

GEOTERMOBAROMETRIA DE ROCHAS METAMÓRFICAS NA REGIÃO DE SÃO FIDÉLIS, RJ, SE BRASIL

T. Bento dos Santos¹, J. Munhá¹, C. Gaeta Tassinari², C. Dias Neto²

¹ Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
Edifício C6, Piso 2, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

² Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 562 – Butantã, São Paulo, SP, CEP: 05508-080, Brasil

RESUMO: A região de São Fidélis situa-se na zona central da Faixa Ribeira, SE do Brasil. Esta é uma faixa móvel formada aquando da Orogenia Brasileira-Panafricana (Neoproterozóico-Ordovícico) como resultado do fecho do paleo-oceano Adamastor e consequente colisão entre os crátons de São Francisco e Congo Ocidental. Na região afloram rochas metabásicas (ortogneisses e charnockitos) e metapelitos de alto grau metamórfico (fácies anfibolítica alta e granulítica com extensa migmatização), intercalados por rochas calco-silicatadas. Análises de química mineral e estudos geotermobarométricos permitiram estabelecer que as rochas presentes na região de São Fidélis sofreram uma trajectória metamórfica compatível com um percurso directo, no qual se verifica uma evolução de condições de pico metamórfico a $T = 750 - 800^{\circ}\text{C}$ e $P = 8 - 9$ kbar para temperaturas e pressões significativamente inferiores ($T = 600 - 700^{\circ}\text{C}$ e $P = 5 - 6.5$ kbar).

ABSTRACT: São Fidélis is located in the central Ribeira Belt, SE Brazil. This mobile belt, formed during the Brazilian-Panafrican Orogeny (Neoproterozoic-Ordovician), is the result of the paleo-ocean Adamastor closure and subsequent collision between São Francisco and West Congo cratons. The studied area is constituted by high-grade metabasic rocks (orthogneisses and charnockites) and migmatized metapelites (high amphibolite to granulite facies) interlayered with calcissilicate rocks. Mineral chemistry and geotermobarometric analysis allowed the following conclusions: the São Fidélis rocks had a metamorphic trajectory compatible with a clockwise P-T-t path that may be globally defined as having evolved from metamorphic peak conditions of $T = 750 - 800^{\circ}\text{C}$ and $P = 8 - 9$ kbar to $T = 700 - 600^{\circ}\text{C}$ and $P = 6.5 - 5$ kbar.

Introdução e Enquadramento Geológico

A região de São Fidélis situa-se no Norte Fluminense, estado do Rio de Janeiro, SE do Brasil. Do ponto de vista geotectónico, São Fidélis localiza-se na zona central da Faixa Ribeira. Esta estende-se por mais de 1400Km com orientação aproximada NE-SW ao longo da costa SE do Brasil. Formou-se aquando da aglutinação do megacontinente Sul, Gondwana, no final do Neoproterozóico-Ordovícico por acção da Orogenia Brasileira-Panafricana, cujo período de maior actividade se situa no intervalo 670-480Ma (Trouw et al., 2000), contemporâneo da colisão entre os Crátons de São Francisco (CSF) e Congo Ocidental.

Uma característica particular desta faixa móvel é a existência de várias zonas de cisalhamento sub-verticais profundas com movimentação dextral e que registam uma importante componente transpressional (Trouw et al., 2000). Uma das mais importantes zonas de cisalhamento, Paraíba do Sul, actuou fortemente as rochas da área em estudo.

A Faixa Ribeira é o resultado do empilhamento de várias *nappes* com vergência para o CSF. O Terreno Alóctone Oriental, no qual se situa a área de São Fidélis, esteve sujeita a metamorfismo de alto grau (fácies anfibolítica alta a granulítica). O metamorfismo originou várias associações de orto e paragneisses intercaladas por mármore, quartzitos e níveis calco-silicatados bem como rochas granitóides resultantes da extensa migmatização Brasileira (Heilbron & Machado, 2003). O modo como estas associações metamórficas estão presentes na área de São Fidélis será descrito de seguida.

Descrição Litológica e Petrográfica

As litologias que afloram na área de São Fidélis podem ser divididas em metapelitos (Unidades São Fidélis, Santo Eduardo e Catalunha; Batista, 1984) intercalados por rochas calco-silicatadas; e metabasitos intermédios a básicos (Unidades Bela Joana e Angelim; Batista, 1984), todos eles sujeitos a metamorfismo de alto grau.

Os metapelitos são essencialmente gnaisses migmatíticos recristalizados na fácies granulítica, evidenciando grande percentagem de fusão parcial. Nestes é visível uma clara separação entre o paleossoma que é tipicamente kinzigítico (s.l.) e o neossoma, frequentemente aplítico ou pegmatóide. Estas rochas apresentam uma paragénese de “pico” metamórfico que inclui: granada (porfiroblástica), biotite, plagioclase, quartzo, rútilo, opacos (magnetites e titano-magnetites), apatite (localmente abundante), sillimanite e feldspato potássico; as rochas meta-aluminosas contêm granada, plagioclase e biotite em conjunto com (rara) clinopiroxena e hornblenda. A presença de sillimanite, muito comum na proximidade dos bordos parcialmente reabsorvidos da granada, sugere retrogradação, de acordo com a reacção: Granada + Feldspato K + Líquido \Rightarrow Biotite + Sillimanite.

Localmente, os metapelitos apresentam intercalações métricas de rochas calco-silicatadas, mármore flogopíticos e forsteríticos com anfíbola, espinela, apatite e diópsido, também recristalizados em fácies anfibolítica a granulítica.

A Unidade Santo Eduardo, encontra-se localmente blastomilonitizada. A paragénese típica – granada, biotite, clinopiroxena, plagioclase, quartzo e microclina – está frequentemente retrogradada, surgindo abundante anfíbola; nas rochas mais aluminosas desenvolve-se sillimanite tardia.

As rochas metabásicas presentes na região de São Fidélis podem ser divididas em dois grupos: ortognaisses migmatizados com textura nebulítica (Unidade Angelim) e rochas essencialmente charnockíticas (Unidade Bela Joana). Os charnockitos incluem abundantes megacristais de plagioclase, ortopiroxena (hiperstena) e é comum a existência de porfiroblastos de granada. Na área em estudo ocorrem três tipos de charnockitos:

- Charnockitos isótipos com plagioclase, quartzo, feldspato potássico, ortopiroxena, opacos, granada e biotite. Têm rara anfíbola e apatite. Estes charnockitos não apresentam deformação nem retrogradação, tendo preservado a paragénese charnockítica original.

- Charnockitos grosseiros e bandados (cisalhados) com uma paragénese típica de plagioclase, quartzo, feldspato potássico, anfíbola, (rara) biotite e opacos; granada, ortopiroxena e clinopiroxena são relíquias de uma paragénese anterior, mostrando forte reabsorção.

- Charnockitos bandados (cisalhados) nos quais a paragénese típica é biotite, plagioclase, anfíbola, quartzo, apatite e opacos, preservando relíquias de ortopiroxena.

Assim, constata-se que os charnockitos são compostos por uma paragénese de pico metamórfico do tipo: plagioclase, quartzo, feldspato potássico, ortopiroxena (hiperstena), granada e, por vezes, clinopiroxena, enquanto a presença de anfíbola e biotite se encontra associada aos charnockitos cisalhados e retrogradados para fácies anfibolítica. A retrogradação dos charnockitos dá-se inicialmente pela substituição de ortopiroxena + granada por anfíbola e, posteriormente, por biotite.

A Unidade Angelim é constituída por ortognaisses nebulíticos cuja paragénese de pico metamórfico é: granada (muitas vezes estirada), biotite, plagioclase, microclina, quartzo e apatite, sendo que, tal como nos charnockitos, a presença de anfíbola é reveladora de retrogradação, por consumo de granada. Por vezes, nos gnaisses com grande quantidade de anfíbola (e já sem granada) é possível observar pequenas quantidades de piroxena a substituir a anfíbola, o que poderá ser revelador de um episódio metamórfico posterior.

Evidência textural indica que a retrogradação na fácies anfibolítica está essencialmente associada aos efeitos da deformação regional; a recristalização sintectónica é particularmente evidente na Unidade Santo Eduardo onde se desenvolve forte blastomilonitização ao longo de cisalhamentos direitos, N60-75°E, 70-80°NW (Paraíba do Sul).

Geotermobarometria

A análise composicional das rochas da região de São Fidélis (sintetizada na Tabela 1) e o subsequente estudo geotermobarométrico (Tabela 2), permitiu concluir que tanto os charnockitos Bela Joana como os ortognaisses Angelim estiveram sujeitos a condições de pico metamórfico (estimadas com base nas composições nucleares de porfiroblastos), T ~ 700 – 800 °C e P ~ 8-9 kbar, enquanto as

Unidades São Fidélis e Catalunha registam temperaturas algo superiores, ~ 700 – 1000 °C, embora sujeitas a pressões idênticas às anteriores.

	Metabasitos								Metapelitos			
	Grt		Opx		Cpx		Anf		Grt		Biot	
	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo
SiO ₂	39.06	37.73	50.59	51.64	52.70	52.69	41.64	40.72	38.75	37.52	36.13	36.48
TiO ₂	0.06	0.01	0.07	0.08	0.14	0.13	2.20	2.18	0.00	0.02	5.16	4.95
Al ₂ O ₃	21.32	20.56	0.98	0.81	1.60	1.67	11.15	12.16	21.25	20.97	17.35	17.56
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.05
FeO	28.73	31.00	33.47	32.13	15.57	14.06	21.32	20.89	29.02	32.10	16.40	16.33
MgO	3.08	2.85	13.28	14.59	9.97	10.28	7.74	7.23	7.12	4.82	9.87	10.46
MnO	1.40	1.31	0.64	0.52	0.26	0.16	0.09	0.11	0.53	1.29	0.02	0.00
CaO	6.96	6.92	0.48	0.52	19.14	20.45	10.27	10.59	1.82	1.85	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.07	0.00	0.54	0.49	1.44	1.36	0.00	0.00	0.02	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.91	1.98	0.00	0.00	9.92	9.77
Total	100.60	100.38	99.59	100.30	99.95	99.94	97.76	97.21	98.50	98.55	94.90	95.62
			X An		Núcleo		0.327				XAn	
			(Plg)		Bordo		0.327				(Plg)	
											Núcleo	
											Bordo	
											0.383	
											0.371	

Tabela 1 – Síntese da química mineral dos principais grupos litológicos presentes na área de São Fidélis.

O zoneamento composicional, retrógrado (núcleo => bordo), observável na Tabela 1, sugere arrefecimento ($\Delta T = -200$ a -400 °C) e descompressão ($\Delta P = -1$ a -3.5 kbar) para valores $T \sim 690 - 590$ °C e $P \sim 7.0 - 5.5$ kbar (ver Tabela 2). Assim, e observando a Figura 1, na qual estão projectadas as variações de P e T das diferentes unidades, conclui-se que as rochas estudadas apresentam uma tendência geral de arrefecimento e descompressão compatível com a de um percurso directo.

			Temperatura (°C)			Pressão (Kbars)	
			Grt – Biot (1)	Grt – Opx (2)	Grt – Cpx (3)	Grt – Anf (4)	Grt – OPx (5)
Rochas Metabásicas	Charnockitos Cisalhados	Núcleo	708-800	752-790	694-737	7.6-8.3	7.7-8.9
		Bordo	599-687	659-688	597-620	5.7-7.0	5.7-6.8
	Charnockitos Isótipos	Núcleo	669-684	650-661	-	-	3.5-4.5
		Bordo	454-583	507-629	-	-	3.2
	Unidade Angelim	Núcleo	767-806	-	-	8.4-9.0	-
		Bordo	585-634	-	-	6.8-7.5	-
Rochas Metapelíticas	Unidade São Fidélis	Núcleo	821-1027	-	-	-	-
		Bordo	527-672	-	-	-	-
	Unidade Catalunha	Núcleo	705-1020	896	-	-	8.8
		Bordo	620-658	740	-	-	6.2
	Unidade Santo Eduardo	Núcleo	683	-	669	-	6.4
		Bordo	555	-	569	-	5.9

Tabela 2 – Síntese da geotermobarometria das rochas granulíticas de São Fidélis. (1) Ferry & Spear (1978) com correcções de Hodges & Spear (1982); (2) Lal (1993); (3) Ellis & Green (1979); (4) Kohn & Spear (1990); (5) Eckert & Newton (1991).

Significativamente, algumas litologias apresentam evolução metamórfica que difere da tendência geral. É o caso da amostra 36-C-b da Unidade Catalunha, para a qual se estimaram $T = 1020$ °C e $P = 8.8$ kbar; valores anormalmente elevados quando comparados com os demais (ver Figura 1). Outro exemplo de comportamento “anómalo” é fornecido pelos charnockitos isótipos da Unidade Bela Joana, evidenciando temperaturas ($680 \Rightarrow 507$ °C) e pressões ($4.5 \Rightarrow 3$ kbar) relativamente baixas (ver Figura 1). Também em contraste com a tendência predominante, as litologias blastomiloníticas da Unidade Santo Eduardo evidenciam percurso metamórfico envolvendo arrefecimento ($T \sim 680 \Rightarrow 550$ °C) praticamente isobárico ($\Delta P = 0.5$ kbar; Figura 1). Os diferentes

percursos P-T-t reflectem histórias termo-tectónicas distintas. Assim, a actual justaposição das diversas unidades litológicas na região de São Fidélis deverá ter sido condicionada pela actuação tardi/pós-metamórfica da tectónica cisalhante regional.

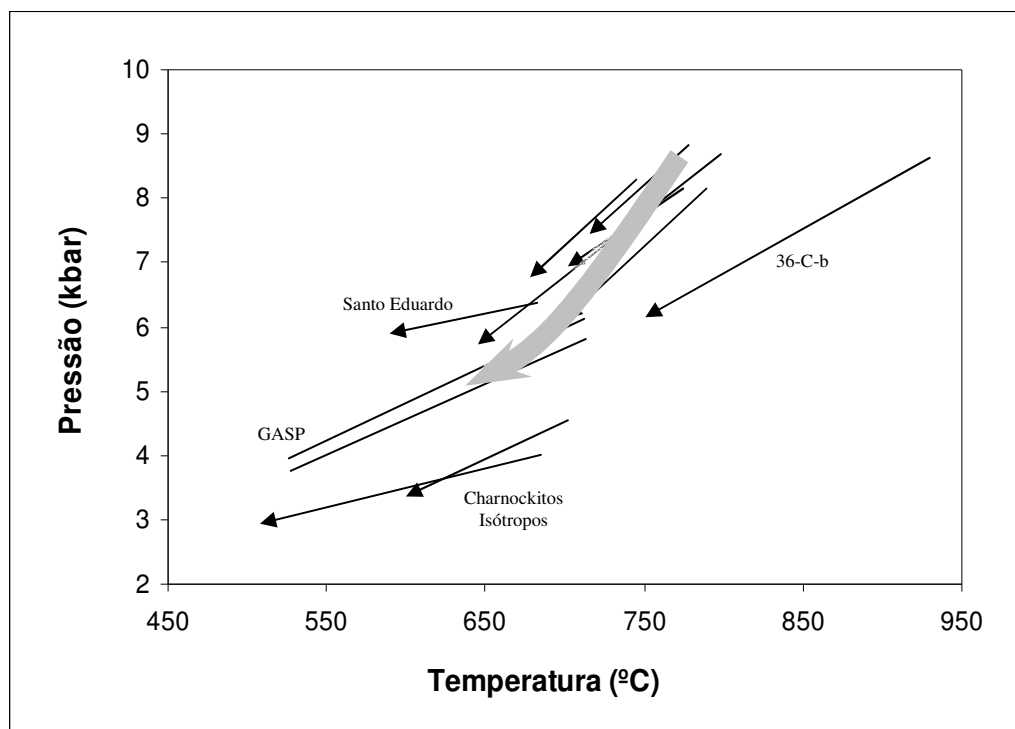


Figura 1 – Evolução P-T-t das rochas da região de São Fidélis (a seta a cinzento indica a tendência geral de arrefecimento e descompressão das rochas da região de São Fidélis). As litologias com um percurso P-T-t diverso estão individualizadas. GASP – equilíbrio $3 \text{ Anortite} = \text{Grossulária} + 2 \text{ Al}_2\text{SiO}_5 + \text{SiO}_2$ (Newton & Haselton, 1981) referente aos bordos minerais da Unidade São Fidélis.

Agradecimentos

Este estudo é uma contribuição para o projecto de investigação POCA-PTROLOG (Centro de Geologia U. Lisboa, UI: 263; POCTI/FEDER).

Bibliografia

- Batista, J. J., 1984. Caracterização dos processos geológico-evolutivos Precambrianos na região de São Fidélis, Norte do Estado do Rio de Janeiro. Tese de Dout. USP, SP, 123.
- Eckert Jr., J. O., Newton, R. C., 1991. The ΔH of reaction and recalibration of garnet-pyroxene-plagioclase-quartz geobarometers in the CMAS system by solution calorimetry. *Amer. Mineral.*, 76, 148-160.
- Ellis, D. J., Green, D. H., 1979. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. *Contrib. to Miner. and Petrol.*, 71, 13-22.
- Ferry, J. M., Spear, F. S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. to Miner. and Petrol.*, 66, 113-117.
- Heilbron, M., Machado, N., 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen SE Brazil. *Precamb. Res.*, 125, 87-112.
- Hodges, K. V., Spear, F. S., 1982. Geothermometry, geobarometry and the Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *Amer. Miner.*, 67, 1118-1134.
- Kohn, M. J., Spear, F. S., 1990. Two new geobarometers for garnet amphibolites, with applications to southeastern Vermont. *Amer. Miner.*, 75, 89-96.
- Lal, R. K., 1993. Internally consistent recalibrations of mineral equilibria for geothermobarometry involving garnet – orthopyroxene – plagioclase - quartz assemblages and their application to the South Indian granulites. *Journ. of Metam. Geol.*, 11, 885-866.
- Newton, R. C., Haselton, H. T., 1981. Thermodynamics of the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz geobarometer. In: Newton, et al., (Eds) *Thermodynamics of minerals and melts*. New York, Springer Verlag, p. 131-147.
- Trouw, R. A., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C., Almeida, J. H., Tupinambá, M., Andreis, R., 2000. The central segment of the Ribeira Belt. In: Cordani et al., (Eds.), *Geotectonics of South America*. Special Publication for the 31 IGC/2000, 297-310.