

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DA FORMAÇÃO ÁGUA CLARA -
REGIÃO DE ARAÇÁIBA, SP

M.H.B.O.Frascá¹
M.C.H.Figueiredo²
M.A.Almeida¹
J.M.V.Coutinho¹

RESUMO

A Formação Água Clara na região de Araçáiba, Vale do Ribeira, SP, é composta por rochas de origem vulcano-sedimentar que foram, neste trabalho, objeto de estudo petrográfico e litológico.

Os metassedimentos desta sequência são predominantemente mármores puros e impuros, e rochas calciossilicáticas provenientes do metamorfismo de baixo a médio grau de rochas carbonáticas e margosas. As rochas calciossilicáticas constituem o litotipo predominante e são invariavelmente bandadas. Compõem-se de diopsídio, tremolita-actinolita, quartzo e biotita/flogopita nas mais diversas combinações nas diferentes bandas. Podem apresentar estrutura orientada ou isotropa.

Nos mármores predomina ora calcita, ora dolomita, e nos termos impuros ocorrem tremolita-actinolita e flogopita.

As rochas metabásicas têm ocorrência generalizada, principalmente na forma de pequenos corpos associados às calciossilicáticas. Apresentam coloração cinza escura e são constituídas principalmente de hornblenda ou actinolita, plagioclásio e epidoto. Feições mineralógicas e texturais indicam uma origem ígnea para estes litotipos.

Os mármores e rochas calciossilicáticas têm composições químicas semelhantes às de sedimentos carbonáticos e de misturas carbonato - pelitos depositados durante o estágio rift da bacia. Há variação faciológica destas rochas, com predominância de rochas carbonáticas e calciossilicáticas ricas em pelitos a leste, e de misturas carbonato-pelito a oeste.

O magmatismo básico parece ter se desenvolvido em diversos ambientes tectônicos. Um primeiro evento magmático de natureza toleítica teria ocorrido nos estágios iniciais de fechamento da bacia e corresponderia a toleitos de arco de ilhas imaturo. Basaltos shoshoníticos, possivelmente relacionados a margens continentais ativas, estariam associados a uma maior maturidade deste arco magmático, sugerindo estágios finais de fechamento da bacia.

Posteriormente, porém relacionado a eventos Pré-Cambrianos, teria ocorrido magmatismo básico com características de toleitos continentais. Durante o Mesozoico, ter-se-ia a repetição deste evento, quando da intrusão dos diques de diabásio.

¹Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

²Departamento de Geologia Geral, Instituto de Geociências/USP, São Paulo.

ABSTRACT

The Água Clara Formation, in the Ribeira Valley, State of São Paulo, consists of a volcanosedimentary sequence subjected to low- and medium-grade metamorphism in the Araçaiíba region. This supracrustal sequence is composed predominantly of pure and impure marbles and calc-silicatic rocks with intercalations of amphibolites, schists and quartzites.

Calc-silicatic rocks are always banded and are made up of diopside, tremolite-actinolite, feldspars, quartz and biotite/phlogopite in various combinations in the different bands. They may have an oriented fabric or may be massive.

Marbles are calcitic and dolomitic, in variable proportions, with tremolite and phlogopite occurring in the impure terms.

Metabasic rocks occur mainly as small bodies (lenses) associated with calc-silicatic rocks. Hornblende, plagioclase and epidote are the essential constituents. Clinopyroxene remains and relict ophitic-subophitic textures indicate an igneous origin, although most of these features have been obliterated by subsequent deformation.

The marbles/calc-silicatic rocks have compositions indicative of carbonatic sediments and carbonate-pelite mixtures. The easternmost portion of the belt shows a predominance of marbles and pelite-rich calc-silicate rocks, while the westernmost portion is dominated by carbonate-pelite mixtures. This spatial distribution suggests a facies variation with paleogeographical implications.

The basic magmatism appears to have evolved in several tectonic settings. Early tholeiitic magmatism may represent transitional ocean floor basalts (possibly corresponding to the rifting stage) or, more probably, may be immature island arc tholeiites generated in the initial stage of the basin closure. Shoshonitic basalts, possibly related to continental active margins, may have been associated with the increasing maturity and final events of this magmatic arc.

Later, but still Precambrian events involved another basic magmatic episode with tholeiitic continental characteristics. This was repeated again in the Mesozoic with the intrusion of diabase dykes.

INTRODUÇÃO

A região do Vale do Ribeira, SP, apesar de muito estudada desde a década de 50, ainda tem sua estratigrafia e geotectônica indefinida devido, entre outros motivos, à carência de estudos mais detalhados de cunho petrográfico e geoquímico.

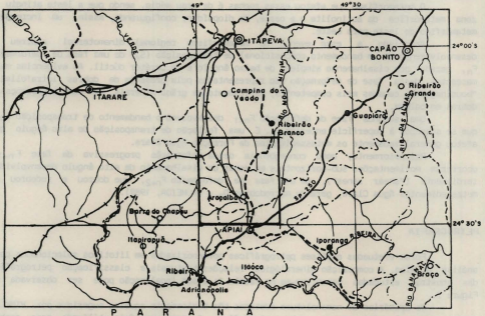
A Formação Água Clara, na região de Araçaiíba, foi objeto de levantamento geológico efetuado pelo IPT (1985) e posteriorizada análise microestrutural (ALMEIDA, 1989).

O presente trabalho pretende contribuir, através da petrografia e química, para uma melhor caracterização dos litotitos da Formação Água Clara, e, conseqüentemente, do Pré-Cambriano do Vale do Ribeira.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada situa-se na região sudeste do Estado de São Paulo (Fig. 1) e pode ser alcançada a partir da capital, por meio das rodovias Presidente Castelo Branco (SP-280) ou Raposo Tavares (SP-270) até Itapetininga. Daí, segue-se pela SP-127 até Capão Bonito de onde toma-se a SP-250 para atingir a cidade de Apiaí num total de 320 km em estradas asfaltadas.

O distrito de Araçáiba é atingido após percorrer-se cerca de 10 km em estrada não pavimentada a norte da cidade de Apiaí.



Fonte - Mapa de Divisão Administrativa e Judiciária do Estado de São Paulo - 1:1000000 - IGC - 1982
 Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo
 1:1000000 - DER - 1981

0 10 20 30 40 km

- | | | | |
|--|-----------------------------------|--|--------------------|
| | RIOS | | SEDE DE SUB-REGIÃO |
| | FERROVIA | | SEDE DE COMARCA |
| | RODOVIA PAVIMENTADA | | SEDE DE MUNICÍPIO |
| | RODOVIA SEM PAVIMENTAÇÃO | | SEDE DE DISTRITO |
| | LIMITE DE MUNICÍPIO E DE DISTRITO | | ÁREA DE INTERESSE |
| | LIMITE INTERESTADUAL | | |

Figura 1 - Mapa de localização e acesso.

GEOLOGIA

A Formação Água Clara, aflorante na região de Araçáiba, SP (Fig. 2), caracteriza-se por apresentar mudanças faciológicas de leste para oeste. A leste afloram rochas calciossilicáticas alternadas com rochas metacarbonáticas impuras. Rumo a oeste, há variações dos constituintes litológicos, com o aparecimento de intercalações, nas rochas calciossilicáticas, de rochas xistosas, quartzíticas e metabásicas.

O metamorfismo que afetou essas rochas é de grau médio, sendo que a leste atingiu a zona metamórfica da actinolita e a oeste, do diopsídio, configurando, assim, um incremento metamórfico de leste para oeste.

Associado a esse evento de metamorfismo regional dinamo-termal ocorreu o desenvolvimento de um bandamento composicional de transposição (S_n) de uma fase de deformação F_n , gerada por cisalhamento simples, de baixo ângulo e de caráter dúctil. As evidências mais marcantes desta fase de deformação são representadas pela presença de dobras intrafoliais, "boudinage" de camadas mais competentes, estiramento de grãos minerais, bem como a presença de dobras en bainha.

Uma segunda fase de deformação F_{n+1} desenvolveu o bandamento de transposição S_{n+1} que se sobrepôs à superfície anterior S_n . É uma foliação de transposição de alto ângulo que afetou generalizadamente os metassedimentos da Formação Água Clara.

Posteriormente, como consequência dessa deformação progressiva da fase F_{n+1} , ocorreram movimentações sub-horizontais em zonas de cisalhamento de alto ângulo desenvolvidas tardiamente ("shear zones"), de uma fase de deformação F_{n+2} , que dobrou e redobrou os metassedimentos Água Clara, gerando macrodobras D_{n+2} (ALMEIDA, 1969).

PETROGRAFIA

Foram efetuadas análises petrográficas pomenorizadas em litotipos selecionados para análise química. A composição mineralógica, relações texturais e classificação petrográfica das amostras estudadas encontram-se na Tabela 1; e sua localização pode ser observada na Figura 2.

Os critérios de nomenclatura adotados são basicamente aqueles sugeridos por WINKLER (1976) para classificação das rochas metamórficas. O termo granofels utilizado para rochas calciossilicáticas com estrutura isotropa não tem qualquer significado genético, referindo-se apenas ao aspecto textural granoblástico poligonal de uma rocha metamórfica.

Os tipos de carbonato foram identificados por difratometria de raios X e semi-quantificados através da medida da intensidade relativa dos picos principais de calcita e dolomita.

A seguir serão apresentadas as principais características petrográficas dos mármore, rochas calciossilicáticas e metabásicas da Formação Água Clara na região de Araçáiba.

Rochas calciossilicáticas

Este tipo de rocha ocupa a maior parte da área estudada e ocorre numa faixa alongada de direção sudoeste-nordeste.

Apresentam estrutura bandada, granulação fina e coloração cinza esverdeado a cinza claro, quando sã; quando alteradas têm coloração variegada.

Estas rochas apresentam aspectos texturais e estruturais que permitem, tentativamente, discriminá-las em dois grupos: um com predominância de textura granoblástica e

Tabela 1 - Composição mineralógica modal e classificação petrográfica dos litotipos da Formação Água Clara.

	Q	U	V	R	T	B	L	K	M	S	A	M	C	D	F	G	I	L	A	H	T	U	A	D	H	GI/BS	CLASSIFICAÇÃO							
	21.0	9.5	52.3	57.7	0.6	4.7	30.8	11.7	0.1	2.5	2.6	0.3	12.6	PC	12.8	PC	0.7	46.2	0.2	5.6	PC	2.8	PC	2.9	PC	2.8	PC	2.6	PC	0.1	PC	0.4	PC	
	14.7	48.6	10.4	10.4	4.2	37.2	49.6	10.4	28.0	9.8	22.1	4.3	7.7	1.3	4.8	0.8	1.0	3.7	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
	0.7	26.2	10.5	10.5	0.7	7.0	26.2	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	
	0.8	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	
	38.2	55.7	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6
	9.4	17.2	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
	10.7	6.4	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	30.7	6.4	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7
	0.7	1.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Textura: Gh = granoblastica; Kh = xenoblastica; So = blastofítica; GI = granulofóbica; Ia = intergranular; Pf = perfitica; Dc = decussada; Dn = porfiroblástica; Gh = granoblastica; Kl = metamorfoblástica; Pg = porfoloblástica; So = subofítica.

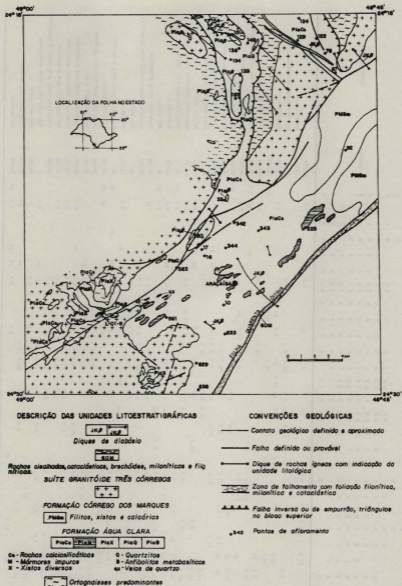


Figura 2 - Mapa litológico simplificado e distribuição de pontos (modificado de ALMEIDA, 1989).

estrutura não orientada, e outro com orientação conspícua. As primeiras foram petrograficamente classificadas de granofels e as demais de xisto.

Os termos maciços compõem-se principalmente de tremolita-actinolita, diopsídio e carbonatos (calcita predominantemente e dolomita subordinadamente) e microclínio. Em menores proporções ocorrem epidoto, flogopita, clorita, titanita e plagioclásio. Estes minerais combinam-se nas mais diversas proporções nas diferentes bandas.

As rochas com estrutura predominantemente xistosa são compostas basicamente pelos mesmos minerais que as maciças porém com as seguintes diferenças: os carbonatos são praticamente ausentes; microclínio é inexistente e plagioclásio é raro; o anfibólio tem composição mais actinolítica (o que é evidenciado principalmente pela coloração verde clara e pleocroísmo); e o filossilicato (flogopita) passa a ser a biotita. Da mesma forma que nos outros tipos calciossilicáticos, estes minerais acham-se diversificadamente combinados nas diferentes bandas.

As paragêneses minerais indicam que estas rochas foram afetadas por metamorfismo de grau médio.

Mármore

As rochas metacarbonáticas formam delgadas camadas intercaladas nas calciossilicáticas, principalmente na porção leste da área enfocada.

São rochas bandadas, freqüentemente conservando acamamento reliquiar, de coloração predominante cinza e granulação fina. Em geral tem estrutura orientada.

Mineralogicamente compõem-se de calcita e/ou dolomita (perfazendo mais de 50% do volume da rocha), quartzo, flogopita, tremolita-actinolita e diopsídio. Clorita magnésiana, titanita, feldspato, muscovita + sericita e opacos em geral perfazem menos que 5% do volume da rocha. A textura varia de granoblástica a granolepido/nematoblástica.

O bandamento é dado pela alternância de camadas (centimétricas a métricas) constituídas por carbonatos e flogopita e/ou tremolita com camadas (centimétricas) essencialmente carbonáticas.

A maior parte dos mármore analisados tem calcita como carbonato predominante, à exceção da amostra AR-16D, que tem somente dolomita.

Anfibolitos e diabásios

As rochas metabásicas formam pequenos corpos generalizadamente dispostos entre as rochas calciossilicáticas. Os anfibolitos podem apresentar orientação mineral, que é geralmente concordante com a xistosidade que afeta as outras rochas.

Estes tipos litológicos apresentam granulação fina a média, estrutura maciça a orientada e coloração cinza escuro a cinza escuro esverdeado. São compostos por hornblenda e/ou actinolita, plagioclásio (andesina-oligoclásio ou labradorita), por vezes com quantidades subordinadas de diopsídio. Epidoto, titanita, leucoxênio, opacos, clorita, granada, biotita e apatita ocorrem em pequenas proporções. Estes minerais estão arrançados segundo textura granoblástica a decussada, nos termos isótropos, e granonematoblástica a nematoblástica, naqueles orientados. Plagioclásio freqüentemente apresenta-se alterado em sericita e epidoto, com carbonato associado.

A hornblenda em geral tem coloração verde escuro e pleocroísmo moderado a intenso; porém em poucas amostras este é muito fraco, sugerindo uma composição mais actinolítica (mais pobre em Fe^{2+}) (e.g., AR-20A, 133).

O diopsídio, praticamente ausente em algumas amostras, é bastante comum em outras. Pode ocorrer como pequenos cristais associados aos de anfibólio (e.g., AR-20A); concentrados

em bandas (veios? fraturas?) (e.g., AR-183) ou como restos nos núcleos de anfibólios (e.g., L-01-R, AR-133).

É muito comum a presença de prehnita e/ou albita como material de preenchimento de veios ou fraturas. A granada é observada numa única amostra (AR-134A), na forma de poiquiloblastos.

A presença de restos de clinopiroxênio (provavelmente augítico) nos núcleos de anfibólio, a composição mineralógica e a parcial preservação de texturas ofíticas a subofíticas indicam uma origem ígnea básica para estas rochas, embora frequentemente as deformações e recristalizações, ligadas aos esforços a que se submeteram, tendam a obliterar estas feições.

Os diabásios são rochas isotrópicas, de granulação fina a média e coloração cinza escuro a preta. Petrograficamente distinguem-se dois tipos: um classificado de diabásio (AR-154) e outro de metadiabásio (AR-16B e C).

As rochas classificadas como diabásio tem no campo, nítidas relações de contato discordantes com as encaixantes. Formam diques alinhados segundo direção geral $N40^{\circ}-50^{\circ}W$ e possivelmente fazem parte do "Alinhamento de Guapiara" (FERREIRA, 1982). Constituem-se por plagioclásio (labradorita) e clinopiroxênio (augita e pigeonita) em arranjo textural intergranular a subofítico, com opacos (magnetita) esqueléticos e argilominerais verdes e vidro devitrificado ocupando espaços intergranulares.

Os argilo-minerais também podem substituir, a partir das bordas ou clivagens, piroxênios e plagioclásios; ou preencher microfraturas intragranulares. Estes argilominerais são predominantemente do grupo das esmectitas com quantidades subordinadas de illita e argilominerais do grupo da caulinita.

O outro tipo, denominado de metadiabásio (amostras AR-16B e AR-16C) é composto essencialmente por plagioclásio (oligoclásio), augita e argilominerais esverdeados em arranjo textural intergranular, formando matriz onde estão dispostos fenocristais milimétricos de plagioclásio (andesina). Estes fenocristais estão fortemente alterados em sericita e epidoto, com prehnita e/ou carbonatos associados. Amígdalas esparsas também acham-se preenchidas por argilominerais esverdeados que foram identificados, por difratometria de raios X, como do grupo da clorita.

LITOQUÍMICA

Os dados analíticos das 31 amostras selecionadas para estudo litoquímico encontram-se na Tabela 2. As análises químicas foram efetuadas nos laboratórios da British Petroleum Mineração-LBPM, por espectrometria de plasma (ICP), com exceção do sódio e rubídio, que foram analisados por espectrometria de absorção atômica (AA).

Pela observação da Tabela 2, nota-se um acréscimo no teor de silício dos mármores para as calciossilicáticas e o inverso com relação ao Ca. As calciossilicáticas parecem distinguir-se em dois grupos: um com teores de SiO_2 entre 35 e 55% e outro entre 55 e 75%, sendo que o primeiro teria teores mais elevados em CaO (>10% a cerca de 30%). Coincidentemente, as calciossilicáticas com estrutura isotrópica, não orientada, pertencem ao grupo com maior teor de Ca, enquanto as com foliação conspícua ao grupo com maiores teores de SiO_2 .

Os dados obtidos, quando lançados num diagrama ACF (Fig. 3), permitem observar o comportamento distinto dos dois grupos de rochas calciossilicáticas: as maciças transicionam entre os campos dos mármores e das margas, enquanto as xistosas caem predominantemente no campo das margas. Os metabasitos distribuem-se, como era de se esperar, no campo das rochas básicas que, em boa parte, superpõe-se aos campos de margas, grauwacas e rochas quartzofeldspáticas.

Tabela 2 - Composição química dos litotipos da Formação Água Clara na região de Araçáiba. Elementos maiores e menores (em % de valores catiônicos) e traços (em ppm).

	ANFIBOLITOS										CALCIOSILICÁTICAS MISTOSAS					
	01-R	16B	16C	20A	133	134A	151A	154	163A	636	17B	92	122A	124B	342A	628A
Si	22.33	21.60	21.49	22.09	23.13	22.11	23.08	23.53	21.24	23.22	34.54	30.19	26.40	26.31	24.20	30.32
Ti	0.75	0.81	0.85	0.15	0.26	1.52	1.47	0.22	0.84	0.06	0.07	0.68	0.67	0.17	0.09	
Al	5.57	6.90	6.64	4.47	5.43	7.31	6.51	6.77	10.66	6.55	1.23	4.14	7.25	6.57	3.61	2.58
Fe	10.03	6.89	7.14	6.01	7.19	13.47	11.06	11.02	5.56	0.53	5.19	1.63	6.57	4.86	6.76	5.82
Mn	0.20	0.24	0.18	0.14	0.16	0.28	0.18	0.17	0.15	0.17	0.39	0.09	0.09	0.05	0.69	1.11
Mg	4.67	2.70	2.64	7.51	6.30	2.06	2.63	2.54	2.08	3.89	2.64	3.65	2.43	3.15	4.43	4.46
Ca	8.79	5.48	5.39	10.15	9.03	6.48	6.43	6.48	9.53	6.53	3.96	3.20	3.43	5.69	8.21	5.98
Na	0.85	1.35	1.30	0.65	0.75	1.15	1.05	1.10	0.80	1.00	0.16	0.15	0.80	0.36	0.36	0.43
K	0.27	2.11	2.34	0.19	0.61	0.26	0.67	0.82	0.31	0.26	0.39	1.13	2.81	1.76	0.17	0.12
F	0.04	0.25	0.26	0.01	0.02	0.01	0.14	0.13	0.00	0.03	0.04	0.03	0.11	0.11	0.04	0.05
Ba	50	1843	2286	22	135	141	261	268	32	68	419	1230	528	537	132	16
Rb	76	69	58	10	22	18	15	20	10	10	29	69	150	80	10	10
Sr	100	816	762	118	162	138	233	264	116	132	46	21	109	154	107	43
Ce	25	72	62	25	25	25	25	25	25	25	25	25	99	81	25	25
La	5	31	33	26	28	5	21	19	5	5	44	14	55	36	10	14
Y	68	22	25	17	21	18	37	38	11	17	89	2	22	10	13	26
Nb	5	16	0	5	5	0	18	17	5	10	-	-	-	-	-	-
Zr	66	179	189	5	19	32	182	190	21	81	21	34	204	169	81	47
Co	57	43	40	64	54	76	51	55	39	63	5	16	38	28	27	13
Cu	307	78	77	1485	524	10	102	108	28	46	10	38	96	105	42	41
V	497	185	188	214	254	545	429	411	186	340	21	35	111	118	36	28
Pb	48	82	75	56	55	100	78	78	65	73	33	45	91	64	70	38
Bi	26	80	84	28	34	15	27	26	21	29	12	16	50	45	11	6

Tabela 2 - (conclusão).

	CALCISSILICÁTICAS MACTIÇAS														
	33	87A	138B	149	157A	343	344	563A	561	MÁXIMOS					
										10	16D	76B	129	222B	613A
Si	35,76	19,60	24,63	18,19	25,83	29,83	25,68	16,36	34,70	8,23	15,81	12,76	10,95	7,05	6,44
Ti	0,05	0,29	0,23	0,39	0,30	0,21	0,20	0,09	0,11	0,07	0,04	0,06	0,01	0,04	0,03
Al	1,52	4,13	5,50	4,70	6,49	5,03	4,63	2,53	2,82	1,84	0,78	1,21	0,40	0,90	0,78
Fe	1,69	3,25	3,74	4,25	3,39	2,61	2,77	3,44	2,25	1,27	0,98	1,27	0,73	0,52	1,02
Mn	0,34	0,06	0,12	0,12	0,11	0,15	0,14	0,31	0,40	0,21	0,67	0,04	0,04	0,02	0,23
Mg	2,99	4,97	3,62	2,70	3,05	3,13	2,14	2,27	3,16	3,09	3,80	6,55	1,23	7,69	1,48
Ca	3,55	18,45	11,16	13,78	7,83	4,68	9,42	16,94	21,10	22,18	19,77	19,84	22,28	20,58	29,23
Na	0,18	0,52	0,43	0,37	0,95	0,39	0,23	0,22	0,40	0,20	0,52	0,28	0,19	0,24	0,25
K	0,75	1,78	2,01	2,23	3,46	1,72	1,22	0,41	0,86	0,98	0,05	0,77	0,21	0,63	0,47
F	0,03	0,05	0,05	0,07	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00
Ba	317	834	342	303	406	393	200	97	328	673	29	121	45	773	92
Rb	68	100	140	110	160	110	82	10	39	51	10	46	10	31	12
Sr	81	132	166	215	177	58	51	174	146	239	229	82	555	806	213
Ca	25	54	25	74	53	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
La	5	21	20	31	28	24	19	11	5	13	5	5	5	5	5
Y	11	9	22	19	18	14	12	14	20	14	2	13	17	2	20
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zr	28	83	151	148	98	76	61	38	41	27	16	35	5	25	5
Co	14	32	19	21	29	11	13	5	14	10	5	5	5	11	11
Cr	27	81	70	63	83	69	61	23	32	21	10	10	10	10	10
V	19	62	56	67	68	50	83	26	22	16	5	15	5	14	5
Pb	40	73	54	71	75	47	46	44	47	15	15	15	15	15	15
Ni	15	21	17	18	14	30	38	19	26	29	15	16	22	14	22

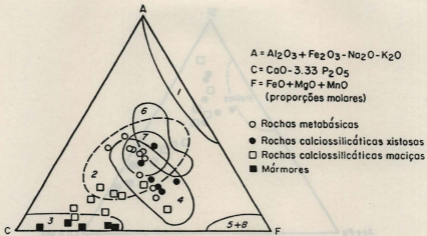


Figura 3 - Diagrama ACF de Eskola com campos composicionais de rochas ígneas e sedimentares (apud GIRARDI, 1979). Campos: 1 = pelitos; 2 = margas; 3 = calcários; 4 = rochas básicas; 5 = rochas ultrabásicas; 6 = graувacas; 7 = rochas quartzo-feldspáticas; 8 = rochas feríferas.

A Figura 4 corresponde a um diagrama ternário, envolvendo os valores catiônicos $Si/Al+Fe/Ca+Mg$, criado com o pressuposto de que seria capaz de discernir as rochas carbonáticas (próximas ao vértice $Ca+Mg$) das misturas carbonato-pelito. As amostras analisadas de mármore e calciossilicáticas demonstram uma transição; com as calciossilicáticas xistosas correspondendo a misturas ricas no componente pelito, enquanto as maciças representam misturas com predominância do componente carbonático. Cabe salientar que, quando considera-se a localização das amostras, há uma clara distribuição areal, com os mármore e calciossilicáticas xistosas (misturas ricas em pelito) distribuindo-se na porção oriental da faixa metassedimentar e as carbonáticas maciças na parte ocidental. A abundância de Ca em relação ao Mg nos mármore indica a predominância de calcita sobre a dolomita.

O número relativamente reduzido (10 amostras) de metabasitos analisados reflete a parcimoniosa ocorrência de afloramentos inalterados, ou quase, destes litotipos. Embora falem alguns dados, como por exemplo a perda ao fogo, pode-se tecer alguns comentários sobre a qualidade analítica. As amostras disponíveis após recalcular seus totais a 100% (Tab. 3), demonstraram uma coerência interna muito boa e relações elementos maiores/traços petrogeneticamente significativas. Desse modo, parece-nos que esses dados podem ser utilizados em interpretações e comparações com composições típicas de rochas básicas, disponíveis na literatura especializada.

Observando-se os dados analíticos (Tab. 3) e diagramas de variação como, por exemplo, a Figura 5, pode-se identificar a presença de, pelo menos, quatro seqüências diferentes: anfíbolitos de alto-K; anfíbolitos de baixo-Al; anfíbolitos de alto-Ti; e diopsídio anfíbolitos. Cada um destes quatro grupos tem, apesar do número muito reduzido de amostras (2 ou 3); uma composição química muito coerente e consistente, como será discutido em seguida.

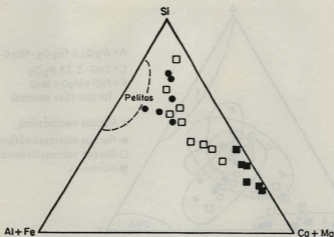


Figura 4 - Diagrama Si x Al + Fe x Ca + Mg, para distinção entre rochas carbonáticas e misturas carbonato-pelito, para os termos metassedimentares da Formação Água Clara. Simbologia como na Figura 3.

No grupo dos anfibólitos de alto-Ti foi incluída a amostra de diabásio (AR-154) pela boa coerência composicional entre ela e as outras duas amostras. Suas características composicionais mais marcantes seriam teores elevados de TiO_2 e Fe_2O_3 , relativamente baixos de Al_2O_3 e intermediários (em comparação aos outros grupos) de K_2O , P_2O_5 , Ba, Sr, etc. Estas composições são bastante características de basaltos intra-placa e, considerando-se que o diabásio pode ser interpretado como basalto continental, com base nas evidências de campo e petrográficas, o ambiente tectônico de basaltos continentais pode ser claramente estabelecido para este grupo. A única diferença marcante entre os anfibólitos de alto-Ti (Pré-Cambrianos) e o diabásio (Mesozóico) parece ser a idade.

Mineralogicamente os anfibólitos de alto-Ti são caracterizados essencialmente por hornblenda e plagioclásio e uma das amostras (AR-134A) contém granada acessória. A presença de granada é comum em metabasaltos continentais, em virtude das razões Fe/Mg elevadas. Comparando-se o diabásio com basaltos da Bacia do Paraná (PICCIRILLO et al., 1989) observa-se que se assemelha aos basaltos de alto-Ti da parte norte da bacia.

Os anfibólitos de baixo-Al tem características de anfibólitos "normais", sem grandes peculiaridades. Assemelham-se, grosso modo, a basaltos toleíticos de arcos insulares ou de fundo oceânico (e.g., CONDIE, 1976 - Tab. 7-3; CARMICHAEL et al., 1974 - Tab. 2-1; NOCKOLDS et al., 1978 - Tab. 12-1). Talvez seu único destaque composicional sejam os baixos teores de Al_2O_3 quando comparados a basaltos toleíticos típicos. Em termos de elementos traços observam-se teores baixos de Ba e Terras Raras Leves (TRL). Mineralogicamente, são formados quase que exclusivamente por hornblenda e plagioclásio.

Embora diopsídio ocorra em pequenas proporções em outras amostras (L-01-R dos anfibólitos de baixo-Al e AR-134A dos anfibólitos de alto-Ti), no grupo dos diopsídeo anfibólitos este mineral é conspicuo e chega a quase 20% em uma das amostras (AR-183A). Este grupo tem alguns aspectos composicionais, como o baixo Ti, relativamente baixo Fe, alto Ca e, em duas amostras, alto Mg, que sugerem que poderiam corresponder a para-anfibólitos.

Tabela 3 - Composição química das rochas metabásicas da Formação Água Clara. Elementos maiores e menores (%) e traços (ppm).

	Anfibolitos alto-K		Diabásio	Anfibolitos alto-Ti		Anfibolitos baixo-Al		Diopsídio anfibolitos	
	168	16C		151A	134A	01-R	638	133	183A
SiO ₂	49.20	49.40	50.80	47.90	48.10	51.00	51.20	48.60	50.60
TiO ₂	1.70	1.62	2.47	2.12	1.28	1.44	0.44	0.40	0.27
Al ₂ O ₃	17.50	17.60	12.90	12.60	10.80	12.70	10.60	21.60	9.04
Fe ₂ O ₃ *	10.80	10.70	15.60	16.20	14.70	15.50	10.60	8.51	9.19
MnO	0.26	0.33	0.22	0.24	0.27	0.23	0.22	0.20	0.18
MgO	4.72	4.82	4.28	4.50	8.02	6.67	10.90	3.71	13.40
CaO	6.37	6.19	9.17	9.22	12.70	9.38	13.10	14.30	15.20
Na ₂ O	3.74	3.69	2.99	2.90	2.63	2.78	2.09	2.31	1.67
K ₂ O	3.03	2.72	1.00	0.83	0.34	0.32	0.77	0.41	0.25
P ₂ O ₅	0.84	0.81	0.30	0.33	0.02	0.09	0.05	-	0.02
Ba	2286	1843	268	281	141	50	86	135	32
Rb	58	66	20	15	16	76	10	22	10
Sr	782	616	264	233	136	100	132	162	116
La	33	31	19	21	5	5	5	28	5
Ce	82	72	25	25	25	25	25	25	25
Y	25	22	38	37	16	68	17	21	11
Zr	108	179	190	192	32	66	81	19	21
Nb	-	16	55	18	-	5	10	5	5
Co	40	43	55	51	76	57	63	54	39
Cr	77	79	108	102	10	307	46	524	29
Bi	84	80	26	27	15	26	29	34	21
Pb	75	82	78	79	100	48	73	55	85

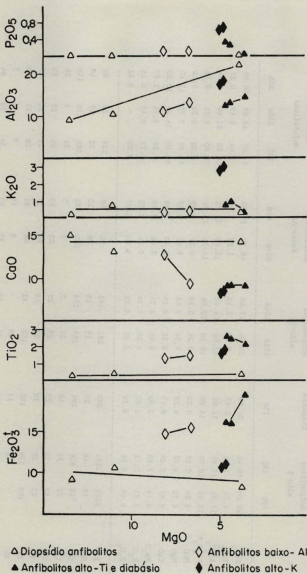


Figura 5 - Diagramas de variação MgO vs. outros óxidos, para as rochas metabásicas da Formação Agua Clara.

No diagrama c versus mg de Niggli (Fig. 6), definido por LEAKE (1964), todas as outras amostras aproximam-se do "trend" dos diabásios do Karroo, mas as três amostras dos diopsídio anfíbolitos afastam-se deste "trend" sugerindo corresponderem a misturas pelito-dolomito (AR-20A e AR-133) e pelito-calcário (AR-183A).

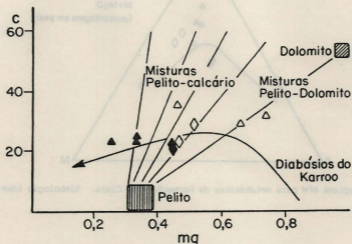


Figura 6 - Diagrama c x mg de Niggli elaborado por LEAKE (1964). Simbologia idem à Figura 5.

No entanto, evidências petrográficas, tais como agregados de plagioclásio exibindo forma tabular dispostos entre os anfíbólios, indicam que as amostras AR-20A e AR-133 ainda conservam aspectos texturais sugestivos de origem ígnea. Além disso, as amostras AR-133 e AR-183A pertencem a um grande corpo elipsóide que ocorre na porção noroeste da área, tido por evidências de campo (grande homogeneidade textural/estrutural e relações de contato discordantes com as encaixantes etc.) como metaígneo. Desse modo, temos que investigar a possibilidade de corresponderem a ígneas básicas metamorfoseadas. Suas composições são bem diferentes daquelas de magmas básicos. Por outro lado, há evidências químicas, como o MgO alto, Cr muito alto, Ti e Zr baixos etc., indicativas de que duas das amostras (AR-133 e AR-20A) corresponderiam a cumulos de clinopiroxênio. A amostra AR-183A tem MgO baixo e CaO e Al_2O_3 altos a muito altos; a presença abundante de diopsídio nesta amostra poderia ser responsável por parte do alto teor de CaO, mas certamente não explica o alto Al_2O_3 . Possivelmente, esta amostra representaria um cumulo de plagioclásio.

O diagrama AFM (Fig. 7) para os metabasitos estudados mostra que a maioria das amostras, mas com maior destaque os anfíbolitos de alto-Ti (basaltos continentais) e os de baixo Al (toleitos de arcos insulares ou fundo oceânico), plotam no campo dos basaltos toleíticos, enquanto as duas amostras dos anfíbolitos de alto-K seriam "não toleíticas", ou seja, cálcio-alcálicas ou alcálicas.

O grupo dos anfíbolitos de alto-K é extremamente interessante. Além do K_2O muito elevado, estes litotipos destacam-se por teores elevados a muito elevados de Rb, Sr, Ba e TRL.

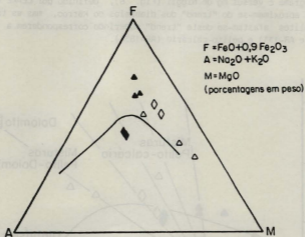


Figura 7 - Diagrama AFM para metabásicas da Formação Água Clara. Simbologia idem à Figura 5.

Mineralogicamente são compostos de plagioclásio, augita, argilominerais e epidoto, estes últimos provavelmente de origem tardi-magnética (deutérica). Poder-se-ia pensar, a princípio, que esta composição enriquecida em elementos litófilos de íon grande (LILE) seria resultado deste evento. Contudo, o diabásio (AR-154) também tem proporções elevadas de argilominerais, mas manteve intacta a sua composição típica de basalto continental. Outra possibilidade seria a de contaminação crustal e, neste particular, foi sugerido (THOMPSON et al., 1982, apud PEARCE, 1983) que Ba, Rb, Th, K, Sr e TRL seriam os elementos preferencialmente enriquecidos por contaminação crustal. Mas, como enfatizado por PEARCE (1983) dificilmente pode-se explicar graus profundos de contaminação crustal de elementos LILE (como os que seriam aqui necessários) sem aumentar consideravelmente o teor de sílica e que, portanto, seria improvável que basaltos tenham sofrido muita contaminação crustal. Uma terceira hipótese, que tentaremos demonstrar sua praticabilidade, é a destas rochas serem shoshonitos.

Nas rochas vulcânicas em geral há uma subdivisão de três séries principais: toleítica, cálcio-alcálica e alcalina (IRVINE & BARAGAR, 1971). Contudo, existem subdivisões específicas para determinadas seqüências litológicas. No caso de rochas vulcânicas de áreas orogênicas, onde arcos magnéticos relacionados a subducção de litosfera oceânica são formados em arcos insulares ou margens continentais, este vulcanismo, geralmente considerado como cálcio-alcálico, pode ser subdividido em associações toleíticas, cálcio-alcálicas de baixo e alto-K e shoshoníticas (JAKES & WHITE, 1972). Estas associações distribuem-se sequencialmente no sentido do aumento em profundidade da zona de Benioff e de uma maior distância da fossa oceânica.

As características químicas principais da associação shoshonítica (e.g., JAKES & WHITE, 1972; MORRISON, 1980) seriam: baixo enriquecimento em Fe; alto álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ maior que 5%); alta $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (maior que 0,6 a 50% de SiO_2 e maior que 1,0 a 55% de SiO_2);

baixo TiO_2 ; Al_2O_3 alto, mas variável; enriquecimento em P, Rb, Sr, Ba, Pb e TRL, etc. Os anfibolitos de alto-K da Formação Água Clara tem todas estas características químicas, com exceção do TiO_2 que é ligeiramente mais elevado que os teores típicos, e correspondem a basaltos shoshoníticos.

Na região oeste do escudo sul-riograndense ocorre a associação shoshonítica de Lavras do Sul (NARDI & LIMA, 1985), com predominância de andesi-basaltos shoshoníticos, pertencente a um cinturão orogênico Brasileiro.

A utilização de diagramas empíricos de discriminação de ambientes tectônicos, usando elementos traços (e.g., PEARCE & CANN, 1973; PEARCE & NORRY, 1979; MESCHEDE, 1986) para os anfibolitos aqui estudados, não apresentou bons resultados, como aliás tem sido comum em vários estudos recentes, como exemplificado por MYERS & BREITKOPF (1989). Isso se deve não apenas a heterogeneidade da fonte, como no caso dos basaltos de fundo oceânico (MORB) que podem ser subdivididos (e.g., SUN et al., 1979) em normais (N-MORB), enriquecidos ou "plume" (P-MORB) e transicionais (T-MORB), mas também ao fato de que os ambientes evoluem e, portanto, assim como os processos tectônicos, as composições basálticas transicionam entre si. No estudo de uma determinada seqüência vulcano-sedimentar pode-se encontrar litotipos formados em seus diferentes estágios evolutivos, como o período de abertura (e.g., MORB) e de subducção (e.g., associações cálcio-alcálicas, shoshoníticas, etc.), ou mesmo intrusões posteriores (e.g., basaltos continentais).

Uma maneira talvez mais adequada de tentar caracterizar melhor a geoquímica de basaltos e seus ambientes tectônicos, seria a utilização de aranhogramas ou "spidergrams", como são chamados na literatura internacional, e que são diagramas de padrões geoquímicos de distribuição de vários elementos, normalizados por algum fator (e.g., PEARCE, 1983; MYERS & BREITKOPF, 1989).

A Figura 8 apresenta um aranhograma, normalizado pelo MORB para algumas amostras da Formação Água Clara, que devem ser comparados aos padrões típicos de diversos basaltos mostrados por PEARCE (1983).

O padrão para o anfibolito de alto-K (AR-16B) apresenta fortes enriquecimentos em Sr, K, Rb, e Ba (nesta ordem) e empobrecimento progressivo dos outros elementos com incompatibilidade decrescente. Este tipo de padrão é característico de shoshonitos como o do arco insular oceânico de Fiji e, particularmente, o da margem continental ativa do Chile Central. O padrão para o anfibolito de alto-Ti apresenta um enriquecimento menos pronunciado dos elementos mais incompatíveis, com um padrão em forma de corcova, típico de basaltos intraplaca. O padrão para o anfibolito de baixo-Al tem um leve enriquecimento nos elementos mais incompatíveis e uma distribuição sub-horizontal, algo empobrecida nos elementos menos incompatíveis, que é bastante semelhante aos de toleítos de arcos insulares, como os das ilhas Sandwich do Sul e Tonga. Por outro lado, embora este padrão seja algo diferente dos de MORB típicos, pode assemelhar-se às composições de alguns T-MORB (dados em SUN et al., 1979).

PEARCE (1983) sugeriu que as razões Zr/Y talvez pudessem ser utilizadas na tentativa de definir se um determinado arco magmático seria oceânico ou continental, com os últimos tendo razões acima de 3. No caso dos litotipos da Formação Água Clara que poderiam representar vulcânicas de arco, os anfibolitos de alto-K (shoshonitos) tem razões Zr/Y de cerca de 8, enquanto os anfibolitos de baixo-Al (toleítos de arcos insulares?) tem razões bem mais baixas.

CONCLUSÕES

Pela análise dos dados petrográficos e químicos dos litotipos, aqui caracterizados, da Formação Água Clara, pode-se tecer as seguintes considerações a seu respeito.

Os metassedimentos pelito-químicos foram depositados numa bacia, provavelmente não

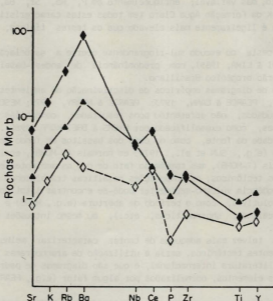


Figura 8 - Padrões geoquímicos (aranhogramas) normalizados por MORB (PEARCE, 1983) para amostras de anfibolito de alto-K (losango cheio), anfibolito de alto-Ti (triângulo) e anfibolito de baixo-Al (losango vazio) da Fm. Água Clara. O tracejado é devido a valores de Nb e Ce pouco confiáveis.

muito profunda e gerada por rifteamento crustal. A variação na composição mineralógica e química destes litotipos parece refletir a paleogeografia da área, onde a sedimentação teria sido predominantemente carbonática-pelítica na porção mais rasa da bacia e predominantemente mista na sua porção mais profunda; atualmente, os metacarbonatos e calciossilicáticas xistosas são mais frequentes a leste e as calciossilicáticas maciças a oeste.

O magmatismo básico, ora representado pelos diversos tipos de anfibolitos que ocorrem na Formação Água Clara, sugerem vários ambientes distintos.

Um primeiro evento magmático de natureza toleítica poderia corresponder a basaltos de fundo oceânico transicionais (T-MORB) ou a toleitos de arco insular imaturo, indicando que estaria associado ao período de abertura da bacia ou, muito mais provavelmente, ao período inicial de fechamento da mesma. Basaltos shoshoníticos, provavelmente de margem continental ativa, estariam associados a uma maior maturidade deste arco magmático, indicando o evento de fechamento propriamente dito.

Posteriormente, porém ainda relacionado aos eventos Pré-Cambrianos, teria ocorrido um magmatismo básico toleítico de características continentais, que teria se repetido no Mesozóico, quando da intrusão dos diques de diabásio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M.A. (1989) **Geologia da Formação Água Clara na região de Araçáiba, SP**, São Paulo, 194p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).
- CARMICHAEL, I.S.; TURNER, F.J.; VERHOOGEN, J. (1974) **Igneous petrology**. New York, McGraw-Hill. 739p.
- CONDIE, K.C. (1976) **Plate tectonics and crustal evolution**. New York, Pergamon Press. 288p.
- FERREIRA, F.J.F. (1982) **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa**. São Paulo, 170p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).
- GIRARDI, V.A.V. (1979) **Metamorfismo e seus produtos**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 116p. (Apostila curso graduação - IG/USP).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, IPT. (1985) **Geologia das folhas Barra do Chapéu (SG.22-X-B-I-4) e Araçáiba (SG.22-X-B-II-3), Estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo, IPT. (Relatório 22150).
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Science**, 8(5):523-548.
- JAKES, P. & WHITE, A.J.R. (1972) Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. **Geological Society of America Bulletin**, 83:29-40.
- LEAKE, B.E. (1964) The chemical distinction between ortho and para-amphibolites. **Journal of Petrology**, 5:238-254.
- MESCHÉDE, 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.
- MORRISON, G.W. (1980) Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. **Lithos**, 13:97-108.
- MYERS, R.E. & BREITKOPF, J.H. (1989) Basalt geochemistry and tectonic settings: a new approach to relate tectonic and magmatic processes. **Lithos**, 23(1-2): 53-62.
- NARDI, L.V.S. & LIMA, E.F. (1985) A associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, 5(2): 139-146.
- NOCKOLDS, S.R.; KNOX, R.W.O.B.; CHINNER, G.A. (1979) **Petrology for students**. Cambridge, University Press. 435p.
- PEARCE, J.A. (1983) Role of the subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: HAWKESWORTH, C.J. & NORRIS, M.J. (eds.) **Continental basalts and mantle xenoliths**. Nantwich, Shiva. p.230-249.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using

trace element analysis. *Earth Planetary Science Letters*, 19:290-300.

PEARCE, J.A. & NORRY, M.J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69:33-47.

PICCIRILLO, E.M.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; LONGINELLI, A.; BELLINI, G.; COMINCHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J. (1989) Regional variations within the Paraná flood basalts (Southern Brazil) evidence for subcontinental mantle heterogeneity and crustal contamination. *Chemical Geology*, 75:103-122.

SUN, S.S.; NESBITT, R.W.; SHARASKIN, A.Y. (1979) Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. *Earth Planetary Science Letter*, 44:119-138.

WINKLER, H.G.F. (1976) *Petrogenesis of the metamorphic rocks*. 4.ed. New York, Springer-Verlag. 334p.