PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DOS GRANITÓIDES DE SÃO JOSÉ DOS QUATRO MARCOS, SUDOESTE DE MATO GROSSO

MAURÍCIO ANTÔNIO CARNEIRO*, HORSTPETER H.G.J. ULBRICH** e KOJI KAWASHITA***

ABSTRACT PETROGRAPHY AND GEOCHRONOLOGY OF THE SÃO JOSÉ DOS QUATRO MARCOS GRANITOIDES, SOUTHWESTERN MATO GROSSO, BRAZIL. An area of about 400 km² was mapped in the region of São José dos Quatro Marcos, southwestern State of Mato Grosso, western Brazil. Various granitoid rocks were recognized, intrusive into basement gneisses, and mapped as two distinct units, one of massive late granitoids (mostly 3a and 3b granites) and one of foliated granitoids, with oriented mafic minerals, consisting mainly of tonalites and, to a lesser degree, of granodiorites. The sequence of intrusion is from tonalites to granodiorites to late granites. Magmatic textures are usually preserved in the rocks, with the exception of some clearly recrystallized samples. Field aspects, as well as petrography and mineralogy, suggest a genetic relationship between the various granitoid types, showing overall features commonly cited as typical of "I" lineages. A Rb/Sr whole-rock isochron obtained from 3b granites (six points) shows an age of $1,472 \pm 19$ Ma, and Sr^{87/86} initial ratio of 0.7037 ± 0.0004 ; a nine point isochron (adding two tonalites and one granodiorite) yields similar results (age of $1,505 \pm 20$ Ma, initial ratio of 0.7029 ± 0.0003). The obtained ages confirm the existence of a thermal-magmatic event at about 1,500 Ma at the southern border of the Amazon Craton.

RESUMO PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DOS GRANITÓIDES DE SÃO JOSÉ DOS QUATRO MARCOS, SUDOESTE DE MATO GROSSO. Na região de São José dos Quatro Marcos, sudoeste do Estado de Mato Grosso, numa área de 400 km², são encontrados vários granitóides intrusivos nos gnaisses do embasamento. Esses granitóides são frequentemente muito heterogêneos, até em escala de afloramento, e foram mapeados como duas unidades distintas: a dos granitóides maciços (geralmente, granitos 3a e 3b, tardios), e a dos foliados (com minerais máficos orientados), constituídos principalmente por tonalitos e, em menor proporção, por granodioritos. A sequência de invasão é iniciada com tonalitos e granodioritos e culmina com invasões de granitos s.s. As texturas magmáticas estão, em geral, preservadas, exceto em alguns casos de rochas recristalizadas. As relações de campo, a petrografia e a mineralogia sugerem relações genéticas entre os vários tipos, com características de linhagem do tipo I. Uma isócrona Rb/Sr (rocha total) para seis granitos 3b mostra idade de $1,472 \pm 19$ Ma e razão inicial Sr^{87/86} de $0,7037 \pm 0,0004$; a adição de três outros pontos (obtidos de dois tonalitos e um granodiorite) gera uma isócrona conjunta de nove pontos com idade de $1,505 \pm 20$ Ma e razão inicial de $0,7029 \pm 0,0003$. Os resultados mostrados confirmam a presença de um evento termomagmático ocorrido na borda meridional do Cráton Amazônico por volta de 1.500 Ma.

INTRODUÇÃO Vários autores propõem a existência de três grandes unidades (ao nível de Complexos) na região meridional do Cráton Amazônico, no Estado de Mato Grosso. Esses complexos são considerados inicialmente de idade proterozóica (LASA 1968, Figueiredo *et al.* 1974, Barros *et al.* 1982, Saes *et al.* 1984). O conjunto mais antigo, hoje atribuído ao Complexo Xingu (Barros *et al.* 1982), é constituído predominantemente por biotita gnaisses vários, junto com anfíbolitos, cataclastos e micaxistos.

As outras duas unidades são formadas por rochas intrusivas nesse embasamento. A primeira é de rochas máfico-ultramáficas, em parte metamorfisadas, denominadas Unidade de Intrusivas Básicas-Ultrabásicas por Figueiredo *et al.* (1974) e Suíte Intrusiva Rio Alegre por Barros *et al.* (1982). Pertencem a essa unidade também as rochas básicas-ultrabásicas que constituem a Suíte Intrusiva Figueira Branca, que invade as rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar Quatro Meninas, mais recentemente identificada na Folha Jauru (Saes *et al.* 1984). A segunda unidade é de rochas graníticas, intrusivas tanto em rochas do embasamento gnáissico como em seqüências supracrustais encontradas na parte sudoeste do Estado de Mato Grosso e no oriente boliviano, e cuja existência é conhecida de longa data (Ahlfeld 1946, Almeida 1964, Figueiredo *et al.* 1974, Bloomfield & Litherland 1979, Barros *et al.* 1982, Saes *et al.* *op.cit.*) Essas rochas são mapeadas como maciços circunscritos, elípticos e alongados, por vezes de dimensões consideráveis, e mostrando composições aparentemente

homogêneas (Figueiredo *et al. op.cit.*, Barros *et al. op.cit.*, Saes *et al. op.cit.*). No sudoeste de Mato Grosso, tais intrusões são denominadas Suíte Intrusiva Guapé (Barros *et al. op.cit.*).

Determinações geocronológicas pelo método Rb/Sr, realizadas em algumas ocorrências isoladas desses granitóides, têm apresentado idades mínimas convencionais e/ou isocrônicas (de referência) distribuídas do Mesoproterozóico ao Neoproterozóico (Hasui & Almeida 1970, Darbyshire 1977, Barros *et al.* 1982). Algumas determinações K/Ar de rochas da Suíte Intrusiva Guapé mostram idades de 835 a 900 Ma (Barros *op. cit.* 1982).

É objetivo do presente trabalho a apresentação de novos dados geológicos, petrográficos e geocronológicos dessas rochas granitóides com base em mapeamentos mais aprimorados, que em parte se contrapõem às informações, mais limitadas, conhecidas da área até agora. Os resultados parciais, ora apresentados, foram obtidos no mapeamento de uma área de 400 km², situada a norte da localidade de São José dos Quatro Marcos, sudoeste de Mato Grosso (Fig. 1). Num trabalho subsequente (Carneiro & Ulbrich, *em prep.*) serão descritas com maior detalhe algumas características das rochas do embasamento, apresentando-se também novos dados geocronológicos e considerações geológicas mais gerais.

ASPECTOS GERAIS Na área mapeada observa-se grande variedade litológica. A amostragem efetuada por caminhamentos só registrou afloramentos isolados, constituídos de matacões abaulados de variadas dimensões.

* Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, CEP 35400, Ouro Preto, MG, Brasil

** Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Cidade Universitária, Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil

*** Centro de Pesquisas Geocronológicas, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Cidade Universitária, Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil

Figura 1 – Localização da área pesquisada neste trabalho
Figure 1 – Area localization

Mais raramente, são observados alguns lajedos, ao longo de vales de drenagem. São cobertos, em parte, por depósitos fluviais. A variação litológica, mesmo em escala de afloramento, é constante: matações de rochas granitóides, dominantes numa determinada área, são substituídos, a poucas centenas de metros e de maneira aparentemente caótica, por rochas gnáissicas, anfibolíticas e de outros tipos. Partes consideráveis da área percorrida mostram ainda uma densa cobertura vegetal, de amplo domínio regional, que está sendo paulatinamente destruída nas duas últimas décadas.

A escassez de afloramentos, somada à variabilidade petrográfica apontada, não permite identificar com facilidade os contatos geológicos e, conseqüentemente, as relações mútuas entre os tipos petrográficos. Optou-se, portanto, por apresentar deliberadamente os resultados do mapeamento sob forma de um “mapa de domínios petrográficos”, no qual cada “domínio petrográfico” representa uma área com predomínio do tipo petrográfico citado, sem que necessariamente estejam ausentes outras variedades. O resultado é mostrado no mapa da figura 2. Considerações mais detalhadas sobre o procedimento, e suas limitações, são apresentadas mais adiante.

No mapa da figura 2, observa-se o predomínio regional das rochas granitóides sobre os outros tipos. Encontram-se essas rochas numa gama petrográfica extremamente variada. É comum, num mesmo matação, ocorrerem, com frequência, dois ou mais tipos de granitóides em contato. Estes contatos podem ser gradacionais, difusos ou abruptos.

Os contatos gradacionais caracterizam-se pela variação contínua entre os teores de feldspato alcalino (sempre de coloração rosada) e plagioclásio (sempre esbranquiçado ou cinzento). Em muitos matações, os granitóides cinzentos (tonalitos) tornam-se gradativamente róseos, assumindo a composição de granodioritos. Outras vezes, principalmente entre os tipos tonalíticos e granodioríticos, ocorrem contatos difusos; estes são também observados em alguns granodioritos, que contam de maneira difusa com granitos 3b. Diques e veios, por outro lado, mostram geralmente contatos abruptos com os granitóides encaixantes. Neste caso, os corpos menores (diques e veios) são constituídos por tipos mais diferenciados, macroscopicamente diferentes dos tipos

LEGENDA

+	Granitóides maciços	---	Limites dos domínios petrográficos
▨	Granitóides orientados	—	Estrada
▽	Anfibolitos	●	Cidade ou Vila
◊	Rochas Cálcio-silicáticas	■	Fazenda ou Sítio
□	Gnaisse cinzentos (tonalíticos) e róseos (graníticos)	~	Drenagem
		●	Granitóides datados por Rb/Sr

Figura 2 – Mapa de domínios petrográficos para a região de São José dos Quatro Marcos (simplificado de Carneiro, 1985). Os números identificam a localização das amostras datadas (Tab. 4)

Figure 2 – Petrographic domain map of São José dos Quatro Marcos area, by Carneiro 1985 (simplified). The numbers identify location of samples dated by Rb/Sr methods

vizinhos (e.g. granitos s.s., sempre rosados, em contato brusco com tonalitos ou granodioritos cinzentos). Por outro lado, os contatos de rochas granitóides com as rochas encaixantes metamórficas são sempre bruscos, consoantes com a natureza claramente intrusiva dos granitóides. Aparecem também com frequência enclaves de rochas gnáissicas e anfibolíticas (ver “Discussão dos resultados”).

PETROGRAFIA As rochas granitóides, dominantes na região, aparecem como tipos petrográficos muito variados. Podem ser identificadas várias fácies, atendendo principalmente a variações macroscópicas na cor (predominando os tipos cinza e róseos), na textura, na estrutura (observando-se principalmente rochas equigranulares, ora maciças, ora claramente foliadas, sem, contudo, consistir ortognaisses; tipos inequigranulares porfíricos são mais raros) e na granulação (ocorrendo variedades de granulação fina, média e até grossa). Combinações dessas características permitem descrever os vários tipos litológicos ou “fácies” observados (ver discussão sobre mapeamento faciológico em Ulbrich 1984 e Vlach 1985).

Em São José dos Quatro Marcos foi identificado um número mínimo de 11 variedades faciológicas (Carneiro 1985). A interpretação mais simples é que cada uma dessas fácies é uma unidade petrográfica distinta, representando um evento mais ou menos local de invasão magmática; afloramentos da mesma fácies, pelo menos em áreas vizinhas representariam então manifestações da mesma invasão magmática e seriam, portanto, co-etâneos e co-genéticos. A

diversidade faciológica, reconhecida no campo por propriedades macroscópicas, é adicionalmente sustentada por trabalhos de laboratório, mostrando variações correlatas modais, mineralógicas e texturais.

Em termos de coloração, separam-se grosso modo os granitóides róseos (com maiores teores de feldspato potássico; granitos) dos tipos cinza (mais ricos em plagioclásio; tonalitos e granodioritos). Os tipos graníticos são, por sua vez, geralmente maciços. As variedades foliadas são quase sempre tonalíticas e, em parte, também granodioríticas.

As relações mútuas de contato das várias fácies permitiram identificar as relações de idade e, conseqüentemente, determinar também as possíveis relações de parentesco co-genético (ver, por exemplo, Vlach, 1985). Entretanto, na região de São José dos Quatro Marcos é muito difícil chegar a conclusões baseadas em evidências gerais de campo, e deve-se confiar mais em explicações integradas a partir de várias observações pontuais. Um exemplo das relações observadas é mostrado na figura 3, onde tonalitos e granodioritos contendo enclaves de gnaisses cinzentos e de anfibolitos são, por sua vez, cortados por diques de granito 3b e veio pegmatítico. É possível afirmar, como corolário geral obtido da observação deste e de outros afloramentos, que as manifestações mais evoluídas, constituídas por granitóides róseos 3b e, principalmente, 3a (frequentemente encontrados, como ocorrências menores, tais como diques), são nitidamente posteriores às fácies de granodioritos e tonalitos, mais cinza e com teores maiores de minerais máficos.

Figura 3 - Observações em afloramento de granitóide (localizado na região central da área pesquisada) ilustrando as relações gerais presentes na região (desenho de fotografia). 1. enclave de gnaiss cinzento; 2. anfibolitos em gnaisses (lentes e enclaves) e enclaves em granitóides; 3. enclaves de anfibolito englobados por granitóide, por sua vez incorporados por tonalitos - granodioritos; 4. tonalitos-granodioritos; 5. granito 3b; 6. veio de pegmatito

Figure 3 - Granitoid outcrop in central part of mapped area. The figure (drawn from photography) depicts summarily general relationships: 1. enclave of gray gneiss; 2. amphibolites (enclave and lenses) in gray gneisses and as enclaves in granitoides; 3. double enclave within tonalites-granodiorites: amphibolites surrounded by a granitoid shell; 4. tonalite-granodiorite; 5. 3b granite; 6. pegmatoid vein

As variações petrográficas apontadas não podem ser, entretanto, registradas em mapa por não ser possível observar

a extensão e a continuidade das várias fácies assinaladas. De qualquer maneira, não são observadas relações do tipo centro-borda ou outras feições que apontem para uma zonalidade imediatamente aparente na distribuição espacial dos tipos petrográficos. É por esse motivo que, no mapa de domínios petrográficos da figura 2, os granitóides da área são representados como apenas dois conjuntos diferentes: o dos foliados (geralmente cinzentos e tonalíticos, com granodioritos subordinados) e o dos maciços (comumente róseos, constituídos por granitos s.s. com alguns granodioritos).

Os dados modais dessas rochas são de inegável interesse por mostrar tendências que podem identificar associações plutônicas (Lameyre & Bowden 1982). A figura 4 mostra as tendências identificadas para os granitóides de São José dos Quatro Marcos. No diagrama Q-A-P (quartzo-feldspato alcalino-plagioclásio), as modas dessas rochas posicionam-se conforme linhagens cálcio-alcálicas, relativamente empobrecida em K (Lameyre & Bowden *op.cit.*) e localizam-se nos campos que são comumente identificados como típicos de rochas das linhagens I (Bowden *et al.* 1984).

Figura 4 - Moda dos granitóides no diagrama QAP de Streckeisen (1976). As letras a, b, c, representam as tendências cálcio-alcálicas de Lameyre & Bowden 1982 (a. cálcio-alcálica tonalítica-trondhjemitica ou de baixo K; b. cálcio-alcálica granodiorítica ou de médio K; c. cálcio-alcálica monzonítica ou de alto K). As legendas "tipo I" e "tipo S" identificam os campos de granitóides das linhagens I e S (segundo Bowden *et al.* 1984)

Figure 4 - QAP modal diagram (Streckeisen 1976) for granitoid rocks; a, b, c, are Lameyre & Bowden's (1978) calc-alkaline trends (a. calc-alkaline tonalitic-trondhjemitic or low K; b. calc-alkaline granodioritic or middle K; c. calc-alkaline monzonitic or high K). "I" and "S" identify granitoids fields of I and S lineage

Tonalitos São granitóides de coloração cinza, equigranulares, de granulação fina a média, geralmente foliados, com alinhamento dos minerais máficos (Tab. 1) e textura hipidiomórfica a xenomórfica. Apresentam, com frequência, enclaves de rochas do embasamento (gnaisses e anfibolitos do Complexo Xingu) e são cortados, muitas vezes, por granitóides róseos (granitos 3b). Os cristais de plagioclásio (andesina e subordinadamente oligoclásio) são frequentemente zonados; quando alterados, mostram nas porções centrais pequenos grãos de epidoto, sericita e carbonato. No entanto, suas bordas, frequentemente mais

Tabela 1 – Características petrográficas e análise modal das rochas tonalíticas

Table 1 – Petrographic characteristics and modal analyses of tonalitic rocks

Amostras	Cor, estrutura e granulação	Min. essenciais			Min. varietais		Min. acessórios e de alteração (Geralmente traços; % entre parênteses)
		Pl	FK ¹	Qtzo.	Bio.	Horn.	
63.1B	Cin., ori., equig. fin. a méd.	59,2	0,9	27,7	12,2	tr	Opa, Tit, Apa, Mos ² , Epi ² , Car ²
71	Cin., ori., equig. méd. a gros.	56,3	tr	16,3	20,4	6,7	Opa(0,3), Tit, All, Apa, Mos ² , Epi ² , Car ²
75.2	Cin., ori., equig. méd. a gros.	62,7	tr	16,7	11,6	6,8	Opa(2,3), Tit, All, Apa, Preh ² , Epi ² , Car ²
89.1	Cin., ori., equig. fin. a méd.	59,4	0,5	22,7	13,5	3,6	Opa(0,3), Tit, Mos ² , Epi ² , Apa
124.4	Cin., mac., equig. méd.	43,2	3,4	33,2	12,8	5,2	Opa(1,9), Tit(0,2), Apa, Epi ² , Car ²
124.6	Cin., mac., equig. méd.	58,5	1,9	28,9	10,4	–	Opa(0,3), Zir, Tit, All, Apa, Mos ² , Epi ²
124.7	Cin., mac., equig. méd.	47,2	1,3	38,4	12,7	–	Opa, Tit(0,2), All, Apa, Epi ² (0,3), Apa
136.2	Cin., ori., equig. fin. a méd.	57,7	1,2	29,8	10,2	–	Opa(1,1), Tit, Apa, Mos ² , Epi ² , Car ²
138	Cin., ori., equig. fin. a méd.	53,1	4,5	31,3	9,4	–	Opa(0,3), Tit, All, Apa, Preh ² (0,5), Epi ² (0,8)

1. Inclui albita pertítica; 2. minerais de alteração.

Pl, plagioclásio; FK, feldspato potássico; Qtzo, quartzo; Bio, biotita; Horn, hornblenda; Opa, opacos; Zir, zircão; Tit, titanita; All, allanita; Apa, apatita; Mos, moscovita; Preh, prehnita; Epi, epídoto; Car, carbonato

Cin., cinza; ori., orientado; equig., equigranular; fin., fina; méd., média; gros., grossa; mac., maciço.

albiticas, estão sempre límpidas; mirmequita ocorre nos contatos do plagioclásio com o microclínio. Algumas amostras (principalmente as com texturas xenomórficas) mostram grãos não zonados com geminação muito fina, gerada por recristalização e deformação. As inclusões mais comuns, nos plagioclásios, são de minerais opacos, apatita e biotita, além de “gotas” de quartzo. O *microclínio* é raro e apresenta-se em cristais anédricos intersticiais, geralmente inalterados, com geminação em grade, localmente pertíticos. A *biotita* mostra pleocroísmo castanho, em finas lamelas em parte cloritizadas, com inclusões de opacos, allanita, zircão, apatita, epídoto, sericita e prehnita. A *prehnita*, com estrutura *bow tie*, ocorre nas clivagens da biotita. A *hornblenda*, com pleocroísmo castanho, é mais rara e aparece em quantidades subordinadas mostrando cristais em geral subédricos. Em alguns casos é poiquilítica, englobando pequenos cristais de plagioclásio. Os *minerais opacos* são anédricos, geralmente com bordas de titanita anédrica e ocorrem com mais frequência associados a biotita e hornblenda. *Apatita*, *zircão* e *allanita* são minerais idiomórficos; esta última ocorre sempre associada a biotita, na

qual desenvolve amplos halos pleocróicos. *Sericita*, *carbonatos*, *epídoto* e *clorita* são produtos de alteração dos plagioclásios e biotita.

Granodioritos São granitóides de *coloração cinza, rósea-acinzentada e rósea*, equigranulares ou porfíricos de granulação muito variada, e mais frequentemente orientados do que maciços (Tab. 2). Ocorrem com mais frequência associados aos tonalitos. A *textura* dos granodioritos é hipidiomórfica, com cristais subédricos de plagioclásio e microclínio, além de quartzo intersticial e biotita em pequenas lamelas. Algumas amostras apresentam textura xenomórfica. O *plagioclásio*, essencialmente oligoclásio, é o principal constituinte dessas rochas. Seus cristais, fracamente zonados, mostram-se subédricos e tabulares, sendo algumas vezes anédricos e poligonais nas texturas xenomórficas. Geminações do tipo Carlsbad e albita são comuns. Estão alterados a sericita, epídoto e carbonato nas porções centrais, embora o contorno dos cristais esteja sempre límpido. Mirmequitas são mais abundantes nessas rochas devido a

Tabela 2 – Características petrográficas e análise modal das rochas granodioríticas

Table 2 – Petrographic characteristics and modal analyses of granodioritic rocks

Amostras	Cor, estrutura e granulação	Min. essenciais			Min. varietais		Min. acessórios e de alteração (Geralmente traços; % entre parênteses)
		Pl	FK ¹	Qtzo.	Bio.	Horn.	
02	Cin., ori., equig. fin. a méd.	51,8	15,4	25,0	7,8	–	Opa, Zir, All, Tit, Apa, Mos ² , Preh ² , Epi ²
16.1	Cin., ori., equig. fin. a méd.	45,0	14,7	29,4	10,6	–	Opa(0,8), Tit, Apa, All, Epi ²
24	Rós.-acin., mac., equig., fin. a méd.	46,9	14,9	32,6	5,5	–	Opa(0,1), Zir, Tit, Apa, All, Mos ² , Epi ²
57	Cin., mac., equig., fin. a méd.	43,2	6,3	38,9	10,3	–	Opa(1,2), Tit, Apa, All, Mos ² (0,1), Epi ²
58	Cin., mac., equig. fin. a méd.	44,0	7,1	39,6	8,2	–	Opa(0,8), Tit, Apa, All, Mos ² (0,2), Epi ² , Car ²
64	Cin., ori., equig. fin. a méd.	45,0	15,9	29,6	8,9	–	Opa(0,8), Zir, Apa, All, Mos ² , Preh ² , Epi ²
70	Cin., ori., equig. fin. a méd.	42,4	13,9	31,6	11,2	–	Opa(0,9), Zir, Tit, Apa, All, Epi ²
87	Cin., ori., equig. fin. a méd.	44,5	18,6	29,9	6,6	–	Opa(0,4), Apa, Mos ² , Preh ² , All, Epi ²
101	Rós.-acin., mac., equig. méd.	49,4	7,0	32,2	11,4	–	Opa, Zir, Tit, Apa, Mos ² , Epi ²
117.2	Rós.-acin., ori., porf.	41,5	15,7	24,6	12,4	5,4	Opa(0,5), Zir, Tit, Apa, All, Mos ² , Epi ²
122	Cin., mac., equig. fin. a méd.	42,3	21,3	31,8	4,1	–	Opa(0,1), Zir, Tit(0,1), Apa, All, Mos ² (0,3), Epi ²
124.2	Cin., mac., equig. fin. a méd.	44,7	17,9	29,6	6,2	–	Opa(0,2), Apa, All, Mos ² (1,4), Epi ²
127	Cin., ori., equig. fin. a méd.	48,8	11,4	31,2	8,1	–	Opa(0,2), Tit, Apa, All, Mos ² , Epi ² (0,6)
128.1	Rós., mac., equig., fin. a méd.	47,1	14,3	34,9	3,5	–	Opa(0,2), Apa, Mos ² , Epi ²
129	Cin., ori., equig. fin. a méd.	40,0	19,1	35,2	5,1	–	Opa(0,4), Tit, Apa, All, Mos ² , Epi ² (0,1)
140	Cin., ori., equig. fin. a méd.	50,7	6,7	32,0	10,0	–	Opa(0,1), Tit(0,1), Apa, All, Preh ² , Mos ² , Epi ² (0,4)
143.1	Cin., mac., equig., fin. a méd.	47,7	9,8	33,5	8,1	–	Opa(0,3), Tit, Apa, All, Mos ² , Epi ² (0,5)
165	Cin., ori., equig., fin. a méd.	41,1	20,3	34,7	2,4	–	Opa(0,5), Apa, All, Mos ² (0,9)

1. Inclui albita pertítica; 2. minerais de alteração.

Pl, plagioclásio; FK, feldspato potássico; Qtzo, quartzo; Bio, biotita; Horn, hornblenda; Opa, opacos; Zir, zircão; Tit, titanita; All, allanita; Apa, apatita; Mos, moscovita; Preh, prehnita; Epi, epídoto; Car, carbonato

Cin., cinza; Rós.-acin., róseo-acinzentado; mac., maciço; ori., orientado; equig., equigranular; fin., fina; méd., média; porf., porfíroide

maior porcentagem de microclínio. Os plagioclásios mostram raras inclusões, destacando-se quartzo globular, apatita, biotita, titanita anédrica e muito raramente alguns opacos. O *microclínio* é pertítico e quase sempre geminado, apresentando-se normalmente subédrico. O *quartzo*, em cristais anédricos intersticiais com extinção ondulada, está localmente poligonizado e mostra junções triplíces com *microclínio* e plagioclásio. A *biotita*, em parte cloritizada, é o mineral máfico mais comum nos granodioritos. Tem pleocroísmo castanho e mostra inclusões de opacos, allanita, *prehnita*, zircão, apatita, *epídoto* e *sericita*. A *hornblenda*, rara, mostra cristais subédricos límpidos, com pleocroísmo castanho; geralmente está associada com a *biotita*. Suas inclusões mais freqüentes são de minerais opacos, apatita, titanita, *epídoto*, zircão e quartzo globular. O *zircão* e a *allanita* mostram cristais idiomórficos zonados, desenvolvendo, de maneira geral, halos pleocróicos nas biotitas. *Sericita*, *carbonatos*, *epídoto* e *clorita* são minerais secundários, ocorrendo como produtos de alteração de plagioclásios e biotitas. *Prehnita*, muito rara, está presente nas clivagens da biotita mostrando estrutura *bow tie*.

Granitos (3a e 3b) São granitóides de coloração predominante rósea, embora possam ocorrer alguns exemplares de coloração cinza e rósea-acinzentada. São equigranulares, com granulação fina a média, e geralmente maciços (Tab. 3). Invadem com regularidade os gnaisses do embasamento, além de cortarem tonalitos e granodioritos (Fig. 3). A *textura* mais freqüente é a hipidiomórfica, na qual cristais subédricos de *microclínio* e plagioclásio estão associados ao quartzo, que é anédrico intersticial. Algumas rochas mostram ainda texturas xenomórficas e cataclásticas. Nesses casos, são observadas junções triplíces nos contatos entre os minerais, além de plagioclásios com lamelas de geminação deformadas e quartzo em pequenos mosaicos. O *microclínio* é o principal constituinte dessas rochas, prevalecendo em geral sobre o plagioclásio. Apresenta-se em cristais subédricos a anédricos, com geminação em grade e algumas vezes Carlsbad. Pertítico, mostra em alguns casos contornos poligonais e junções triplíces com o plagioclásio e o quartzo. Raramente alterado, o *microclínio* apresenta inclusões de quartzo globular, opacos, apatita e biotita. O *plagioclásio* (oligoclásio) é subédrico, exceto nas rochas com texturas xenomórficas e cataclásticas, onde é anédrico, poligonal e engrenado com quartzo e *microclínio*. Os cristais de plagioclásio são zonados e geminados segundo leis de albita e Carlsbad, e mostram alteração para *sericita*, *epídoto* e *carbonatos* nas porções centrais, embora tenham as bordas sempre límpidas, ressaltadas por abundantes *mirmequitas*. Inclusões de quartzo globular, apatita, titanita, opacos e biotita são comuns. O *quartzo* é anédrico intersticial com extinção ondulada; em alguns casos mostra contornos poligonais e junções triplíces. Quando incluso em plagioclásio e *microclínio*, tem formas globulares; nos granitos 3a, é freqüente encontrar intercrescimento granofítico intersticial. A *biotita* é o principal mineral máfico e tem pleocroísmo castanho. Ela está homogeneamente distribuída; nos exemplares foliados, o mineral aparece orientado. Em parte cloritizada, a biotita mostra inclusões de apatita, zircão, titanita, opacos e allanita e altera-se para *epídoto* e *sericita*. Os *minerais opacos* apresentam contornos irregulares, ocorrendo de preferência junto a biotita. São em geral anédricos, raramente aparecendo algum cristal idiomórfico. Ocorrem também como inclusões em outros minerais. *Apatita*, *zircão*, *titanita* e *allanita* são acessórios comuns, ao passo que *fluorita*, *granada* e *moscovita* ocorrem associadas em determinados tipos petrográficos, que são, entretanto, muito raros na região. Nesses casos, a *fluorita* apresenta-se de forma intersticial e a *granada*, em pequenos cristais idiomórficos, pontilhados por minerais opacos. Particularmente, em alguns casos, a *moscovita* é mineral

aparentemente primário ocorrendo com lamelas bem desenvolvidas, extinção ondulada e com inclusões de minerais opacos. *Apatita* mostra diminutos cristais de contorno idiomórfico, sempre com inclusões nos outros minerais. *Sericita*, *carbonatos*, *epídoto*, *prehnita* e *clorita* são minerais secundários, ocorrendo, em geral, como produtos de alteração. A *prehnita*, rara, desenvolve estrutura *bow tie* nas faces de clivagem da biotita.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS Domínios Petrográficos Muito embora tenha sido possível separar petrograficamente vários tipos de granitóides pelos critérios faciológicos (Carneiro 1985), grande parte de suas relações geológicas gerais (e.g. contatos geológicos, forma e dimensão dos corpos, entre outras) não foi suficientemente determinada. Isso decorre, exclusivamente, das condições locais. Pois, tratando-se de área fortemente arrasada e intemperizada, constituída essencialmente por rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas, a carência de afloramentos contínuos impossibilitou a utilização de métodos geológicos tradicionais. Nesse sentido, em virtude das condições amostradas, optou-se por representar cartograficamente a distribuição areal dos principais tipos rochosos em um *Mapa de Domínios Petrográficos*. Mapas construídos em regiões similares às descritas são corriqueiramente apresentados na literatura, mas carregam, entretanto, forte dose de interpretação e/ou extrapolação. Assim, é preferível identificar esses mapas com uma denominação especial, focalizando com isso os problemas interpretativos a enfrentar.

O mapa de domínios petrográficos aqui apresentado pretende transmitir, exclusivamente, as observações relativas à distribuição das rochas. Os limites entre os domínios são definidos, somente, de maneira muito aproximada. Dessa forma, as relações geométricas mútuas entre os limites dos domínios petrográficos não podem ser utilizadas para deduzir idades relativas ou padrões estruturais. Por esse motivo, as interpretações estratigráficas e estruturais deverão, necessariamente, estar suficientemente embasadas por observações locais. Destas últimas podem ser extrapoladas, com o devido cuidado, relações mais gerais (e.g. figura 3, que registra, em escala de afloramento, parte da evolução geológica regional). Interpretações baseadas no padrão textural e/ou deformativo, ou na possível história evolutiva de determinados terrenos, podem enriquecer a interpretação final. Seria o caso, por exemplo, de ortognaisses ou granitóides pré-tectônicos, necessariamente anteriores a granitóides maciços ou, então, de rochas tipicamente supracrustais (e.g. rochas cálcio-silicáticas pouco deformadas e metamorfisadas), que são posteriores a gnaisses deformados.

No mapa de domínios petrográficos (Fig. 2), elaborado para a região de São José dos Quatro Marcos, estão representadas as principais unidades litológicas, destacando-se as áreas de ocorrência dos granitóides orientados e dos maciços.

Distribuição e colocação dos granitóides Encontram-se, principalmente, como *granitóides orientados* as rochas tonalíticas e, subordinadamente, as granodioríticas. Esses granitóides apresentam foliação definida pelo alinhamento dos minerais máficos, principalmente de biotita e mais raramente da *hornblenda*. Em virtude de suas características minerais (e.g. abundância de plagioclásio cinza), essas rochas são com mais freqüência acinzentadas. São *granitóides maciços* os granitos 3a e 3b e alguns dos granodioritos e tonalitos. Em geral, como são rochas ricas em *microclínio* róseo, os granitóides maciços mostram colorações rosadas.

A distribuição em detalhe desses granitóides não obedece a um modelo de zonalidade (e.g. do tipo borda-centro). Os limites desenhados pelo conjunto de ocorrências de rochas granitóides (Fig. 2) também não correspondem ao padrão que

Tabela 3 – Características petrográficas e análise modal das rochas graníticas

Table 3 – Petrographic characteristics and modal analyses of granitic rocks

Amostras	Cor, estrutura e granulação	Min. essenciais			Min. varietais			Min. acessórios e de alteração (Geralmente traços; % entre parênteses)
		Pl	FK ¹	Qtzo.	Bio.	Horn.	Gra.	
03	Rós., ori., equig. fin. a méd.	24,2	38,9	34,3	2,0	–	–	Opa(0,2), Apa, Mos ² (0,3) Epi ³ , Car ³
05	Rós., mac., equig. fin.	9,4	51,3	32,8	6,0	–	tr	Opa(0,4), Apa, Mos ² (0,1) Epi ³
06	Rós., mac., ineq., fin. a méd.	29,4	30,2	34,2	5,2	tr	–	Opa(0,7), All, Apa, Mos ² (0,2) Epi ³ , Car ³
21	Rós.-acin. ori., ineq. méd.	35,0	25,4	29,6	9,3	–	–	Opa(0,7), Tit, All, Apa, Mos ² , Epi ³
23	Rós., mac, equig. fin. a méd.	36,9	23,5	37,1	2,4	–	–	Opa(0,1), Zir, Tit, All, Apa, Mos ² , Preh ³ , Epi ³ , Car ³
26	Rós.-acin. ori., equig. méd.	23,9	43,5	24,4	7,2	–	–	Opa(1,0), Zir, Tit, All, Apa, Epi ³
53.2	Rós.-acin. ori., ineq. méd. a gros.	30,0	18,6	36,3	12,0	2,5	–	Opa(0,5), Zir, Tit, All, Apa, Epi ³
54	Rós., mac., equig. méd.	27,8	36,2	34,0	1,8	–	–	Opa(0,2), All, Apa, Mos ² , Epi ³
55	Cin., mac., equig. méd.	32,8	32,4	30,5	4,1	–	–	Opa(0,2), Tit, All, Apa
60	Rós., mac., equig. méd.	37,3	24,6	33,3	4,5	–	–	Opa(0,3), All, Apa, Mos ² , Epi ³ , Car ³
61	Rós., mac., equig. méd.	29,1	39,1	30,2	1,2	–	–	Opa(0,2), Apa, Mos(0,2), Epi ³
62.3	Rós., mac., equig. méd.	28,2	41,4	29,7	0,8	–	–	Opa(0,2), All, Apa, Mos ² , Epi ³
66.1	Rós., mac., equig. fin. a méd.	29,3	33,8	33,1	3,4	–	–	Opa(0,4), All, Apa, Mos ² , Epi ³
68.1	Rós., ori., equig. méd.	22,0	26,9	47,9	2,2	–	–	Opa(1,0), Zir, Tit, All, Apa, Mos ² , Epi ³ , Car ³
69	Rós., mac., equig. méd.	30,7	33,6	38,8	1,5	–	–	Opa(0,5), Zir, Apa, Mos ² , Epi ³ , Car ³
79.1	Rós., mac., equig. méd.	33,7	28,9	34,9	1,7	–	–	Opa, Apa, Mos ² (0,8), Epi ³
79.2	Rós., mac., ineq. méd.	33,5	32,5	32,5	0,8	–	–	Opa(0,5), Tit, All, Apa, Mos ² (0,2), Epi ³
80.2	Rós., mac., equig. méd.	33,8	20,2	40,9	4,7	–	–	Opa(0,2), All, Apa, Mos ² (0,2), Epi ³
84	Rós., mac., equig. méd.	32,5	32,5	32,3	2,6	–	–	Opa, All, Apa, Mos ² , Epi ³
102.3	Rós., mac., equig. fin. a méd.	36,9	26,7	35,8	0,3	–	tr	Opa(0,2), Apa, Mos ² , Preh ³ , Epi ³
109	Rós., mac., equig. méd.	31,3	38,5	29,6	0,6	–	–	Opa, Zir, Apa, Mos ² , Epi ³
110	Cin., mac., equig. méd.	31,1	39,2	28,0	1,4	–	tr	Flu, Opa(0,4), Zir, Apa, Mos ²
113	Rós., mac., equig. méd.	28,9	36,2	32,9	1,3	–	–	Opa(0,7), All, Apa, Mos ² , Epi ³
114	Rós.-acin. ori., equig. méd.	29,8	36,6	27,2	5,4	–	–	Opa(0,8), Zir, Tit, All, Apa, Mos ² (0,2), Epi ³ , Car ³
117.1	Rós., mac., equig. méd.	29,2	35,5	34,1	1,2	–	–	Opa, Apa, Mos ² , Epi ³ , Car ³
118	Rós., mac., equig. fin. a méd.	37,9	28,3	30,3	3,0	–	–	Opa(0,5), Zir, All, Apa, Mos ² , Epi ³
124.3	Cin., mac., equig. méd.	38,6	23,6	32,5	4,1	–	–	Opa(0,2), All, Apa, Mos ² (0,9), Epi ³
125.1	Rós., ori., equig. méd. a gros.	28,4	39,4	30,1	1,2	–	–	Opa(0,6), Zir, All, Apa, Mos ² (0,8), Epi ³
136.1	Rós.-acin. ori., equig. méd.	38,8	29,0	24,9	6,0	–	–	Opa(0,6), Zir, Tit(0,6), All, Apa, Mos ² , Epi ³ (0,2)
152	Cin., mac., equig. méd.	26,6	34,1	33,9	–	–	0,4	Flu, Opa(0,2), Apa, Mos ² (4,3)
156	Rós., mac., equig. méd.	22,9	39,0	36,6	0,8	–	–	Opa(0,6), All, Apa, Mos ² (0,1), Epi ³ , Car ³
158	Rós., ori., equig. gros.	21,2	40,0	37,3	1,2	–	–	Opa(0,2), Zir, All, Apa, Mos ² (0,1), Epi ³
161	Cin., mac., equig. fin. a méd.	29,6	32,6	36,3	1,3	–	–	Opa(0,1), Apa

1. Inclui albita perfitica; 2. inclui moscovita primária; 3. minerais de alteração.

Pl, plagioclásio; FK, feldspato potássico; Qtzo, quartzo; Bio, biotita; Horn, hornblenda; Gra., granada; Flu., fluorita; Opa, opacos; Zir, zircão; Tit, titanita; All, allanita; Apa, apatita; Mos, moscovita; Preh, prehnita; Epi, epidoto; Car, carbonato
Rós., róseo; Rós.-acin., róseo-acinzentado; ori., orientado; equig., equigranular; fin., fina; méd., média; gros., grossa; mac., maciço; ineq., inequigranulares.

é geralmente retratado nas folhas levantadas na área, em mapeamentos anteriores, que sugerem formas alongadas e elípticas com aspecto de "maciços circunscritos" (Figueiredo *et al.* 1974). Adicionalmente, os corpos são heterogêneos em escala mapeável; mesmo em escala de afloramento, como já indicado, encontram-se variações na constituição petrográfica.

A sequência de eventos, entretanto, pode ser claramente caracterizada em função das observações pontuais de campo. Na região de São José dos Quatro Marcos, são fases tardias todos os granitos 3a e 3b, que geralmente são vistos cortando tonalitos e granodioritos. As relações genéticas entre tonalitos, granodioritos e granitos *s.s.* são menos claras. A maioria dos tonalitos (e, em menor escala, também os granodioritos) são foliados e mostram em geral deformação textural por vezes bastante avançada, sem perder, entretanto, por completo as feições herdadas de uma fase de cristalização magmática (e.g. plagioclásios dispostos em glomérulos, ainda zonados e com núcleos hipidiomórficos, com geminações em lamelas grossas); as exceções são algumas amostras com texturas xenomórficas de recristalização, com quartzo irregular xenomórfico e plagioclásio finamente maclado e pouca ou nenhuma zonalidade. São rochas mineralogicamente heterogêneas: algumas são biotita tonalitos, enquanto em outras aparece também hornblenda (Tabs. 1 e 2). Os granitos *s.s.*, quase sempre maciços, têm texturas magmáticas claramente preservadas. Provavelmente

o conjunto de granitóides constitui manifestação co-genética, a julgar pela proximidade geográfica e suas relações estruturais muito íntimas. As tendências petrográficas reforçam essa conclusão tentativa, como se indicou anteriormente (Fig. 4).

Quanto à sua colocação, esses granitóides são, provavelmente, sin- ou tardiectônicos à evolução do embasamento regional, constituído por gnaisses cinzentos (tonalíticos), anfibolitos e rochas cálcio-silicáticas (Carneiro, 1985, Carneiro & Ulbrich em prep.). O padrão de afloramentos indica pequenos corpos, petrograficamente variados, inter-relacionados de forma complexa, interdigitados tanto entre si como até com as rochas encaixantes.

O modelo de colocação a ser proposto deve adaptar-se a essas observações e impõe um esquema de invasão sequenciada de (pequenas?) massas magmáticas, que são deformadas e em parte recristalizadas durante sua cristalização e também durante a fase de resfriamento regional. Em sequência, são colocadas primeiramente as rochas menos evoluídas, com as fases finais se instalando sob um regime cada vez mais "passivo" e eventualmente até distensivo (e.g. os diques pós-tumos de granitóides mais diferenciados). O esquema proposto corresponde ao de uma invasão sin- a tardiectônica, com concomitante deformação e recristalização (pelo menos parcial; ver, por exemplo, revisões sobre texturas e estruturas de granitóides em Pitcher 1987, Castro 1987 e bibliografia citada).

Geocronologia Como já se descreveu nos itens anteriores, os granitóides de São José dos Quatro Marcos invadem os gnaisses e anfibolitos atribuídos ao Complexo Xingu e mostram enclaves variados dessas rochas. Na série dos granitóides, os granitos s.s. são intrusivos nos tonalitos e granodioritos e não mostram em geral sinais de recristalização; apresentam texturas magmáticas primárias e a alteração intempérica e hidrotermal/deutérica é ausente ou, quando muito, incipiente. Essas rochas tardias da série granitóide (principalmente os granitos 3b, que se encontram em quantidade maior) são, portanto, as que melhor registrariam, pelo método Rb/Sr, um evento magmático (de colocação e/ou de cristalização; para discussão, ver Faure & Powell 1972, Faure 1977, Cordani 1980, Vlach & Cordani 1986).

Os resultados para seis amostras de granitos 3b são mostrados na figura 5 (ver também tabela 4). A isócrona obtida é de referência, indicando uma idade de 1.472 ± 19 Ma, com razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} de $0,7037 \pm 0,0004$. O resultado é de importância regional, assinalando a existência de um evento granítico por volta de 1.500 Ma na parte meridional do Cráton Amazônico.

Figura 5 – Diagrama isocrônico Rb/Sr para seis granitos 3b de São José dos Quatro Marcos. Números de ordem na tabela 4
Figure 5 – Rb/Sr isochron for 3b granites of São José dos Quatro Marcos (six points). Identification numbers in table 4

Foram analisadas adicionalmente duas amostras de tonalitos e uma de granodiorito (Tab. 4). Com o conjunto total

Figura 6 – Diagrama isocrônico Rb/Sr para os granitóides de São José dos Quatro Marcos. Números de ordem na tabela 4
Figure 6 – Rb/Sr isochron for granitoids of São José dos Quatro Marcos (nine points). Identification numbers in table 4

de nove pontos (Fig. 6) é possível obter uma isócrona de referência, também de boa qualidade, com idade isocrônica de 1.505 ± 20 Ma e, portanto, muito próxima da idade que caracteriza a isócrona dos granitos 3b. A nova razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} é de $0,7029 \pm 0,0003$, estatisticamente quase idêntica à anterior. As texturas dos tonalitos e de muitos granodioritos são orientadas sem mostrar, contudo, recristalização total. Trata-se, na maioria das vezes, de texturas primárias, eventualmente retrabalhadas por alguma deformação (singenética?) secundária. Em termos de tendência modal, essas rochas inserem-se na linhagem desenhada pelos granitos s.s., maciços e mais evoluídos (Fig. 4). Os dados isotópicos, ora apresentados, vêm confirmar essas características, pois os pontos obtidos (Fig. 6) estão alinhados com os correspondentes aos dos granitos 3b. A título de complementação, cabe referir que as três amostras citadas (tonalitos e granodiorito) desenharam uma isócrona independente, porém de baixa qualidade, com idade de 1.734 ± 226 Ma e razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} de $0,7019 \pm 0,0008$ (Carneiro 1985). Os dados não são evidentemente definidores, preferindo-se, aqui, incorporar esses três pontos à isócrona obtida com os granitos s.s. (Fig. 6) pelas razões acima indicadas.

As idades referidas previamente para o sudoeste de Mato Grosso são menos conclusivas. São citadas idades Rb/Sr convencionais (portanto, de significado restrito) da ordem de

Tabela 4 – Dados analíticos Rb/Sr dos granitóides de São José dos Quatro Marcos
Table 4 – Rb/Sr isotopic data from São José dos Quatro Marcos granitoids

Nº de ordem*	Amostra	Coordenadas geográficas	Número de laboratório	Classificação Petrográfica	Rb (ppm)**	Sr (ppm)**	Rb ⁸⁷ /Rb ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ ***
1	23	58°9'17"W e 15°30'51"S	6563	Granito 3b	124,29	123,3	$2,948 \pm 0,083$	$0,76442 \pm 0,00066$
2	06	58°10'16"W e 15°33'38"S	6564	Granito 3b	94,6	412,6	$0,664 \pm 0,019$	$0,71764 \pm 0,00035$
3	66.1	58°9'55"W e 15°34'5"S	6565	Granito 3b	118,2	107,4	$3,206 \pm 0,090$	$0,77266 \pm 0,00104$
4	87	58°10'30"W e 15°35'53"S	6566	Granodiorito	104,8	347,4	$0,874 \pm 0,025$	$0,72335 \pm 0,00243$
5	89.1	58°11'42"W e 15°35'7"S	6567	Tonalito	42,7	564,0	$0,219 \pm 0,005$	$0,70760 \pm 0,00050$
6	63.1b	58°3'51"W e 15°36'33"S	6568	Tonalito	45,9	722,2	$0,184 \pm 0,004$	$0,70596 \pm 0,00073$
7	79.1	58°10'40"W e 15°31'56"S	7274	Granito 3b	142,0	191,4	$2,156 \pm 0,061$	$0,74911 \pm 0,00014$
8	60	58°8'31"W e 15°34'40"S	7275	Granito 3b	131,5	243,2	$1,569 \pm 0,044$	$0,73685 \pm 0,00012$
9	84	58°11'38"W e 15°31'7"S	7276	Granito 3b	133,9	260,2	$1,493 \pm 0,042$	$0,73550 \pm 0,00009$

* Números de ordem representados nas figuras 2, 5 e 6.

** Análises por fluorescência de raios X.

*** Razões normalizadas para $(Sr^{86}/Sr^{88}) = 0,1194$ e determinadas com espectômetro Varian Mat Modelo TH-5, conforme descreveram Kawashita et al. (1986).

Constantes: $\lambda_{Rb} = 1,42 \times 10^{-11}$ anos⁻¹

1.450 Ma (Hasui & Almeida 1970) e de 900 ± 27 Ma e 835 ± 32 Ma (Barros *et al.* 1982) para as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Guapé. Idades K/Ar para duas amostras (granito e pegmatito) são de 698 ± 21 Ma e 875 ± 43 Ma (ver referências em Barros *et al. op.cit.*). Uma isócrona de referência obtida para granitos *s.l.* da região de Jauru (considerada como Província Rondoniana por Cordani *et al.* 1979) mostra idade de 1.400 Ma (Teixeira & Tassinari 1984).

Idades visivelmente semelhantes as aqui indicadas são citadas para áreas vizinhas, mas representam caracteristicamente idades de reativação tectono-magmática. Com efeito, essas idades foram obtidas por meio de isócronas constituídas total ou parcialmente por análises em rochas metamórficas. Assim, uma isócrona Rb/Sr de referência de 1.350 Ma é obtida, para a região de São Ignácio-Tunas, na Bolívia, em rochas metamórficas (paragnaisses). Uma isócrona Rb/Sr construída com gnaisses vários e alguns granitos da região de Ariques-Vila Rondônia, localizada na Província Rio Negro-Juruena, a noroeste de São José dos Quatro Marcos, apresentam também uma idade de 1.450 Ma (ver discussão em Teixeira & Tassinari 1984).

Origem dos granitóides Apenas a título especulativo, são três as possibilidades genéticas que podem ser consideradas para explicar a gênese das rochas granitóides (*e.g.* Pitcher 1987 e bibliografia listada): a. Origem mantélica de magmas parentais pouco diferenciados (basálticos), dos quais derivariam os magmas granitóides por diferenciação magmática. b. Fusão (total ou parcial), eventualmente sequenciada, de rochas crustais quartzo-feldspáticas. c. Reformulação da hipótese anterior mediante a previsão de fenômeno mais complexo, envolvendo magmas basálticos primitivos que atingiriam níveis subcrustais, ou até se encaixando na crosta inferior; nesses locais, os magmas se colocariam como vastas massas laminares (por mecanismo de *basaltic magma underplating*, Furlong & Fountain 1986) e resfriariam, deslanchando conseqüente fenômeno de fusão crustal em rochas encaixantes suprajacentes que teriam, presumivelmente, constituição quartzo-feldspática. Derivar-se-iam dessa maneira magmas granitóides *s.l.* "secundários", só indiretamente ligados ao fenômeno inicial de invasão basáltica. Seria esta, principalmente, a fonte térmica necessária para o início da fusão de rochas crustais preexistentes. A complexidade desses mecanismos pode ser registrada de maneira indireta, pela presença de enclaves-testemunhas das invasões basálticas originais, como hoje interpreta a literatura. Com efeito, os vastos reservatórios de material basáltico, contidos em profundidades maiores, poderiam ser em parte injetados em áreas mais superficiais, atingindo então os horizontes invadidos pelas massas granitóides. Essa é a provável origem de muitos diques basálticos, contidos em granitóides, e que por reacomodações da rocha encaixante, ainda plástica, podem ser convertidos em diques disruptos e, eventualmente, em enxames alinhados de enclaves máficos. Esta "mistura" eminentemente local de granitóides encaixantes com enclaves máficos vários é chamada na literatura de *commingling* (Wiebe 1979) e apresentada, com marcado exagero, como exemplo do fenômeno de "mistura" de magmas. É evidente que o processo, se levado às últimas conseqüências, pode chegar a gerar misturas líquidas verdadeiras ou hibridizações, como já várias vezes documenta a literatura para lavas (*e.g.* Bacon & Metz 1984) e infere para magmas de colocação profunda (*e.g.* Wiebe 1984).

Algumas características tidas como marcantes na literatura sobre o tema e amplamente difundidas (Pitcher 1979, 1982, 1987) permitem esboçar, ainda que a título especulativo, algumas respostas para os granitóides de São José dos Quatro Marcos. As feições petrográficas e estruturais sugerem relações genéticas entre os tipos granitóides encontrados; o

argumento é reforçado pela co-linearidade das várias determinações isotópicas (Figs. 5 e 6). As razões iniciais Sr^{87}/Sr^{86} são da ordem de 0,7029 a 0,7037 e indicam, por sua vez, uma origem a partir de materiais "muito primitivos", que seriam derivados do manto superior, ou então da fusão de materiais mantélicos de pouca residência crustal. A petrografia e a mineralogia (presença de tonalitos; allanita, titanita e magnetita como minerais acessórios comuns, etc.) bem como o contexto geológico (localização em crosta continental, em borda de cráton) e a tendência modal (Fig. 4) mostram feições compatíveis com linhagens granitóides do tipo I *sensu latu* (*e.g.* Chappell & White 1974, Pitcher 1979, 1987). Entretanto, algumas rochas encontradas na região não parecem adaptar-se a essa linhagem. Assim, muitos tonalitos têm biotita como mineral máfico principal ou único, enquanto em alguns granitos *s.s.* são encontrados pequenos teores de granada, com possível participação de moscovita primária. Essas características (*e.g.* coexistência de tonalitos com biotita, de "alto potássio", com hornblenda-biotita tonalitos; presença de granitóides com minerais peraluminosos, supostamente derivados por fusão direta de crosta parametamórfica etc.) seriam indicativas de tendências petrogenéticas diversas. Nada impede, entretanto, que processos granitogênicos complexos, aliados a peculiaridades geoquímicas locais (o fator herança), possam induzir à presença de supostas anomalias num conjunto aparentemente homogêneo de granitos I, explicando, por exemplo, a presença predominante de biotita tonalitos por diferenciação e/ou fusão parcial em crosta continental, já enriquecida em K, e a presença de minerais peraluminosos em rochas mais evoluídas por pura cristalização fracionada, controlada por separação em magmas tonalíticos e afins de hornblenda e/ou piroxênio. Esta hipótese é antiga (*e.g.* Bowen 1928) e pode ser confirmada, pelo menos de maneira qualitativa, pela utilização de modelos simples de fracionamento a partir de diagramas de subtração como mostram Cox *et al.* (1979): a subtração de minerais máficos pobres em alumina, retirados de magmas intermediários, levaria os magmas residuais para composições peraluminosas.

A presença de enclaves (Didier 1973) de anfibolito merece destaque. A maioria dos anfibolitos presentes na região é rocha ortoderivada. Como enclaves, são encontrados principalmente em tonalitos e granodioritos, com formas angulosas e arredondadas alongadas; ocorrem ora isoladamente, ora como fragmentos agrupados com estrutura agmatítica ou como conjuntos alongados que lembram diques sin-plutônicos disruptos (Carneiro 1985). Em todos esses casos, as rochas granitóides encaixantes são foliadas a maciças (mas não gnaisses!) enquanto os enclaves são de anfibolitos foliados e até bandados: esta combinação de estruturas, bem como seu caráter dúctil, sugere como explicação mais aceitável um metamorfismo prévio dos anfibolitos, anterior à inclusão na rocha granitóide. Esses enclaves anfibolíticos são provavelmente deslocados de uma área-fonte e pertenceriam a uma seqüência vulcano-sedimentar qualquer, semelhante as já referidas nas vizinhanças (*e.g.* Seqüência Vulcano-Sedimentar Quatro Menins, Saes *et al.* 1984). Outro é o caso retratado na figura 3, com o aparecimento de enclave duplo (anfibolito contido em granitóide, ambos litótipos por sua vez englobados por tonalito-granodiorito). Essa feição ilustra a existência de complexa história magmática para o local de observação (e, provavelmente, para a área em conjunto) que, entretanto, enquadra-se no esquema proposto, relacionando a origem de sucessivos magmas granitóides ao aparecimento de magmatismo básico como controlador de fusões e/ou diferenciações na base da crosta, conforme a terceira hipótese aventada.

CONCLUSÕES Os granitóides que afloram na região de São José dos Quatro Marcos, sudoeste de Mato Grosso, são uma suíte de rochas granitóides de composição tonalítica a

granítica (3a e 3b), de tendência cálcio-alcálica, e com características petrográficas semelhantes às do tipo I. As rochas granitóides da área sob estudo foram mapeadas como dois domínios petrográficos distintos: os granitóides orientados (mais antigos) e os maciços (mais jovens). Os orientados são constituídos essencialmente por rochas tonalíticas e granodioríticas foliadas, e os maciços por rochas graníticas maciças do tipo 3b. Os granitos 3b possuem uma idade isocrônica Rb/Sr da ordem de 1.472 Ma (isócrona de seis pontos); uma isócrona conjunta de nove pontos (que inclui três amostras de granitóides foliados) mostra idade de 1.505 Ma, indistinguível da anterior. As características texturais e estruturais sugerem invasão inicial de tonalitos sob condições sin- (a tardi-?) tectônicas, com culminação magmática dada pela intrusão de granitos s.s. tardios. Os resultados apresentados confirmam a existência de um evento magmático

e termal, ocorrido na borda meridional do Cráton Amazônico por volta de 1.500 Ma, que marca o provável encerramento de uma manifestação tectono-metamórfica de distribuição regional.

Agradecimentos Um dos autores (M.A.C.) agradece ao Departamento de Geologia do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, pelo apoio dispensado; ao Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo, pela obtenção dos dados geocronológicos; aos colegas H.J. Evangelista e N.S. Gomes, do Degeo/EM/UFOP, pelas discussões, e ao CNPq (Processo 400536-82), que forneceu auxílio para as tarefas de campo. Estende-se também o reconhecimento a um revisor anônimo pelas criteriosas sugestões apresentadas na versão preliminar do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLFELD, J. 1946. Geología de Bolivia. *Rev. del Museo de la Plata*, 19(03):5-370.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1964. *Geologia do Centro-Oeste Mato-Grossense*. Rio de Janeiro, DGM/DNPM. 133 p. (Bol. 215).
- BACON, C.R. & METZ, J. 1984. Magmatic inclusions in rhyolites, contaminated basalts, and compositional zonation beneath the Corso volcanic field, California. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 85:346-365.
- BARROS, A.M.; SILVA, R.H. da; CARDOSO O.R.F.A.; FREIRE, F.A.; SOUZA, J.R. da; RIVETTI, M.; LUZ, D.S.; PALMEIRA, R.C. de B.; TASSINARI, C.C.G. 1982. Geologia. In: Brasil MME, SG. Projeto Radambrasil. *Folha SD.21 Cuiabá*. Rio de Janeiro. p. 25-192. (Lev. Rec. Nat. 26).
- BLOOMFIELD, K. & LITHERLAND, M. 1979. *Summary of the geology and mineral potential of project area: Southern Zone*. Santa Cruz. Geobol/IGS-ODA. 53 p. (Eastern Bolivia Mineral Expl. Proj., Rep. 1).
- BOWDEN, D.; BATCHELOR, R.A.; CHAPPEL, B.W.; DIDIER, J.; LAMEYRE, J. 1984. Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Phys. Earth Planet. Int.*, 35:1-11.
- BOWEN, N.L. 1928. *The evolution of the igneous rocks*. New York. Dover. 251 p.
- CARNEIRO, M.A. 1985. *Contribuição à geologia da região de São José dos Quatro Marcos, MT*. São Paulo, 156 p. (Dissert. Mestr., Inst. Geoc. USP).
- CASTRO, A. 1987. On granitoid emplacement and related structures. A review. *Geol. Rundschau*, 76:101-124.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 8:173-174.
- CORDANI, U.G. 1980. Fundamentos de interpretação geocronológica. In: CONGR. BRAS. GEOL. 31, Baln. Camboriú, 1.980. *Cursos...* Baln. Camboriú, SBG. Bol. 6, p. 5-22.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONG. GEOL. CHIL., 2, Arica, 1979. *Acta...* Arica. v. 4. p. 137-148.
- COX, K.G.; BELL, J.D.; PANKHURST, R.J. 1979. *The interpretation of the igneous rocks*. London. George Allen & Unwin. 450 p.
- DARBYSHIRE, D.P.F. 1977. *Results of the age determination programme*. Santa Cruz. Geobol/IGS-ODA. 98 p. (Eastern Bolivia Mineral Expl. Proj., Rep. 9).
- DIDIER, J. 1973. *Granites and their enclaves*. Amsterdam, Elsevier, 393 p.
- FAURE, G. 1977. *Principles of isotopic geology*. New York, John Wiley & Sons. 464 p.
- FAURE, G. & POWELL, J.L. 1972. *Strontium isotopic geology*. Berlin. Springer-Verlag. 188 p.
- FIGUEIREDO, A.J. DE A.; BARROS, A.M.; EULÁLIO FILHO, A.; RODRIGUES, A.P.; BARRETO, B. DE F.; PIMENTEL, G. DE B.; COUTO, J.G.P.; REICHL, J.L.; COSTA, S.A.; REZENDE FILHO, S.T. DE; PASTORI Jr., W.P.; RIBEIRO FILHO, W.; BERBERT, C.D.; OLIVATTI, O.; ARAÚJO, A.G. DE; TRIGUIS, J.A.; MELLO, J.C.R. DE. 1974. *Projeto Alto Guaporé*. Goiânia, DNPM/CPRM. v. 2 e 11. (Rel. 2323).
- FURLONG, K.P. & FOUNTAIN D.M. 1986. Continental crustal underplating: thermal considerations and seismic-petrologic consequences. *J. Geophys. Res.*, 91:8285-8294.
- HASUI, Y. & ALMEIDA, F.F.M. DE. 1970. Geocronologia do Centro-Oeste Brasileiro. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 19:5-26.
- KAWASHITA, K.; SATO, K.; SONOKI, I. 1986. Análises isotópicas com espectrômetro de massa TH-5 "on line" com microcomputador da linha apple e HP-9825B. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE ESPECTROMETRIA DE MASSA, 1, Rio de Janeiro, 1986. *Res. Trab...* Rio de Janeiro, ABQ/CNPq - Renem. 2p.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. 1982. Plutonic rock type series; discrimination of various granitoid series and related rocks. *J. Volcan. Geoth. Res.*, 14:169-186.
- LASA, LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFÉTICOS S.A. 1968. *Levantamento fotogeológico e geoquímico. Região centro-oeste de Mato Grosso. Vale do Jauru e adjacências*. Rio de Janeiro. DFPM/DNPM. 36 p. (Rel. 153).
- PITCHER, W.S. 1979. The nature, ascent and emplacement of granite magma. *J. Geol. Soc. London*, 135:627-662.
- PITCHER, W.S. 1982. Granite type and tectonic environment. In: HSU, K. ed. *Mountain Building Processes*. New York, Acad. Press. p.19-40.
- PITCHER, W.S. 1987. Granites and yet more granites forty years on. *Geol. Rundschau*, 76:51-79.
- SAES, G.S.; LEITE, J.A.D.; WESKA, R.K. 1984. Geologia da Folha Jauru (SD-21-Y-C-III): Uma síntese dos conhecimentos. In: CONGR. BRAS. GEOL. 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 5, p. 2193-2204.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Rev.*, 12:1-33.
- TEIXEIRA, W. & TASSINARI, C.C.G. 1984. Caracterização geocronológica da Província Rondoniana e suas implicações geotectônicas. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2, Manaus, 1984. *Anais...* Manaus, SBG. p. 87-101.
- ULBRICH, H.H.G.J. 1984. *A petrografia, a estrutura e o quimismo de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. São Paulo, 725 p. 2 v. (Tese Livre-Doc., Inst. Geoc. USP).
- VLACH, S.R.F. 1985. *Geologia, petrografia e geocronologia das regiões meridional e oriental do Complexo de Morungaba, SP*. São Paulo, 253 p. (Dissert. Mestr., Inst. Geoc. USP).
- VLACH, S.F. & CORDANI, U.G. 1986. A sistemática Rb/Sr em rochas granitóides: considerações interpretativas, limitações e exemplos brasileiros. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(1):38-53.
- WIEBE, R.A. 1979. Commingling of contrasted magmas in the plutonic environment: examples from the Nain Anorthosite Complex. *J. Geol.*, 88:197-209.
- WIEBE, R.A. 1984. Commingling of magmas in the Bjerkrem-Sogndal lopolith (SW Norway): evidence for the composition of residual liquids. *Lithos*, 17:171-188.

MANUSCRITO 538

Recebido em 18 de maio de 1988

Revisão do autor em 02 de março de 1989

Revisão aceita em 02 de março de 1989