

ASSOCIAÇÕES PLUTÔNICAS DO COMPLEXO GRANITÓIDE SOCORRO (ESTADOS DE SÃO PAULO E MINAS GERAIS, SE BRASIL)

ANTÔNIO C. ARTUR*, EBERHARD WERNICK*, PAUL K. HÖRMANN** e
KLAUS WEBER-DIEFENBACH***

ABSTRACT PLUTONIC ASSOCIATIONS OF THE SOCORRO GRANITOID COMPLEX (STATES OF SÃO PAULO AND MINAS GERAIS, SE BRAZIL). The pluriserial Socorro granitoid complex is located in an area highly affected by the convergence and collision of the Paraná and São Francisco plates during the Late Precambrian. The complex is affected by the tectonic periods of thrust, transcurrent and normal faulting which on regional scale express this convergence and collision. The complex comprises four distinct plutonic associations: Socorro I (calc-alkaline, medium/high K), Socorro II (calc-alkaline, high K), Nazaré Paulista (crystal, garnet bearing) and Piracaia (alkaline, potassic). They represent the main regional magmatic activities occurred roughly between 650 and 550 Ma ago. The Socorro I association can be considered as linked with the convergent stage and the Nazaré Paulista association with the collisional stage of the plates. The Socorro II association is the magmatic product of the late-collision uplift and the Piracaia association is linked with the post-collision relaxing stage. The periods of emplacement of the four plutonic associations show partial temporal overlaps which reflects the gradual transitions between the successive stages in the regional geodynamic evolution.

Keywords: Granite, tectonic, pluriserial complexes.

RESUMO O Complexo Granitóide Plurisserial Socorro situa-se na área de influência interna da convergência e colisão das placas São Francisco e Paraná no Pré-Cambriano Superior. O complexo é afetado pelos períodos tectônicos de cavalgamento, transcorrência e de falhamentos normais que, na região, expressam o fim da convergência e colisão entre estas placas. O complexo compreende quatro associações plutônicas distintas: Socorro I (cálcio-alcálica, médio a alto K), Socorro II (cálcio-alcálica, alto K), Nazaré Paulista (de origem crustal, granatífero) e Piracaia (alcalino potássico). Eles representam atividades magmáticas ocorridas no intervalo entre cerca de 650 e 500 Ma atrás. A Associação Socorro I pode ser vinculada com o período de convergência e a Associação Nazaré Paulista com o período de colisão continental. A Associação Socorro II se vincula com o período de soerguimento tardi-colisional e a Associação Piracaia com a fase de relaxamento pós-colisional. Os períodos de colocação das associações magmáticas revelam superposição temporal parcial retratando a gradual transição entre os diversos estágios da evolução geodinâmica regional.

Palavras-chave: Granito, tectônica, complexos plurisseriais.

INTRODUÇÃO Complexos plurisseriais são constituídos por associações rochosas referíveis a distintas séries magmáticas. Podem resultar, basicamente, de quatro processos distintos: 1. da coalescência de distintos magmatismos ao longo de zonas de subducção muito inclinadas; 2. da superposição espacial dos magmatismos resultantes de processos magmatogênicos que atuam simultaneamente sobre distintos protólitos à diferentes profundidades; 3. agregação espacial de distintos magmatismos frutos da variação nas condições geodinâmicas numa certa área com o decorrer do tempo; 4. uma complexa combinação dos casos anteriores.

Na porção ocidental do Complexo Granitóide Socorro (Pré-Cambriano Superior, Estados de São Paulo e Minas Gerais), ocorre a superposição espacial de quatro associações plutônicas distintas (Fig. 1): 1. Associação Nazaré Paulista, granatífera e de origem crustal; 2. Associação Socorro I, cálcio-alcálica de médios a altos teores de K_2O ; 3. Associação Socorro II, cálcio-alcálica de altos teores de K_2O ; e 4. Associação Piracaia, alcalina transicional.

Neste trabalho, os autores revisam de modo integrado estas quatro associações sob aspectos petrográfico e químico, apresentam novos dados químicos (30 análises) para a Associação Piracaia, discutem a sequência de sua colocação e interpretam o seu significado sob o aspecto geodinâmico.

ASPECTOS TECTÔNICOS O Complexo Granitóide Socorro situa-se na zona de convergência oblíqua e posterior colisão entre os blocos São Francisco e Paraná (Soares *et al.* 1990) ocorrida durante o Pré-Cambriano Superior, tendo aquele mergulhado sob este (Davino, 1979). Durante a colisão ocorreu um intenso imbricamento tectônico, devido a superposição de três períodos de deformação com características distintas:

1. um período inicial de cavalgamento (Wernick 1967, Campos Neto *et al.* 1984a, Artur 1988, Wernick 1990, Soares *et al.* 1990, Zanardo 1992). Na região entre Atibaia e Extrema, baseado na intensidade das deformações, no grau de recristalização e nas fácies metamórficas associadas, Artur *et al.* (1991a) reconheceram três fases sucessivas de cavalgamentos, denominadas de "cedo", "sin" e "tardi" em relação à colisão continental (Fig. 6);

2. um período de falhamentos transcorrentes ao qual se associam amplos movimentos de blocos crustais (Wernick *et al.* 1988b, Artur 1988). Soares *et al.* (1990) ressaltam a longa duração deste período (de sin- a tardi-colisional) e sua ampla distribuição espacial (as falhas cortam o embasamento cristalino dos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná), e Artur *et al.* (1991a) a dividem em três fases denominadas de "cedo", "sin" e "tardi" em relação à colisão continental (Fig. 6);

* Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Caixa Postal 178, CEP 13500-970, Rio Claro, SP, Brasil, FAX (0195) 249644

** Mineralogisch-Petrographisches Institut und Museum, Christian-Albrechts Universität, Ludwig-Meyn Strasse 10, D-24098 - Kiel I, Alemanha

*** Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Luisenstrasse 37, D-8000, München 2, Alemanha

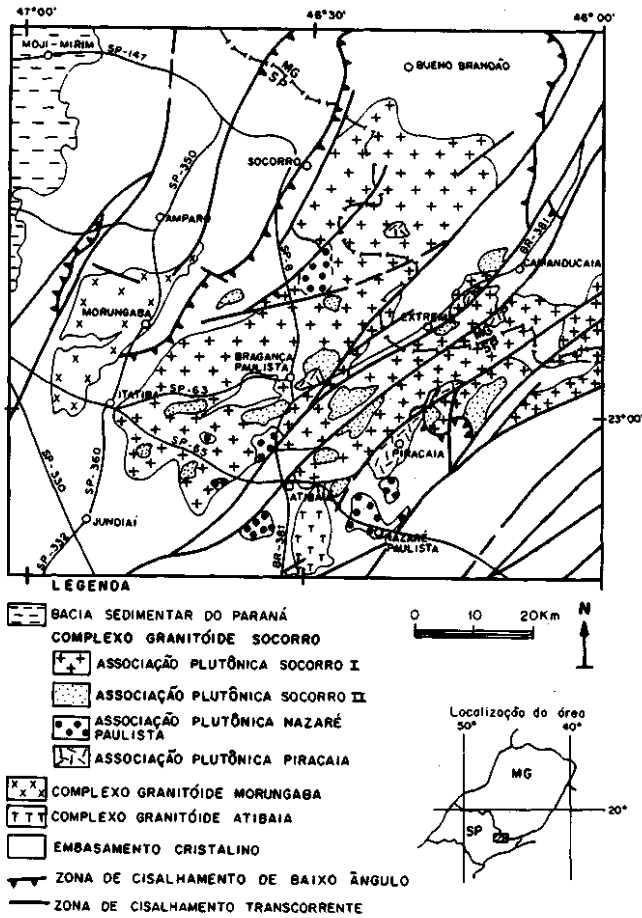


Figura 1 - Estruturação e associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro (Estados de São Paulo e Minas Gerais)

Figure 1 - Magmatic architecture and plutonic associations of the Socorro Granitoid Complex (States of São Paulo and Minas Gerais)

3. um período final de falhas normais seguidamente reativadas (Artur *et al* 1991a).

ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS O Complexo Granitóide Socorro compreende quatro associações plutônicas distintas, aqui denominadas de Socorro I, Socorro II, Piracaia e Nazaré Paulista. Suas variações químicas de elementos maiores e menores constam na figura 2 e são baseadas nos seguintes dados químicos:

Socorro I - Wernick *et al.* (1984a, b), Campos Neto *et al.* (1984b), Artur *et al.* (1991b).

Socorro II - Wernick *et al.* (1984a, b), Campos Neto *et al.* (1984b), Artur *et al.* (1991b).

Piracaia - Campos Neto *et al.* (1983), Janasi (1986), Artur *et al.* (1991b) e mais 30 análises aqui apresentadas.

Nazaré Paulista - Campos Neto *et al.* (1984b), Wernick *et al.* (1987).

Associação Socorro I Corresponde a uma suíte granitóide mesozonal, constituída essencialmente por sienogranitos e monzogranitos porfiróides ao lado de subordinados granodioritos, quartzo monzonitos e quartzo monzodioritos contendo plagioclásio, microclínio, quartzo, hornblenda, biotita, além de opacos, titanita, zircão e apatita, configurando mineralogia tipicamente cálcio-alcálica. As variações composicionais do magmatismo Socorro I ocorrem tanto por uma variação da taxa de megacristais numa matriz de composição constante quanto pela variação na

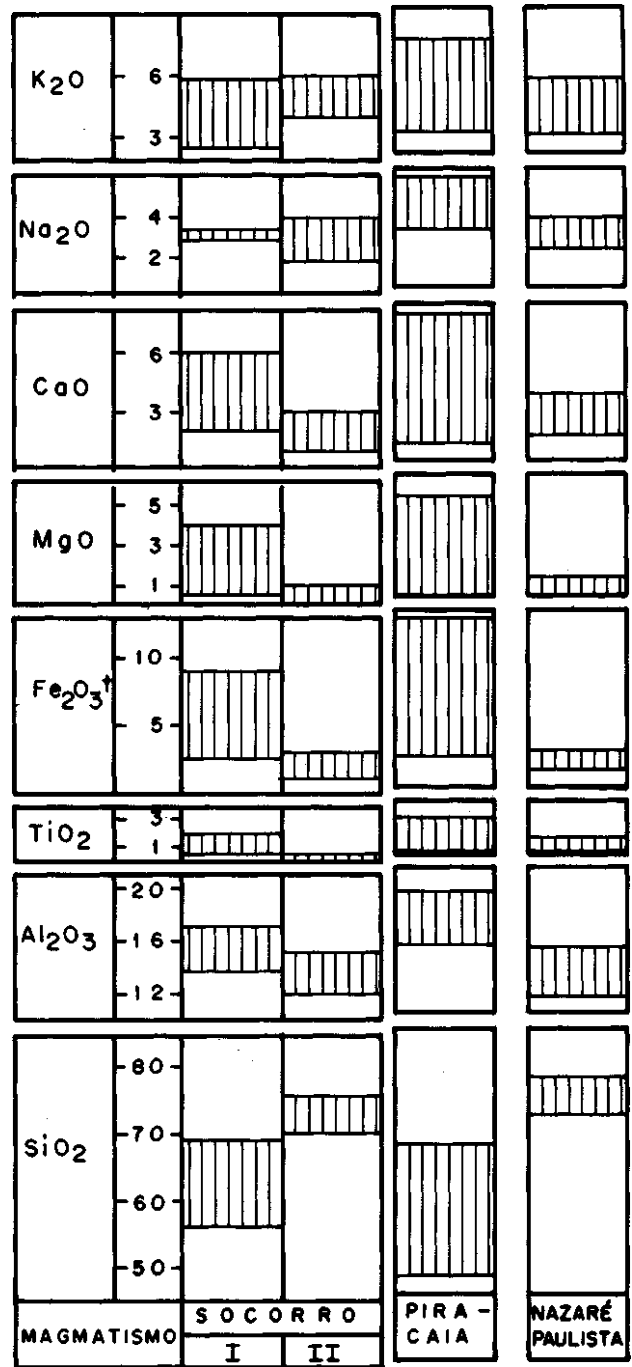


Figura 2 — Variação química das associações plutônicas Socorro I, Socorro II, Piracaia e Nazaré Paulista

Figure 2 - Chemical variation of the plutonic associations Socorro I, Socorro II, Piracaia e Nazaré Paulista

composição da matriz mantendo-se a taxa de megacristais aproximadamente constante ou, ainda, pela associação simultânea dos dois parâmetros considerados. São comuns estruturas de fluxo, enclaves microgranulares máficos e bandamentos dados pelo enriquecimento e empobrecimento local de megacristais em leitos subparalelos com espessuras e persistência lateral variada. Wernick *et al.* (1984b), baseados em dados químicos (elementos maiores, traços e de terras raras) para rochas da região entre Socorro (SP), Pedra Bela (SP), Munhoz (MG) e Bragança Paulista (SP) caracterizaram a natureza cálcio-alcálica da Associação Socorro I, feição confirmada por análises químicas (Wernick *et al.* 1984a) de parte de sua mineralogia (anfíbólio, biotita,

plagioclásio, feldspato alcalino, ilmenita). A tipologia de zircão (Wernick & Galembek 1986, Wernick *et al* 1988b) caracteriza a Associação Socorro I como pertencente à série cálcio-alcalina de alta temperatura na classificação de Pupin (1980). Dados modais para as rochas da região entre Atibaia (SP) e Extrema (MG) constam em Artur *et al.* (1991b). Rochas,

em parte, equivalentes às aqui descritas foram denominadas, por Campos Neto *et al.* (1984b), de Suíte Bragança Paulista.

Os diagramas das figuras 3, 4 e 5 expressam algumas características químicas da Associação Plutônica Socorro I por meio dos diagramas SiO_2 versus (K_2O+Na_2O) , SiO_2 versus K_2O , Na_2O versus K_2O , R_1 , versus R_2 e CaO :

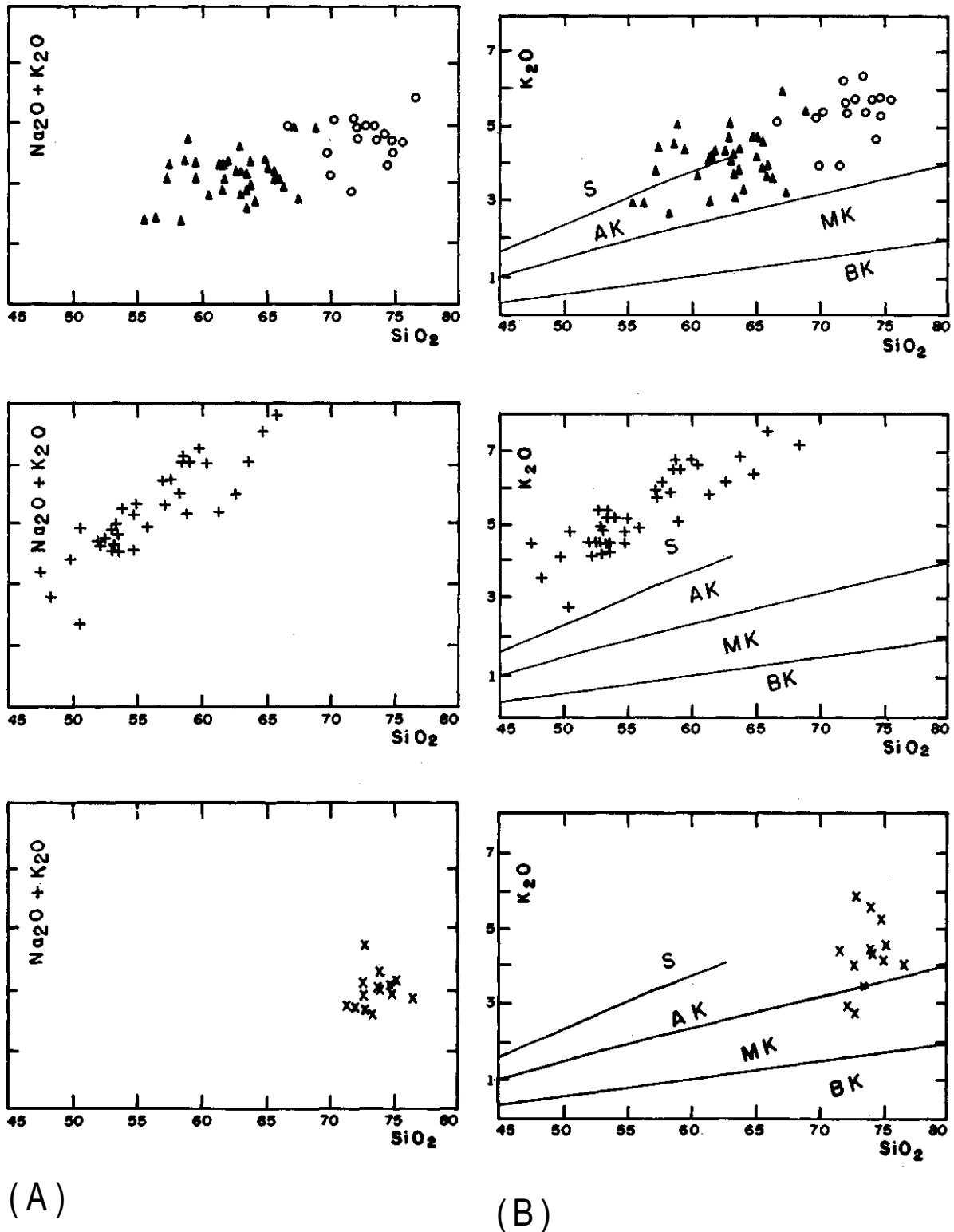


Figura 3 - Diagramas SiO_2 versus Na_2O+K_2O (A) e SiO_2 versus K_2O (B) para as associações plutônicas Socorro I (\blacktriangle), Socorro II (o), Piracaia (+) e Nazaré Paulista (x). Em (B), BK = baixo potássio; MK = médio potássio; AK = alto potássio; S = shoshonítico. Divisões segundo Peccerillo & Taylor (1976)

Figure 3 - SiO_2 versus (Na_2O+K_2O) diagram (A) and SiO_2 versus K_2O diagram (B) for the plutonic associations Socorro I (\blacktriangle), Socorro II (o), Piracaia (+) and Nazaré Paulista (x). In (B), BK = low potash; MK = médium (or normal) potash; AK = high potash; S = shoshonitic. Boundaries after Peccerillo & Taylor (1976)

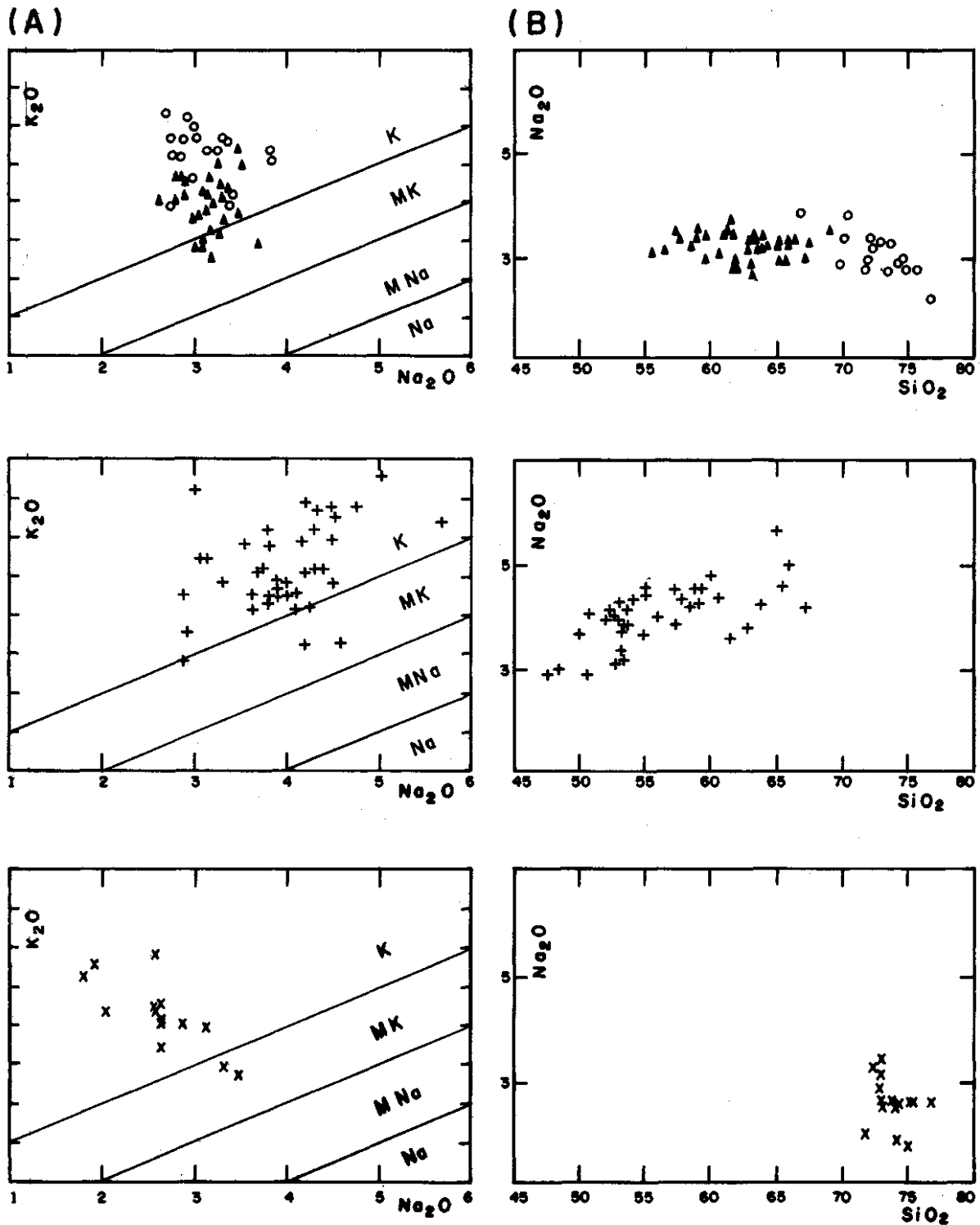


Figura 4 - Diagramas Na_2O versus K_2O (A) e SiO_2 versus Na_2O (B) para as associações plutônicas Socorro I (\blacktriangle), Socorro II (o), Piracaia (+) e Nazaré Paulista (x). Em (A), Na = rochas sódicas; MNa = rochas sódico-potássicas ou mediantemente sódicas; MK = rochas potássico-sódicas ou mediantemente potássicas; K = rochas potássicas. Divisões segundo recomendação da IUGS em Le Maitre (1989)

Figure 4 - Na_2O versus K_2O diagram (A) and SiO_2 versus Na_2O diagram (B) for the plutonic associations Socorro I (\blacktriangle), Socorro II (o), Piracaia (+) and Nazaré Paulista (x). In (A), Na = sodic rocks; MNa = sodic-potassic (or mildly sodic) rocks; MK = potassic-sodic (or mildly potassic) rocks; K = potassic rocks. Boundaries following IUGS recommendation in Le Maitre (1989)

$\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$. O último diagrama, assim como o diagrama R_1 versus R_2 , confirmam a natureza cálcio-alcalina da associação plutônica considerada como indicado por sua mineralogia, fato este reforçado pelo diagrama SiO_2 versus Na_2O , que

mostra os valores aproximadamente constantes de Na_2O , independentemente dos teores de SiO_2 , e os diagramas Na_2O versus K_2O e SiO_2 versus K_2O classificam a associação como sendo do tipo médio a alto potássio.

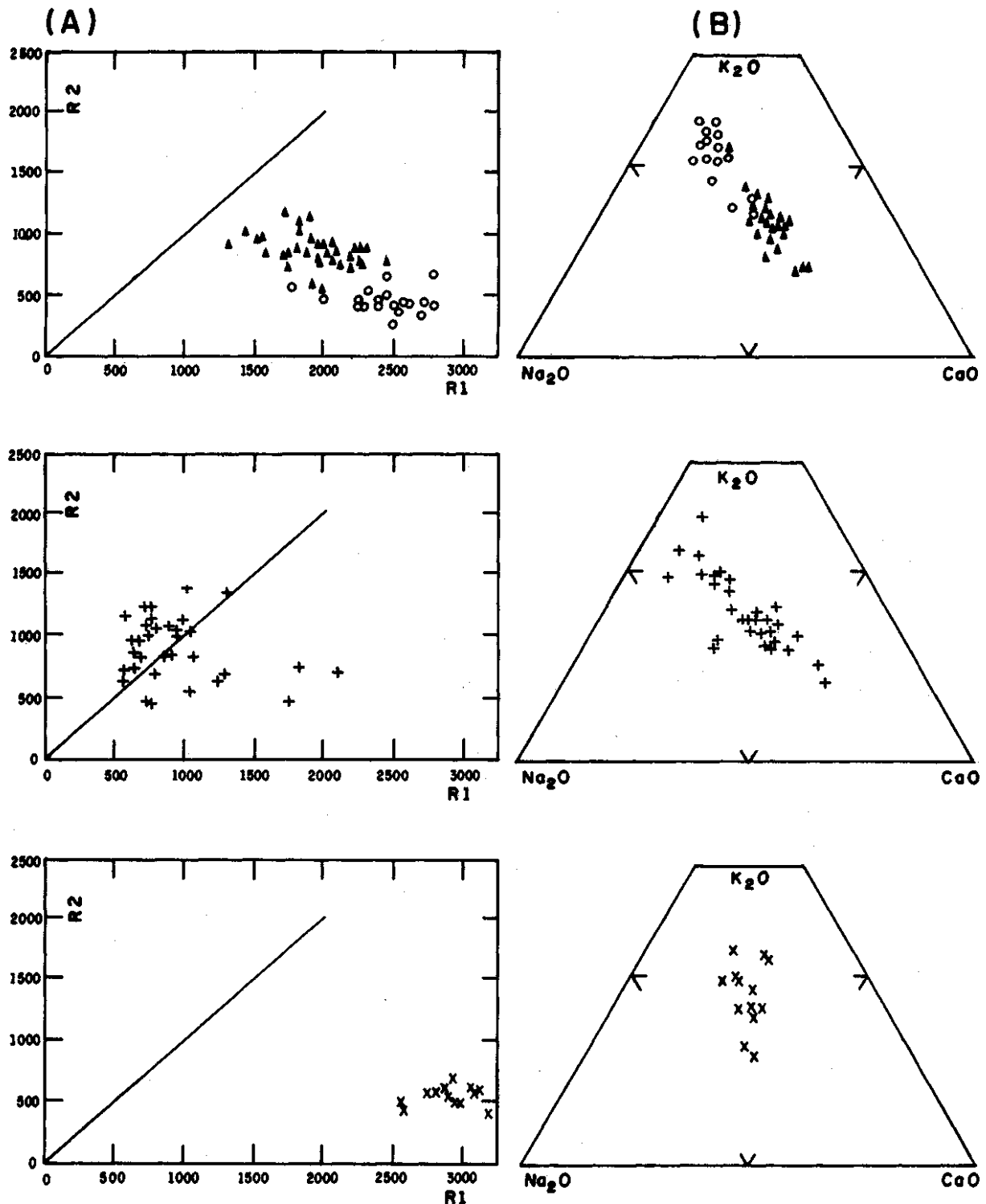


Figura 5 - Diagramas RI versus R2 (A, segundo De La Roche et al. 1980) e K₂O:Na₂O:CaO (B, segundo Barker & Arth 1976) para as associações plutônicas Socorro I (▲), Socorro II (o), Piracaia (+) e Nazaré Paulista (x)
 Figure 5 - RI versus R2 diagram (A, after De La Roche et al. 1980) and K₂O:Na₂O:CaO diagram (B, after Barker & Arth 1976) for the plutonic associations Socorro I (▲), Socorro II (o), Piracaia (+) and Nazaré Paulista (x)

Associação Socorro II Corresponde a uma suíte de rochas predominantemente epizonais cuja intrusão ocorreu nas rochas da Associação Plutônica Socorro I após o alçamento destas para a aquisição de características raptéis (a fase de *rising and unroofing* de Pitcher 1978).

As rochas são predominantemente equigranulares ao lado de subordinados termos inequigranulares e porfíricos e de composição essencialmente sienogranítica. Bandamentos,

estruturas de fluxo e enclaves microgranulares máficos são raros, em oposição aos frequentes xenólitos de rochas da Associação Socorro I. Os contatos entre corpos magmáticos das associações magmáticas Socorro I e Socorro II são frequentemente tectônicos com a ocorrência local de brechas magmáticas. Rochas, em parte equivalentes a Associação Socorro II, foram designadas por Campos Neto et al. (1984b) de Suíte Salmão, que reúne *stocks*, *bossas*, *plugs* e

outras intrusões menores de rochas equigranulares, normalmente bem delimitadas, que cortam as rochas da Suíte Bragança Paulista.

A mineralogia característica das rochas da Associação Socorro II é essencialmente a mesma da Associação Socorro I. Em termos modais diferem pelo domínio do feldspato alcalino (microclínio), por maiores teores de quartzo, pela raridade ou ausência de hornblenda e por um índice de coloração menor. Quimicamente apresenta menor variabilidade em relação à Associação Socorro I (Fig. 2). Os diagramas das figuras 3, 4 e 5 ressaltam a existência de uma descontinuidade composicional mais ou menos acentuada entre as associações Socorro I e Socorro II. Esta é mais rica em sílica, álcalis e potássio (diagramas SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ e SiO_2 versus K_2O), apresenta aproximadamente os mesmos teores de sódio (diagrama SiO_2 versus Na^+O) e para teores equivalentes de sódio a Associação Socorro II é mais rica em potássio (diagrama Na_2O versus K_2O). O conjunto dos diagramas R_1 versus R_2 , $\text{CaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$, SiO_2 versus K_2O e Na_2O versus K_2O classifica a Associação Socorro II como sendo cálcio-alcalina de alto potássio.

Associação Piracaia Corresponde a uma suíte granitóide constituída essencialmente por monzonitos, quartzo monzonitos, monzodioritos, quartzo monzodioritos, dioritos e quartzo dioritos, ao lado de sienitos e quartzo sienitos que localmente gradam para monzogranitos. Em alguns casos, as rochas mais evoluídas ocorrem em um complexo sistema de veios anastomosados que cortam as rochas mais máficas. As rochas são de texturas equigranulares (finas, médias, grossas), inequigranulares e porfiríticas. É característica a grande variabilidade litológica em pequenas áreas de ocorrência e sua colocação em rochas encaixantes rúpteis e semi-rúpteis. A sua mineralogia inclui plagioclásio, feldspato alcalino (microclínio), biotita, hornblenda (incluindo hastingsita com ferro tardia), augita e raro hiperstênio (principalmente nos monzonitos). Os minerais acessórios incluem opacos, titanita, zircão e apatita.

Descrições detalhadas são devidas a Campos Neto & Artur (1983), Janasi (1986), Janasi & Ulbrich (1987) e Artur *et al* (1991 b) e dados modais são apresentados por Janasi (1986) e Artur *et al* (1991b). Janasi (1986), baseado em apenas 14 análises químicas (incluindo quatro análises de Campos Neto *et al.* 1983) e utilizando essencialmente diagramas de Harker, definiu a Associação Piracaia como sendo alcalina rica em potássio e com características semelhantes à série granitóide "alcalina" de Lameyre & Bowden (1982). Entretanto, os dados, quando lançados em diagramas correntes de caracterização de séries magmáticas, mostram ampla dispersão atribuída pelo autor a possíveis problemas analíticos. Janasi (1986) apresenta, igualmente, dados químicos para parte da mineralogia da Associação Piracaia (plagioclásios, feldspatos alcalinos, anfibólios, biotitas verdes e marrons, além de oito e clinopiroxênios) que, tendo por base a sua tipologia de zircão, foi definida por Artur *et al* (no prelo) como pertencente à série "subalcalina potássica" de Pupin (1980).

Face aos escassos dados químicos disponíveis, foram realizadas 30 novas análises químicas (Tab. 1) que, conjuntamente com as já disponíveis, estão representadas nas figuras 2,3 e 4. As novas análises químicas foram executadas no Instituto für Allgemeine und Angewandte Geologie da Universidade de Munique, R. F. da Alemanha, por métodos correntes de FRX descritos pelo autor das análises (Hahn-Weinheimer *et al* 1984).

O diagrama SiO_2 versus $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ caracteriza a Associação Piracaia como uma série alcalina transicional do tipo alto potássio (diagramas Na_2O versus K_2O e SiO_2 versus K_2O). O Na_2O e o K_2O apresentam nítida correlação com

SiO_2 e no diagrama R, versus R_2 as amostras situam-se predominantemente a esquerda da bisetritz do diagrama, configurando afinidades shoshoníticas no sentido de Pagel & Leterrier (1980).

Associação Nazaré Paulista Corresponde a uma suíte que reúne rochas essencialmente equigranulares de granulação fina a média e de composição variando entre granodiorítica e sienogranítica (Campos Neto *et al* 1984a, Wernick *et al* 1987). As rochas são bastante quartzosas e geralmente portadoras de biotita e granada ao lado de ocasional muscovita, sillimanita e cordierita. A granada ocorre tanto sob a forma de grãos isolados quanto manteada por biotita, em agregados intercidos com biotita e quartzo ou ocupando o centro de pequenas manchas hololeucocráticas quartzo feldspáticas desprovidas, inclusive, de opacos. Também o quartzo pode ocorrer manteado por biotita.

O "magma Nazaré Paulista" resulta da anatexia de granada-biotita-sillimanita-cordierita gnaisse do Grupo Itapira. Na localidade homônima, este processo pode ser observado em todos os estágios evolutivos, desde a formação de migmatitos acamadados, dobrados, flebíticos e nebulíticos até a geração de núcleos de mobilizados maiores autóctones, paratóctones ou francamente discordantes.

As figuras 2, 3, 4 e 5 ressaltam o caráter silicoso da Associação Nazaré Paulista, os teores algo mais baixos de Na_2O em relação às demais associações plutônicas aqui consideradas e sua posição particular no diagrama $\text{CaO}:\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$.

SEQUÊNCIA TEMPORAL DE COLOCAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES PLUTÔNICAS A sequência temporal de colocação das quatro associações plutônicas integrantes do Complexo Granitóide Socorro foi estabelecida em virtude de três referências: 1. fases tectônicas regionais; 2. relações de contatos entre as associações plutônicas; e 3. dados geocronológicos. Estes são ainda muito esparsos e de caráter regional, servindo, portanto, apenas como referencial genérico. A figura 6 resume a análise da sequência de colocação das associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro, tanto suas relações com as distintas fases dos períodos da tectônica de cavalgamento, transcorrência e normal presentes na área aqui considerada (Artur *et al* 1991 b) quanto nas relações dos contatos entre as diversas associações plutônicas conforme descritas por Artur *et al* (1991a). Os dados geocronológicos suportam, indicativamente, o quadro tectono-magmático evolutivo da figura 6. Dados Rb/Sr em migmatitos do embasamento regional (Artur 1980, Wernick *et al* 1981, Artur *et al* 1990) situam a anatexia do Ciclo Brasileiro entre 650 e 550 Ma, destacando a longa duração do processo (é provável que tenha sido seguidamente retomado por meio de sucessivos impulsos térmicos). A esta anatexia associa-se a geração dos "magmas Nazaré Paulista" num processo gradual, ora "congelado" em migmatitos expostos ao longo das rodovias SP-65 e BR-381 na área considerada. A idade de uma isócrona Rb/Sr de referência para a Associação Piracaia, baseadas em amostras de uma área afetada pelo período de transcorrência, revela idade de 580 ± 13 Ma (Janasi & Ulbrich 1987). Em algumas zonas de transcorrência que afetam o Complexo Piracaia observa-se, localmente, a penetração de filetes e veios de rochas da Associação Nazaré Paulista, indicando a existência de uma fase de geração de "magmatismo Nazaré Paulista" posterior ao início da colocação da Associação Piracaia. Neste mesmo período de transcorrência, nas imediações de Atibaia (Serra Caetetuba), rochas da Associação Nazaré Paulista também cortam rochas da Associação Socorro I. Na Associação Socorro I, um hornblenda monzogranito porfiróide afetado pela fase tardia do período

Tabela 1 -Análises químicas (elementos maiores, em % de peso, e traços, em ppm) de 30 amostras da Associação Piracaia por FRX. Analista Klaus Weber-Diefenbach

Table 1 - Chemical analysis (major, in weight %, and trace elements, in ppm) of 30 samples from the Piracaia Plutonic Association by FRX. Analist Klaus Weber-Diefenbach

Amostras	pir-15	pir-20	pir-29	pir-12	pir-1	pir-23	pir-13a	pir-8	pir-7	pir-28	pir-25	pir-23a	pir-14	pir-9	pir-16
SiO ₂	47,48	48,33	49,80	50,43	51,90	52,13	52,51	52,64	52,66	52,71	52,80	52,91	53,02	53,30	53,39
TiO ₂	2,18	2,25	1,74	2,69	1,62	1,94	1,71	1,81	1,81	1,55	1,54	1,86	1,41	1,78	1,44
Al ₂ O ₃	17,01	18,38	17,70	15,07	18,30	17,78	18,02	18,03	18,53	18,06	18,23	17,97	18,50	17,66	17,99
Fe ₂ O _{3(t)}	13,05	10,56	10,40	12,30	9,02	8,91	8,83	9,22	8,59	8,70	8,60	8,43	8,86	9,17	9,23
MnO	0,22	0,18	0,17	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17
MgO	5,17	4,27	3,90	4,39	3,18	3,18	3,14	3,11	2,87	3,08	2,98	2,97	2,78	3,06	2,84
CaO	6,00	7,47	6,35	7,51	5,60	5,69	5,70	5,09	5,38	5,50	5,49	5,50	5,11	5,04	4,46
Na ₂ O	2,88	2,93	3,63	2,88	3,90	4,08	3,96	3,07	3,89	3,91	3,89	4,24	3,68	3,14	3,74
K ₂ O	4,50	3,57	4,14	2,80	4,48	4,14	4,49	5,40	4,90	4,62	4,66	4,16	5,10	5,43	5,19
P ₂ O ₅	0,02	1,50	1,74	1,33	1,36	1,15	0,96	1,22	1,16	1,24	1,20	1,04	1,04	1,11	1,21
P.F.	1,20	0,60	1,20	0,55	0,96	1,30	0,90	0,89	0,29	1,20	1,20	1,40	1,10	0,90	
Total	99,71	100,04	100,77	100,13	100,49	100,46	100,39	100,64	100,24	100,73	100,75	100,64	100,76	100,75	100,36
Cr	9	1	-	27	12	5	1	2	12	-	1	4	4	3	3
Ni	15	2	-	24	1	4	0	4	3	-	2	7	3	2	4
Co	43	34	-	38	25	25	28	25	28	-	26	25	25	25	30
Sc	11	12	-	20	7	8	6	8	7	-	7	7	8	5	8
V	26	24	-	168	14	101	54	73	57	-	49	251	58	57	94
Cu	974	1020	-	18	2	6	27	9	7	-	247	1390	502	10	418
Pb	15	10	-	17	34	14	33	31	40	-	-	2	8	28	9
Zn	1900	1950	-	121	76	2850	70	96	74	-	273	2200	973	89	812
Rb	128	122	-	62	104	93	107	132	119	-	116	91	126	133	131
Ba	3750	4210	-	1610	5810	6320	5010	2120	3620	-	3580	4090	2230	3580	1800
Sr	477	721	-	746	1100	549	1370	766	985	-	803	554	642	810	458
Ga	235	259	-	23	19	391	20	22	18	-	34	32	143	21	119
Ta	5,10	2,41	-	10,70	8,93	2,35	9,96	7,57	7,27	-	6,96	6,18	5,40	14,50	9,95
Nb	16,0	92,7	-	14,1	70,0	211,0	285,0	156,0	53,4	-	2,6	31,4	57,3	245,0	49,3
Hf	2,80	0,20	-	8,68	5,18	4,89	3,05	5,02	3,90	-	4,62	3,72	0,02	8,30	7,41
Zr	372	217	-	353	213	449	194	161	187	-	452	438	151	372	572
Y	102	131	-	91	92	201	64	126	87	-	17	82	44	63	22
Amostras	pir-13	pir-17	pir-18	pir-26	pir-30	pir-19	pir-4	pir-10	pir-6	pir-27	pir-11	pir-22	pir-24	pir-21	pir-24a
SiO ₂	53,47	53,56	55,80	57,10	57,18	58,28	58,51	58,65	59,12	59,90	60,44	64,73	65,27	65,84	67,12
TiO ₂	1,53	1,68	1,36	0,98	1,13	1,11	0,90	0,86	0,85	0,70	0,77	0,34	0,83	0,36	0,76
Al ₂ O ₃	18,49	18,83	19,25	18,53	19,09	18,57	18,63	18,38	19,19	18,09	18,25	17,62	15,82	16,98	15,63
Fe ₂ O _{3(t)}	8,43	7,99	6,75	6,60	6,90	5,88	6,05	5,50	5,88	5,84	5,01	2,77	4,55	2,40	4,21
MnO	0,16	0,15	0,13	0,14	0,14	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,08	0,07	0,09	0,07
MgO	2,85	2,86	2,23	1,40	1,91	1,65	1,10	1,10	1,11	0,75	1,05	0,31	0,54	1,00	0,46
CaO	5,04	5,64	4,61	3,78	3,30	3,45	2,66	2,79	2,73	2,20	2,52	1,23	1,13	1,12	0,96
Na ₂ O	4,10	3,78	3,99	4,49	3,81	4,16	4,53	4,49	4,53	4,76	4,34	4,66	4,58	4,03	4,18
K ₂ O	4,56	4,27	4,93	5,92	5,78	5,89	6,54	6,79	6,53	6,76	6,65	6,43	6,28	7,60	6,25
P ₂ O ₅	0,90	0,83	0,63	0,45	0,55	0,50	0,34	0,32	0,31	0,22	0,29	0,06	0,42	0,50	0,38
P.F.	0,90	0,90	1,10	1,00	1,00	1,00	1,45	0,90	0,50	0,80	0,90	1,10	1,00	0,70	0,70
Total	100,43	100,49	100,78	100,39	100,79	100,61	100,86	99,93	100,90	100,07	100,33	99,33	100,49	100,62	100,72
Cr	8	1	2	14	-	3	14	15	13	-	13	-	-	-	-
Ni	1	1	2	13	-	2	6	9	7	-	5	-	-	-	-
Co	28	26	23	20	-	23	18	15	17	-	13	-	-	-	-
Sc	5	6	4	1	-	3	5	6	3	-	3	-	-	-	-
V	6	85	42	11	-	38	98	92	110	-	76	-	-	-	-
Cu	8	1820	1620	121	-	1130	3	9	2	-	18	-	-	-	-
Pb	35	15	10	15	-	0	34	32	32	-	34	-	-	-	-
Zn	76	3370	2810	78	-	1980	87	78	77	-	68	-	-	-	-
Rb	109	96	105	146	-	119	133	127	127	-	132	-	-	-	-
Ba	2370	7820	6410	1800	-	4580	1700	2010	1900	-	1960	-	-	-	-
Sr	1470	938	779	426	-	469	350	428	415	-	416	-	-	-	-
Ga	20	482	421	6	-	300	19	19	19	-	20	-	-	-	-
Ta	11,90	3,70	5,21	7,53	-	5,74	13,10	15,70	18,50	-	19,10	-	-	-	-
Nb	146,0	208,0	174,0	17,10	-	129,0	32,2	44,0	45,0	-	40,5	-	-	-	-
Hf	3,92	0,80	0,20	7,45	-	1,00	13,60	12,10	13,80	-	14,90	-	-	-	-
Zr	207	237	205	548	-	263	567	501	571	-	626	-	-	-	-
Y	62	229	183	14	-	115	70	49	45	-	48	-	-	-	-

de cavalgamento tem idade de 655 ± 2 Ma (U/Pb em zircões; Ebert, informação verbal), e um monzogranito cristalizado durante o período de transcorrência revelou idade de 595 ± 12 Ma (U/Pb em zircões; Ebert informação verbal). Datação, também U/Pb em zircões de hornblenda granito porfiróide com idade de 635 ± 10 Ma (Tassinari, informação verbal), ocupa posição intermediária entre as referidas idades. Já, a Associação Socorro II tem idade Rb/Sr entre 550 e 500 Ma (Wernick *et al* 1976, Vlach & Cordani 1986, Artur 1988). Entretanto, o isocronismo parcial entre as associações Socorro I e Socorro II pode ser observado na Pedreira Atibaia, localizada nas proximidades da cidade homônima, onde ocorrem misturas magmáticas entre estas associações durante o período de cavalgamento.

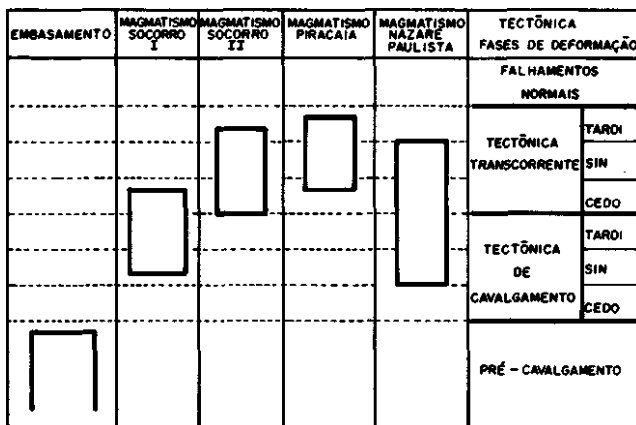


Figura 6 — Evolução do magmatismo do Complexo Granitóide Socorro em relação às fases de deformações regionais, segundo Artur *et al.* (1991a), simplificado
Figure 6 - Magmatic evolution of the Socorro Granitoid Complex in relation to the regional deformation phases, after Artur *et al.* (1991a), simplified

O COMPLEXO SOCORRO E A EVOLUÇÃO GEODINÂMICA REGIONAL

Em relação ao Complexo Granitóide Socorro, cabe destacar:

- O seu posicionamento geográfico. O complexo situa-se em uma área mais intensamente afetada pela convergência e colisão entre os Blocos Paraná e São Francisco (Davino 1979, Soares *et al* 1990, Zanardo 1992);
- A sua natureza pluriserial. O complexo é o resultado da coalescência de quatro associações plutônicas distintas que recortam a convergência entre os Blocos Paraná e São Francisco (retratado pela Associação Socorro I), a sua colisão (representado pela Associação Nazaré Paulista), o soerguimento pós-colisional (assinado pela Associação Socorro II) e a implantação progressiva de condições de estabilização (indicadas pela Associação Piracaia). Todas as associações constituem, regionalmente, tanto numerosos corpos intrusivos monosseriais quanto corpos pluriserials mais ou menos complexos;
- O magmatismo que representa esta associação regional tem a duração da ordem de 150 Ma como atestam os dados geocronológicos de Artur (1980), Wernick *et al.* (1981), Artur *et al.* (1988), Janasi & Ulbrich (1987), Wernick *et al.* (1976), Vlach & Cordani (1986) e Artur (1988) para as diferentes associações magmáticas do Complexo Granitóide Socorro ou seus equivalentes ao nível regional;
- Os períodos tectônicos de cavalgamento, transcorrência e de falhamentos normais que retratam a evolução geodinâmica ao nível regional (Soares *et al* 1990, Wernick 1990, Zanardo 1992) estão preservados no Complexo Granitóide Socorro (Wernick 1967, Campos Neto *et al*

1984a), onde cada período pode ser subdividido em diferentes fases (Artur *et al* 1991a, b).

- Neste processo de convergência e colisão de blocos crustais seguidas de seu soerguimento, relaxamento e estabilização, as associações Socorro I e Socorro II podem ser consideradas como o resultado de processos magmatogênicos aluando sobre um mesmo protólito mantélico progressivamente desidratado, conforme o modelo de Bonin (1987). A Associação Nazaré Paulista resulta de magmas gerados pela fusão de protólitos crustais predominantemente metassedimentares e a Associação Piracaia é o fruto da anatexia de protólitos mantélicos férteis.

- A subducção do Bloco São Francisco por debaixo do Bloco Paraná, como sugerido por Davino (1979) e Zanardo (1992), implica, atualmente, na exposição de níveis crustais cada vez mais profundos do Bloco Paraná em direção à sutura. Este aspecto reflete a ocorrência de rochas cálcio-alcalinas hidratadas a oeste do Complexo Granitóide Socorro, na presença de rochas cálcio-alcalinas hidratadas e anidras (charnockíticas) no mesmo (Wernick *et al* 1984a) e de rochas cálcio-alcalinas essencialmente charnockíticas mais a leste do Complexo Granitóide Socorro (Artur 1988, Wernick *et al* 1988a).

- A sequência temporal da colocação das distintas associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro indica que o magmatismo que caracteriza os sucessivos estágios da evolução geodinâmica regional, não correspondem a fenômenos temporalmente estanques. Ao contrário, mostram uma superposição temporal parcial que retraia a transição gradual entre os sucessivos estágios geodinâmicos.

CONCLUSÕES 1. O Complexo Granitóide Socorro situa-se geograficamente em uma área afetada pela convergência e colisão entre as Placas São Francisco e Paraná.

2. O complexo mostra-se afetado pelos períodos tectônicos de cavalgamento, transcorrência e de falhamentos normais que ao nível regional se associam à convergência final, colisão e posterior relaxamento entre os blocos São Francisco e Paraná.

3. O Complexo Granitóide Socorro é uma entidade magmática pluriserial formada pela agregação de quatro associações magmáticas distintas (Socorro I, Socorro II, Nazaré Paulista e Piracaia). As associações são o resultado de processos magmatogênicos aluando sobre protólitos distintos dados tanto por rochas crustais quanto mantélicas, férteis ou não.

4. As quatro associações plutônicas compreendem boa parte da evolução magmática regional ocorrida, grosseiramente, no intervalo entre 650 e 500 Ma atrás.

5. As quatro associações plutônicas coadunam-se com a evolução geodinâmica regional. Assim, a Associação Socorro I (cálcio-alcalina, médios a altos teores de K_2O) pode ser relacionada com a fase de convergência entre os Blocos Paraná e São Francisco; a Associação Nazaré Paulista (granul, peraluminosa) com o período de colisão entre os mesmos; a Associação Socorro II (cálcio-alcalina, altos teores de K_2O) com o soerguimento tardi/pós-colisional e a Associação Piracaia (alcalina potássica) possivelmente com o estágio de relaxamento pós-colisional.

6. As associações plutônicas mostram uma superposição temporal dos seus períodos de colocação que reflete a transição gradual entre os sucessivos estágios da evolução geodinâmica regional no lapso de tempo aqui considerado.

Agradecimentos Os autores agradecem ao CNPq (Processos 500213/91-7 e 300319/81-9) e a FINEP (Processo 4.3.90.0315.00) pelo apoio dado para a realização deste trabalho. Agradecem, igualmente, aos "revisores anônimos" que, com críticas e sugestões, contribuíram para o aprimoramento do texto final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUR, A.C. 1980. *Rochas Metamórficas dos Arredores de Itapira - SP*. São Paulo. 193 p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- ARTUR, A.C. 1988. *Evolução Policíclica da Infra-Estrutura da Porção Sul do Estado de Minas Gerais e Regiões Adjacentes do Estado de São Paulo*. São Paulo. 231 p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; KAWASHITA, K. 1988. Geocronologia das unidades litoestratigráficas do embasamento cristalino da região sul de Minas Gerais e regiões adjacentes do Estado de São Paulo. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35. Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v. 6, p. 2854-2869.
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; KAWASHITA, K. 1990. Migmatitos policíclicos do sul de Minas Gerais e áreas adjacentes do Estado de São Paulo: caracterização estrutural-petrográfica e dados geocronológicos. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Anais...* Natal, SBG. v. 6, p. 2827-2843.
- ARTUR, A.C.; EBERT, H.D.; WERNICK, E. 1991a. Magmatismo e tectônica no Complexo Socorro (SP/MG). In: SIMP. GEOL. DO SUDESTE, 2. São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo, SBG/NSP-RJ. p. 105-112.
- ARTUR, A.C.; EBERT, H.D.; ANGELI, N.; RUEDA, J.R.J.; MANIAKAS, S. 1991b. *Mapeamento Geológico em 1:50.000 da Quadricula Extrema*. Local, Convênio PRO-MINÉRIO/IGCE-UNESP. v. 1, 152 p. (Relatório Final).
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; SOUZA, S.C.A.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1994. Tipologia de zircão e quimismo do complexo monzonítico-monzodiorítico Piracaia, SP. *Geociências*, 13(2): (No prelo).
- BARKER, J.G. & ARTH, F. 1976. Rare-Earth partitioning between hornblende and dacitic liquid and implication for the génesis of trondhjemitic-tonalitic magmas. *Geology*, 4:534-536.
- BONIN, B. 1987. From orogenic to anorogenic magmatism: a petrological model for the transition calc-alkaline - alkaline complexes. *Rev. Brás. Geoc.*, 17(4):366-371.
- CAMPOS NETO, M.C. & ARTUR, A.C. 1983. A suíte quartzo monzonítica a diorítica de Piracaia, SP. In: SIMP. REG. GEOL., 4. São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, SBG-NSP. p. 47-60.
- CAMPOS NETO, M. C.; BASEI, M.A.S.; ARTUR, A.C.; SILVA, M.E.; MACHADO, R.; DIAS NETO, C.M.; FRAGOSO-CESAR, A.R.; SOUZA, A.P. 1983. Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. In: JORNADA DA CARTA GEOLOGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50000, 1. São Paulo Pró-Minério/IPT. p. 55-79.
- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; ALVES, F.R.; VASCONCELLOS, A.C.B. 1984a. *A nappe de cavalgamento Socorro (SP-MG)*. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 4, p. 1809-1822.
- CAMPOS NETO, M.C.; FIGUEIREDO, M.C.H.; BASEI, M.A.S.; ALVES, F.R. 1984b. Os granitóides da região de Bragança Paulista, SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 6, p. 2854-2862.
- DAVINO, A. 1979. O baixo gravimétrico da região de Caldas Novas, Goiás. In: SIMP. REG. GEOL., 2. Rio Claro, 1979. *Atas...* São Paulo, SBG-NSP. p. 87-100.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1R_2 -diagram and major-element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29:183-210.
- HAHN-WEINHEIMER, P.; HIRNER, A.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1984. *Grundlagen und Praktische Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)*. Braunschweig Wiesbaden, Fried. Vieweg & Sohn. 252 p.
- JANASI, V.A. 1986. *Geologia e Petrologia do Maciço Monzodiorítico - Monzonítico de Piracaia*. São Paulo. 281 p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- JANASI, V.A. & ULBRICH, H.G.J. 1987. Petrogenesis of the monzodioritic Piracaia Massif, State of São Paulo, southern Brasil: field and petrographic aspects. *Rev. Brás. Geoc.*, 17(4):524-534.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 14:169-186.
- LÊ MAITRE, R.W. (ed.) 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendation of the IUGS Subcommission on Systematic of Igneous Rocks*. Blackwell, Oxford. 193 p.
- PAGEL, M. & LETERRIER, J. 1980. The subalkaline potassic magmatism of the Ballons Massif (Southern Vosges, France): shoshonitic affinity. *Lithos*, 13:1-10.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu área, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58:63-81.
- PITCHER, W.S. 1978. The anatomy of a batholith. *J. Geol. Soc. London*, 135:157-182.
- PUPIN, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73:207-220.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; CARVALHO, S.G. 1990. Tectônica colisional oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do Cráton São Francisco, no Maciço Guaxupé. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Natal, 1990. *Anais...* Natal, SBG. v. 7 p. 63-79.
- VLACH, S.R.F. 1993. *Geologia e Petrologia dos Granitóides de Morungaba, SP*. São Paulo. 414 p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- VLACH, S.R.F. & CORDANI, U.G. 1986. A sistemática Rb/Sr em rochas granitóides: considerações interpretativas, limitações e exemplos brasileiros. *Rev. Brás. Geoc.*, 16(1):38-53.
- WERNICK, E. 1967. *A Geologia da Região de Amparo, Leste do Estado de São Paulo*. Rio Claro. 2 v, 216 p. (Tese de Doutorado, FFCL/UNESP).
- WERNICK, E. 1990. Zoneamento magmático regional de granitóides brasileiros no Sudeste/Sul do Brasil: implicações geotectônicas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Anais...* Natal, SBG. v. 4, p. 1668-1683.
- WERNICK, E. & GALEMBECK, T.M.B. 1986. Caracterização do plutonismo granitóide do Ciclo Brasileiro no Estado de São Paulo através do método da tipologia de zircão. In: CONGR. BRAS. GEOL., 34. Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG. v. 6, p. 1369-1382.
- WERNICK, E.; OLIVEIRA, M.A.F.; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.G.; DELHAL, J. 1976. Estudos geocronológicos pelo método Rb/Sr no Bloco Jundiá e áreas vizinhas. *Rev. Brás. Geoc.*, 6(2):125-135.
- WERNICK, E.; ARTUR, A.C.; FIORI, A.P. 1981. Reavaliação de dados geocronológicos da região nordeste do Estado de São Paulo e unidades equivalentes dos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. In: SIMP. REG. GEOL., 3. Curitiba, 1981. *Atas...* São Paulo, SBG-NSP. v. 1, p. 328-342.
- WERNICK, E.; DIDIER, J.; ARTUR, A.C.; HÖRMANN, P.K. 1984a. Caracterização da zona marginal charnockítica do Complexo Socorro nos arredores da cidade homônima, SP/MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 6, p. 2919-2934.
- WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K.; ARTUR, A.C.; EULERT, H.F. 1984b. Aspectos petrológicos do Complexo Granítico Socorro (SP/MG): dados analíticos e discussão preliminar. *Rev. Brás. Geoc.*, 14(1):23-29.
- WERNICK, E.; DIEFENBACH, K.W.; CORREIA, P.R. 1987. O granitóide Nazaré Paulista: dados petrográficos, químicos e de tipologia de zircão. In: SIMP. REG. GEOL., 6. Rio Claro, 1987. *Atas...* São Paulo, SBG-NSP. v. 1, p. 123-134.
- WERNICK, E.; ARTUR, A.C.; VASCONCELLOS, J.P.B.C.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1988a. Complexos charnockíticos de Ubatuba (SP), Socorro (SP/MG) e do Maciço de Guaxupé (SP/MG): dados litoquímicos, isotópicos e de tipologia de zircão. In: CONGR. LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7. Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. p. 544-559.
- WERNICK, E.; GALEMBECK, T.M.B.; RIGO, L., Jr.; WEBER-DIEFENBACH, K.; ARTUR, A.C. 1988b. Séries granitóides e tipologia de zircão. In: CONGR. LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7. Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. p. 529-543.
- ZANARDÓ, A. 1992. *Análise Petrográfica, Estratigráfica e Microestrutural da Região de Guaxupé - Passos - Delfinópolis (MG)*. Rio Claro. 288 p. (Tese de Doutorado, IGCE-UNESP).

MANUSCRITO A784

Recebido em 31 de agosto de 1994

Revisão do autor em 31 de outubro de 1994

Revisão aceita em 9 de novembro de 1994