo dos basaltos, e outra parte, no campo dos riolitos. Wilson (1989), considera que para suites vulcânicas que exibem um intervalo de variação contínuo, é razoável supor que o magma ácido seja derivado, por cristalização fracionada, dos basaltos associados. Entretanto, salienta esta autora, no caso de suites bimodais, as relações entre os termos básicos e ácidos são menos evidentes, sendo necessário estudos isotópicos e de elementos traços para tentar se estabelecer estas relações genéticas.

A covariação entre elementos traços incompatíveis como Nb x Zr, Zr x Ce e Hf x La têm se constituído em importante ferramenta não só para investigar a cogeneticidade entre rochas vulcânicas de uma mesma suite (p.ex: no leste Africano), mas também sugerir evidências de que a cristalização fracionada pode ser o processo dominante na geração e evolução destas rochas. Para isso, a razão entre os elementos acima citados deve se mostrar relativamente constante na suite, indicando em última análise, que não tenha ocorrido contaminação crustal ao longo do (Wilson, *op.cit.*).

Os diagramas da Figura 30a e 30b, mostram a covariação entre os elementos incompatíveis Zr x Ce e Hf x La para as amostras de rochas vulcânicas da área estudada. A disposição das análises nestes diagramas, segundo um alinhamento regular, indica que a razão entre estes elementos se mantém constante e sugere a cogeneticidade entre estas rochas, e ainda, que a cristalização fracionada seja o processo predominante na evolução das mesmas.

O comportamento anômalo da amostra JR-21A nestes diagramas, talvez esteja relacionado a algumas características particulares da mesma, que são as seguintes:

- em relação aos demais riolitos, esta amostra apresenta teores mais elevados de ETR, K_2O e Al_2O_3 ;
- um comportamento inverso é verificado para o TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , FeOt , Zr, Nb e F, cujas concentrações são bastante inferiores as demais amostras.

O comportamento das rochas vulcânicas ácidas a básicas, verificado no espectro de ETR, constitui também um razoável argumento da relação genética entre elas, sobretudo o padrão dos riolitos e do andesito-basalto (Figura 28).

Figura 30 - Diagramas Zr x Ce (a) e Hf x La (b) com os valores correspondentes para as rochas vulcânicas estudadas; ba=basaltos, an=andesito-basalto e ri-riolito.

7.3.2 - Relação Riolito-Granito

Quanto a vinculação genética entre as rochas plutônicas do Maciço Morro Redondo e as rochas vulcânicas associadas, alguns argumentos podem ser levantados conjuntamente:

- mineralogicamente, granitos e riolitos são praticamente idênticos, tendo a mesma paragénese essencial com quartzo+feldspato alcalino perfitico+riebeckita+egirina+magnetita±biotita. O quartzo+feldspato perfitico se cristalizam precocemente, apontando para a existência de um magma parental alcalino (Machado *et alli*, 1993);
- caráter alcalino-peralcalino, tanto dos riolitos quanto dos granitos, fica evidenciado em vários diagramas, como o de Maniar & Piccoli (1989; Figuras 10 e 26), Wright (1969; Figura 11) e MacDonald (1974; Figura 25).
- a razão molecular $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ (índice agpático), varia de 0,85 a 1,22 para as rochas plutônicas, e de 0,86 a 1,06 para as vulcânicas ácidas, evidenciando claramente o caráter alcalino a peralcalino dos dois conjuntos.
- as vulcânicas ácidas, sobretudo os riolitos, se distribuem em grande parte, sobre o maciço granítico e junto às suas bordas (Anexo II), sendo esta relação espacial sugestiva da vinculação entre ambos.

Nos diagramas da Figura 31a e 31b, tem-se a covariação entre os elementos incompatíveis Nb x Zr e Zr x Ce, nos quais foram lançadas as análises das rochas plutônicas e vulcânicas. Na Figura 31a (Nb x Zr), apesar de certa dispersão observada, as amostras se distribuem segundo um alinhamento

razoavelmente definido, apontando para uma tendência cogenética entre elas. Na Figura 31b (Zr x Ce), os vários tipos composicionais se distribuem segundo uma linha bem definida, formada pela maioria das amostras. As amostras de granito (JR-74A e JR-75A1) e riolito (JR-21A), situam-se fora do alinhamento esperado; geoquimicamente, as amostras JR-74A e JR-75A1 se diferenciam das demais nos seguintes aspectos:

- a amostra JR-74A possui concentrações mais elevadas em Zr, Nb e Fe_2O_3 , e teores mais baixos em CaO; mostra, também, teores elevados em ETR. Além disso, exibe o menor grau de fracionamento nestes elementos, com a razão $\text{La/Yb}=3$;

- a amostra JR-75A1 apresenta teores altos Ba, Sr, CaO, K_2O , Al_2O_3 , e empobrecimento em Fe_2O_3 ; paralelamente é a que apresenta o maior grau de fracionamento em ETR, com a razão $\text{La/Yb}=27$.

Figura 31 - Diagramas Nb x Zr (a) e Zr x Ce (b) mostrando o comportamento das rochas vulcânicas e plutônicas da área. Legenda da Figura 31b como da Figura 31a.

A análise dos padrões de ETR, descrita nos Itens 7.1.4 e 7.2.4, revela grande similaridade no comportamento destes elementos, sobretudo através da correlação entre o teor em SiO_2 e o conteúdo em ETR (Figuras 16, 17, 28, 32 e 33); como diferenças destacam-se: (a) anomalia negativa de Eu menos acentuada nos riolitos, (b) teores globais de ETR mais elevados nos riolitos do que nos granitos.

Os valores dos parâmetros comparativos, abaixo relacionados, permitem visualizar melhor o comportamento similar entre os dois espectros:

	<i>Granitos</i>	<i>Riolitos</i>
Σ ETR	614	790
TRL/TRP	7,9	44*
Eu/Sm	0,05	0,066

(*) valor compatível para espectro com anomalia negativa em Eu fraca a moderada (Henderson, 1984).

Figura 32 - Padrão de elementos terras raras (ETR) para o maciço granítico Morro Redondo e riolitos associados; normalização segundo Nakamura (1974).

Figura 33 - Intervalo de variação dos ETR do maciço Morro Redondo e dos riolitos associados.

Trabalhos experimentais efetuados por Clemens *et alli* (1986), sobre uma associação bimodal de granito tipo-A / riolito com basalto do sudeste da Austrália, mostram que os granitos do tipo-A são derivados por fusão parcial direta de alta temperatura de uma fonte empobrecida tipo-I, situada na crosta inferior. Embora sejam granitos metaluminosos, eles são comumente associados, no espaço e no tempo, aos granitos peralcalinos tipo-A, Nigerianos. As experiências foram conduzidas a pressões de 1 Kb e indicam temperaturas mínimas de 830°C e até acima de 900°C para a geração do magma. São magmas anidros, com conteúdo de água inferido entre 2,4 e 4,3%. As associações de rochas típicas incluem: (1) granitos (incluindo granitos peralcalinos), sienitos, gabros e anortositos; (2) suite granítica bimodal (metaluminosa), riolitos, gabros e basaltos; e (3) riolitos com topázio (metaluminoso ou peraluminoso), que Burt *et alli* (1982 *apud* Clemens *et alli*, 1986), sugerem como relacionados aos granitos tipo-A.

8. CORRELAÇÃO COM UNIDADES SIMILARES

8.1 - UNIDADES PLUTÔNICAS

O maciço granítico Morro Redondo e as vulcânicas associadas, apresentam similaridades químicas e temporais com outros maciços e unidades vulcânicas que ocorrem no sul-sudeste do Brasil e Uruguai. A composição química média de algumas destas unidades plutônicas e vulcânicas encontra-se nas Tabelas 4 e 5, e servirá de base para as discussões que serão apresentadas a seguir.

O maciço Morro Redondo, juntamente com os granitos Mandira, Guaraú, Graciosa, Marumbi, Corupá, Serra Alta e outros (Figura 2), compõem a Suite Intrusiva Serra do Mar (Kaul, 1984); os granitos Saibro e Santa Juliana pertencem a Suite Intrusiva Ramada, com distribuição no Estado do Rio Grande do Sul (Moreira & Marimon, 1982). Estas suites apresentam como principais características: caráter fortemente alcalino a peralcalino, ocorrência de riebeckita granitos e arfvedsonita-egirina granitos, intrusivos em terrenos gnáissico-migmatítico-granulítico (Craton Rio de La Plata; Issler, 1987), em condições francamente anorogênicas.

A comparação química do maciço Morro Redondo com os demais corpos relacionados na Tabela 4, evidencia inicialmente uma correlação entre as concentrações dos elementos maiores, destacando-se ainda os seguintes aspectos:

- a) O maciço Morro Redondo apresenta o mais baixo teor em Al_2O_3 e o mais elevado em Fe_2O_3 do conjunto, sendo semelhante, entretanto, ao granito Corupá;
- b) É similar em SiO_2 , sendo entretanto pouco mais enriquecido do que o granito Saibro e a Suite Mumbulla;
- c) O conteúdo de K_2O é ligeiramente mais alto do que o do granito Serra Alta e o da Suite Mumbulla, com teores semelhante ao Corupá e Saibro, sendo inferior aos demais corpos, destacando-se concentrações mais elevadas nos granitos Guaraú, Mandira e Graciosa;
- d) Juntamente com o granito Serra Alta, é o mais empobrecido em CaO .

O comportamento dos elementos traços apresenta variações para a composição média obtida, sendo possível destacar as seguintes características:

- a) O maciço Morro Redondo distingue-se dos demais pelas baixas concentrações em Ba e Sr, com os granitos Graciosa, Marumbi e as Suites Mumbulla e Gabo, sendo particularmente enriquecidos neste elemento;
- b) Ao contrário, o maciço Morro Redondo mostra-se enriquecido nos elementos incompatíveis Nb, Zr e Y, sobretudo neste último elemento; o mesmo comportamento também é verificado para o Th, cujo teor (39 ppm), é mais elevado do que os demais granitos.

TABELA 4 - Média da composição química de alguns granitóides alcalinos do sul-sudeste do Brasil e Australia comparativamente a do granito Morro Redondo, obtida neste trabalho.

	(1) SP	(2) SP	(3) PR	(4) PR	(5) SC	(6) SC	(7) RS	(8) RS	(9) AUST.	(10) AUST.	(11) M.RED.
SiO ₂	76.5	76.5	70.6	73.0	72.6	74.18	77.60	77.0	77.2	73.04	75.5
Al ₂ O ₃	11.1	11.4	13.3	12.6	12.1	11.14	12.87	11.60	11.79	12.62	10.7
Fe ₂ O ₃	0.72	0.69	0.56	1.25	1.65	2.30	0.75	0.70	0.36	1.63	2.9
FeO	1.02	0.56	3.37	2.09	1.70	1.15	0.19	0.34	0.85	1.51	1.16
CaO	0.25	0.45	1.05	0.43	0.25	<0.10	0.42	0.49	0.39	0.96	0.16
TiO ₂	0.11	0.13	0.32	0.27	0.34	0.18	0.10	0.21	0.13	0.37	0.15
MnO	0.03	0.03	0.11	0.11	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.03	0.08	0.06
MgO	0.015	0.18	0.62	0.42	<1.0	<1.0	0.12	0.17	0.04	0.33	<0.10
Na ₂ O	4.4	4.3	3.99	4.35	4.47	4.16	3.57	4.04	3.08	3.70	4.22
K ₂ O	5.2	5.3	5.4	4.94	4.42	3.34	4.37	4.72	5.0	4.11	4.44
F	0.15	0.15		0.34	0.14	0.055	0.057	0.037			0.12
P.Fogo	0.40	0.33	0.21	0.27	0.82	0.78	0.53	0.62	0.19	0.26	0.32
TOTAL	99.87		99.38	99.02	99.32	99.57	100.72	100.02	100.0	100.7	99.77
Rb	352	277		314	182	324	333	17.6	242	167	233
Ba	84	180	4667	406	116	108	84	142	575	767	39
Sr	19	42	7.3	37	25	7	<50		43	148	10
Nb	56	47	38	20	25	46	<20	35	19	25	59
Y	120	53							90	83	181
Zr	418	251	2033	1720	830	1760	49	662	170	490	1760
Th	23	21							26	21	39

Obs.: - Óxidos, F e Perda ao Fogo expressos em (%); demais elementos em (ppm).

(1) e (2) - Maciço Granítico Mandira e Guarau (SP): média de 6 e 3 amostras respectivamente (Oliveira, 1989 e Oliveira *et alli*, 1987).

(3) - Granito Graciosa (PR): média de 4 amostras (Moreira e Marimon, 1982).

(4) - Granito Marumbi (PR): média de 3 amostras (Moreira e Marimon, 1982).

(5) - Granito Corupá (SC): média de 3 amostras (Moreira e Marimon, 1982).

(6) - Granito Serra Alta (SC): 1 amostra (Moreira e Marimon, 1982).

(7) - Granito Saibro (RS): 1 amostra (Sartori, 1978; Moreira e Marimon, 1982).

(8) - Granito Santa Juliana (RS): média de 5 amostras (Sartori, 1978; Moreira e Marimon, 1982).

(9) e (10) - Suites Mumbulla e Gabo (Australia): média de 8 e 9 amostras respectivamente (Collins *et alli*, 1982)

(11) - **Granito Morro Redondo**: média de 7 amostras (neste trabalho).

Para os demais elementos - maiores, menores e traços - as concentrações são similares, não sendo observadas diferenças significativas entre os corpos relacionados.

O caráter alcalino-peralcalino destas rochas é atestado pelos altos valores da razão molecular ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$), os quais variam de 0,82 (Saibro) a 1,16 (Mandira). Estas razões estabelecem um grupo *alcalino*, constituído pelos granitos Graciosa (0,94), Marumbi (0,99), Serra Alta (0,94), Saibro (0,82) e suites Mumbulla (0,88) e Gabo (0,83), e outro *peralcalino*, formado pelos granitos Morro Redondo (1,1), Mandira (1,16), Guaraú (1,12), Corupá (1,05) e Santa Juliana (1,01).

8.2 - UNIDADES VULCÂNICAS

As rochas vulcânicas aqui estudadas são compatíveis, quimicamente, com outras unidades vulcânicas de idade Proterozóica a Eopaleozóica, tectonicamente vinculadas ao final do Ciclo Brasileiro, aflorantes no sul do Brasil e Uruguai (Tabela 5). Para comparação, foram selecionadas as rochas vulcânicas ácidas e intermediárias do Grupo Castro e da Formação Guaratubinha (Paraná); as vulcânicas alcalinas do Platô de Taquarém (R.G. do Sul); vulcânicas intermediárias da Associação Shoshonítica Lavras do Sul-ASLS (R.G. do Sul), e as vulcânicas ácidas das formações Sierra de Animas e Sierra de Rios (Uruguai). Mais adiante, serão feitas algumas considerações sobre os basaltos aqui estudados e os da Bacia do Paraná e do Complexo Naivasha (Quênia).

O comportamento dos elementos maiores destas unidades (Tabela 5), não demonstra diferenças significativamente para os termos ácidos, sendo que os riolitos da presente área exibem as seguintes características comparativas:

- a) Possuem teores em SiO_2 ligeiramente mais altos (76,5%);
- b) Para os demais óxidos, os teores são nitidamente similares, destacando-se apenas as concentrações anormalmente baixas em Na_2O e elevadas em K_2O , para os riolitos do Grupo Castro e da Formação Sierra de Animas.

A composição média das rochas vulcânicas intermediárias (andesitos) relacionadas, mostra uma forte correspondência, tanto para os elementos maiores quanto para os menores e traços. A análise de uma amostra de andesito-basalto obtida neste trabalho, apresenta as seguintes relações com as demais sequências da Tabela 5:

- a) Teores equivalentes em SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O , K_2O , MgO , MnO , Rb , Ba , Nb , Hf e Y ;
- b) Teores levemente inferiores em Fe_2O_3 e Sr ;
- c) Teores levemente mais altos em CaO , Zr , e, mais acentuado em FeO .

TABELA 5 - Composição química de unidades vulcânicas do sul do Brasil e Uruguai e das vulcânicas estudadas neste trabalho.

	(1) RIOL.	(2) AND.	(3) RIOL.	(4) AND.	(5) RIOL.	(6) AND.	(7) RIOL.	(8) RIOL.	(9) RIOL.	(10) AND.B.
SiO ₂	74.7	54.9	74.5	55.2	72.9	57.4	75.4	75.2	76.5	54.2
Al ₂ O ₃	10.6	16.9	12.5	15.8	11.7	18.1	12.9	13.05	11.5	14.9
Fe ₂ O ₃	2.7	5.8	1.3	7.9	1.6	2.1	1.34	1.0	1.7	2.6
FeO	0.21	4.0	0.75	2.0	1.96	4.1	1.17	0.77	1.0	7.1
CaO	0.07	4.8	0.8	4.7	0.46	5.6	0.11	0.47	0.26	6.7
MgO	<0.10	4.4	0.16	2.4	0.27	2.59	0.096	0.07	<0.10	4.2
TiO ₂	0.14	1.6	0.12	1.3	0.32	0.87	0.25	0.16	0.17	1.8
P ₂ O ₅	<0.05	0.46	<0.05	0.46	0.02	0.39	0.05	0.04	<0.05	0.65
Na ₂ O	1.2	3.6	3.6	3.6	4.11	4.4	0.7	3.7	3.6	3.2
K ₂ O	7.15	1.9	5.2	2.5	4.17	2.7	6.1	4.3	4.5	1.7
MnO	0.04	0.16	0.03	0.14	0.08	0.10	0.02	0.02	0.06	0.16
Cr ₂ O ₃	0.14	0.015							<0.003	0.013
NiO	<0.003	0.008							<0.005	0.006
F	0.025	0.072							0.084	0.090
P.Fogo	2.7	0.75	0.76	3.6	0.25	0.91	1.0	0.57	0.46	1.81
TOTAL	99.65	99.37	99.80	99.70	99.61	99.39	99.39	99.60	99.82	99.14
Rb	135	39	280	58	107	58.6			170	32
Ba	1860	2220	40	1120	173	1428			113	1194
Sr	75	460	30	507	56	1166			29	339
Ta	<10	<10							3.14	0.86
Nb	45	22	45	16.7	35	22			53	19
Hf	14	<8	<8	<8					19.6	11
Zr	745	340	390	355		289			750	432
Y	96	45	130	50	128	20			314	58
Th	8.5	<10	8	<5					41.5	7.5
U			<10	<10					3.5	0.72
Cs	<5	<5	<5	<5					0.41	2.3

Obs.: -Óxidos, F e Perda ao Fogo expressos em (%); demais elementos em (ppm).

(1) e (2) - Grupo Castro (PR): composição média de 2 amostras de riolitos e 1 andesito (Moro, 1993)

(3) e (4) - Fm. Guaratubinha (PR): composição média de 3 amostras de riolitos e 3 de andesitos (Castro, 1993).

(5) - Platô de Taquarembô (Dom Pedrito-RS): composição média de 10 amostras de riolitos (Sommer, 1994).

(6) - Associação shoshonítica de Lavras do Sul (RS): composição média de 7 amostras de andesitos (Lima, 1995).

(7) - Fm. Sierra de Animas (Uruguai): composição média de 3 amostras de riolitos (Cingolani *et alli*, 1993).

(8) - Fm. Sierra de Rios (Uruguai): composição média de 5 diques riolíticos (Cingolani *et alli*, 1993).

(9) e (10) - Neste trabalho: composição média de 7 amostras de riolitos e 1 andesito basáltico.

Na comparação com os basaltos da Bacia do Paraná (Raposo, 1987), fica claramente demonstrado as diferenças composicionais destes com os basaltos aqui estudados (Tabela 6). Com exceção do MnO, Rb e Y, cujos teores são semelhantes para os dois grupos, os demais elementos analisados mostram comportamento inverso. Os basaltos da Bacia do Paraná são mais enriquecidos em SiO₂, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Ba, Sr, Zr e La, sendo as concentrações de Ba e Sr particularmente mais acentuadas; por outro lado, são mais empobrecidos em Al₂O₃, CaO e MgO, sendo o teor de MgO significativamente mais baixo.

Finalmente, é importante ressaltar a similaridade química dos basaltos analisados neste trabalho com os pertencentes a suite bimodal Naivasha do *Kenya Rift* (Macdonald *et alli*, 1987; *apud* Wilson, 1989). A semelhança entre as concentrações dos elementos maiores é marcante (Tabela 6), ressaltando-se apenas o teor levemente mais alto em FeO (10,8%) dos basaltos Naivasha. Quanto aos elementos menores, traços, La e Ce, pode se destacar os seguintes aspectos:

- a) Os basaltos Naivasha apresentam teores um pouco mais elevados em Ba e Sr, sendo mais empobrecidos em Rb, Zr e Y;
- b) Os basaltos deste trabalho são ligeiramente mais empobrecidos em La (13,9 ppm) e Ce (30 ppm), que os basaltos Naivasha, cujos teores nestes elementos são 20 ppm e 42 ppm, respectivamente.

Os riolitos dessas unidades também são quimicamente semelhantes, podendo-se destacar o índice agpaltico (médio) dos riolitos Naivasha que é 1,05, e o dos riolitos aqui estudados, que é 0,94, evidenciado a forte alcalinidade destas rochas, bem como suas afinidades químicas.

Tabela 6 - Composição química média de basaltos da Bacia do Paraná, do Complexo Naivasha e dos estudados neste trabalho.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	FeO	Rb	Ba	Sr	Zr	Y	La
(1) BPR	49.1	13.6	3.46	8.15	4.1	2.9	1.4	0.21	0.48	4.15	9.6	32	590	484	245	33	40
(2) SNV	47.5	15.6	1.75	11.7	6.9	2.4	0.64	0.20	0.33	1.6	10.8	14.5	357	415	89.5	22	20
(3) BMR	47.7	16.9	1.7	9.3	7.1	2.6	0.94	0.17	0.28	2.7	7.5	31.7	256	304	164	42	13.9

(1) BPR - Basaltos da Bacia do Paraná da região de Ourinhos-Pirajú (SP) (Raposo, 1987)

(2) SNV - Basaltos da Suite Naivasha, Kenya Rift, Quênia (Macdonald et alii, 1987)

(3) BMR - Basaltos deste trabalho.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O Maciço Granítico Morro Redondo, aflorante no extremo SE do Paraná e NE de Santa Catarina, possui forma grosseiramente retangular, com orientação N20-25W e distribuição areal de aproximadamente 300 km². Este maciço foi colocado em nível estrutural raso, encaixado em rochas gnáissico-migmatíticas-granulíticas do embasamento regional, mostrando relações de contato intrusivo e tectônico (Anexo II).

Rochas vulcânicas ácidas a básicas, indeformadas e não metamorfisadas, foram reconhecidas na área de estudo, associadas espacialmente ao maciço, e ocorrendo na forma de "derrames" e diques.

Os estudos desenvolvidos com base nos trabalhos de levantamento de campo, no estudos petrográficos e geoquímicos das rochas plutônicas e vulcânicas, apontam para uma possível vinculação genética entre estas rochas.

Petrograficamente, granitos e riolitos apresentam uma mesma paragênese, caracterizada pela cristalização precoce de quartzo e feldspato peritítico, com os quais se associam riebeckita e egirina; esta paragênese condiciona a existência de um magma parental alcalino. Nas condições *subsolidus*, uma mesma paragênese formada por riebeckita+egirina+magnetita+biotita é estável para os dois grupos litológicos. A análise petrográfica revela, ainda, que várias amostras estudadas contêm apenas um feldspato dominante (mesoperitita), caracterizando-as como granitos do tipo hipersolvus (p.ex: JR-34, Foto 6).

O caráter alcalino a peralcalino do conjunto granito-riolito fica claramente demonstrado pelos altos valores da razão $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$ (0,86-1,06 para os riolitos e 0,85-1,22 para os granitos, e pelos diagramas de Maniar & Piccoli (1989; Figuras 10 e 26), Wright (1969; Figura 11) e Macdonald (1974; Figura 25). O comportamento químico verificado nestes diagramas, confirma de maneira conclusiva o elevado grau de alcalinidade destas rochas.

Neste sentido, cabe destacar o grau de fracionamento e/ou diferenciação para as rochas do maciço Morro Redondo, verificado no diagrama ternário Rb-Ba-Sr de El Bouseilly & El Sokkary (1975; Figura 34), e no diagrama $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}/\text{FeO}_t+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ versus $(100 \times \text{MgO}+\text{FeO}_t+\text{TiO}_2 / \text{SiO}_2)$ de Sylvester (1989; Figura 35). No diagrama da Figura 34, a maioria das rochas do maciço Morro Redondo situa-se no campo dos granitos fortemente diferenciados (GFD); no campo dos granitos normais (GN), se posicionam as amostras JR-75C e JR-75A1, as quais parecem corresponder a uma faciologia peraluminosa (Figura 10), sendo esta característica consistente com os teores mais altos em Al_2O_3 , CaO, Ba e Sr, e mais baixos em Fe_2O_3 , Rb, Nb e Zr. De acordo com o diagrama da Figura 35, as rochas do maciço Morro Redondo correspondem, em sua maioria, a granitos alcalinos (AG), com as amostras JR-75C e JR-75A1 posicionando-se no campo dos granitos altamente diferenciados, evidenciando a coerência deste diagrama com o anterior.

Figura 34 - Diagrama ternário Rb-Ba-Sr de El Bouseily & El Sokkary (1975), para as amostras do maciço Morro Redondo. *Legenda dos campos:* (D)=diorito; (GD-QD)=granodiorito-quartzo diorito; (GA)=granitos anômalos; (GN)=granitos normais; e (GFD)=granitos fortemente diferenciados.

Figura 35 - Diagrama de Sylvester (1989) discriminando os campos dos granitos alcalinos (AG), granitos fortemente fracionados (HFG), granitos cálcio-alcalinos e granitos fortemente peraluminosos (CAG-SPG).

Do ponto de vista geoquímico e petrográfico, as rochas que compõem o maciço granítico Morro Redondo, podem ser classificadas como granitos tipo-A, de acordo com as características assinaladas por Collins *et alli* (1982), que são as seguintes:

- altas concentrações de SiO_2 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, Fe/Mg , F, Zr, Nb, Y e ETR;
- teores baixos em CaO, MgO, Al_2O_3 , Ba e Sr;
- a paragênese essencial geralmente contém anfíbolio e piroxênio sódicos (arfvedsonita-riebeckita e egrina); minerais acessórios como magnetita, fluorita e zircão são constantes.
- são corpos colocados em níveis estruturais rasos, e em geral, ocorrem associados a rochas vulcânicas e/ou subvulcânicas.

Relativamente ao ambiente tectônico, todos os diagramas elaborados são concordantes no sentido de discriminar um sítio continental intra-placa (Pearce *et alli*, 1984; Figura 15), em condições anorogênicas (Maniar & Piccoli, 1989; Figura 12, e Batchelor & Bowden, 1985; Figura 13), para a geração destas rochas. Um ambiente intra-placa também é sugerido para os basaltos, através do diagrama Zr/Y versus Zr de Pearce & Norry (1979; Figura 27), e do diagrama ternário $\text{Nb}_x2 - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ de Meschede (1986; Figura 36). Neste último, o autor afirma não ser possível distinguir basaltos de arco vulcânico (VAB) de basaltos intra-placa (WPT) e de cadeia meso-oceânica (N-MORB); o comportamento anômalo da amostra JR-03C se repete nos dois diagramas, situando-se, em ambos, no campo N-MORB, sendo que uma possível explicação para isto foi discutida no item 7.2.3.

Figura 36 - Diagrama tectônico $\text{Nb}_x2 - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ de Meschede (1986) para os basaltos estudados, discriminando os campos dos basaltos intra-placa (AI, AII, C), de cadeia meso-oceânica normal e relacionados a plumas (D, B) e de arco vulcânico (C, D).

Os estudos realizados convergem para uma vinculação entre as rochas presentes na área. A cogeneticidade entre riolitos e granitos é particularmente ressaltada pelo espectro de ETR, pela covariação entre elementos incompatíveis (Nb x Zr, Zr x Ce) e pela paragênese mineral característica de ambos. A vinculação entre riolitos e basaltos é sugerida pela covariação entre Zr x Ce e Hf x La, e também pelo padrão de distribuição dos ETR. Neste caso, riolitos e basaltos seriam representantes de uma suite vulcânica bimodal, sendo razoável supor que o termo ácido tenha sido derivado, por um processo de cristalização fracionada, a partir dos termos básicos. Entretanto, devido a falta de dados isotópicos, a vinculação entre basaltos e riolitos não é conclusiva.

Finalmente, cabe ressaltar a similaridade entre as rochas aqui estudadas e outras equivalentes nas regiões sul e sudeste do Brasil e de outros países. O maciço Morro Redondo mostra comportamento geoquímico semelhante ao observado para os granitos anorogênicos das suites intrusivas Serra do Mar e Ramada, e para os granitos tipo-A das suites Gabo e Mumbulla, do sudeste da Austrália. As rochas vulcânicas, sobretudo as ácidas, exibem similaridades às várias bacias molássicas eopaleozóicas do sul do Brasil e Uruguai, e com a suite bimodal transicional riolito-basalto Naivasha, no Quênia Rift Valley, onde este tipo de vulcanismo é particularmente volumoso e bem documentado. Com relação aos basaltos, é importante frisar a diferença geoquímica dos mesmos quando comparados aos basaltos da Bacia do Paraná, sendo muito difícil a existência de alguma relação genética entre ambos.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C.A.R., 1978 - Rare earth elements in "Younger" granites, Northern Portugal. *Lithos*, (11): 219-229.
- ALMEIDA, F.F.M., 1967 - Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. *Bol. DNPM-DGM*, no. 241, 36p. Rio de Janeiro.
- ARIOLI, E.E., 1981 - Geologia do Grupo Castro na folha SG.22-D-IV. *Simp. Reg. Geol.*, 3, V.1, p.185-200, SBG. Curitiba.
- BARD, J.P., 1986 - Microtextures of igneous and metamorphic rocks. Dordrecht, Holland, *D. Heidel Publishing Co.* 264p.
- BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P., 1985 - Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, (48):43-65.
- BASEI, M.A.S., 1985 - O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. *Tese de Doutorado*, IGc-USP, 185p. São Paulo (Inédito).
- BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. & SIGA JR., O., 1987 - Idade, características litoestratigráficas e estruturais do Grupo Itajaí, Santa Catarina. *Simp. Sul-Bras. Geol.*, III, V.1, p.93-106, SBG. Curitiba.
- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., & REIS NETO, J.M., 1990 - O Batólito Paranaguá: proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações geotectônicas. In: *Congr. Bras. Geol.*, 36, V.4, p.1684-1699, SBG. Natal.
- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; MACHIAVELLI, A. & MANCINI, F., 1992 - Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano. *Rev. Bras. Geoc.* 22(2): 216-221.
- BONIN, B., 1982 - Les granites des complexes annulaires. *BRGM*. 182p (Manuels et Méthodes).
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. & PINTO, V.M. (Eds.), 1967 - Geologia do pré-devoniano e intrusivas subsequentes da porção oriental do Estado do Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, (23-25):347p., UFPR. Curitiba.
- BUMA, G.; FREY, F.A. & WONES, D.R., 1971 - New England granites: trace elements evidence regarding their origin and differentiation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, (31):300-320.
- CASTRO, N.A., 1993 - Relatório das atividades realizadas na Bacia Guaratubinha-PR. *Bolsa de Iniciação Científica*, CNPq, 96p. Curitiba (Inédito).
- CIGUEL, J.H.G. & GÓIS, J.R., 1989 - O Paleozóico inferior das regiões sul-sudeste do Brasil. *Série Correlación Geológica n. 5*, UNT, Tucumán, p.165-178. Argentina.
- CIGUEL, J.H.G.; GÓIS, J.R. & ACEÑOLAZA, F.G., 1990 - Ocorrência de icnofósseis em depósitos molássicos da Formação Camarinha (Neoproterozóico III-Cambriano Inferior), estado do Paraná. *Reunião Internacional do Projeto 270 do PICG*. São Paulo (Inédito).
- CINGOLANI, C.; LLAMBIAS, E.; VARELA, R.; CAMPAL, N. & BOSSI, J., 1993 - Avances sobre la crono-estratigrafia del magmatismo no-orogénico finibrasileño en el Uruguay: Formaciones Sierra de Animas y Sierra de Rios. *Primer Simposio Internacional del Neoproterozóico-Cambriano de la Cuenca del Plata*. Resúmenes Extensos, Tomo II, s/p. La Paloma, Uruguay.

- CLEMENS, J.D.; HOLLOWAY, J.R. & WHITE, A.J.R., 1986 - Origin of an A-type granite: experimental constraints. *Am. Mineral.*, (71):317-324.
- COLLINS, W.J.; BEAMS, S.D.; WHITE, A.J.R. & CHAPPELL, B.W., 1982 - Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, (80):189-200.
- CORDANI, U.G. & BRITO NEVES, B.B., 1982 - The geological evolution of South America during the Archaen and Early Proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(1-3):78-88, SBG.
- COX, K.G.; BELL, J.D. & PANKHURST, R.J., 1979 - The interpretation of igneous rocks. London, *George Allen & Unwin Ltd.* 450p.
- DAITX, E., 1979a - Contribuição ao conhecimento geológico dos depósitos molássicos relacionados à Região de Dobramentos Sudeste: 1 - Bacia de Campo Alegre, SC. *Simp. Reg. Geol.*, 2, V.1, p.131-146, SBG-SP. Rio Claro.
- DAITX, E., 1979b - Contribuição ao conhecimento geológico dos depósitos molássicos relacionados à Região de Dobramentos Sudeste: 2 - Gráben de Corupá, SC. *Simp. Reg. Geol.*, 2, V.1, p.147-156, SBG-SP. Rio Claro.
- EBERT, H., 1971 - O Grupo Guaratubinha no nordeste do estado de Santa Catarina. In: *Congr. Bras. Geol.*, 25, V.1, p.147-165, SBG. São Paulo.
- EBERT, H. & BROCHINI, M.F., 1971 - A Formação Campo Alegre, Santa Catarina. *Congr. Bras. Geol.*, 25, (Bol. Esp., Resumo das Comunicações), n.1, p.181-182, SBG. São Paulo.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S., 1986 - Molassas do Ciclo Brasileiro na Plataforma Brasileira. Seminários Gerais 1, *DGG-IGc-USP*, 31p. São Paulo.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S.; FACCINI, U.F.; PAIM, P.S.G.; LAVINA, E.L. & ALTAMIRANO, J.A.F., 1985 - Revisão na estratigrafia das molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul. *Simp. Sul-Bras. Geol.*, 2, p.477-491, SBG. Florianópolis-SC.
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J. & TREIN, E., 1967a - A Formação Guaratubinha. *Bol. Par. Geoc.*, (23-25):237-255, UFPR. Curitiba.
- FUCK, R.A.; TREIN, E. & MARINI, O.J., 1967b - Geologia e petrografia dos migmatitos do Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, (23-25):5-41, UFPR. Curitiba.
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J. & TREIN, E., 1967c - Contribuição ao estudo das rochas graníticas do Estado do Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, (23-25):183-219, UFPR. Curitiba.
- FUCK, R.A.; TREIN, E.; MURATORI, A. & RIVEREAU, J.C., 1969 - Mapa geológico preliminar do litoral, Serra do Mar e parte do Primeiro Planalto no Estado do Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, 27:123-152, UFPR. Curitiba.
- FUJIMORI, S., 1990 - Composição química de rochas e suas aplicações. *Ed. da Universidade Federal da Bahia*, Salvador. 301p.
- GÓIS, J.R. & MACHADO, R., 1992 - Sobre a ocorrência de uma nova suite vulcânica-subvulcânica no eopaleozóico no Estado do Paraná. I *Workshop sobre as Bacias Molássicas Brasileiras, Bol. Especial*, 1 Vol. p.54-56, DG-UNISINOS. São Leopoldo-RS.
- GÓIS, J.R., 1994 - Características petrológicas e geocronológicas de uma nova ocorrência de rochas vulcânicas no Estado do Paraná. *Rel. Final*, FAPESP (Processo no. 92/1863-4), 38p. São Paulo (Inédito).
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. & COIMBRA, A.M., 1975 - The Ribeira Folded Belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5(4):257-266.

- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. & BISTRICHI, C.A., 1978 - Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos estados de São Paulo e Paraná. *Congr. Bras. Geol.*, 30, V.6, p.2594-2608, SBG. Recife-PE.
- HENDERSON, P. (Ed.), 1984 - Rare earth elements geochemistry. *Elsevier*, Amsterdam, 510p.
- ISSLER, R.S., 1987 - Granitos e granitóides da região sul. *Pesquisas*, (20):125-184. Inst. Geoc. da UFRS. Porto Alegre-RS.
- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS, 1990 - Atlas do Estado do Paraná. *Secr. de Est. de Abast. e Agr./PR*, 73p. Curitiba
- JACOBSON, R.R.E.; MacLEOD, W.N. & BLACK, R., 1958 - Ring complexes in the Younger Granite Province of Northern Nigeria. *Geological Society of London*, Memoir I, 72p.
- KAUL, P.F.T., 1980 - O Cráton Luis Alves. *Congr. Bras. Geol.*, 31, V.5, p.2677-2683, SBG. Baln. Camboriú-SC.
- KAUL, P.F.T. & TEIXEIRA, W., 1982 - Archean and early proterozoic complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo States, south southeastern Brazil: an outline of their geological evolution. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(1-3): 172-182.
- KAUL, P.F.T.; COITINHO, J.B.L. & ISSLER, R.S., 1982 - O Episódio Campo Alegre. *Congr. Bras. Geol.*, 32, V.1, p.47-54, SBG. Salvador-BA.
- KAUL, P.F.T., 1984 - Significado dos granitos anorogênicos da Suite Intrusiva Serra do Mar na evolução da crosta sul-sudeste do Brasil, no âmbito das folhas SG.22-Curitiba e SG.23-Iguape. *Congr. Bras. Geol.*, 33, V.5, p.2815-2825, SBG. Rio de Janeiro-RJ.
- KAUL, P.F.T. & CORDANI, U.G., 1994 - Aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos dos maciços graníticos da Serra do Mar no leste paranaense e vizinhanças. *Congr. Bras. Geol.*, 38, p.371-373, SBG. Baln. Camboriú-SC.
- LE MAITRE, R.W. (Ed.), 1989 - A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford, *Blackwell Scientific Publ.* 193p.
- LIMA, E.F., 1995 - Petrologia das rochas vulcânicas e hipabissais da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul-ASLS, RS. *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio G. do Sul. Porto Alegre.
- LIMA, R.E. & LOPES, O.F., 1985 - Evolução geológica da Formação Rio das Cobras no leste do estado do Paraná. *Simp. Sul-Bras. Geol.*, 2, 1 Vol., p.53-62, SBG. Florianópolis-SC.
- LOPES, O.F. & LIMA, R.E., 1985 - Nota preliminar sobre a geologia da Serra da Prata-Paraná. *Bol. Par. Geoc.*, 36:65-68, UFPR. Curitiba-PR.
- LOPES, O.F., 1987a - Zoneamento metamórfico da Formação Rio das Cobras no precambriano do estado do Paraná. *Simp. Sul-Bras. Geol.*, 3, V.1, p.303-318, SBG. Curitiba-PR.
- LOPES, O.F., 1987b - O granito sintectônico Cubatãozinho: petrogênese e evolução geológica. *Simp. Sul-Bras. Geol.*, 3, V.2, p.481-490, SBG. Curitiba-PR.
- MAACK, R., 1947 - Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. *Arq. Biol. Tecnol.*, (2):63-154, UFPR. Curitiba-PR.
- MAACK, R., 1953 - Mapa Geológico do Estado do Paraná - escala 1:750.000. IBPT. Curitiba-PR.

- MAACK, R., 1961 - Sobre a ocorrência de granitos alcalinos no estado do Paraná e sua posição dentro das fases orogenéticas Algonquianas. *Bol. da UFPR, Geologia n. 4*, 52p, UFPR. Curitiba-PR.
- MacDONALD, R., 1974 - Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks. *Bull. Volcanologique*, (38):498-516.
- MACHADO, R. & GÓIS, J.R., 1993 - Características petrológicas e geocronológicas de uma nova ocorrência de rochas vulcânicas no Estado do Paraná. *Rel. Científico n.1* FAPESP (Processo no. 92/1863-4), 24p. São Paulo (Inédito).
- MACHADO, R.; GÓIS, J.R.; PLÁ CID, J. & CONCEIÇÃO, H., 1993 - Maciço alcalino de Morro Redondo (Paraná): abordagem petrográfica das fácies vulcânica e plutônica. *Atas, 45a. Reunião Anual da SBPC*, v.1, p.632. Recife-PE.
- MANIAR, P.D. & PICCOLI, P.M., 1989 - Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, (101):635-643.
- MESCHEDE, M., 1986 - A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, (56):207-218.
- MIDDLEMOST, E.A.K., 1985 - Magmas and magmatic rocks. 1st. Ed., New York, *Longman*. 266p.
- MOREIRA, M.L.O. & MARIMON, M.P.C., 1982 - Estudo petrográfico e litogeoquímico das rochas graníticas do Escudo Sulriograndense. *Congr. Bras. Geol.*, 32, Salvador, SBG. Anais... vol.2, p.566-576.
- MORO, R.P.X., 1993 - A Bacia Ordoviciano do Grupo Castro-PR. *Dissertação de Mestrado*. UNESP, Rio Claro. 157p. (Inédito)
- MURATORI, A., 1966 - Nota explicativa da folha geológica de Campo Largo. *Bol. da UFPR, Geologia n.21*, 52p, UFPR. Curitiba-PR.
- NAKAMURA, N., 1974 - Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, (38):757-773.
- OLIVEIRA, E.P., 1925 - Mapa geológico do Estado do Paraná. (Escala 1:1.000.000). *Serv. de Geol. e Min. do Brasil*. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, E.P., 1927 - Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná. *Serv. de Geol. e Min., Monografia 6*, 172p. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, M.C.B., 1989 - Petrologia do Maciço Granítico Mandira. *Dissertação de Mestrado*. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 181p. (Inédito).
- OLIVEIRA, E.P. & LEONARDOS, O.H., 1943 - Geologia do Brasil. *Min. da Agric. Série Didática n.2*, 2a. Ed., 813p. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, M.C.B.; RODRIGUES, E.P.; COUTINHO, J.M.V.; MARTINS, F.A.G.; FIGUEIREDO, M.C.H. & ZAPPAROLLI, L.H., 1987 - Petrologia de parte do maciço granítico Guaraú-SP. *Atas, III Simp. Reg. Geol.*, Curitiba, V.2, p.571-594.
- PEARCE, J.A. & NORR, M.J., 1979 - Petrogenesis implications of Ti, Zr, Y and Nb variation in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, (69):33-47.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W. & TINDLE, A.G., 1984 - Trace elements discrimination of granitic rocks. *Journal Petrology*, 25 (4):956-983.
- PINTO-COELHO, C.V., 1987 - Petrologia e petroquímica do granito Serra do Carambei. *Atas, III Simp. Reg. Geol.*, Curitiba, V.2, p.551-570.

- POPP, J.H., 1972 - Contribuição à estratigrafia e sedimentologia da Formação Camarinha. *Bol. Par. Geoc.*, (30):7-71, UFPR. Curitiba-PR.
- RAPOSO, M.I.B., 1987 - Evolução magmática e petrológica das rochas vulcânicas ácidas mesozóicas da região de Pirajú-Ourinhos (SP e PR). *Dissertação de Mestrado*. IAG-USP, 135p. (Inédito).
- ROCHA, H.O. (Coord.), 1992 - Levantamento geomorfológico com ênfase em solos na porção sul de tombamento da Serra do Mar. *Conv 52/90-ITCF/UFPR.*, 7 vol., UFPR. Curitiba-PR.
- SIAL, A.N. & McREATH, I., 1984 - Petrologia Ígnea. *Secr. das Minas e Energia do Estado da Bahia*, 180p. Salvador-BA.
- SIGA JR., O; BASEI, M.A.S. & KAWASHITA, K., 1990 - Perfil térmico K-Ar através do Maciço de Joinville (PR-SC) e do Cinturão Dom Feliciano (SC): implicações tectônicas. *Congr. Bras. Geol.*, 36, V.6, p.2773- 2785, SBG. Natal-RN.
- SIGA JR., O.; BASEI, M.A.S.; REIS NETO, J.M. & BUBA, R.M., 1994 - Maciços graníticos da porção sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e implicações tectônicas. *Congr. Bras. Geol.*, 38, V.2, p.400-401, SBG. Baln. Camboriú-SC.
- SOARES, P.C., 1987 - Sequência tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-leste do Escudo Paranaense. *Simp. Sul-Bras. Geol.*, 3, V.2, p.743-772, SBG. Curitiba-PR.
- SOARES, P.C., 1988 - Tectônica colisional em torno do Bloco Paraná. *Congr. Lat. Amer. Geol.*, 7, 1v., p.63-79, SBG-DNPM. Belém-PA.
- SOMMER, C.A., 1994 - O vulcanismo ácido alcalino da porção sul do Platô de Taquarembó, Dom Pedrito, RS. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio G. do Sul, Porto Alegre-RS. (Inédito).
- SYLVESTER, P.J., 1989 - Post-collisional alkaline granites. *The Journal of Geology*, 97(3):261-280.
- SWANSON, S.E. & FENN, P.M., 1986 - Quartz cristallization in igneous rocks. *The American Mineralogist*, 71(3-4):331-342.
- TREIN, E., 1967 - Geologia da Folha de Tijucas do Sul. Comissão da Carta Geológica do Paraná. *BADEP-UFPR*, 36p. Curitiba-PR (Rel.Inédito).
- TREIN, E. & FUCK, R.A., 1967 - O Grupo Castro. *Bol. Par. Geoc.*, (23-25): 257-305, UFPR. Curitiba-PR.
- WERNICK, E. & PENALVA, F., 1978 - Contribuição ao conhecimento das rochas granitóides do sul do Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 8(2):113-133.
- WILSON, M., 1989 - Igneous Petrology. London, *Harpers Collins Academic*. 466p.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A., 1977 - Geochemical discrimination of different magma series and their products using immobile elements. *Chemical Geology*, (20):325-343.
- WRIGHT, J.B., 1969 - A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Magazine*, 106(4):370-384.

ANEXO I

MAPA DE PONTOS

LEGENDA:

- Granito
- Vulcânica Ácida
- ▲ Vulcânica Básica e Intermediária
- * Migmatitos, gnaisses, granitóides e metabásicas/meta-ultrabásicas do Embasamento Cristalino
- 81 Pontos descritos com confecção de lâmina delgada + análise química de elementos maiores, menores, traços e terras raras
- 71 Pontos descritos com confecção de lâmina delgada + análise química de elementos maiores, menores e traços
- 37P Pontos descritos com confecção de lâmina delgada.

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

+ Folha Tijucas do Sul - 1:50.000 (IBGE, 1992)
+ Folha Pedra Branca de Araraquara - 1:50.000 (IBGE, 1992)
+ Folha São Miguel - 1:50.000 (IBGE, 1969)
+ Folha Garuva - 1:50.000 (IBGE, 1981)

JOSÉ ROBERTO DE GÓIS

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

Programa: Geoquímica e Geotectônica

IGc - USP

ESCALA
1 : 50.000

0m 500m 5000m

ANEXO II

MAPA GEOLÓGICO

LEGENDA

LITOESTRATIGRAFIA

CENÓZICO

- Depósitos alúvio-coluvionares: areia, argila e cascalhos
- Formação Guabirotuba (Bacia de Curitiba): argilitos, arcósios, conglomerados, margas, areias e cascalhos inconsolidados

EOPALEOZÓICO-PROTEROZÓICO SUPERIOR

- Formação Guaratubinha: conglomerados, arcósios e siltitos
- Unidade Vulcânica: riolitos maciços e fluidais, andesito-basaltos e basaltos
- Granito cálcio-alcálico Pedra Branca de Araraquara
- Granito alcalino a peralcalino Morro Redondo

PROTEROZÓICO INFERIOR-ARQUEANO

- Migmatitos, gnaisses graníticos e "anateixitos", anfibólitos tonalitos, anfibólitos granodioríticos com intercalações de metabásicas, metultrabásicas, talco-xistos, quartzitos e rochas granulíticas.

GEOLOGIA

- Falhas e fraturas indiscriminadas
- Contato litológico
- Contato litológico inferido
- Atitude de xistosidade com mergulho indicado
- Xistosidade vertical
- Atitude de fratura
- Atitude de lineação mineral
- Dique de riolito

PLANIMETRIA

- Rodovia federal
- Estrada municipal
- Acessos secundários
- Drenagem
- Represa

ESCALA
1:50.000

1 km 0 1,5 4 km

PERFIL A - B

ESCALA
H = 1:50.000
V = 1:20.000

JOSÉ ROBERTO DE GÓIS

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

Programa: Geoquímica e Geotectônica

IGc - USP