

CAPÍTULO 8. LITOQUÍMICA

Este capítulo apresenta os estudos litoquímicos que foram realizados sobre amostras do metatufo da Formação Palmital do Sul, de rochas vulcanoclásticas da Formação Tumiritinga e rochas metassedimentares das formações Tumiritinga e São Tomé, do Grupo Rio Doce, com o objetivo de interpretar ambientes paleotectônicos e proveniência sedimentar.

8.1. Rochas Vulcânicas e Vulcanoclásticas do Grupo Rio Doce

As amostras da rocha vulcanoclástica da Formação Tumiritinga (TV-21, TV-21-3 e TV-156) e da rocha piroclástica (metatufo) da Formação Palmital do Sul (TV-126) estão localizadas nas Figuras 15 e 16. Suas caracterizações de campo e estudos petrográficos encontram-se nos Capítulos 6 e 7. Os dados litoquímicos destas amostras estão na Tabela 8 (colocada ao fim deste item).

Apresenta-se, também, uma comparação das análises litoquímicas das amostras do Grupo Rio Doce com dados de cinzas vulcânicas pleistocênicas, coletadas por furos de sonda (1228A e 1229A) localizados na Bacia Salaverry, situada na plataforma continental do Peru, imediatamente a oeste da zona vulcânica central dos Andes (Fig. 43; D’Orazio *et al.*, 2003; Gutierrez *et al.*, 2005).

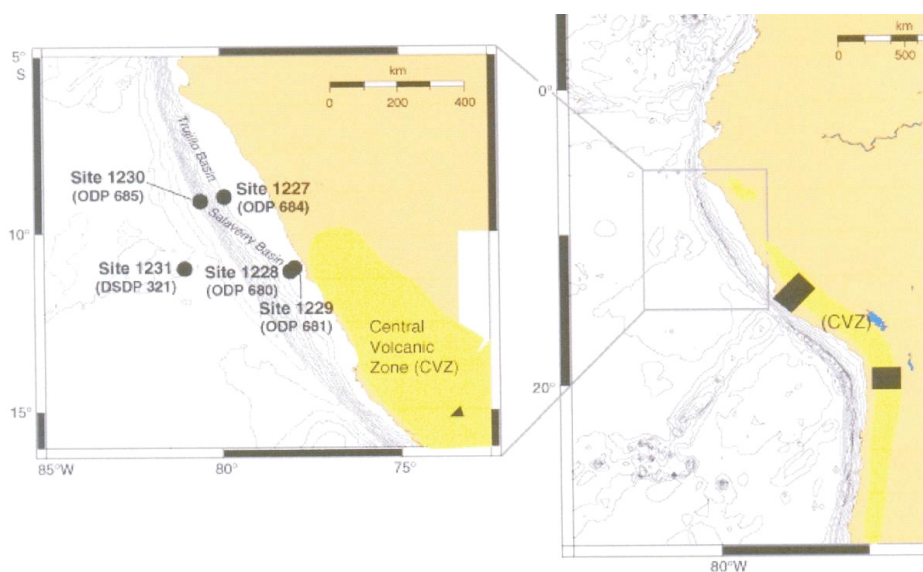


Figura 43. Localização dos furos de sonda do programa ODP (*Ocean Drilling Project*) que forneceram as amostras de cinzas vulcânicas referidas na Tabela 8.

As amostras do Grupo Rio Doce ($65,6\% < \text{SiO}_2 < 68,8\%$) mostram grande similaridade química entre si e com as amostras de cinzas vulcânicas da Bacia Salaverry ($63,9\% < \text{SiO}_2 < 64,5\%$), (Tabela 8).

No diagrama de classificação de rochas vulcânicas (Cox *et al.*, 1979) todas as amostras do Grupo Rio Doce, assim como as cinzas vulcânicas de Salaverry, situam-se no campo composicional do dacito (Fig. 44).

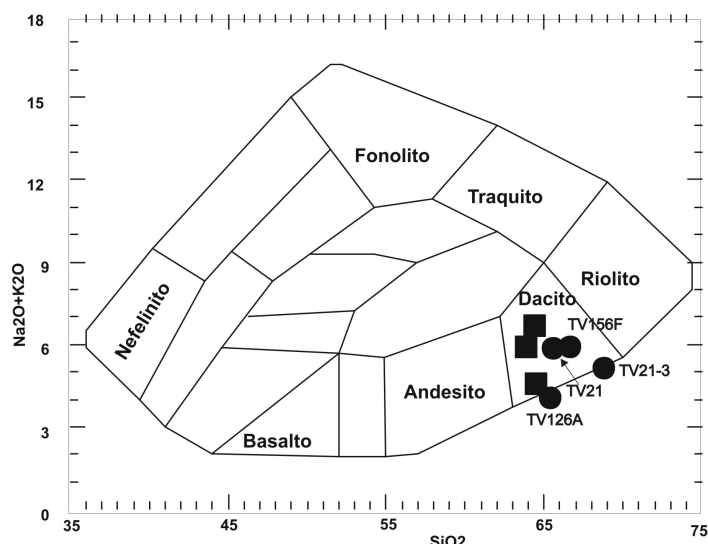


Figura 44. Diagrama de classificação de rochas vulcânicas (Cox *et al.*, 1979), mostrando a composição dacítica de amostras do Grupo Rio Doce (discos) e de cinzas da Bacia Salaverry (quadrados), (ver Tabela 8).

Nos diagrama das séries cálcio-alcálicas as amostras plotam no campo cálcio-alcálico de médio potássio, à exceção da amostra TV-21, que se situa na série cálcio-alcálica de alto potássio (Fig. 45).

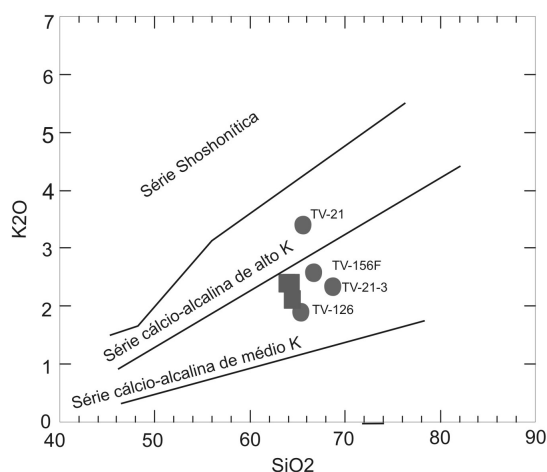


Figura 45. Amostras de rochas do Grupo Rio Doce (discos) e Bacia Salaverry (quadrados) no diagrama discriminador de séries cálcio-alcálicas de Rickwood (1989) e Le Maitre *et al.* (1989).

Nos diagramas de Harker (Fig. 46), assim como nas Figuras 44 e 45, a amostra de rocha piroclástica da Formação Palmital do Sul é a que mais se aproxima das cinzas vulcânicas da Bacia Salaverry. As amostras TV-21 e TV-126, bem como as cinzas da Bacia Salaverry, têm valores de P_2O_5 nos intervalos 0,03%-0,08% e 0,14%-0,46%, respectivamente. Estes valores são compatíveis com aqueles reportados por Le Maitre (1976) e pelo USGS para rochas andesíticas e dacíticas, cujos conteúdos padronizados de P_2O_5 variam entre 0,15% e 0,63%. Embora o número de amostras seja pequeno, sugere-se que a tendência de dispersão das amostras de rochas vulcanoclásticas da Formação Tumiritinga seria uma consequência da mistura dos componentes vulcânicos com materiais sedimentares de fontes diversas (ver Capítulo 9).

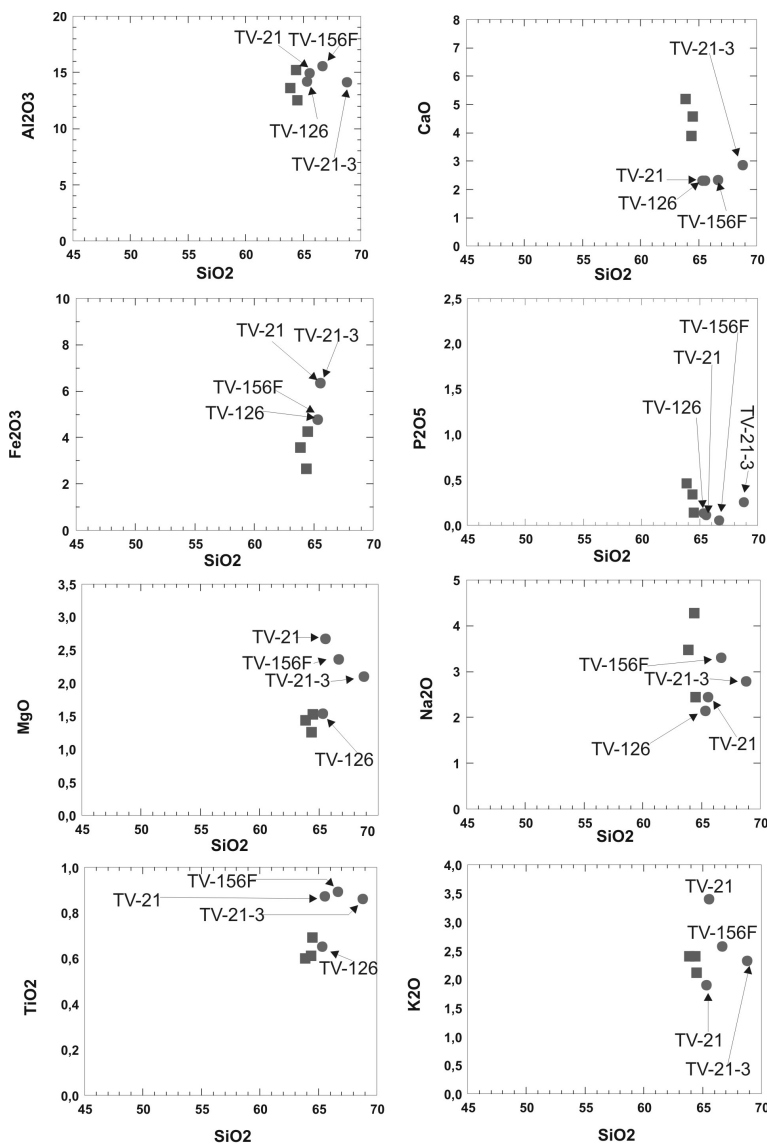


Figura 46.- Diagramas de Harker para amostras do Grupo Rio Doce (discos) e cinzas da Bacia Slaverry (quadrados).

As curvas de elementos terras raras das amostras TV-126 (piroclástica) TV-21 (vulcanoclástica) são muito semelhantes entre si e em relação às curvas das cinzas vulcânicas da Bacia de Salaverry (Fig. 47). Todas as amostras apresentam fracionamento similar no padrão de terras raras, ocorrendo leve inclinação para a direita, com enriquecimento em terras raras leves e moderada depleção em terras raras pesadas. Existe um enriquecimento em La da ordem de cem vezes os valores condríticos em todo o conjunto de amostras e enriquecimentos da ordem de quinze a vinte vezes nos elementos entre Dy e Lu, apresentando-se este segmento da curva sub-horizontalizado em todas as amostras. As anomalias de Eu são muito discretas.

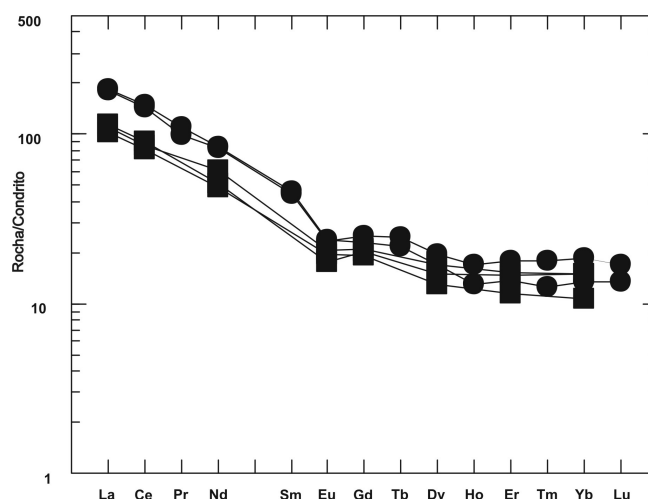


Figura 47. Curvas de elementos terras raras, normalizados para condrito, para amostras do Grupo Rio Doce (discos) e cinzas da Bacia Salaverry.

A moderada depleção dos elementos terras raras pesadas em relação às terras raras leves indica fonte mantélica com granada em fase residual, fusão parcial da crosta inferior e/ou precipitação de granada em porção profunda do magma (Droux & Delaloye, 1996; Monzier *et al.*, 1999; Trumbull *et al.*, 1999; Dorendorf *et al.*, 2000; Richards & Villeneuve, 2001; Matteini *et al.*, 2002; Rollinson, 1993).

Os atributos litoquímicos das rochas piroclásticas e vulcanoclásticas do Grupo Rio Doce são perfeitamente compatíveis com a assinatura geoquímica dos plutonitos tonalítico-granodioríticos da Suíte G1, descritos em Nalini (1997), Aracema *et al.* (1999), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000), Pedrosa-Soares *et al.* (2001), Nalini *et al.*, (2000, 2005) e Martins *et al.*, (2004).

Desta forma, interpreta-se que as rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Rio Doce representam a seção supracrustal do arco magmático do Orógeno Araçuaí, cujo conjunto plutônico constitui a Suíte G1.

Tabela 8. Dados litoquímicos obtidos de amostras de rocha vulcanoclástica da Formação Tumiritinga (TV-21, TV-21-3 e TV-156) e piroclástica da Formação Palmital do Sul (TV-126). As demais amostras são de cinzas dacíticas da Bacia Salaverry (plataforma do Peru). *, laboratórios ACME e, **, CPMTC-UFMG; elementos maiores em % peso; traços em ppm; n, não determinado.

Amostra	TV-21*	TV-21-3**	TV-156F**	TV-126*	A1228A2	A1229A48	A1229A107
SiO ₂	65,60	68,80	66,70	65,38	64,4	63,9	64,5
TiO ₂	0,87	0,86	0,89	0,65	0,61	0,6	0,69
Al ₂ O ₃	14,91	14,10	15,50	15,71	15,2	13,6	12,5
Fe ₂ O ₃ (t)	6,34	5,37	6,21	4,76	2,73	3,56	4,25
MnO	0,10	0,08	0,11	0,08	0,04	0,06	0,06
MgO	2,67	2,10	2,36	1,54	1,25	1,43	1,53
CaO	2,29	2,84	2,31	2,24	3,87	5,17	4,57
Na ₂ O	2,43	2,78	3,30	2,14	4,27	3,47	2,44
K ₂ O	3,39	2,32	2,57	1,89	2,39	2,39	2,11
P ₂ O ₅	0,11	0,25	0,05	0,13	0,34	0,46	0,14
PF	n	0,90	0,70	n	n	n	n
Cr ₂ O ₅	0,01	n	n	<0,001	n	n	n
H ₂ O ⁻	n	n	n	n	n	n	n
H ₂ O ⁺	n	n	n	n	n	n	n
CO ₂	n	n	n	n	n	n	n
PF	1,20	n	n	5,40	4,7	5,6	7,0
Soma	99,93	100,4	100,7	99,92	99,9	100,3	99,8
Ni	30	n	n	<5	<20	28	32
Sc	15,00	n	n	13,00	11	12	12
V	112,00	n	n	85,00	89	88	87
W	300,80	n	n	139,40	n	n	n
Co	52,30	n	n	24,20	5,70	7,10	9,10
Cs	4,30	n	n	53,90	n	n	n
Zn	n	92,00	n	98,00	n	n	n
Ga	20,40	n	19,10	n	n	n	n
Rb	144,60	171,00	135,60	170,00	80,4	80,0	83,2
Sn	2,00	n	5,00	n	n	n	n
Sr	216,20	240,00	167,00	147,00	448	382	241
Ta	1,80	<15	1,10	28,00	n	n	n
Y	29,60	<10	21,10	<10	20,4	25,9	24,5
Zr	230	258	192	202	158	234	247
Nb	15,40	15,00	11,40	54,00	8,2	8,5	11,5
Ba	476	561	603	345	622	516	321
Be	3	n	4	n	n	n	n
Hf	6,60	<15	5,10	<15	n	n	n
Th	16,50	18,00	8,80	15,00	8,3	9,8	11,4
U	2,30	15,00	2,20	15,00	n	n	n
La	42,70	n	44,00	n	24,2	26,1	27,1
Ce	88,00	n	90,00	n	49,6	52,8	55,6
Pr	9,47	n	10,49	n	n	n	n
Nd	38,40	n	39,40	n	22,7	28,5	23,7
Sm	6,80	n	7,10	n	n	n	n
Eu	1,36	n	1,38	n	1,13	1,20	1,02
Gd	5,18	n	4,72	n	3,98	4,31	4,18
Tb	0,92	n	0,81	n	n	n	n
Dy	4,95	n	4,28	n	3,28	4,32	3,79
Ho	0,96	n	0,74	n	n	n	n
Er	2,95	n	2,29	n	1,89	2,53	2,43
Tm	0,46	n	0,32	n	n	n	n
Yb	3,17	n	2,28	n	1,81	2,54	2,55
Lu	0,43	n	0,34	n	n	n	n

8.2. Rochas Metassedimentares das Formações Tumiritinga e São Tomé

As composições químicas de metassedimentos clásticos imaturos e suas variações com o tempo geológico são dados importantes para a compreensão da evolução da crosta continental, pois fornecem subsídios para a caracterização de suas fontes (proveniências), história de intemperismo, ambiente de sedimentação e cenários paleotectônicos (Garrels & MacKenzie, 1971; Taylor & McLennan, 1985). Estudo sobre o comportamento de elementos maiores mostra que as razões K_2O/Na_2O e Al_2O_3/K_2O são modificadas pelos processos intempéricos e, portanto, podem ser utilizadas para inferir processos superficiais à época da deposição (McLennan & Taylor, 1991).

O presente estudo aborda somente a litoquímica de elementos maiores em amostras de rochas metassedimentares das formações Tumiritinga e São Tomé (Tabela 9, colocada ao fim deste item). Foram analisados metarenitos e micaxistos, cujos estudos petrográficos e de campo encontram-se nos Capítulos 6 e 7. As amostras selecionadas são livres de intemperismo, metassomatismo e fusão parcial. Isto confere maior confiabilidade na utilização dos dados litoquímicos para interpretação de protolitos, proveniência sedimentar, e ambientes paleotectônicos.

O diagrama discriminador de protolitos (Wronkiewics & Condie, 1987) mostra que as amostras analisadas são representantes de grauvacas, a exceção de um micaxisto rico em granada da Formação Tumiritinga (Fig. 48A). A marcante presença de plagioclásio sódico (oligoclásio) nas lâminas (Capítulo 6) é corroborada pelos diagramas de variação de álcalis *versus* CaO, assim como o predomínio de sódio sobre potássio (Fig. 48B,C e D). A amostra que plota junto ao vértice do CaO no diagrama D é uma rocha calcissilicática. As variações de CaO, Na_2O e K_2O mostram correlação positiva para as amostras da Formação São Tomé, as quais se alinham próximo da razão 1:1. A correlação entre K_2O e Na_2O ilustra a distinção entre as amostras das duas formações. As amostras da Formação São Tomé configuram correlação positiva alinhando-se próximo da razão 1:1, enquanto as amostras da Formação Tumiritinga apresentam correlação negativa. A relação entre os três óxidos mostra a disposição das amostras segundo uma linha em direção a

K_2O . Outra distinção entre as amostras das duas formações são os conteúdos de CaO maiores nas amostras da Formação São Tomé.

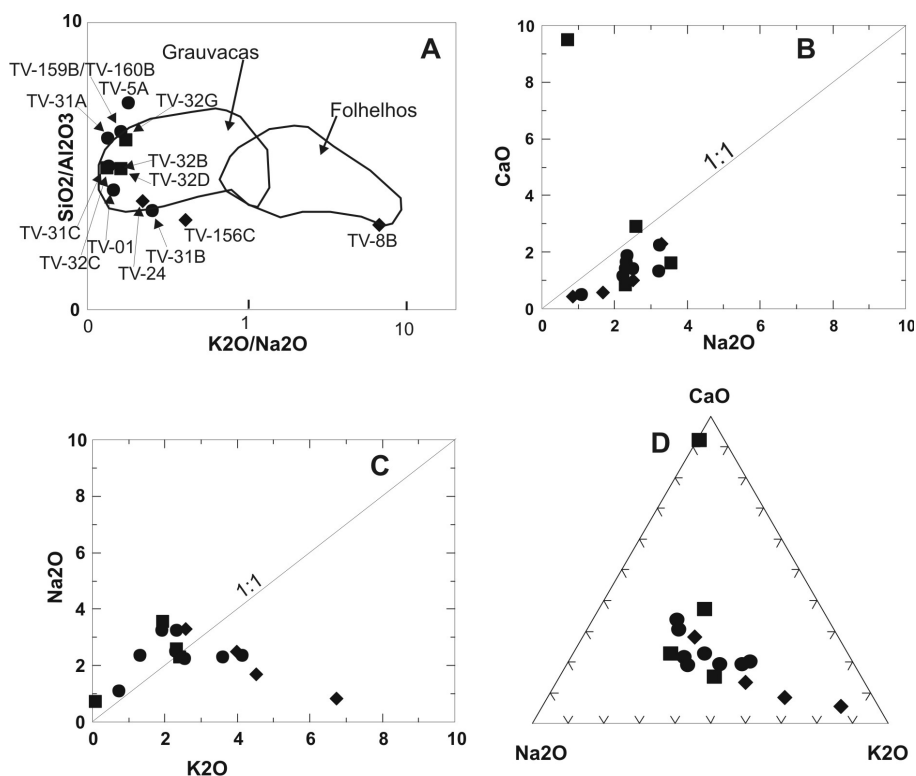


Figura 48. A, discriminação de protolitos no diagrama sílica *versus* alumina (delimitação dos campos de grauvaca e folhelho segundo Wronkiewicz & Condie, 1987). B, C e D, diagramas de variação entre CaO , Na_2O e K_2O . Losangos, Formação Tumiritinga; discos, xistos São Tomé; quadrados, metarenitos São Tomé.

Bathia (1983) e Bathia & Crook (1986) propuseram critérios químicos para discriminar ambientes geotectônicos com base em análises de rochas sedimentares detríticas. Os diagramas A e B da Figura 49 mostram que as rochas das formações Tumiritinga e São Tomé distribuem-se, essencialmente, pelos campos de arcos magmáticos e margem continental ativa. Este espalhamento pode indicar fontes sedimentares de estágios diversos (imaturado a maduro) de um arco magmático continental, ou (o que é menos provável pelo cenário geotectônico) a contribuição de fonte situada em arco-de-ilhas. Enfatiza-se, entretanto, a ausência de indícios de ambiente de margem continental passiva.

Usando funções discriminantes, Roser & Korsch (1989) definiram campos máficos e félsicos com base nas características químicas de terrenos

mesozóicos da Nova Zelândia. As amostras das formações São Tomé e Tumiritinga colocaram-se predominantemente no campo de proveniência ígnea intermediária, mas as demais se distribuíram pelos campos de proveniência de rochas magmáticas félsicas e fontes sedimentares quartzosas (Fig. 49C).

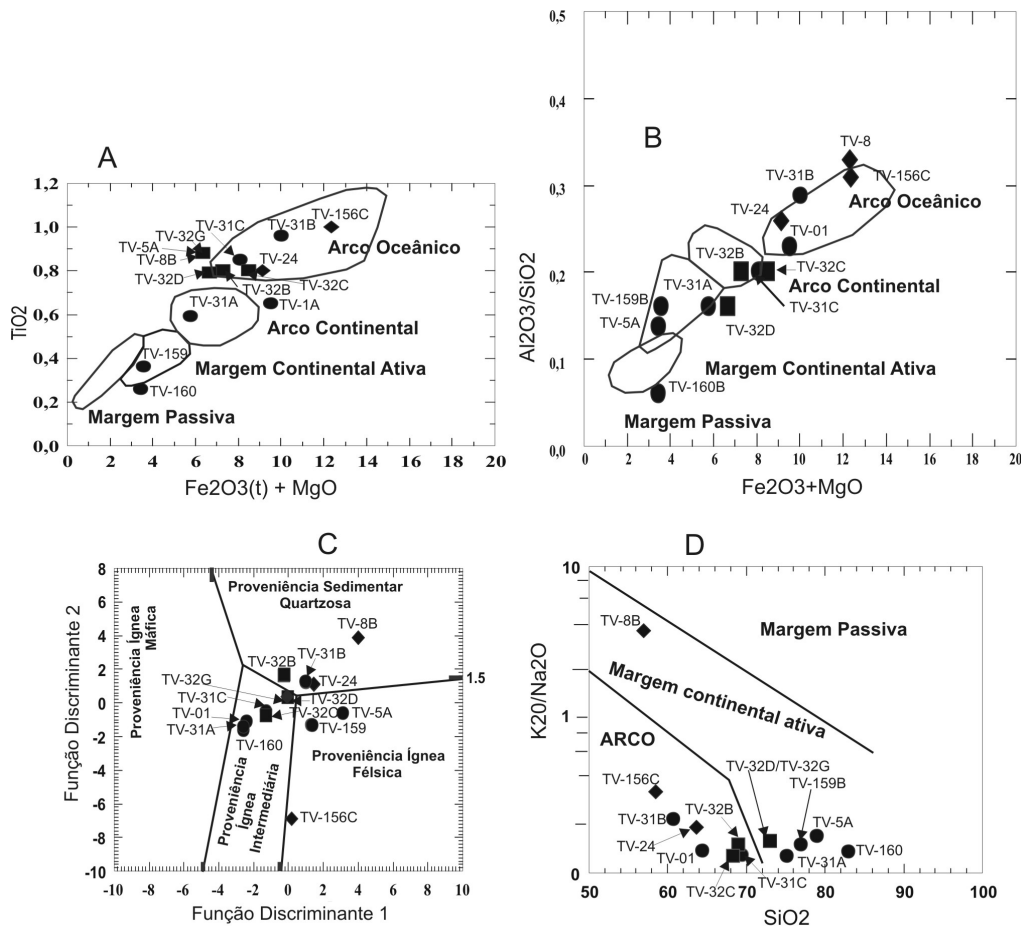


Figura 49. A e B, amostras analisadas representadas em diagramas de Bhatia (1983) para discriminação de ambiente geotectônico de rochas sedimentares. C, Relação entre duas funções discriminantes de Roser & Korsch (1988) para amostras das formações Tumiritinga e São Tomé. D, amostras analisadas representadas no diagrama de ambiente geotectônico de Roser & Korsch (1986). Losangos, amostras Tumiritinga; discos, xistos São Tomé; quadrados, metarenitos São Tomé.

A relação K_2O/Na_2O versus SiO_2 foi aplicada por Roser & Korsch (1986) para caracterizar três ambientes tectônicos de arenitos de margem continental. As amostras das formações Tumiritinga e São Tomé, mais uma vez, estão distribuídas nos domínios de arco vulcânico, predominantemente, e de margem continental ativa (Fig. 49D). O ambiente de margem continental ativa inclui materiais mais maduros que se depositaram em bacias marinhas associadas ao arco magmático.

Para destacar as semelhanças e diferenças entre as rochas das formações Tumiritinga e São Tomé foram feitos diagramas bivariantes, relacionando diversos componentes químicos com o índice empírico de maturidade mineral (IMAT= $\{SiO_2/(SiO_2+Al_2O_3) \times 100\}$; proposto por Jost *et al.*, 1996), (Fig. 50). De um modo geral, os xistos da Formação Tumiritinga

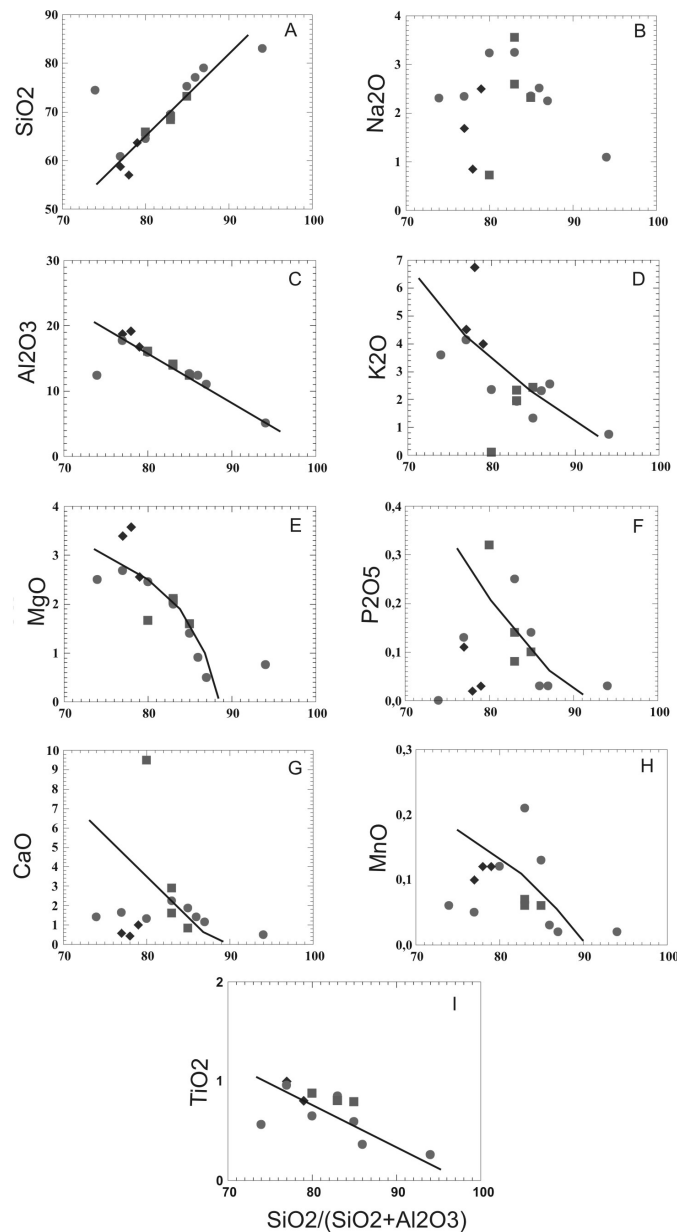


Figura 50. Diagramas bivariantes em relação ao índice empírico de maturidade mineral (Jost *et al.*, 1996), $IMAT = SiO_2/(SiO_2+Al_2O_3)$, mostrando diferenças entre as formações Tumiritinga (losangos) e São Tomé (discos para xistos e quadrados para metarenitos).

apresentam maior espalhamento do que as rochas da Formação São Tomé. As correlações positivas com SiO_2 e negativas com Al_2O_3 são compatíveis com o

aumento da quantidade de quartzo na medida que decresce o conteúdo de mica. Os diagramas correspondentes a K_2O , P_2O_5 , MgO , MnO e TiO_2 exibem correlações negativas, nas quais as amostras da Formação São Tomé apresentam valores intermediários em relação às amostras da Formação Tumiritinga. A amostra TV-8B apresenta um teor destacado de potássio que provém da grande quantidade de biotita na sua composição, fato coerente com seu baixo valor de IMAT. No conjunto, as rochas Tumiritinga e São Tomé têm valores intermediários a baixos de IMAT (índice empírico de maturidade mineral), condizentes com a natureza grauvaquiana dos protolitos.

Tabela 9. Análises de elementos maiores (% peso) em rochas metassedimentares das formações Tumiritinga (*) e São Tomé, realizadas no CPMTC-UFMG, e funções diversas.							
F1 = $30,638TiO_2/Al_2O_3-12,541Fe_2O_3(t)/Al_2O_3+7,329MgO/Al_2O_3+12,031Na_2O/Al_2O_3+35,402K_2O/Al_2O_3-6,382$							
F2 = $56,500TiO_2/Al_2O_3-879Fe_2O_3(t)/Al_2O_3+30,875MgO/Al_2O_3-5,404Na_2/Al_2O_3+11,112K_2O/Al_2O_3-3$							
	TV-8B*	TV-24*	TV-156C*	TV-1A	TV-5A	TV-31A	TV-31B
SiO ₂	57,0	63,7	58,7	66,6	79,0	75,2	60,8
TiO ₂	1,12	0,8	1,0	0,65	0,4	0,59	0,96
Al ₂ O ₃	19,2	16,8	18,7	15,9	11,0	12,6	17,7
Fe ₂ O ₃ (t)	8,73	6,59	8,97	7,25	2,5	4,39	7,34
MnO	0,12	0,12	0,1	0,12	0,02	0,13	0,05
MgO	3,58	2,56	3,39	2,49	0,8	1,4	2,68
CaO	0,44	1,0	0,57	1,31	1,14	1,87	1,63
Na ₂ O	0,85	2,5	1,69	3,23	2,25	2,35	2,34
K ₂ O	6,74	3,99	4,51	2,34	2,55	1,32	4,13
P ₂ O ₅	0,02	0,03	0,11	0,04	0,03	0,14	0,13
PF	1,17	2,1	1,0	1,0	0,9	0,5	1,5
Fe ₂ O ₃ (t)+MgO	12,31	9,15	12,36	9,4	3,3	5,79	10,02
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0,33	0,26	0,31	0,23	1,13	0,16	0,29
F1	-6,85	+1,45	+0,14	-2,40	+3,07	-2,56	+1,02
F2	+3,88	+1,07	-6,93	-1,15	-0,6	-1,45	+1,21
SiO ₂ /SiO ₂ +Al ₂ O ₃	0,74	0,79	0,77	0,80	0,87	0,85	0,77
K ₂ O/Na ₂ O	7,92	1,5	2,66	0,72	1,13	0,56	1,76
Amostra	TV-31C	TV-32B	TV-32C	TV-32D	TV-32G	TV-159B	
SiO ₂	69,5	69,0	68,4	73,1	65,8	77,0	
TiO ₂	0,85	0,8	0,8	0,79	0,88	0,36	
Al ₂ O ₃	13,9	14,1	13,9	12,4	16,1	12,4	
Fe ₂ O ₃ (t)	6,1	5,23	6,4	5,1	4,72	2,66	
MnO	0,21	0,07	0,06	0,06	0,67	0,03	
MgO	2,0	2,07	2,11	1,58	1,66	0,91	
CaO	2,25	2,89	1,61	0,85	9,48	1,41	
Na ₂ O	3,24	2,53	3,55	2,31	0,72	2,51	
K ₂ O	1,92	2,32	1,95	2,43	< limite	2,3	
P ₂ O ₅	0,25	0,14	0,08	0,1	0,32	0,03	
PF	0,6	1,2	0,9	1,5	0,5	0,7	
Fe ₂ O ₃ (t)+MgO	8,1	7,3	8,51	6,68	6,38	3,57	
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0,2	0,20	0,20	0,16	0,24	0,16	
F1	-1,27	-0,26	-1,25	-0,03	-7,07	+1,32	
F2	-0,49	+1,63	-0,79	+0,33	-1,05	-1,35	
SiO ₂ /SiO ₂ +Al ₂ O ₃	0,83	0,83	0,83	0,83	0,79	0,86	
K ₂ O/Na ₂ O	0,59	0,91	0,54	1,05		0,91	