

Capítulo 2

Revisões Bibliográficas

2 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

2.1 Inserção do Estudo no Contexto Geotectônico

O Orógeno Ribeira está inserido no contexto geotectônico da Província Mantiqueira, sendo limitado a norte pelo Orógeno Araçuaí, a sul pelo Orógeno Apiaí e pelo Cráton Luís Alves, a leste por bacias de rifte do Cretáceo e a oeste por uma zona de interferência com o Orógeno Brasília (Heilbron *et al.*, 2004) (Figura 2). A direção preferencial dos terrenos tectônicos deste orógeno é NE-SW.

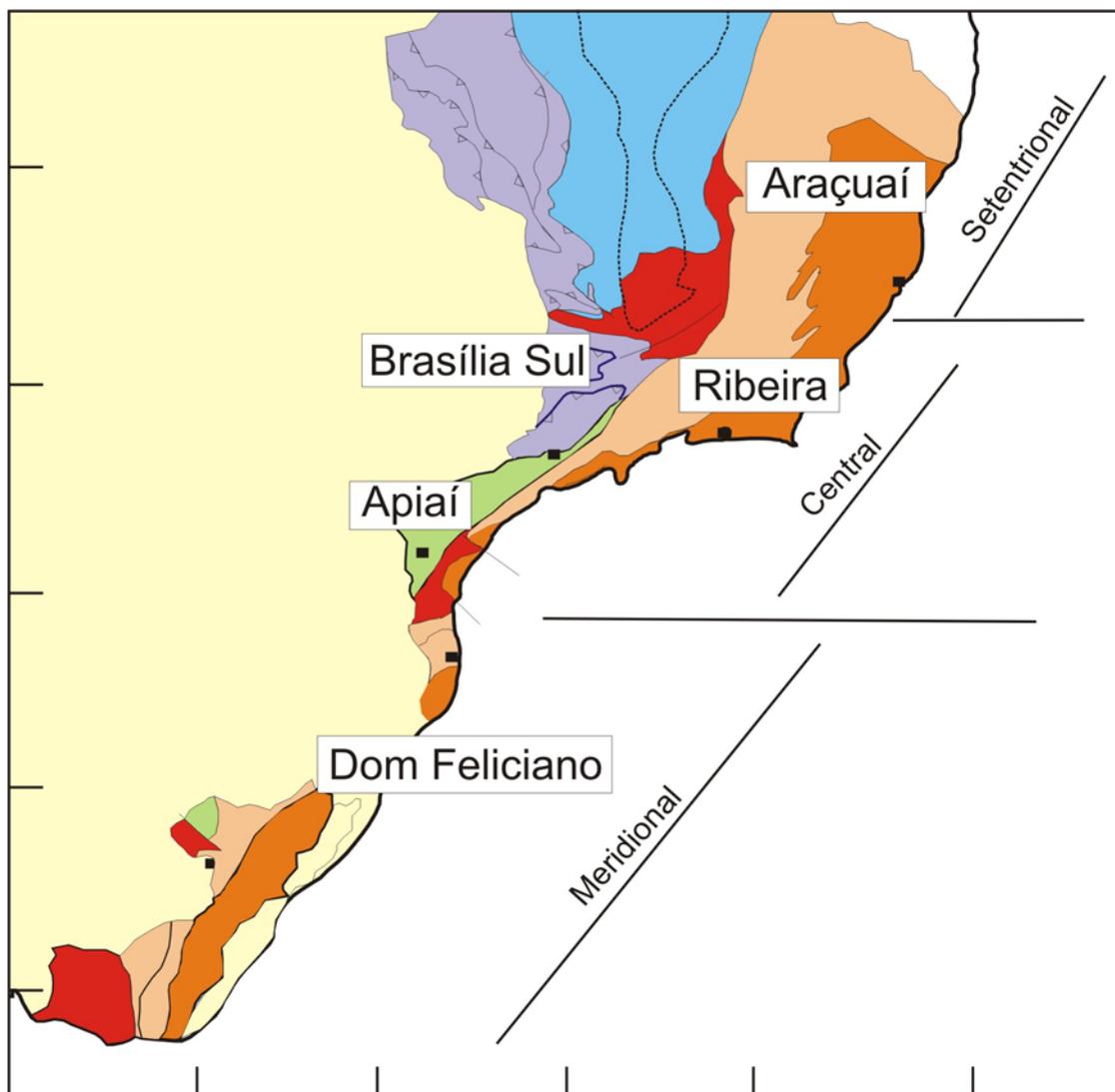


Figura 2 – Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os Orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozóicos (extraídos de Heilbron *et al.*, 2004)

A Faixa Ribeira (Almeida *et al.*, 1973) representa um cinturão de dobramentos e empurrões, gerado no Neo-Proterozóico/Cambriano, durante a Orogênese Brasileira, na borda sul/sudeste do Cráton do São Francisco (Almeida, 1971, 1977; Cordani *et al.*, 1967, 1973; Cordani & Brito Neves, 1982; Teixeira & Figueiredo, 1991).

Siga Jr. *et al.* (1982) constataram que o quadro geológico disponível para a Faixa Ribeira é preliminar, persistindo ainda dificuldades na separação de unidades litoestratigráficas. Esses autores também apresentaram, com base no comportamento geocronológico das rochas analisadas no domínio setentrional da Faixa Ribeira, a existência de duas províncias distintas: uma de idade transamazônica e outra de idade brasileira.

Campos Neto & Figueiredo (1990) estudaram a evolução geológica dos Domínios Costeiros, Paraíba do Sul e Juiz de Fora, caracterizando esses três domínios crustais como dois terrenos suspeitos: o primeiro trata-se do terreno retrabalhado do Domínio Juiz de Fora, composto por duas associações de séries plutônicas calcioalcalina (TTG e seqüência enriquecida em LILE); e o segundo corresponde às rochas migmatíticas do Domínio Costeiro e as supracrustais do Complexo Paraíba do Sul.

Heilbron *et al.* (1991) estudaram, comparativamente, os dois flancos da megassinforma do Paraíba do Sul que estende-se desde a Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais, onde predominam mergulhos para SE, até a Serra do Mar, com mergulhos para NW, e concluíram que a compartimentação, da megassinforma D3, observada no flanco noroeste é repetida no seu flanco sudeste. Através dessa comparação, os autores propuseram a seguinte compartimentação tectônica pré-D3 para o setor central da Faixa de Dobramento Ribeira: a) Domínio Paraíba do Sul (ocupa a região do núcleo da megassinforma); b) Domínio Juiz de Fora (composto por rochas do Complexo Juiz de Fora e do Complexo Piedade e escamas tectônicas de rochas metassedimentares atribuídas ao Grupo Andrelândia); e c) Domínio Andrelândia (composto pelo Grupo Andrelândia associado ao seu embasamento correlacionado ao Complexo Piedade).

Campos Neto & Figueiredo (1992, 1995) classificaram, como domínio da Orogênese Rio Doce, os terrenos que foram submetidos a um processo de convergência de placas, no período entre 600 e 490 Ma. Sendo assim, observaram, registro de grandes domínios submetidos a regimes tectônicos incompatíveis no final

do Neoproterozóico. A então microplaca (Serra do Mar) estabelecia-se, enquanto o domínio Brasileiro estabilizava-se, com a coalescência de um arco magmático constituído de batólitos cálcioalcalinos, linear, do tipo cordilheirano, com assinatura geoquímica de zona de subducção para NW. As manifestações desse arco e sua estagnação estão registradas entre 600 e 585 Ma, quando o segmento Juiz de Fora atingiu condições metamórficas de pressão igual a 8-10 Kbar e de temperatura igual a 750°C, enquanto o segmento Costeiro chegou a 6 Kbar e 750°C.

Heilbron *et al.* (1993, 1995) propuseram uma nova organização tectônica para o segmento central da Faixa Ribeira com base em dados de mapeamento geológico (1:50.000) obtidos por Heilbron (1993), Nummer (1991) e Nogueira (1994). Este segmento foi compartimentado em três domínios tectônicos alóctones: Inferior, Médio e Superior, que compreendem, respectivamente, aos Domínio Tectônico Andrelândia, Domínio Tectônico Juiz de Fora e Domínio Tectônico Paraíba do Sul de Heilbron *et al.* (1995). Esses compartimentos foram individualizados em 4 unidades lito-estratigráficas: a) embasamento pré-1.8 G.a.; b) ortognaisses de posicionamento temporal não definido; c) cobertura metassedimentar pós- 1.8 G.a.; e d) rochas granitóides.

Heilbron *et al.* (1998a,1998b, 2000, 2003) com base em trabalhos detalhados de campo, associados à análise petrográfico-petroológica, estrutural e geocronológica identificaram que a estrutura crustal do segmento central da Faixa Ribeira é constituída de quatro diferentes terrenos tectono-estratigráficos (Figura 3): a) o Terreno Ocidental é caracterizado pelo retrabalhamento da margem cratônica e é constituído de duas escamas de empurrão de escala crustal (Domínios Andrelândia e Juiz de Fora) imbricadas de SSE para NNW em direção às margens do Cráton do São Francisco; b) a *Klippe* Paraíba do Sul, que constitui-se na escama superior deste segmento da faixa; c) o Terreno Oriental (ou Costeiro ou ainda Serra do Mar) inclui provavelmente outro bloco cratônico ou microplaca (Campos Neto & Figueiredo, 1995) e abriga o Arco Magmático Rio Negro (Tupinambá *et al.*, 1998). O contato entre os Terrenos Oriental e Ocidental é marcado por uma zona de cisalhamento de mergulho NW, denominada Limite Tectônico Central (Almeida *et al.*, 1998); e d) o Terreno Cabo Frio, que ocupa pequena área no litoral do estado do Rio de Janeiro, gerou dados que indicam amalgamação relativamente tardia, 530 – 520 Ma (Schmitt *et al.*, 1999).

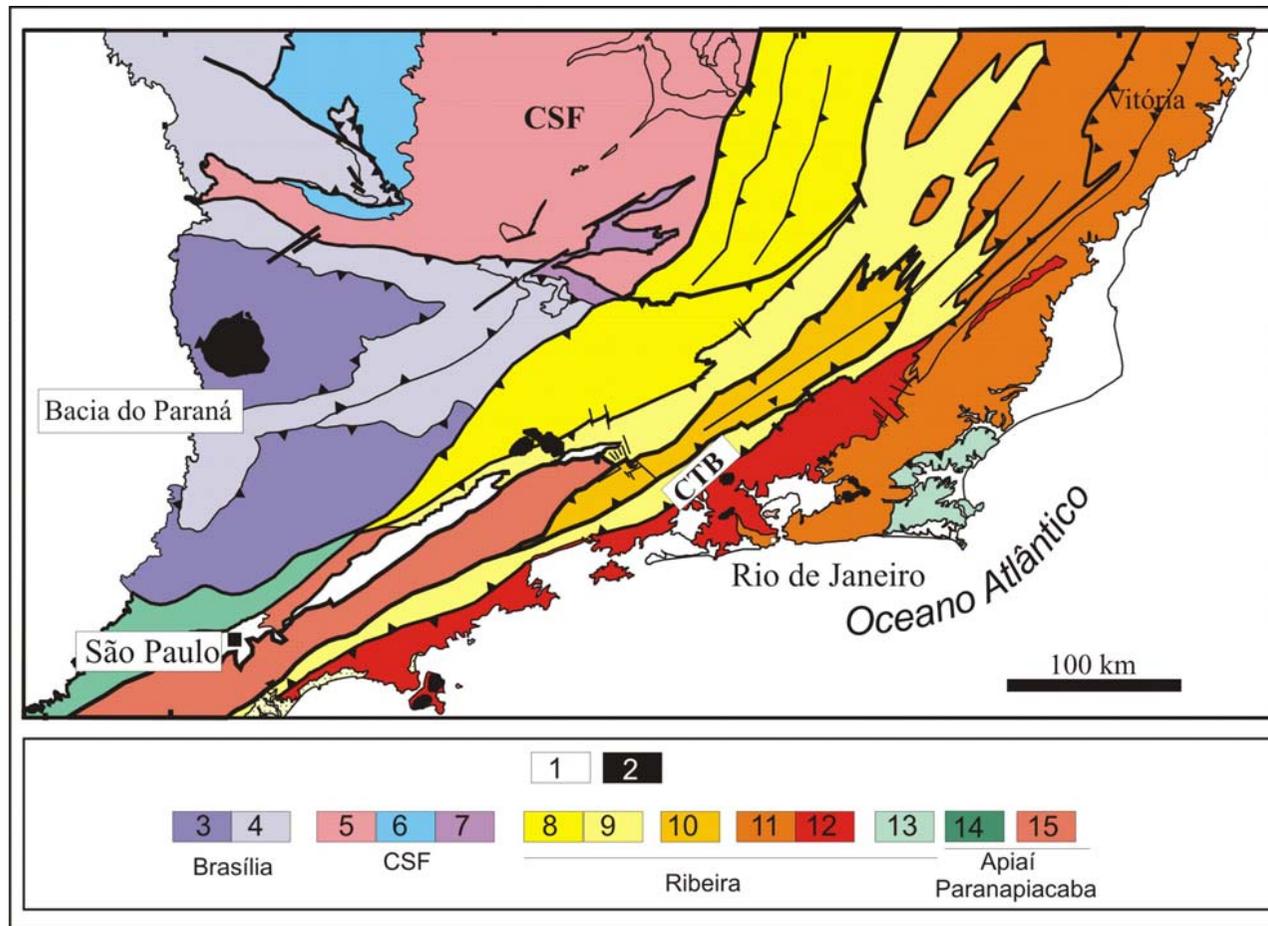


Figura 3 – Mapa tectônico do Segmento central do Sistema Orogênico Mantiqueira. Legenda. 1- Riftes Cenozóicos; 2- Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília (3-4): 3- Nappes Inferiores; 4- Nappes Superiores; 5- Embasamento do CSF e Domínio autóctone; 6- Supergrupo São Francisco; 7- Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13): 8- Domínio Andrelândia e 9- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10- Klippe Paraíba do Sul; 11- Terreno Oriental incluindo 12- Granitóides do Arco Magmático Rio Negro; 13- Terreno Cabo Frio; Orógeno Apiaí/Paranapiacaba (14-15): 14- Terrenos São Roque e Açungui; 15- Terreno Embu (extraído de Heilbron *et al.*, 2000)

Segundo Heilbron *et al.* (2000), em todos os terrenos desse segmento da faixa, podem ser identificadas as seguintes unidades lito-tectônicas: 1) embasamento de idade paleoproterozóico a arqueano; 2) cobertura metassedimentar meso a neoproterozóica, e 3) granitóides gerados durante a Orogênese Brasileira (635-480 Ma) (Tabela 1).

Tabela 1 – Unidades litoestratigráficas do Segmento Central da Faixa Ribeira (extraído de Heilbron *et al.*, 2000)

Unidades Tectônicas	Embasamento Pré-1.8Ga	Cobertura Pós-1.8Ga	Rochas granitóides Brasileiras
Terreno Ocidental Domínio Autóctone	Complexo Mantiqueira e Barbacena	Bacia Andrelândia Bacia Carandaí Ciclo Depositional Lenheiro e Tiradentes (Bacia São João Del Rei)	_____
Terreno Ocidental, Domínio Andrelândia	Complexo Mantiqueira	Bacia Andrelândia	Granitóides sin a tardi colisionais
Terreno Ocidental, Domínio Juiz de Fora	Complexo Juiz de Fora	Bacia Andrelândia	Granitóides sin a tardi colisional
Klippe Paraíba do Sul	Bacia Paraíba do Sul (?) Complexo Quirino	Bacia Paraíba do Sul (?)	Granitóides sin a tardi colisionais
Terreno Oriental/Costeiro	?	Bacia Italva	Granitóides sin a tardi colisionais
Terreno Cabo Frio	Complexo Região dos Lagos	Bacia Búzios	Leucogranitos

Heilbron *et al.* (2004, 2008) subdividiram o Orógeno Ribeira em cinco terrenos tectono-estratigráficos (Figuras 4 e 5), separados por falhas de empurrão ou zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas. Estes terrenos são denominados Ocidental, Paraíba do Sul, Embu, Oriental e Cabo Frio. A docagem destes terrenos é caracterizada pelo imbricamento de escamas crustais com vergência para oeste, em direção à margem do Cráton do São Francisco. Os quatro primeiros foram amalgamados há ca. 580 Ma, enquanto que o Terreno Cabo Frio só foi colado aos demais em ca. de 520 Ma.

Na tabela 2 observa-se uma sucinta descrição dos terrenos do Orógeno Ribeira bem como suas respectivas descrições litológicas.

Tabela 2 – Embasamento e Cobertura do setor central do Orógeno Ribeira (extraído de Heilbron *et al.*, 2008)

Terreno e Época de Amalgamação	Domínio Estrutural	Embasamento	Cobertura Deformada
Cabo Frio ca. 535-510 Ma		Complexo Região dos Lagos: ortognaisses tonalíticos a granodioríticos com ca. 1,9 Ga e abundância de enclaves de diorito e lentes de anfibolito. Dados de Sr e Nd sugerem que os ortognaisses resultaram do retrabalhamento de crosta arqueana com contribuição de crosta juvenil.	Sucessão Búzios-Palmital: (Cianita)-sillimanita-granada-biotita gnaiss com abundância de intercalações de camadas calciossilicáticas e anfibolitos e, subordinadamente, granada-quartzo gnaisses e quartzitos feldspáticos.
Oriental ca. 590-550 Ma	Italva		Grupo Italva: biotita gnaisses bandados, mármore calcíticos, anfibolitos (ca. 840 Ma) e anfibólio xistos. A sucessão metavulcano-sedimentar sugere ambiente plataformal, com magmatismo basáltico; o metamorfismo é de facies anfibolito.
	Costeiro		Complexo Costeiro: paragnaisses pelíticos a psamíticos associados a quartzito e rochas calciossilicáticas.
	Cambuci		Seqüência Cambuci
Embú ca. 605-570 Ma e 790 Ma?		Ortognaisses de composição granítica a tonalítica (paleoproterozóicos?)	Complexo Embú: unidade de idade desconhecida com biotita gnaisses finos-grossos, micaxistos intercalados com quartzitos imaturos, rochas calciossilicáticas e anfibolitos.
Paraíba do Sul ca. 605-570 Ma		Complexo Quirino: hornblenda ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica de ca. de 2,19-2,17 Ga; contem enclaves de rochas meta-ultramáficas, máficas, e calciossilicáticas.	Grupo ou Complexo Paraíba do Sul: seqüência metassedimentar de idade desconhecida, composta essencialmente de biotita gnaisses e sillimanita-bioita gnaiss pelítico, rico em granada e turmalina, com dolomitos impuros, rochas calciossilicáticas, quartzo xisto e meta-cherts ricos em granada.
Ocidental Retrabalhamento do paleocontinente São Francisco	Juiz de Fora	Complexo Juiz de Fora: ortogranulitos que possuem uma grande variação composicional. Dados geoquímicos e geocronológicos sugerem uma evolução complexa com granulitos com ca. de 2,0 Ga do tipo MORB, rochas ácidas a intermediárias de arco magmático juvenil e granulitos básicos e alcalinos com ca. de 1,7 Ga.	Megasseqüência Andrelândia: unidade de rochas siliciclásticas de margem passiva metamorfisadas; subdividida em duas seqüências separadas por uma grande descontinuidade. Sedimentação máxima de idade de ca. 900Ma. <i>Seqüência Serra do Turvo:</i> clorita-biotita-filitos e plagioclásio biotita xisto/gnaiss. K-feldspato, cianita, sillimanita e ortopiroxênio podem ocorrer, dependendo da facies metamórfica.
	Andrelândia	Complexo Mantiqueira: ortognaisses com ca. de 2,2-2,1 Ga, anfibolitos, e pouco granulito. Herança Arqueana de 2,7-2,6. Evento metamórfico importante com ca. de 2,06-2,05 (Orogênese Transamazônica) (ambiente tectônico convergente do tipo cordilheirano). Rochas básicas de ambientes intraplaca e extensional de idade desconhecida.	<i>Seqüência Carrancas:</i> quarto-feldspato paragnaisses intercalados com quartzitos e mica xisto; contém lentes e <i>Pods</i> máficos a ultramáficos. <i>Anfibolitos:</i> intercalados às seqüências de margem passiva, indicando uma progressiva transição de um ambiente continental a oceânico

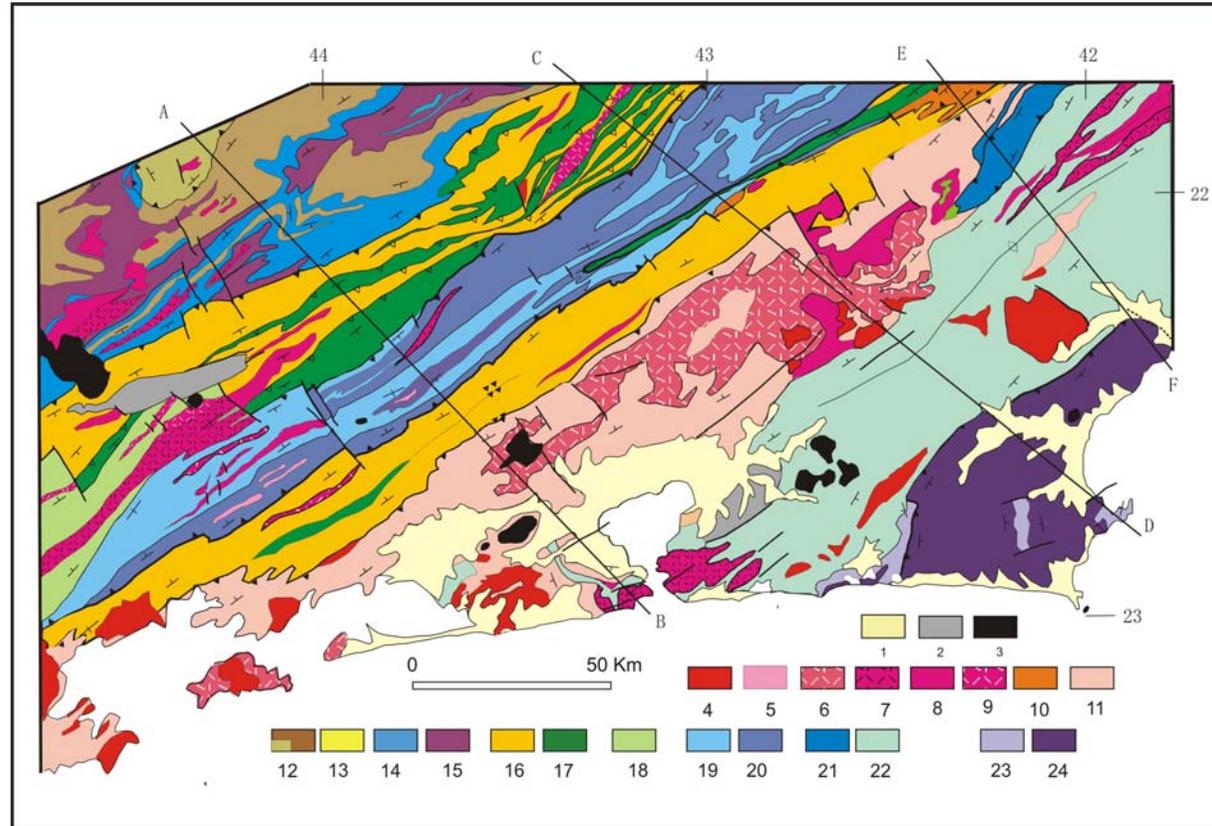


Figura 4 – Mapa geológico simplificado do Orógeno Ribeira, extraído de Heilbron *et al* , 2004. Legenda: 1-Sedimentos quaternários, 2-Sedimentos terciários, 3-Rochas alcalinas cretáceas/terciárias, 4-Granitóide Brasilianos sin a pós-colisionais (4-9)- 4-Biotita granitos póscolisionais (510-480 Ma, G5), 5-Granitos contemporâneos às ZCs D3 (535-520 Ma, G4), 6-granitos e charnockitos tardi-colisionais (ca. 560 Ma, G3); 7-Granitos porfiróides sin-colisionais (590-560 Ma); 8-Leucogranitos e charnockitos tipo S ou híbridos sin-colisionais (ca. 580 Ma, G2); granitóides com idade indeterminada (9-10): 9-Hornblenda granito gnaisse; 10-Suítes Anta e São Primo; 11-Arco magmático Rio Negro (790-620 Ma); Terreno Ocidental (12-17): Megasseqüência Andrelândia (12-14): 12-Seqüência Rio do Turvo em fácies granulito de alta P; 13-Seqüência Rio do Turvo; 14-Seqüência Carrancas; 15-Complexo Mantiqueira; 16-Fácies distais da Megasseqüência Andrelândia no Domínio Juiz de Fora; 17-Complexo Juiz de Fora; 18-Complexo Embu indiviso; Terreno Paraíba do Sul (19-20): 19- Grupo Paraíba do Sul; 20-Complexo Quirino; Terreno Orinetal (21-22): 21-Sucessão metassedimentar Italva; 22-Sucessão metassedimentar Costeiro; Terreno Cabo Frio (23-24): 23-Sucessão Búzios e Palmital; 24-Complexo Região dos Lagos.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

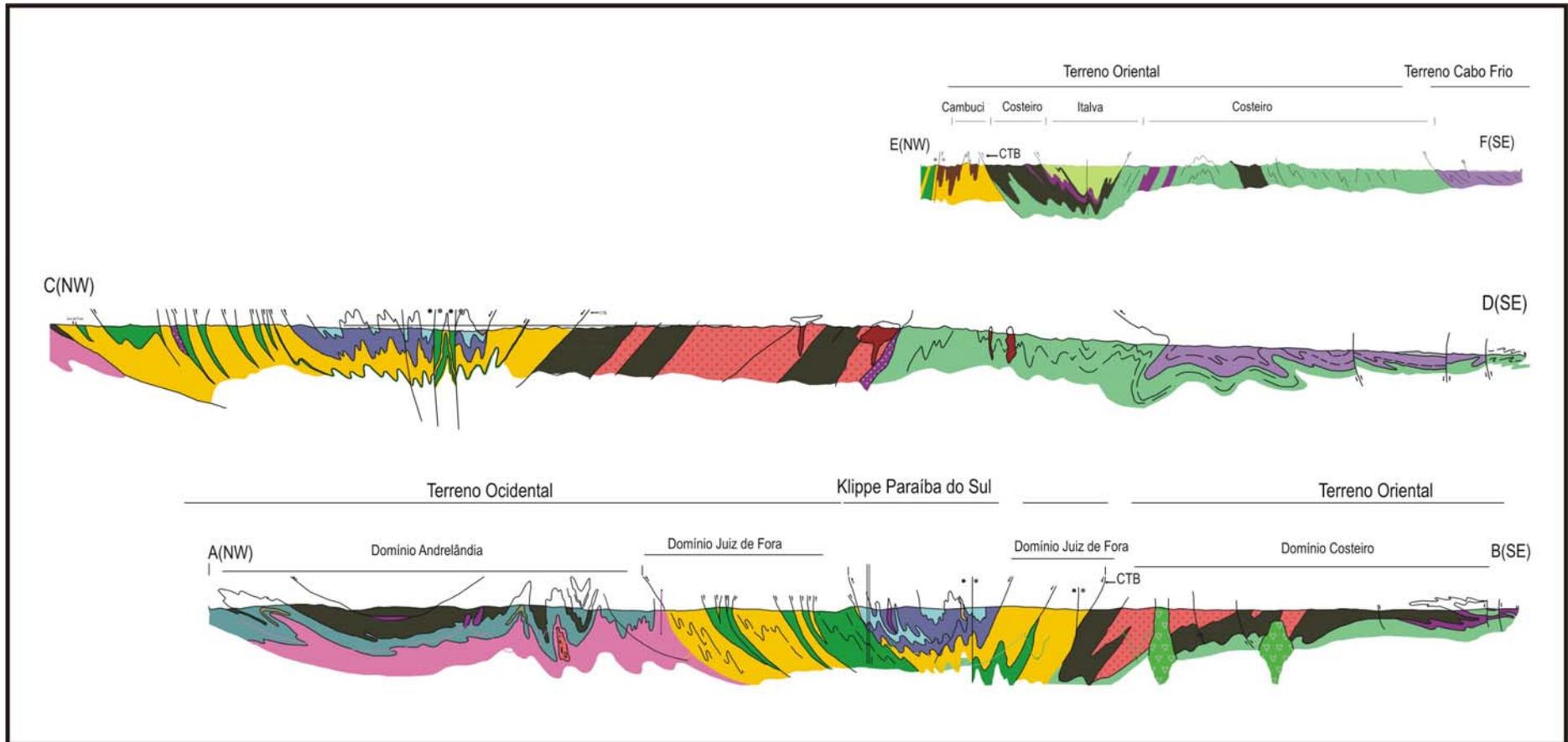


Figura 5 – Perfis estruturais transversais ao Orógeno Ribeira, compilado de Heilbron *et al.* (2004). Legenda como na Figura 4.

O Complexo Mantiqueira, objeto deste trabalho, constitui o embasamento pré-1,8 Ga das rochas da Megassequência Andrelândia no domínio homônimo do Terreno Ocidental.

2.2 Revisão Bibliográfica sobre o Complexo Mantiqueira

2.2.1 Trabalhos Anteriores

As diversas definições para esta associação litológica envolvem nomes como Série, Grupo ou Complexo Mantiqueira ou Barbacena; e Gnaiss, Grupo ou Complexo Piedade. Estas denominações vêm sendo utilizadas, ao longo das últimas quatro décadas, de formas distintas, variando conforme o autor e/ou a região.

Os termos Grupo ou Complexo Mantiqueira parecem ser aplicáveis à região aqui abordada. Entretanto, nas referências dos trabalhos anteriormente executados, outros nomes foram adotados para associações litológicas em parte semelhantes (e.g., Gnaiss Piedade).

Ao conjunto de gnaisses e migmatitos da Serra da Mantiqueira, Barbosa (1954) deu o nome de Série Mantiqueira, entendendo que correspondiam a rochas distintas e mais velhas do que aquelas da Série Barbacena (Barbosa 1954).

Ainda na década de 50, trabalhos realizados por Ebert (1955, 1957) reconheceram dois conjuntos distintos: um ortoderivado, de idade Arqueana e retrabalhado na Orogênese Assíntica, o qual ele relacionou a uma facies mais metamórfica da Fm Barbacena; e outro metassedimentar, ao qual denominou Gnaiss Piedade.

Nas décadas de 60 e 70 destacam-se estudos geocronológicos (Delhal *et al.* 1969; Cordani *et al.* 1973) e trabalhos de mapeamento geológico (Silva *et al.*, 1978; Fonseca *et al.*, 1979) que contribuíram com maior conhecimento desta unidade.

A década de 80 é também caracterizada por trabalhos de mapeamento geológico (Oliveira, 1980; Machado Filho *et al.*, 1983; Hasui & Oliveira, 1984; e Trouw *et al.*, 1986) que levaram a um maior detalhamento das características litotectônicas do então denominado Gnaiss Piedade ou Complexo Barbacena ou Grupo Mantiqueira. Nesta década teve também início a abordagem petrológica destas unidades como, por exemplo, o trabalho de Machado Filho *et al.* (1983).

As décadas de 70 e 80 também foram períodos de grandes contribuições das universidades públicas no mapeamento detalhado (escalas 1:50.000 e maiores) de várias partes do Brasil, inclusive da região sudeste, resultando em várias teses e trabalhos publicados em boletins de congressos e outras revistas especializadas.

A década de 90 é caracterizada por significativa contribuição ao conhecimento da evolução geológica da região de Juiz de Fora e áreas adjacentes, sobre as quais resultaram dissertação de mestrado (Nogueira, 1994), teses de doutorado (Heilbron, 1993 e Duarte, 1998, Nogueira, 1999) e várias publicações em boletins e periódicos nacionais, revistas estrangeiras e sínteses regionais (Heilbron, 1993, 1995; Heilbron *et al.*, 1991, 1992, 1995, 1996; Duarte *et al.*, 1994; Nogueira, 1994; e Nogueira e Trouw, 1993;). Esta década também é caracterizada por trabalhos de cunho geocronológico destas unidades (Pinto, 1991; Viana, 1991; Figueiredo *et al.*, 1992; Machado *et al.*, 1996; e Figueiredo & Teixeira, 1996).

Desde a década de 90 até os dias atuais avanços nas investigações petrológicas e geocronológicas cresceram absurdamente, buscando melhor entender a gênese, o significado tectônico e as relações entre as unidades litológicas da região, muitas com destaque ou enfoque também no Complexo Mantiqueira. São estas: Figueiredo & Teixeira (1996); Machado *et al.* (1996); Fischel *et al.* (1998); Ragatky *et al.* (1999); Ragatky *et al.* (2000); Heilbron *et al.* (2001); Silva *et al.* (2002); Duarte *et al.* (2005); Noce *et al.* (2007).

As contribuições ao estudo do Complexo Mantiqueira existentes até a presente data estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Barbosa (1954)	Série Mantiqueira, posteriormente, Grupo Mantiqueira	Gnaisses e migmatitos da Serra da Mantiqueira, mais velhos que a Série Barbacena				
Ebert (1955)	Fm Barbacena - facies mais metamórfica		Embasamento Arqueano, retrabalhado na Orogênese Assíntica			
Ebert (1958)	Gnaisse Piedade* *região de Piedade do Rio Grande	Metassedimentos gnáissicos, finamente bandados e de atitude subhorizontal				
Cordani <i>et al.</i> (1973)			Arqueano, com migmatização Transamazônica e rejuvenescimento Brasileiro.			

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Silva <i>et al.</i> (1978)	Complexo Piedade (CP) e Complexo Gnássico-Migmatítico (CGM)	CP-metassidemantos gnáissicos e migmatíticos ; tem contatos transicionais com o CGM; CGM - ortognaisses migmatíticos.				CP - produto da tectônica de empurrão atuante sobre os granitóides do CGM
Fonseca <i>et al.</i> (1979)	Gnaiss Piedade					
Machado Filho <i>et al.</i> (1983)	Gnaiss Piedade Unidade Gnássica(UG); Unidade Migmatítica (UMg); Unidade Metabásica (UMb); Maciço do Matola (MM)	Gnaisses bandados, ora migmatíticos, de composições variadas, sendo mais básicos, mais migmatíticos e ora granulíticos próximo ao contato com o Complexo Juiz de Fora, a S e ESSE	Transamazônica, com sugestão de núcleos mais antigos, talvez Arqueanos, com retrabalhamento no Brasileiro.	Um _g - <i>trend</i> toleítico e calcioalcalino, ígneo com 3 amostras no campo das grauvacas	Rochas Polideformadas: 1- Gnaissificação e cavalgamento de S para N das rochas do Complexo Barbacena, do Supergrupo Rio das Velhas e do Grupo Dom Silvério; 2- Movimentação E-W.	Gnaiss Piedade é produto do cisalhamento de rochas do Complexo Barbacena e do Super-grupo Rio das Velhas

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Oliveira (1980) e Hasui & Oliveira (1984)	Complexo Barbacena	Ortognaisses bandados migmatíticos e dobrados, com paleossomas, enclaves e restos de anfibolitos, metabasitos e metaultrabasitos e leucossomas granodioríticos a graníticos.	Arqueana, com retrabalhamento no Transamazônico e no Brasileiro			
Trouw <i>et al.</i> (1986)	Grupo Mantiqueira	Gnaisses bandados, ora migmatíticos, com intercalações de anfibolito e hb gnaisses e ocorrências locais de charnockito e anfibolito maciço.	Arqueana			

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Pinto <i>et al.</i> (1991) e Viana <i>et al.</i> (1991)	Complexo Mantiqueira	Gnaisses bandados, tonalíticos a trondhjemíticos e granítico-granodioríticos, com metaultrabasitas, calcissilicáticas, metagabros e quartzitos subordinados		Gnaisses bandados: metandesitos cálcio-alcalinos; Metabasitos: metatoleiitos-restitos de fusão; Granulitos: vulcanitos Intermediários contaminados por sedimentos carbonáceos; Bt gnaisses: sedimentos aluminosos, margosos e granitos crustais; Cálcissilicática / Metadiorito: marga / diorito		Rochas granitóides intrusivas ou remanescentes do embasamento e rochas granitóides crustais geradas por fusão parcial de sequências metassedimentares.

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Brandalise (1991) CPRM (Folha Ponte Nova)	Complexo Mantiqueira	Ortognaisses granito - tonalíticos, ora migmatíticos, com intercalações de anfibolito e pequenos corpos de charnockitos miloníticos com lentes de granulitos básicos e rocha verde tipo calcissilicática.	Arqueana, retrabalhada no Transamazônico	Gnaisses granito-tonalíticos: granitóides peraluminosos tipo I e com alguma contribuição crustal; Conjunto básico: toleíitos de arco de ilha.		
Figueiredo <i>et al.</i> (1992)	Gnaisses Mantiqueira	Hb-bt gnaisses, localmente migmatizados	Eoproterozóica	Duas Sequências: Calcioalcalina de baixo K, ou TTG, enriquecida em Mg, Ca, Al e Cr; Calcioalcalina enriquecida em LILE, alcalis, Ti, Fe, P, Rb, Zr, Nb, e Y.	Rochas mais antigas, retrabalhadas no Transamazônico; Granitogênese tardia, pós-tectônica ao Transamazônico; Retrabalramento no Brasileiro.	

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Heilbron (1993, 1995)	Grupo Mantiqueira, posteriormente, Complexo Mantiqueira	Ortognaisses bandados, migmatíticos, com enclaves e/ou lentes de metabásicas e faixas lineares granulíticas; Lentes de gnaiss granodiorítico invadem o conjunto; Aplitos graníticos, cinzentos e rosados, completam o conjunto.	Arqueana a Proterozóica Inferior, retrabalhado no ETt Brasileiro	Leucognaisses intrusivos: granitos a granodioritos calcioalcalinos de alto K. Semelhanças com a Série Calcioalcalina de alto K do Complexo Juiz de Fora.	Metamorfismo Transamazônico: facies anfibolito/ facies granulito; Metamorfismo Brasileiro: M1 - facies anfibolito superior (Alta T, P média); M2 - facies anfibolito (alta T, baixa P)	Embasamento das rochas do Ciclo Depositional André-lândia.
Figueiredo & Teixeira (1996)	Complexo (Metamórfico) Mantiqueira	Bt-hb gnaisses e migmatitos, tonalíticos - Granodioríticos-graníticos, com rochas máficas, metassedimentos subordinados e intrusões granitóides.	Paleoproterozóica (Rb/Sr entre 2,2 e 2,1 Ga), com sugestão de porções mais antigas Arqueanas	2 Séries Calcioalcalinas: Baixo K (rochas básicas a ácidas); Alto K, enriquecida em LILE.		Cinturão Paleoproterozóico - Arco magmático maduro Transamazônico, em margem continental ativa, com retrabalhamento de crosta Arqueana.

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Duarte (1998)	Complexo Mantiqueira	ortognaisses de composição tonalítica a granítica e localmente ortoanfibolitos associados	embasamento pré-1,8 Ga das rochas da Megassequência Andrelândia	2 séries: uma transicional (termos básicos) e uma calcioalcalina (termos intermediários a ácidos).		Embamento das rochas do Domínio Tectônico Andrelândia.
Fischel (1998); Fischel et al. (1998)	Complexo Mantiqueira	Bt-hb gnaisses (fácies anfibolito), associado com corpos intrusivos de rochas básicas anfibolitizadas.	Idade modelo Sm/Nd arqueanas (3,26-3,02 Ga) e neoarqueanas (2,64-2,53)			
Nogueira (1999)	Complexo Mantiqueira	Ortognaisses (Bt-hb gnaisses) intercalado com metassedimentos (Sill-Bt gnaiss e Muscovita quartzito) e com rochas máficas (boudins de Bt anfibolito e vênulas lenticulares de Hb gnaiss máfico)	Ett Transamazônico para as rochas ortognaisses e retrabalhamento no Ett brasileiro	2 suítes: toleítica (termos básicos a intermediário) e calcioalcalina (termos intermediários a ácidos)	metamorfismo de fácies granulito	Embamento das rochas do Domínio Tectônico Andrelândia

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Nogueira & Choudhuri (2000)	Complexo Mantiqueira	biotita-hornblenda gnaiss migmatítico, biotita-hornblenda gnaiss com intercalações máficas e félsicas, biotita-hornblenda gnaiss tonalítico e rochas máficas associadas	Transamazônico, espessamento crustal por acreção subcontinental;	ortognaisses intermediários a ácidos são cálcioalcalinos, metabasitos são toleíticos		arco magmático continental
Heilbron (2001)	Complexo Mantiqueira	gnaisses	2,2 Ga (gnaisses bandados cálcio alcalino) e 2,15 (granitóide colisional)	Suítes cálcioalcalina e suite toleítica		Arco continental
Duarte et al., (2001a, 2001b, 2002)	Complexo Mantiqueira	ortognaisses e migmatitos tonalíticos a graníticos (raros trondhjemitos) com anfíbolitos e enderbitos associados		quatro suítes cálcioalcalinas, geradas por anatexia crustal;	Metamorfismo brasileiro, de fácies anfíbolito superior, sincrônico à deformação principal	basaltos toleíticos e alcalinos com assinaturas E-MORB e intra-placa continental

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Silva <i>et al.</i> (2002)	Complexo Mantiqueira	Bt gnaiss tonalítico	Arqueana, metamorfismo 2068 ± 19 de facies anfibolito			
Duarte <i>et al.</i> (2003, 2004)	Complexo Mantiqueira	ortognaisses de composição tonalítica a granítica e localmente ortoanfibolitos associados	embasamento pré-1,8 Ga das rochas da Megassequência Andrélândia	2 séries: uma transicional (termos basicos) e uma calcioalcalina (termos intermediários a ácidos).		Embasamento das rochas do Domínio Tectônico Andrélândia.
Duarte <i>et al.</i> (2005) (idades U-Pb de Heilbron <i>et al.</i> , 2001)	Complexo Mantiqueira	ortognaisses de composição tonalítica a granítica e localmente ortoanfibolitos associados	2,2 Ga (rochas intermediárias da série calcioalcalina com baixo (La/Yb) _N) e 2,15 Ga (rochas ácidas da série calcioalcalina com alto (La/Yb) _N)	2 séries: uma transicional (termos basicos) e uma calcioalcalina (termos intermediários a ácidos com 4 grupos petrogenéticos limitados pela quantidade de sílica).		Embasamento das rochas do Domínio Tectônico Andrélândia.

Tabela 3: Trabalhos Anteriores Referentes ao Complexo Mantiqueira (Cont.)

Autor(es)	Denominação	Constituição Litológica	Idade	Características Geoquímicas	Relações Metamorfismo / Deformação	Ambientação Geotectônica
Noce <i>et al.</i> (2007)	Complexo Mantiqueira	Biotita-anfibolito ortognaisses bandado, com presença comum de boudins concordantes, lentes e camadas de anfibolito	U-Pb Shrimp: 2137 ± 19 a 2041 ± 7 Ma; Idades modelo Sm-Nd (T _{DM}): 2,9 a 3,2 Ga			arco magmático continental

2.3 Caracterização do Complexo Mantiqueira

O Complexo Mantiqueira (Brandalise, 1991) é caracterizado como sendo o embasamento do Domínio Tectônico Andrelândia. Ao longo dos últimos anos, esta unidade vem sendo caracterizada como ortognaisses associados com rochas básicas, como intercalações ou na forma de lentes e/ou boudins.

Este trabalho tomou como base a descrição feita por Duarte (1998) e Duarte *et al.* (2004) que caracterizou o Complexo Mantiqueira, na região de Juiz Fora, como uma unidade constituída principalmente de biotita-hornblenda gnaisses cinzentos, bandados, por vezes migmatíticos, de composição tonalítica a granodiorítica, com bandas, enclaves e/ou lentes centimétricas a métricas e, localmente, corpos tabulares discordantes de rochas metabásicas. O conjunto apresenta comumente estruturas migmatíticas, cujos leucossomas são caracterizados pela presença de cristais grossos de hornblenda. As paragêneses minerais, texturas e estruturas encontradas indicam condições metamórficas de facies anfibolito, com anatexia e formação de migmatitos.

Capítulo 3

O Complexo Mantiqueira na região de Juiz de Fora

3 O COMPLEXO MANTIQUEIRA NA REGIÃO DE JUIZ DE FORA

Visando uma melhor interpretação geocronológica, faz-se necessário uma boa caracterização das litologias encontradas nesta unidade bem como uma interpretação litogeoquímica elaborada a fim de ter bases para direcionar um estudo geocronológico do Complexo Mantiqueira.

Como esta pesquisa não contou com um mapeamento detalhado da área de estudo, foi utilizado: 1) o acervo tanto de mapas quanto de lâminas petrográficas do grupo de pesquisa Tektos, que vem estudando em detalhe esta região nas últimas décadas; e 2) a visita em pontos estratégicos do Complexo Mantiqueira na região de Juiz de Fora, que ocorre boas exposições, principalmente em cortes de rodovias federais e estaduais e em várias pedreiras, tanto ativas quanto inativas (Figura 6). Estes pontos serão descritos estes pontos, em termos de feições de campo, a seguir.



Figura 6 – Exposições em pedreiras: a) inativa (Pedreira da “Groenlândia” - Ponto JF-CM-564); e b) ativa (Pedreira Santo Cristo - Ponto JF-CM-585).

3.1 Geologia de Campo

A) Pedreira de Barreira do Triunfo (Ponto 29)

Esta pedreira localiza-se no bairro homônimo, a norte da cidade de Juiz de Fora. O litotipo predominante é um hornblenda gnaiss (Figura 7), migmatítico, de estrutura estromática, cujos leucossomas brancos têm hornblendas grossas (até 1 cm de diâmetro) e schlierens máficos. O gnaiss inclui bandas e/ou *boudins* de rocha básica, anfibolítica (Figura 8), que são também injetadas pelos leucossomas brancos (Figura 9), gerando estrutura do tipo agmática. Uma banda de várias dezenas de cms ocorre intercalada no conjunto e é também afetada pelas injeções leucossomáticas (Figura 9).



Figura 7 – Hornblenda gnaiss do Complexo Mantiqueira (Pedreira de Barreira do Triunfo - Ponto JF-CM-29).



Figura 8 – Bandas de rocha básica anfibolítica do Complexo Mantiqueira (Pedreira de Barreira do Triunfo - Ponto JF-CM-29).



Figura 9 – Rocha básica anfibolítica injetado por leucossoma com hornblenda grossa do Complexo Mantiqueira (Pedreira de Barreira do Triunfo - Ponto JF-CM-29).

B) Ponto 30

Corresponde a um corte na rodovia BR-040, localizado entre o bairro de Barreira do Triunfo e o centro da cidade de Juiz de Fora, a norte desta. A rocha predominante é um hornblenda gnaiss migmatítico levemente foliado, com leucossomas caracterizados pela presença de grãos grossos de hornblenda (de até 1 cm de diâmetro). A rocha inclui bandas félsicas com schlierens máficos, além de *boudins* e/ou lentes (Figura 10) e bandas anfíbolíticas. Níveis leucossomáticos, rosados, de composição granítica, ocorrem injetados em todo o conjunto. Apresenta porfiroclastos de quartzo e plagioclásio.

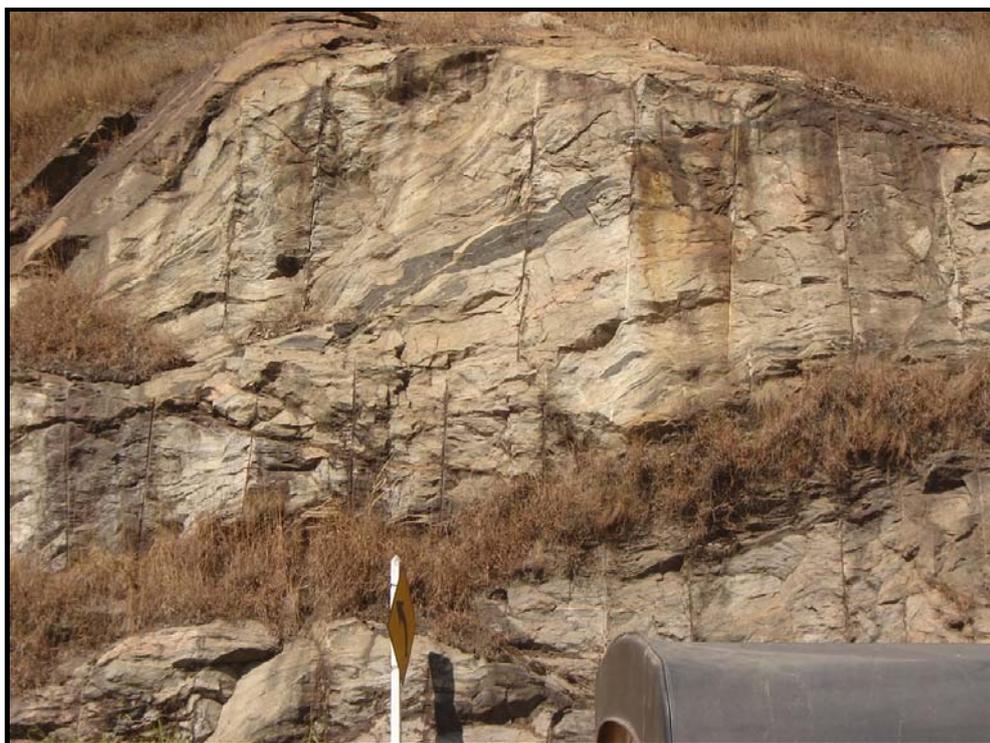


Figura 10 – Hornblenda gnaiss com intercalação de lente anfíbolítica do Complexo Mantiqueira (Corte de estrada na BR-040 - Ponto JF-CM-30).

C) Pedreira do Pontos 190

Esta pedreira localiza-se a NW da cidade de Juiz de Fora. Nesta exposição, ocorre a predominância de um biotita gnaiss bandado (Figura 11), cinza claro, com injeções graníticas rosadas e, localmente, com megacristais tipo “*augen*” de K-feldspato, formados, provavelmente a partir de interações entre a rocha e as injeções. Poucos enclaves de rocha básica anfibolítica ocorrem e, quando injetados por material granítico, são parcialmente assimilados, o que dá origem a material leucossomático branco com grãos grossos de hornblenda. O leucogranito rosado dispõe-se em bandas ou níveis subparalelos à foliação do biotita gnaiss, sendo apenas localmente discordante. Fases pegmatíticas, de composição semelhante às injeções rosadas, ocorrem principalmente ao longo de fraturas, em discordância às estruturas das rochas encaixantes. Localmente, observa-se continuidade entre as bandas rosadas subconcordantes e os pegmatitos discordantes.



Figura 11 – Biotita gnaiss bandado do Complexo Mantiqueira (Ponto JF-CM-190)

D) Pedreiras dos Pontos 516 (Pedreira da “Groenlândia”) e 564

Estas pedreiras localizam-se a sul do bairro de Benfica, região NW da cidade de Juiz de Fora. Expõem uma associação de rochas gnáissicas, bandadas ou não, eventualmente migmatíticas de estrutura estromática, dispostas em bandas. Os seguintes os litotipos são observados: a) hornblenda gnaisse bandado (Figura 12) com bandas, lentes e/ou boudins de rocha básica anfibolítica (Figura 13) e leucossomas brancos com grãos grossos de hornblenda; b) hornblenda-biotita gnaisse maciço, de cor cinza clara; e c) biotita gnaisse fino leucocrático, ligeiramente foliado. Localmente, como no ponto 516, os leucossomas brancos formam um corpo intrusivo de proporções volumétricas relativamente grandes e encerram vários enclaves métricos de rocha básica (Figura 14). Nestas pedreiras há forte sugestão de que parte destes corpos básicos sejam restitos de processo de fusão parcial de ortognaisses. Injeções subconcordantes e discordantes de leucogranito rosado são encontradas principalmente nos gnaisses.



Figura 12 – Hornblenda gnaisse bandado do Complexo Mantiqueira (Pedreira da “Groenlândia” - Ponto JF-CM-516).

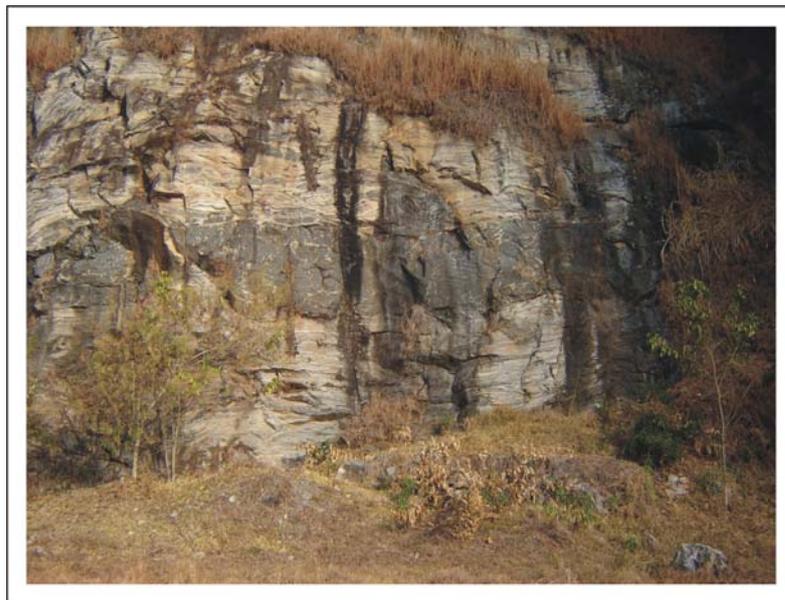


Figura 13 – Bandas de rocha básica anfibolítica do Complexo Mantiqueira (Ponto JF-CM-564).



Figura 14 – Corpo intrusivo de Leucossomas brancos com várias enclaves métricas de rocha básica do Complexo Mantiqueira (Pedreira da “Groenlândia” - Ponto JF-CM-516).

E) Pedreiras dos Pontos 577 e 585 (Pedreira Santo Cristo)

Estas pedreiras estão localizadas em uma área a NE do centro da cidade de Juiz de Fora, a sul do bairro Linhares (ponto 577 - Reserva Biológica) e a leste do bairro Muçunguê da Grama (ponto 585 – Pedreira Santo Cristo). A rocha predominante é um biotita gnaiss bandado (Figura 15), claro, localmente porfiroblástico, com enclaves de rocha básica e inúmeras injeções, subconcordantes e discordantes, de leucogranito rosado. Leucossomas brancos com Hb grossa ocorrem injetando as rochas básicas e, localmente, observa-se uma transição entre estes leucossomas e o leucogranito rosado. Localmente, o biotita gnaiss bandado ganha megacristais tipo “augen” de K-feldspato, processo este decorrente da interação entre o gnaiss e as injeções graníticas. No entanto, vários tipos de gnaisses cinzentos ocorrem (como nas pedreiras dos pontos 516 e 564) como enclaves no biotita gnaiss: a) hornblenda gnaiss cinza escuro, fino, de estrutura maciça; b) hornblenda gnaiss cinza escuro, grosso, de estrutura maciça; e c) biotita gnaiss fino, leucocrático, cinza claro, foliado. Estes gnaisses são também injetados por leucogranito rosado.



Figura 15 – Biotita gnaiss fino com injeções graníticas rosadas (Pedreira Santo Cristo Ponto 585).

3.2 Compilação e Integração de Dados Litogeoquímicos

A base de dados deste trabalho consiste em 68 amostras (Anexo 1), sendo 6 amostras selecionadas para as análises litogeoquímicas obtidas durante este trabalho, 31 de Duarte (1998) e 31 de Nogueira (1999).

3.2.1 Litogeoquímica do Complexo Mantiqueira com base em Duarte (1998) e Nogueira (1999)

Segundo Duarte (1998), o Complexo Mantiqueira é constituído de rochas que podem ser agrupadas em três *trends* distintos: 1) rochas intermediárias a ácidas calcioalcalinas; b) rochas básicas toleíticas; e 3) rochas básicas de afinidade alcalina. A análise quantitativa dos dados de litogeoquímica mostrou que, para ambos os grupamentos de rochas básicas, a petrogênese é dissociada daquela das rochas intermediárias a ácidas.

As rochas calcioalcalinas do Complexo Mantiqueira formam quatro agrupamentos petrogeneticamente distintos e restritos em termos de variação de SiO₂. A partir de modelamento geoquímico, ainda preliminar, processo de fusão parcial crustal é atribuído à gênese de cada um destes agrupamentos (Duarte, 1998 e Duarte *et al.*, 2004). As rochas básicas toleíticas formam um agrupamento muito heterogêneo, o que é interpretado como geração a partir de fontes diversas. Foram encontradas assinaturas do tipo E-MORB e intra-placa continental. As rochas básicas alcalinas têm assinaturas típicas de ambiente intra-placa e dados de campo apontam para um contexto continental.

Contudo Nogueira (1999), para fins descritivos e, sobretudo, com base em aspectos estruturais, subdividiu o Complexo Mantiqueira em duas grandes unidades lito-estruturais que, por serem predominantemente constituídas por rochas gnáissicas, foram denominadas de Seqüências Gnáissicas I e II.

A Seqüência Gnáissica I ocupa a porção adjacente à borda sul do Cráton de São Francisco, em posição externa em relação à Faixa Ribeira. É composta predominantemente por ortognaisses de composição tonalítica. Entretanto, encontram-

se, associadas a estes gnaisses, quantidades variáveis de rochas granulíticas, metassedimentares, metamáficas, metaultramáficas e graníticas.

A Seqüência Gnáissica II é constituída de ortognaisses (hornblenda gnaisses) e rochas máficas associadas, além de ser mais comum a presença de rochas graníticas brasileiras.

A Seqüência Gnáissica I de Nogueira (1999), cuja constituição inclui seqüências de rochas metavulcanossedimentares, foi descartada deste estudo, uma vez que o Complexo Mantiqueira é, aqui, definido como um conjunto ortoderivado com rochas plutônicas associadas.

3.2.2 Petrologia do Complexo Mantiqueira

A abordagem geoquímica das rochas do Complexo Mantiqueira (dados litogeoquímicos de Duarte, 1998, e Nogueira, 1999 e alguns obtidos no presente trabalho) seguirá uma metodologia fundamentada na análise quantitativa, tendo como base critérios estatísticos e petrológicos. O tratamento e a interpretação dos dados tiveram uma forte fundamentação na análise de elementos considerados imóveis como, por exemplo, os elementos terras raras, o que, diminui a possibilidade de se tratar com processos que poderiam ter alterado a composição original das rochas estudadas.

Os dados de litogeoquímica tratados neste estudo incluem: 1) elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5); 2) elementos traços (Ba, Rb, Sr, Zr, Y, Hf, Ni, Cr, V e Co); 3) elementos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu); e 4) U e Th. Os elementos maiores neste trabalho são expressos em percentagem de peso (% peso), enquanto que os elementos traços são expressos em partes por milhão (ppm). Os dados litogeoquímicos estão disponibilizados nos Anexos I e II.

3.2.2.1 Abordagem para elementos maiores

As amostras do Complexo Mantiqueira plotam em dois *trends* distintos: um *trend* transicional, formado por rochas básicas, e outro calcioalcalino, formado por rochas

intermediárias a ácidas. Verificou-se que entre os dois *trends* existe uma lacuna em termos de conteúdo de sílica de cerca de 6% (Figura 15).

As rochas básicas plotam ao longo de um *trend* transicional, sendo doze amostras de afinidade toleítica (JF-CM-29Q, JF-CM-34A, JF-CM-58B, JF-CM-187A, JF-CM-190C, JF-CM-367B, JF-CM-371B, JF-CM-371D, JF-CM-371F, JF-CM-384A, JF-CM-564F, e JF-CM-516III) e 6 de afinidade alcalina (JF-CM-30C, JF-CM-60B, JF-CM-367E, JF-CM-369B, JF-CM-577B e JF-CM-585II) (Figuras 16 e 17). As rochas intermediárias a ácidas plotam no campo subalcalino, ao longo de um *trend* calcioalcalino (Figuras 16 e 17).

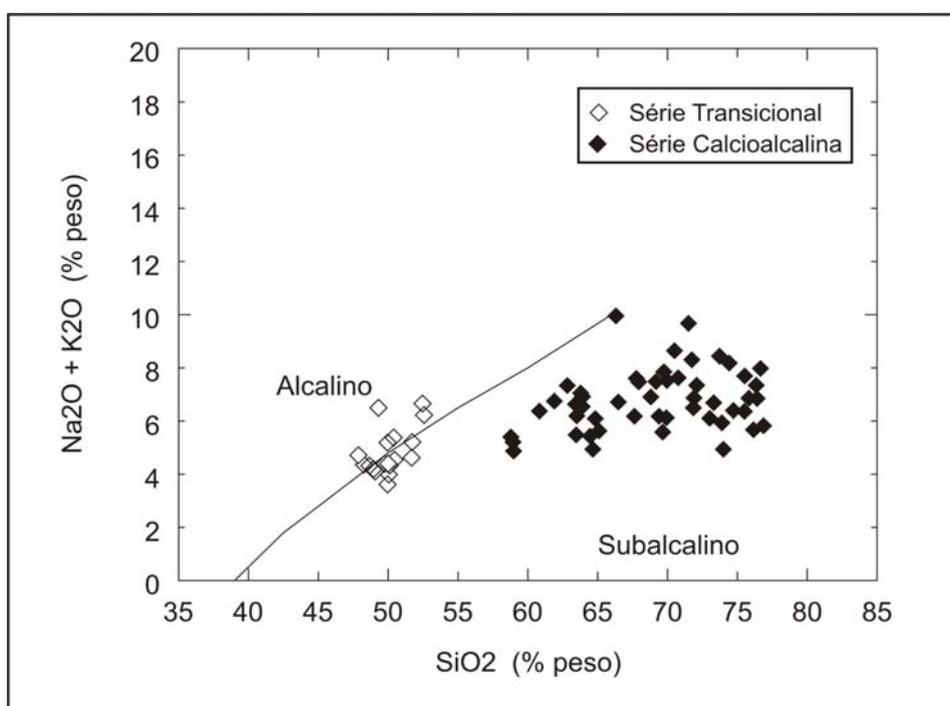


Figura 16 – Diagrama SiO_2 x Álcalis (Irvine & Baragar, 1971) com plotagem das amostras do Complexo Mantiqueira.

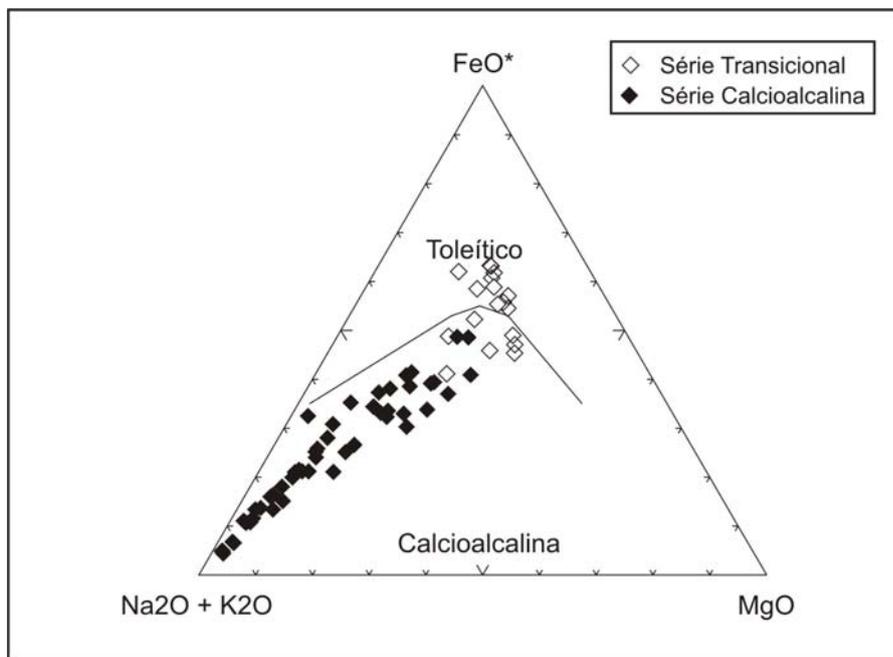


Figura 17 – Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) com plotagem das amostras do Complexo Mantiqueira.

Para confirmar as afinidades químicas das amostras transicionais, foi realizada a norma CIPW que é apresentada na tabela 4.

Segundo essa norma, verifica-se que:

- quatro amostras (JF-367B, JF-371B, MB-564F e JF-371D) têm quartzo e hiperstênio normativos e, portanto, são rochas supersaturadas em SiO_2 e podem ser classificadas como quartzo toleíticos (afinidade toleítica);
- oito amostras (JF-34A, JF-58B, JF-384A, JF-371F, JF-190C, JF-29Q, JF-187A, JF-CM-516III) têm hiperstênio e olivina normativos, sendo, portanto, rochas saturadas em SiO_2 e classificadas como olivina toleíticos (afinidade toleítica);
- seis amostras (JF-60B, MB-577B, JF-367E, JF-30C, JF-CM-585II, JF-369B) têm nefelina e olivina normativas, mostrando serem rochas básicas insaturadas em SiO_2 , sendo, então, classificadas como basaltos alcalinos.

Tabela 4 – Valores da norma CIPW para as rochas básicas do Complexo Mantiqueira. Todos os valores são expressos em %peso. A sigla para os minerais normativos são: Q=Quartzo, Z=Zircão, Or=Ortoclásio, Ab=Albita, An=Anortita, Ne=Nefelina, Di=Diopsídio, Hy=Hyperstênio, Ol=Olivina, Mt=Magnetita, Cm=Cromita, Il=Ilmenita, Ap=Apatita.

Rocha	Amostras	Q	Z	Or	Ab	An	Ne	Di	Hy	Ol	Mt	Cm	Il	Ap	Total
Quartzo Toleítico	JF-367B	4.02	0.17	13.07	26.01	15.36	0	11.89	18.53	0	3.41	0.01	5.14	2.8	100.41
	JF-371B	2.31	0.04	6.46	25.06	18.25	0	18.02	19.19	0	3.64	0.02	6.14	1.01	100.14
	MB-564F	0.21	0.04	6.2	26.34	17.18	0	19.88	18.96	0	3.75	0.01	6.71	0.85	100.13
	JF-371D	0.04	0.04	5.52	29.22	16.57	0	18.37	20.17	0	3.56	0.02	5.74	0.88	100.14
Olivina Toleítico	JF-34A	0	0.06	14.9	31.85	23.14	0	7.12	12.52	3.76	2.34	0.03	3	1.56	100.28
	JF - 58 B	0	0.06	12.82	27.69	20.11	0	9.58	18.71	0.18	2.72	0	5.39	3.08	100.34
	JF-384A	0	0.05	10.51	29.43	14.33	0	19.19	11.34	4.57	3.41	0.06	6.16	1.14	100.21
	JF-371F	0	0.04	5.72	27.81	16.34	0	20.55	15.9	2.59	3.71	0.01	6.63	0.82	100.12
	JF - 190 C	0	0.03	3.92	25.41	24.34	0	21.82	15.27	1.8	2.98	0	3.93	0.59	100.09
	JF - 29 Q	0	0.03	7.07	27.38	22.73	0	22.21	1.28	12.65	2.6	0	3.62	0.51	100.08
	JF - 187 A	0	0.01	6.25	30.56	22.26	0	20.63	4.34	11.61	2.36	0	1.87	0.19	100.08
	JF-CM-516III	0	0.04	6.22	28.95	17.69	0	17.68	17.66	2.02	3.42	0.02	5.61	0.83	100.13
Basaltos Alcalinos	JF - 60 B	0	0.04	13.05	36.74	24.14	0.76	7.86	0	11.88	1.87	0	2.31	1.64	100.29
	MB-577B	0	0.03	7.36	25.35	18.75	0.82	25.94	0	13.12	3.23	0.02	4.83	0.66	100.12
	JF-367E	0	0.01	5.92	26.57	18.51	1.05	26.6	0	13.36	3.14	0.06	4.38	0.53	100.14
	JF-30C	0	0.02	11.14	24.95	15.09	7.96	17.37	0	17.83	2.82	0.06	2.5	0.4	100.15
	JF-CM-585II	0	0.03	8.22	23.31	17.4	2.96	26.52	0	12.66	3.25	0.02	5	0.75	100.12
	JF-369B	0	0.03	6.48	26	21.12	1.91	26.79	0	13.22	2.5	0.04	1.75	0.26	100.11

Com base na análise das projeções das amostras do Complexo Mantiqueira nos diagramas SiO₂ x Álcalis e AFM, foram formuladas as seguintes hipóteses:

- 1) Toda a população de amostras do Complexo Mantiqueira constitui uma única suíte;
- 2) As rochas básicas, de um lado, e as intermediárias a ácidas, de outro, constituem suítes isoladas.

Primeiramente as amostras foram plotadas em diagramas de Harker para elementos maiores (Figuras 18, 19 e 20). Foram construídas curvas de regressão linear e polinomial para cada um dos seguintes casos:

- 1) Toda a população de amostras;
- 2) As rochas básicas transicionais; e
- 3) As rochas intermediárias a ácidas calcioalcalinas.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

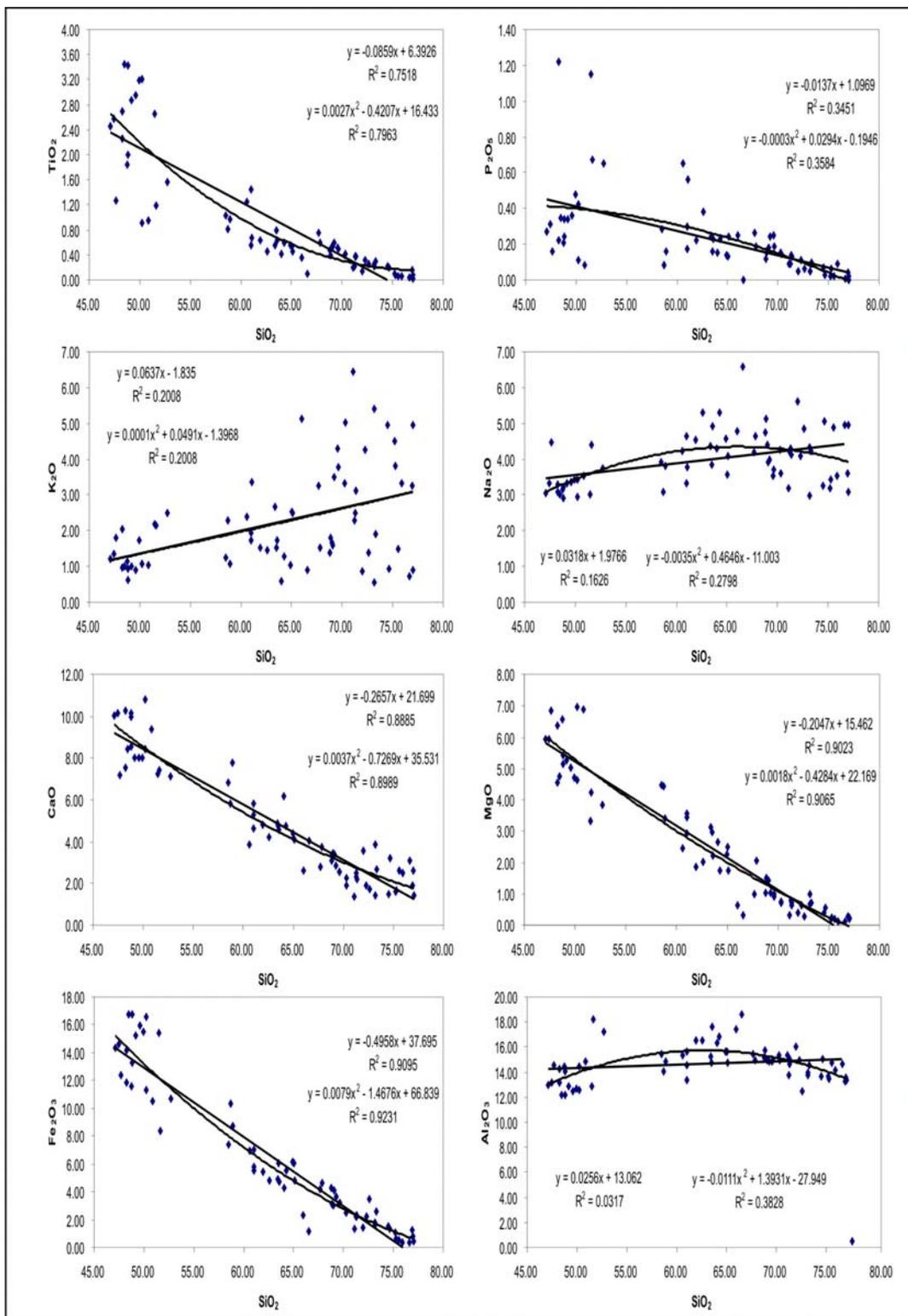


Figura 18 – Diagramas de Harker para elementos maiores com plote de toda a população de amostras do Complexo Mantiqueira. As equações lineares e polinomiais e os valores de R² são mostrados em cada gráfico.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

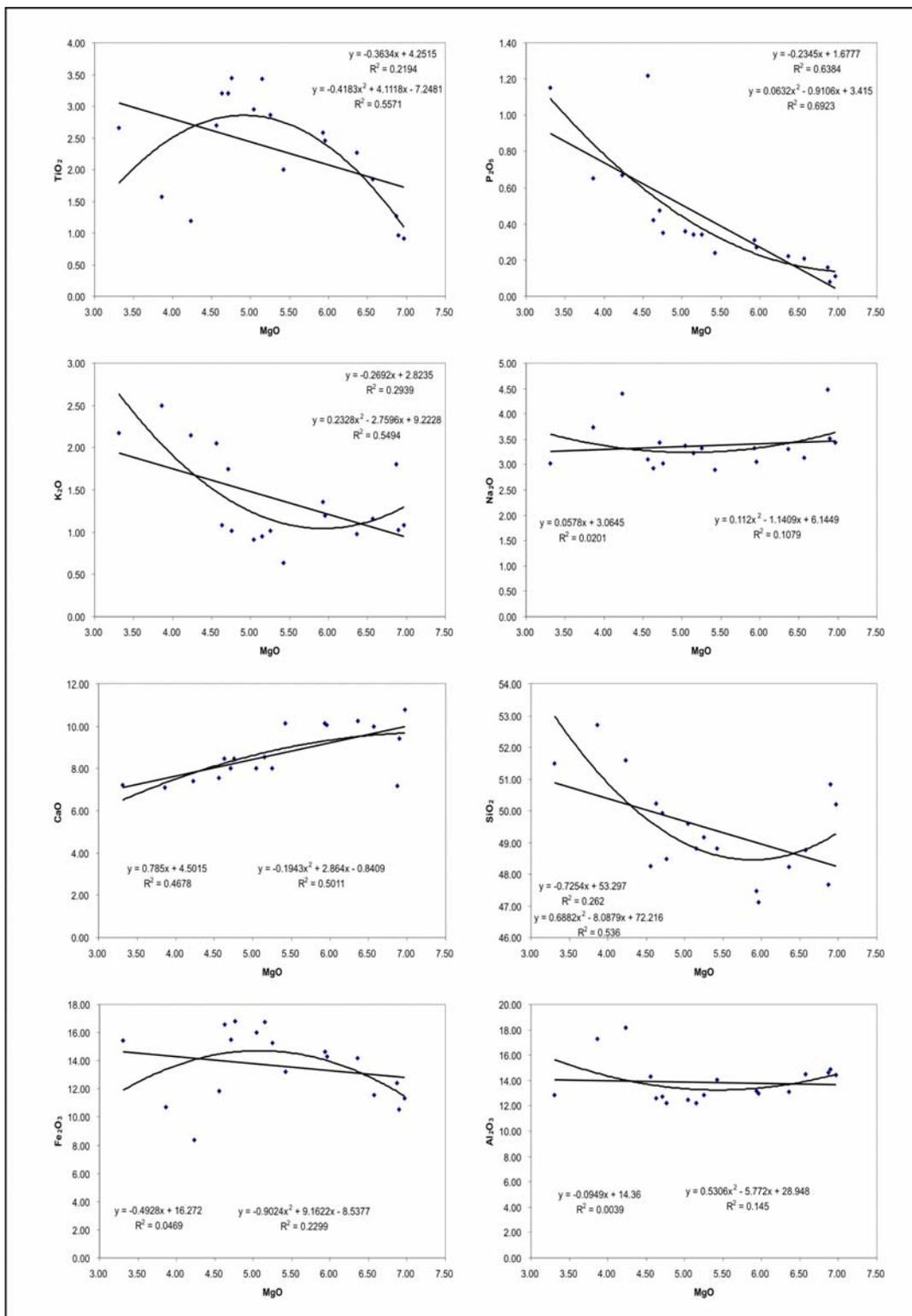


Figura 19 – Diagramas de Harker para elementos maiores com plote das amostras de rochas básicas transicionais do Complexo Mantiqueira. As equações linear e polinomial e os valores de R^2 são mostrados em cada gráfico.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

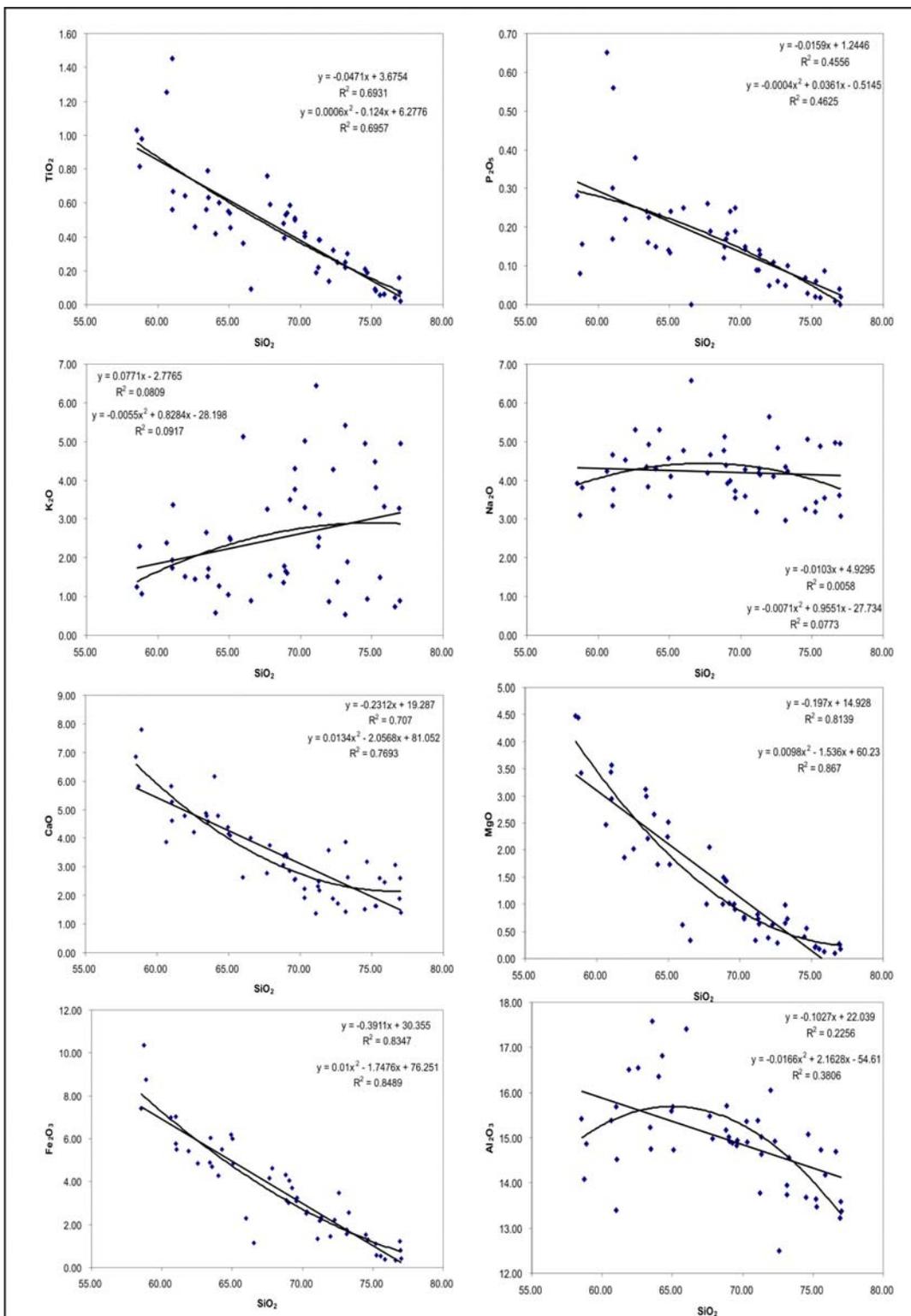


Figura 20 – Diagramas de Harker para elementos maiores com plote das amostras de rochas intermediárias a ácidas de afinidade calcioalcalina do Complexo Mantiqueira. As equações linear e polinomial e os valores de R^2 são mostrados em cada gráfico.

A tabela 5 mostra os valores dos quadrados dos coeficientes de regressão (R^2) da correlação SiO_2 x elementos maiores para cada um dos casos considerados (Anexo 2).

Tabela 5 – Valores dos quadrados do coeficiente de regressão linear e polinomial para os elementos maiores das rochas do Complexo Mantiqueira.

Óxido	1 L	sig	1 P	sig	2L	sig	2P	sig
TiO_2	0,7518	> 99,9%	0,7963	> 99,9%	0,2194	<<80%	0,5571	> 80%
Al_2O_3	0,0317	<< 80%	0,3828	99 – 99,9%	0,0039	> 95%	0,1450	> 99,9%
Fe_2O_3	0,9095	> 99,9%	0,9231	> 99,9%	0,0469	< 80%	0,2299	90-95%
MgO	0,9023	> 99,9%	0,9065	> 99,9%	0,0262	> 90%	0,5360	90-95%
CaO	0,8885	>99 9,9%	0,8989	> 99,9%	0,4678	> 90%	0,5011	90-95%
Na_2O	0,1626	80-90%	0,2798	> 99,0%	0,0201	<<80%	0,1079	< 80%
K_2O	0,2008	< 80%	0,2008	< 80%	0,2939	> 99,9%	0,5494	> 99,9%
P_2O_5	0,3451	> 99,9%	0,3584	> 99,9%	0,6384	> 90%	0,6923	90-95%

Óxido	3L	sig	3P	sig
TiO_2	0,6931	>99,9%	0,6570	>99,9%
Al_2O_3	0,2256	<80%	0,3806	95-99%
Fe_2O_3	0,8347	>99,9%	0,8489	>99,9%
MgO	0,8139	>99,9%	0,8670	>99,9%
CaO	0,7070	>99,9%	0,8079	>99,9%
Na_2O	0,0058	<80%	0,0773	<80%
K_2O	0,0809	<80%	0,0917	<80%
P_2O_5	0,4556	99-99,9%	0,6570	>99,9%

- 1 – Toda a população de amostras (n = 68)
 2 – Série Transicional (rochas básicas) (n = 18)
 3 – Série Calcioalcalina (rochas intermediárias a ácidas) (n = 50)
 L – Correlação linear
 P – Correlação Polinomial
 sig – nível de significância da correlação

A partir deste tratamento estatístico foi possível concluir que:

- 1) Embora toda a população de amostras dê resultados de alto nível de significância, quando separa-se as duas séries, verifica-se que, pelo menos, parte da linha de tendência (série transicional) não gera resultados com alto nível de significância;

2) As rochas da série transicional não mostram correlações para os elementos maiores (nem lineares nem polinomiais) satisfatórias; apenas os resultados para Al_2O_3 (polinomiais) e K_2O (lineares e polinomiais) são bons;

3) As rochas da série calcioalcalina mostram bons níveis de significância para a maioria dos elementos maiores: TiO_2 , Al_2O_3 (só para a correlação polinomial), Fe_2O_3 , MgO , CaO e P_2O_5 . Para Na_2O e K_2O , o grau de significância é baixo, seja para as correlações lineares, seja para as polinomiais. No geral, não há diferenças significantes entre as correlações lineares e as polinomiais.

3.2.2.2 Abordagem para elementos traços

Os critérios estatísticos utilizados na abordagem dos elementos (óxidos) maiores foram também utilizados para os seguintes elementos traços: Ni, V, Zr, Hf, Ba e Sr. Para tanto, as amostras foram plotadas em diagramas de Harker (Figuras 21, 22 e 23) e foram construídas curvas de correlação para cada um desses elementos, como feito anteriormente. A tabela 6 mostra os valores do coeficiente de regressão R^2 da correlação SiO_2 x elementos traços para os mesmos casos já considerados.

Tabela 6 – Valores de R^2 para regressões lineares e polinomiais para elementos traços das rochas do Complexo Mantiqueira.

elm	1 L	sig	1 P	sig	2 L	sig	2 P	sig
Ni	0,4946	99-99,9%	0,5095	> 99,9%	0,5755	<80%	0,6192	<80%
V	0,7072	> 99,9%	0,7512	> 99,9%	0,0243	<80%	0,4383	80-90%
Zr	0,1730	< 80%	0,1738	< 80%	0,5254	<80%	0,3207	<80%
Y	0,4115	> 99,9%	0,4135	> 99,9%	0,3858	<80%	0,4042	<80%
Ba	0,0186	< 80%	0,0267	< 80%	0,8112	80-90%	0,5847	80-90%
Sr	0,0022	< 80%	0,0023	< 80%	0,7739	80-90%	0,3296	>99,9%
Ta	0,5508	> 99,9%	0,5785	> 99,9%	0,0286	<<80%	0,1831	<80%
Hf	0,1867	80-90%	0,1876	80-90%	0,6595	<80%	0,8038	80-90%

elm	3L	sig	3P	sig
Ni	0,3699	95-99%	0,4843	99-99,9%
V	0,4895	95-99%	0,6016	99-99,9%
Zr	0,0605	<<80%	0,0618	80-90%
Y	0,1672	99-99,9%	0,1695	99-99,9%
Ba	0,0242	<80%	0,0360	<80%
Sr	0,0616	<<80%	0,0120	<80%
Ta	0,2183	90-95%	0,2422	90-95%
Hf	0,0532	<<80%	0,0554	80-90%

- 1 – Toda a população de amostras (n = 68)
- 2 – Série Transicional (rochas básicas) (n = 18)
- 3 – Série Calcioalcalina (rochas intermediárias a ácidas) (n = 50)
- L – Correlação linear
- P – Correlação Polinomial
- sig – nível de significância da correlação

Com base no exposto, conclui-se que:

- 1) Para toda a população de amostras, os elementos traços imóveis compatíveis dão correlações de alta significância, sendo, praticamente, iguais as lineares e as polinomiais;
- 2) As amostras da série transicional mostram correlações de baixo nível de significância, tanto lineares quanto polinomiais. Apenas o Sr apresenta correlação polinomial de alta significância (>99,9%);
- 3) As amostras da série calcioalcalina mostram melhores resultados para correlações polinomiais. Foram encontradas boas correlações para Ni, V, Cr e Y.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

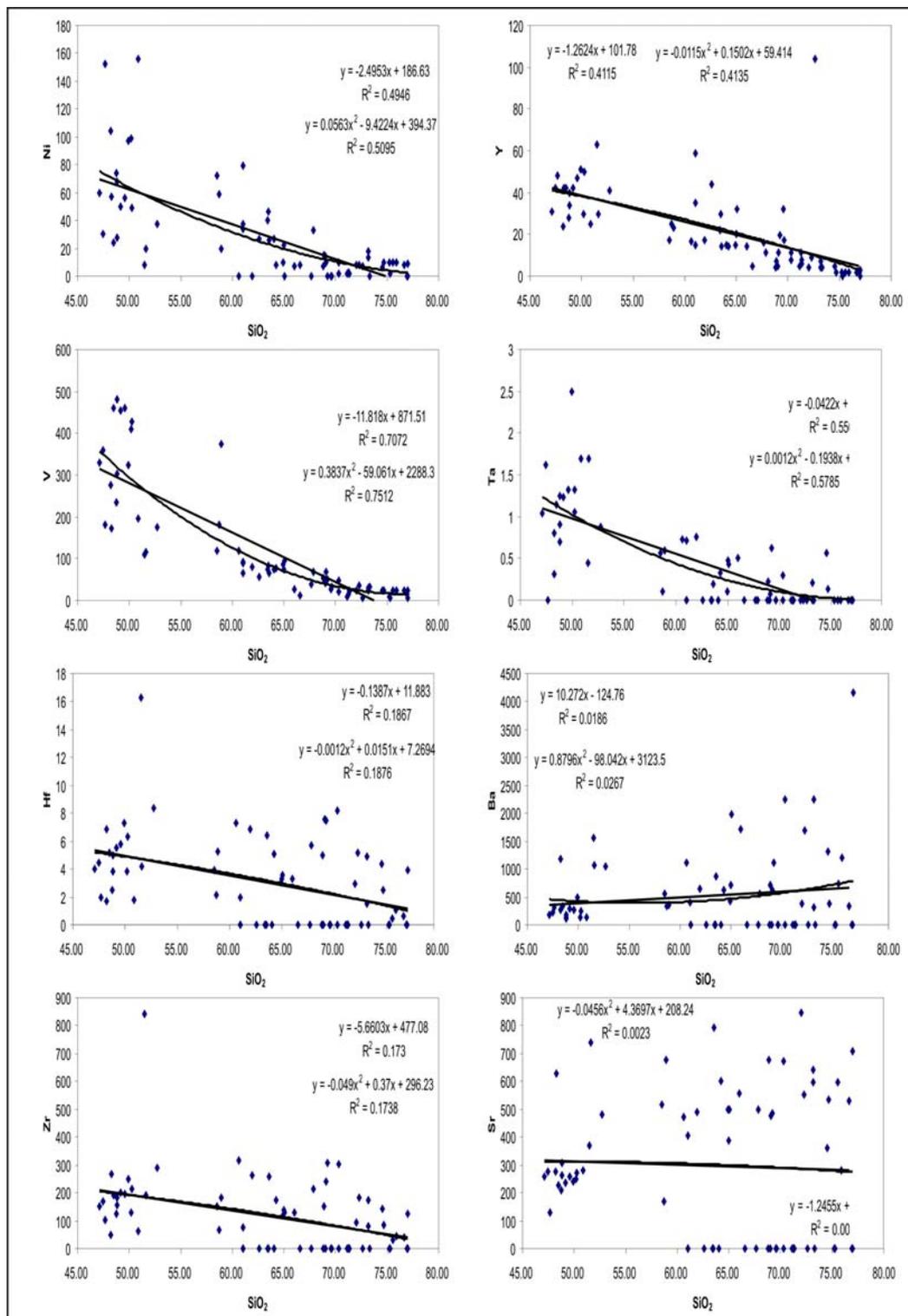


Figura 21 – Diagramas de Harker para elementos traços com plote de toda a população de amostras do Complexo Mantiqueira. As equações linear e polinomial e os valores de R² são mostrados em cada gráfico.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

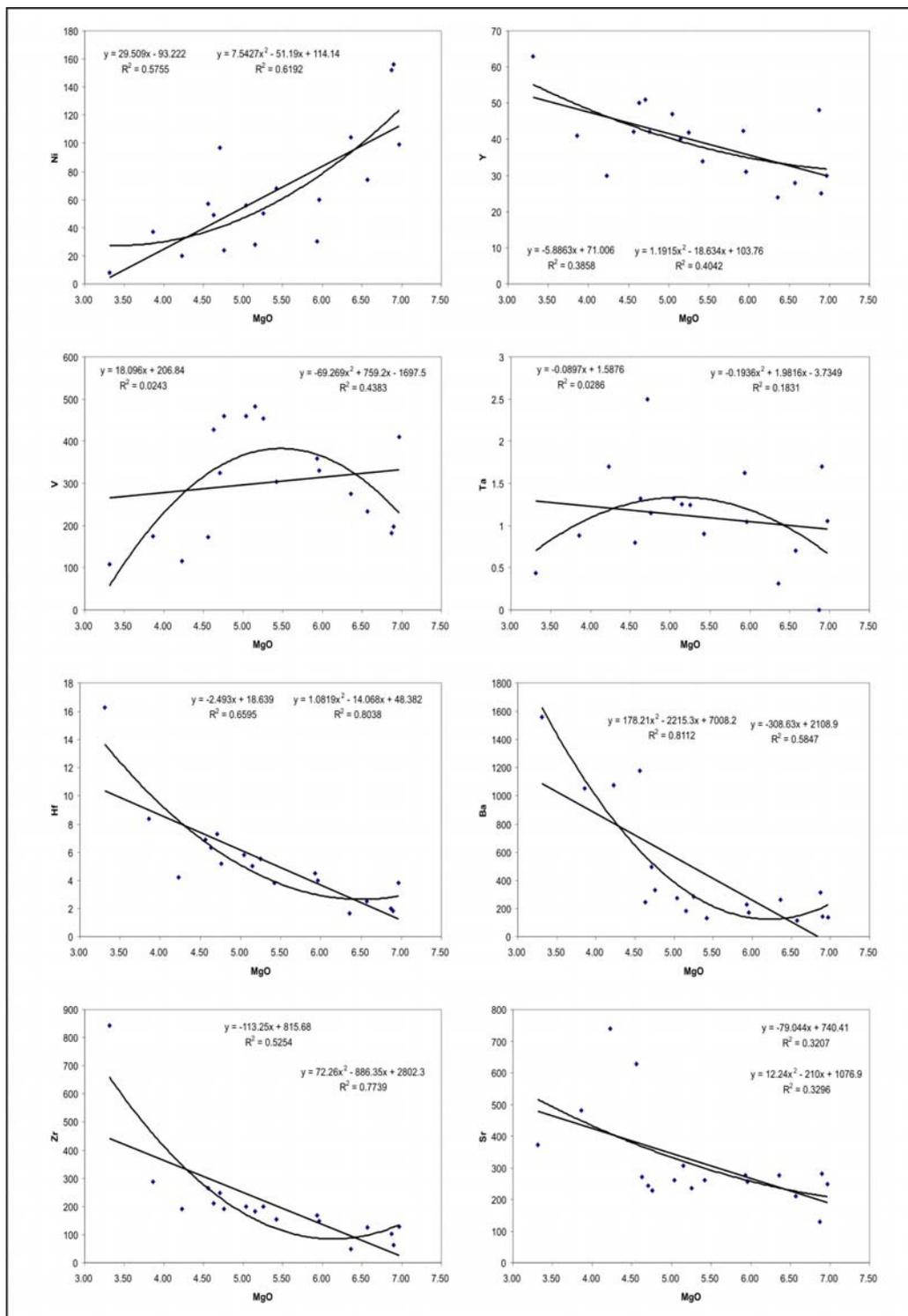


Figura 22 – Diagramas de Harker para elementos traços com plote das amostras de rochas básicas transicionais do Complexo Mantiqueira. As equações linear e polinomial e os valores de R^2 são mostrados em cada gráfico.

Geocronologia U-Pb SHRIMP do Complexo Mantiqueira
na região entre Juiz de Fora e Santos Dumont, Sudeste de Minas Gerais

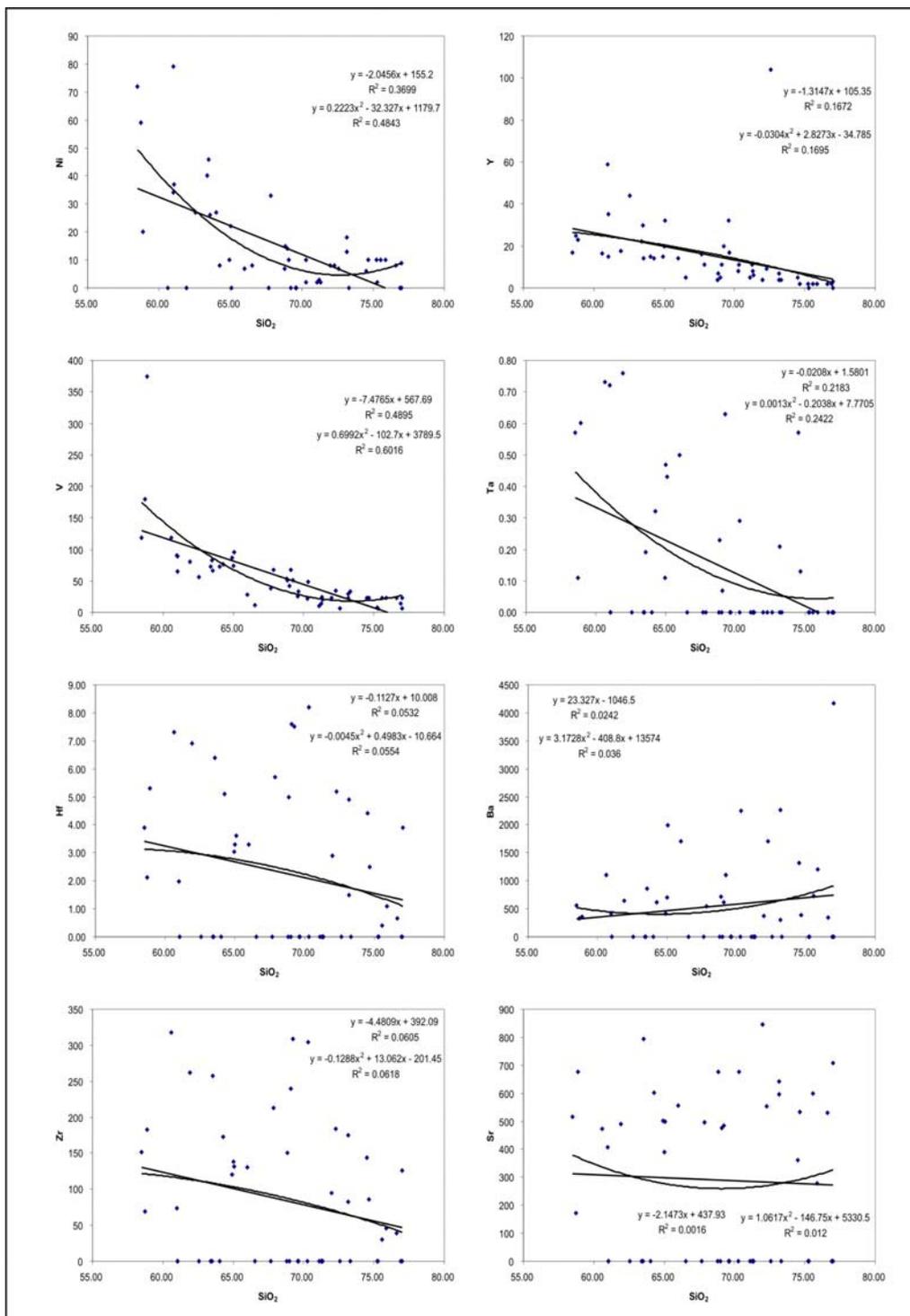


Figura 23 – Diagramas de Harker para elementos traços com plote das amostras de rochas calcioalcalinas do Complexo Mantiqueira. As equações linear e polinomial e os valores de R^2 são mostrados em cada gráfico.

3.2.2.3 Abordagem para elementos terras raras

Levando-se em consideração critérios petrológicos, pode-se afirmar que razões entre elementos incompatíveis são quase constantes dentro de um conjunto de rochas cogenéticas, *i.e.*, dentro de uma suíte de rochas magmáticas correlacionadas por processos evolutivos. A variação esperada é de, no máximo, 1,5 vezes. Foi então selecionada a razão La/Yb normalizada ($[La/Yb]_N$) como parâmetro de discriminação entre conjuntos de rochas cogenéticas e não cogenéticas.

A razão $[La/Yb]_N$ foi calculada segundo os valores do condrito de Boynton (1984).

La e Yb são dois elementos terras raras, sendo o La uma terra rara leve (a mais leve) e Yb pesada (com exceção do Lu, Yb é a mais pesada). São dois elementos que, nos processos evolutivos (fusão parcial ou cristalização fracionada) de magmas básicos e intermediários, costumam ser incompatíveis, *i.e.*, preferem o líquido e não o sólido. Exceção feita quando allanita (que retém La e é um mineral comum em granitos) e granada (mineral que retém Yb, comum na fonte mantélica).

Sendo assim, foi realizado um tratamento estatístico, considerando a razão entre os elementos incompatíveis. O tratamento dos dados dos elementos terras raras foi realizado em duas etapas: primeiro para a série calcioalcalina (Tabela 7); e depois para a série transicional (Tabela 8).

Tabela 7 – Valores de SiO₂ e razões entre elementos incompatíveis imóveis para as rochas da série calcioalcalina

Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	Zr/Hf	Ta/Nb	Nb/Ta
JF-275B ²	58,5	13,64	39	0,04	22,81
JF-231A ²	58,7	2,4	32,7	0,01	109,1
JF-386A ²	58,9	8,33	34,5	0,05	18,33
JF-CM-516I ³	60,62	72,89	43,56	0,05	19,04
JF-369C ²	61	2,8	37,4	0,04	23,61
JF - 56 ¹	61	25,45	35,5	-----	-----
JF - 29 T ¹	61	16,78	42,4	-----	-----
JF-CM-516II ³	61,93	24,71	37,97	0,09	11,58
JF-31 ¹	62,6	30,17	36,9	-----	-----
JF-30A ¹	63,4	38,26	36,4	-----	-----
JF-29A ¹	63,5	6,18	55,2	-----	-----
JF-281 ²	63,6	13,26	40,2	0,05	21,05
JF - 61 A ¹	64	9,28	-----	-----	-----
JF-371E ²	64,3	18,7	33,9	0,08	12,5
JF-280A ²	64,9	17,59	39,5	0,02	45,45
JF-48B ²	65	11,37	41,8	0,06	17,02
JF-CM-516IV ³	65,08	28,32	36,39	0,06	17,91
JF-370 ²	66	82,7	39,4	0,1	10
MB-564I ¹	66,6	7,42	33,2	-----	13,68
MB-577C ¹	67,7	150,51	42,5	-----	26,23
JF-371A ²	67,9	28,63	37,4	0	-----
MB-564A ¹	68,8	139,56	37,5	-----	27,5
JF-367A ²	68,9	38,79	30	0,06	17,39
JF - 58 A ¹	69	-----	39,2	-----	-----
JF-174 ²	69,1	5,66	31,6	0,02	57,14
JF-CM-585I ³	69,24	53,94	41,20	0,06	17,46
MB-577F ¹	69,6	20,47	38,1	-----	21,4
MB-577E ¹	69,6	49,83	39,8	-----	23,18
JF - 190 A1 ¹	70,3	113,1	42,7	-----	-----
JF-282A ²	70,3	86,33	37,1	0,07	13,79
JF - 190 A2 ¹	71,1	144,28	35	-----	-----
JF - 29 P ¹	71,3	16,57	34,3	-----	-----
JF - 190 D ¹	71,3	116,19	42,3	-----	-----
JF - 189 B ¹	71,3	-----	41,3	-----	-----
JF-367C ²	72	17,56	32,8	0	-----
JF-372 ²	72,3	171,36	35,4	0	-----
JF-30B ¹	72,6	4,35	39,6	-----	-----
JF-275A ²	73,2	46,69	54,7	0,05	19,05
JF-367F ²	73,2	468,19	35,7	0	-----
MB-564B ¹	73,3	103,15	40,9	-----	48,57
JF-369A ²	74,5	144,14	32,7	0,19	5,26
JF-371G ²	74,7	90,43	34,4	0,04	23,08
MB-564E ¹	75,2	-----	32,6	-----	-----
JF - 85 D ¹	75,3	-----	24	-----	-----