Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

O Metamorfismo de Fácies Anfibolito no Complexo Metamórfico Passo Feio, RS, Com Base em Química dos Minerais

Léo Afraneo Hartmann, Andrew Tindle, Maria De Fátima Bittencourt
Pesquisas em Geociências, 17 (1-2): 62-71, Set./Dez., 1990.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21383>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1990

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

O Metamorfismo de Fácies Anfibolito no Complexo Metamórfico Passo Feio, RS, com Base em Química dos Minerais

LÉO AFRANEO HARTMANN¹, ANDREW TINDLE² e MARIA DE FÁTIMA BITENCOURT¹

¹ Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15001 CEP 91500 - Porto Alegre, RS, Brasil

² Department of Earth Sciences The Open University Milton Keynes UK MK7 6AA England

(Recebido em 17/08/90. Aceito para publicação em 15/12/90.)

Abstract — The chemical composition of amphiboles from ten samples of amphibolites from the Passo Feio Metamorphic Complex, Caçapava do Sul, RS, Brazil, shows the development of the amphibolite facies both to the north and to the south of the granitic complex, in the M₁ event. The M₂ event occurred in the greenschist facies to amphibolite facies in the northern border and in the amphibolite facies in the southern border. The baric type is low pressure, as indicated by the presence of andalusite and the distribution of Ti and Al in the amphiboles. The weak zonation of staurolite indicates that the metamorphism was of regional rather than thermal nature.

Resumo — A composição química de anfibólios de dez amostras de anfibolitos do Complexo Metamórfico Passo Feio de Caçapava do Sul, RS, mostra o desenvolvimento da fácies anfibolito ao norte e ao sul do complexo granítico, no evento M₁. O evento M₂ foi de fácies xistos verdes a anfibolito na borda norte e de fácies anfibolito na borda sul. O tipo bórico é de baixa pressão, conforme indicado pela presença de andalusita e pela distribuição de Ti e Al nos anfibólios. A fraca zonação composicional da estauroлита indica a atuação de metamorfismo regional e não de contato.

INTRODUÇÃO

O Complexo Metamórfico Passo Feio ocorre na região de Caçapava do Sul, RS, circundando o Complexo Granítico de Caçapava do Sul e estendendo-se para norte e para sul (Fig. 1). O cinturão metamórfico foi estudado há mais tempo por Carvalho (1932) e Leinz *et al.* (1941), seguido de Ribeiro *et al.* (1966). Alguns aspectos estruturais e metamórficos dos xistos foram reavaliados por Silva Filho & Matsdorf (1987). Os trabalhos de Bitencourt (1983) e Bitencourt & Hartmann (1984a, b) fornecem informações detalhadas sobre as relações geológicas, estruturais, metamórficas e geoquímicas no complexo, e são utilizados como principal referência para o presente artigo.

O grau de metamorfismo aumenta regionalmente em direção ao corpo granítico (Ribeiro *et al.*, 1966), formando abundantes anfibolitos e, em menor proporção, xistos pelíticos contendo estauroлита ou andalusita. Estes tipos litológicos permitem uma avaliação da evolução do metamorfismo de fácies anfibolito, inclusive a definição do tipo bórico atuante e a discriminação entre metamorfismo regional e de contato. Esses objetivos foram alcançados através da avaliação de dados químicos de diversos minerais, obtidos com microsonda eletrônica.

OBSERVAÇÕES GERAIS

Foram selecionadas para este estudo amostras de anfibolitos, por permitirem uma boa caracterização dos graus de metamorfismo e do tipo bórico atuante, e ainda amostras de estauroлита xistos, pois estes possibilitam uma discriminação entre metamorfismo regional e de contato. As amostras estudadas provêm das proximidades do complexo granítico (Fig. 1); o grau de metamorfismo mais baixo, situado em regiões mais afastadas, não foi estudado. Dados geoquímicos de rocha total para algumas amostras foram publicados por Bitencourt & Hartmann (1984a, b).

Nos anfibolitos, foram analisados anfibólio, plagioclásio, granada e biotita. Nos estauroлита xistos, foram analisados estauroлита, granada e biotita. Os resultados analíticos constam das Tabelas 1, 2, 3, 4, 5.

A composição química dos minerais foi determinada através de microsonda eletrônica "Cambridge Instruments Microscan 9" da Open University, Inglaterra, com Kv = 20, nA = 30,5 e feixe desfocado. As análises foram realizadas com WDS. As amostras 9, 10 e 11 foram analisadas por EDS em microsonda eletrônica do King's College, Inglaterra.

Amostra	1				2		3			4		5						6		7		8		
	a	b	c	d	a	b	a	b	c	a	b	a	b	c	d	e	f	a	b	a	b	a	b	c
SiO ₂	45,63	48,64	46,37	46,38	47,69	46,50	44,64	48,96	47,77	40,78	39,98	3,34	44,86	44,79	48,48	52,07	47,81	46,58	46,63	39,16	38,90	46,07	45,78	45,61
TiO ₂	0,80	0,44	0,75	0,40	0,48	0,55	0,42	0,24	0,26	0,23	0,25	0,42	0,47	0,36	0,31	0,07	0,27	0,53	0,53	0,83	0,77	0,53	0,58	0,65
Al ₂ O ₃	9,48	6,97	8,93	9,19	8,67	9,95	12,76	9,08	10,63	19,44	19,25	2,46	11,55	10,60	7,32	3,07	7,42	9,57	9,47	13,23	13,24	9,93	9,95	10,31
FeO	17,52	14,79	16,55	15,91	14,34	14,36	10,76	10,05	10,79	22,36	22,68	9,74	19,67	19,44	17,92	16,69	19,06	15,04	14,89	22,06	22,66	18,06	16,09	16,51
MnO	0,28	0,28	0,26	0,40	0,26	0,25	0,25	0,27	0,22	0,18	0,18	0,35	0,34	0,31	0,34	0,33	0,34	0,29	0,29	0,61	0,60	0,36	0,34	0,37
MgO	10,52	13,12	11,33	11,52	12,16	11,71	12,65	14,85	13,67	3,46	3,51	7,78	8,37	8,69	10,53	12,83	9,94	11,57	11,69	6,69	6,37	9,93	11,10	10,86
CaO	12,15	12,18	12,24	12,24	12,22	12,24	12,30	12,23	12,19	11,03	10,90	1,81	11,74	11,80	12,00	12,19	11,87	12,29	12,28	9,56	9,54	12,06	11,60	11,65
Na ₂ O	1,08	0,83	1,00	0,96	0,81	1,00	1,05	0,64	0,86	0,91	1,02	1,53	1,39	1,27	0,84	0,34	0,83	0,45	1,00	3,61	3,59	1,28	1,38	1,46
K ₂ O	0,47	0,25	0,40	0,37	0,38	0,50	0,28	0,10	0,13	0,33	0,33	0,14	0,15	0,27	0,15	0,09	0,10	0,73	0,69	2,16	2,24	2,25	0,26	0,30
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	97,93	97,50	97,83	97,26	97,01	97,06	95,11	96,42	96,52	98,72	98,10	7,57	98,54	97,53	97,83	97,68	97,64	97,05	97,47	97,91	97,91	98,47	97,08	97,72
Si Ti Al Fe Mn Mg Ca Na k Cr	Número de cátions na base de 23 (0)																							
	6,8072	7,1507	6,8820	6,8993	7,0368	6,8780	6,6275	7,0870	6,9418	6,1224	6,0651	6,5596	6,6963	6,7605	7,1853	7,6535	7,1508	69106	6,8970	6,1261	6,1087	8,8349	6,8254	6,7767
	0,0897	0,0485	0,0834	0,0449	0,0528	0,0611	0,0473	0,0261	0,0282	0,0263	0,0286	0,0473	0,0527	0,0410	0,0344	0,0080	0,0305	0,0591	0,0590	0,0970	0,0910	0,0587	0,0653	0,0712
	1,6672	1,2073	1,5627	1,6110	1,5079	1,7342	2,2336	1,5490	1,8201	3,4394	3,4427	2,2221	2,0317	1,8858	1,2799	0,5311	1,3073	1,6740	1,6508	2,4399	2,4511	1,7367	1,7483	1,8052
	2,1856	1,8183	2,0537	1,9790	1,7690	1,7760	1,3356	1,2168	1,3114	2,8075	2,8774	2,4988	2,4547	2,4538	2,2237	2,0512	2,3843	1,8660	1,8417	2,8867	2,9766	2,2400	2,0068	2,0517
	0,0351	0,0347	0,0330	0,0370	0,0329	0,0311	0,0313	0,0325	0,0268	0,0234	0,0236	0,0454	0,0428	0,0394	0,0427	0,0404	0,0430	0,0370	0,0369	0,0812	0,0794	0,0446	0,0430	0,0467
	2,3397	2,8759	2,5075	2,5540	2,6737	2,5823	2,7997	3,2036	2,9602	0,7740	0,7934	1,7556	1,8630	1,9542	2,3302	2,8112	2,2160	2,5577	2,5777	1,5604	1,4913	2,1967	2,4675	2,4046
	1,9428	1,9192	1,9467	1,9511	1,9313	1,9398	1,9564	1,8974	1,8979	1,7744	1,7712	1,9156	1,8774	1,9083	1,9086	1,9203	1,9022	1,9539	1,9461	1,6027	1,6056	1,9174	1,8533	1,8548
	0,3138	0,2363	0,2887	0,2774	0,2316	0,2863	0,3009	0,1796	0,2421	0,2645	0,3012	0,4477	0,4035	0,3711	0,2415	0,0956	0,2411	0,1299	0,2879	1,0939	1,0932	0,2694	0,3998	0,4199
	0,0890	0,0473	0,0757	0,0694	0,0712	0,0950	0,0522	0,0191	0,0234	0,0631	0,0637	0,0263	0,0282	0,0526	0,0281	0,0171	0,0196	0,1385	0,1295	0,4306	0,4478	0,0475	0,0500	0,0563
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	15,4701	15,3382	15,4341	15,4231	15,3072	15,3838	15,3845	15,2122	15,2519	15,2950	15,3669	15,5184	15,4503	15,4667	15,2744	15,1284	15,2948	15,3267	15,4266	15,3185	15,3447	15,4459	15,4594	15,4871

Tabela 1 — Composição química (% peso) e fórmula estrutural de anfibólios. N.º de campo das amostras: 1 = MF-5 2 = MF-41 3 = MF-59 4 = MF-71A 5 = MF-93c 6 = DP-13 7 = EP-52B 8 = NP-40A 9 = MF-51 10 = MF-22 11 = MF-25.

Amostra	9										10						
	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
SiO ₂	44,69	44,70	43,64	44,39	44,23	44,83	44,27	43,78	45,10	43,08	48,61	43,69	47,47	46,37	54,59	45,89	43,92
TiO ₂	0,70	0,70	0,66	0,76	0,76	0,73	0,69	0,74	0,62	0,69	1,14	0,52	0,58	0,39	0,07	0,30	0,38
Al ₂ O ₃	9,84	10,70	11,18	9,88	10,44	10,83	11,38	10,66	10,26	11,19	8,49	10,64	17,80	11,62	1,89	8,62	11,61
FeO ⁴	14,86	15,02	15,59	14,98	15,52	15,54	15,44	15,45	15,00	15,82	14,31	16,52	9,89	13,83	11,53	14,89	16,07
MnO	0,30	0,23	0,12	0,17	0,21	0,23	0,29	0,28	0,32	0,23	0,22	0,35	0,24	0,24	0,24	0,22	0,24
MgO	10,92	10,80	10,19	10,82	10,97	10,89	10,30	10,40	10,77	10,34	11,25	9,97	5,35	9,43	14,24	10,81	9,92
CaO	11,89	11,90	11,90	11,99	11,96	12,09	11,97	11,79	11,84	11,94	12,81	11,94	11,10	11,73	12,28	12,08	12,12
Na ₂ O	0,79	1,56	0,92	0,92	1,08	1,21	1,06	0,99	1,05	0,96	0,76	0,85	3,18	1,75	0,29	1,03	1,00
K ₂ O	0,39	0,35	0,42	0,38	0,31	0,43	0,38	0,33	0,35	0,50	0,20	0,38	0,31	0,35	0,04	0,43	0,38
Cr ₂ O ₃	0,16	0,07	0,15	0,16	0,11	0,16	0,19	0,08	0,09	0,13	0,07	0,02	0,07	0,07	0,12	0,06	0,00
Total	94,54	96,03	94,77	94,45	95,59	96,94	95,97	94,50	95,41	94,88	96,06	94,88	95,99	95,80	95,29	94,38	93,64
Número de cátions na base de 23 (0)																	
	Si	6,817	6,726	6,670	6,789	6,700	6,996	6,667	6,705	6,812	6,601	6,992	6,705	6,866	6,911	7,978	6,663
	Ti	0,081	0,079	0,076	0,088	0,087	0,082	0,078	0,085	0,070	0,080	0,128	0,060	0,063	0,044	0,008	0,043
	Al	1,769	1,898	2,015	1,780	1,864	1,906	2,021	1,924	1,826	2,020	1,495	1,925	3,036	2,042	0,326	2,075
	Fe	1,896	1,891	1,993	1,916	1,966	1,941	1,945	1,978	1,895	2,027	1,787	2,120	1,196	1,726	1,409	2,038
	Mn	0,039	0,029	0,015	0,022	0,026	0,029	0,037	0,036	0,041	0,030	0,028	0,046	0,030	0,030	0,035	0,030
	Mg	2,482	2,423	2,321	2,467	2,476	2,424	2,313	2,375	2,425	2,363	2,504	2,280	1,152	2,095	3,102	2,243
	Ca	1,943	1,918	1,948	1,965	1,941	1,935	1,932	1,934	1,916	1,960	2,051	1,963	1,721	1,874	1,923	1,971
	Na	0,234	0,455	0,271	0,274	0,318	0,351	0,309	0,294	0,307	0,286	0,219	0,252	0,892	0,506	0,081	0,294
	k	0,075	0,067	0,081	0,075	0,059	0,081	0,074	0,064	0,070	0,099	0,038	0,075	0,258	0,066	0,008	0,074
	Cr	0,019	0,008	0,018	0,019	0,013	0,018	0,023	0,010	0,011	0,016	0,008	0,002	0,008	0,008	0,014	0,000
Total		15,355	15,494	15,408	15,395	15,450	15,463	15,399	15,405	15,373	15,482	15,250	15,428	15,222	15,302	14,879	15,431

Tabela 1 — (continuação)

Amostra	11										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	h
SiO ₂	42,41	50,88	50,39	42,54	51,83	41,12	42,06	43,53	40,38	40,97	42,22
TiO ₂	0,49	0,11	0,10	0,63	0,00	0,43	0,50	0,37	0,55	0,44	0,36
Al ₂ O ₃	12,54	3,96	3,43	11,80	2,68	13,92	13,06	12,07	13,87	14,02	13,50
FeO	19,59	15,76	15,72	19,69	16,48	20,17	19,41	19,14	20,17	19,83	19,25
MnO	0,30	0,20	0,20	0,30	0,31	0,27	0,27	0,29	0,23	0,28	0,27
MgO	7,44	12,32	12,71	7,54	13,01	6,44	7,12	8,48	6,49	6,96	7,51
CaO	11,74	12,05	12,24	11,93	12,35	11,94	11,94	11,76	11,85	11,85	11,95
Na ₂ O	1,22	0,21	0,42	0,95	0,38	1,08	0,75	1,14	1,20	1,13	0,93
K ₂ O	0,34	0,16	0,14	0,51	0,03	0,53	0,46	0,47	0,57	0,52	0,37
Cr ₂ O ₃	0,11	0,03	0,12	0,03	0,02	0,18	0,06	0,00	0,20	0,02	0,00
Total	97,93	97,50	97,83	97,26	97,01	97,06	95,11	96,42	96,52	98,72	98,10
	Número de cátions na base de 23 (0)										
Si	6,517	7,600	7,572	6,568	7,662	6,361	6,493	6,589	6,303	6,332	6,456
Ti	0,056	0,012	0,011	0,073	0,000	0,050	0,058	0,042	0,064	0,051	0,041
Al	2,271	0,697	0,608	2,147	0,466	2,539	2,377	2,154	2,552	2,554	2,434
Fe	2,517	1,969	1,976	2,543	2,037	2,609	2,506	2,423	2,632	2,565	2,462
Mn	0,039	0,025	0,026	0,040	0,038	0,036	0,035	0,037	0,031	0,037	0,035
Mg	1,705	2,743	2,847	1,735	2,867	1,485	1,639	1,913	1,511	1,604	1,713
Ca	1,933	1,928	1,972	1,973	1,957	1,979	1,976	1,907	1,981	1,963	1,959
Na	0,365	0,061	0,123	0,285	0,109	0,322	0,226	0,334	0,364	0,338	0,276
k	0,067	0,031	0,026	0,101	0,005	0,104	0,090	0,091	0,113	0,103	0,073
Cr	0,014	0,003	0,014	0,003	0,003	0,021	0,007	0,000	0,025	0,003	0,000
Total	15,484	15,069	15,175	15,468	15,144	15,506	15,407	15,490	15,576	15,550	15,449

Tabela 1 — (continuação)

Figura 1 — Esboço geológico do Complexo Metamórfico Passo Feio (modificado de Ribeiro *et al.*, 1966), indicando a localização dos pontos amostrados.

Amostra	1		2				5		6		7		8			12	
	a	b	a	b	c	d	a	b	a	b	a	b	a	b	c	a	b
SiO ₂	47,64	47,35	56,02	56,97	56,40	53,92	61,90	61,78	57,29	56,19	67,15	67,20	61,25	61,29	61,28	60,97	62,11
Al ₂ O ₃	33,59	33,35	27,38	27,07	27,24	27,03	24,02	23,94	26,96	27,39	20,63	20,87	23,94	23,97	24,19	24,84	24,00
FeO	0,08	0,06	0,21	0,15	0,20	0,13	0,24	0,20	0,23	0,13	0,11	0,14	0,20	0,13	0,15	0,04	0,03
CaO	15,30	17,20	9,64	9,36	9,67	9,69	5,60	5,64	9,33	10,03	1,41	1,62	5,72	5,78	6,03	6,64	5,76
Na ₂ O	1,81	1,86	6,30	6,14	6,19	6,06	8,47	8,42	6,34	5,78	10,66	10,72	8,40	8,25	8,17	7,93	8,42
K ₂ O	0,82	0,01	0,12	0,21	0,12	0,11	0,05	0,04	0,18	0,18	0,37	0,28	0,13	0,13	0,14	0,11	0,06
Total	99,24	99,83	99,67	99,90	99,82	96,94	100,32	100,02	100,83	99,70	100,33	100,83	99,64	99,55	99,96	100,53	100,38
	Número de cátions na base de 8 (0)																
Si	2,1978	2,1775	2,5301	2,5597	2,5407	2,5072	2,7398	2,7415	2,5647	2,5343	2,9362	2,9262	2,7320	2,7340	2,7246	2,8965	2,7445
Al	1,8264	1,8079	1,4574	1,4335	1,4467	1,4811	1,2529	1,2521	1,4228	1,4560	1,0632	1,0711	1,2585	1,2601	1,2677	1,2956	1,2499
Fe	0,0032	0,0021	0,0079	0,0058	0,0074	0,0049	0,0088	0,0073	0,0084	0,0047	0,0041	0,0051	0,0073	0,0047	0,0057	0,0015	0,0010
Ca	0,7562	0,8477	0,4666	0,4507	0,4670	0,4826	0,2653	0,2681	0,4477	0,4849	0,0662	0,0754	0,2736	0,2764	0,2872	0,3147	0,2725
Na	0,1619	0,1656	0,5512	0,5352	0,5411	0,5461	0,7271	0,7244	0,5501	0,5052	0,9400	0,9052	0,7269	0,7136	0,7040	0,6807	0,7217
k	0,0484	0,0006	0,0067	0,0121	0,0067	0,0062	0,0026	0,0020	0,0101	0,0101	1,0208	0,0153	0,0074	0,0074	0,0081	0,0060	0,0033
Total	4,9939	5,0014	5,0199	4,9970	5,0096	5,0281	4,9965	4,9954	5,0038	4,9952	4,9945	4,9983	5,0057	4,9962	4,9973	4,9970	4,9929
An	78,6	84,1	46,5	46,1	46,9	47,6	27,4	27,7	45,3	49,4	6,9	7,8	27,9	28,5	29,5	32,2	19,6
Ab	16,2	15,3	52,8	52,7	52,4	51,0	72,4	72,1	53,6	49,5	90,0	90,5	71,3	70,7	69,6	67,1	80,0
Or	5,2	0,7	0,7	1,2	0,7	0,6	0,2	0,2	1,1	1,1	2,2	2,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,4

Tabela 2 — Composição química (% peso) e fórmula estrutural de plagioclásios. A amostra 12 corresponde a EP-50.

Amostra	4		7		12				13				14			
	a	b	a	b	a	b	c	d								
SiO ₂	37,32	37,55	35,89	36,28	37,41	37,21	36,99	37,09	37,52	37,41	37,39	37,44	37,48	37,14	37,27	37,77
TiO ₂	0,09	0,05	1,92	1,29	0,10	0,05	0,12	0,10	0,09	0,03	0,10	0,07	0,14	0,05	0,19	0,07
Al ₂ O ₃	21,00	20,97	5,67	6,37	21,06	21,07	20,93	20,84	21,25	21,24	21,22	21,38	20,90	21,02	20,99	21,34
Cr ₂	—	—	—	—	0,01	0,01	—	—	0,00	0,00	0,02	0,00	—	—	—	—
FeO	36,54	37,34	20,30	19,64	39,38	40,11	39,57	39,97	31,25	33,49	30,61	33,80	32,13	37,12	19,28	36,88
MnO	1,41	1,98	0,69	0,74	0,60	0,30	0,67	0,21	6,63	4,22	7,65	3,90	6,70	0,27	18,85	0,96
MgO	1,31	0,93	0,04	0,05	1,23	1,35	1,09	1,70	1,89	2,43	1,84	2,49	1,02	2,04	0,40	2,11
CaO	3,70	2,83	33,61	33,54	1,90	1,57	1,86	1,26	2,33	2,00	2,19	1,96	2,82	2,35	4,66	2,42
Na ₂ O	—	—	0,04	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	—	—	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	101,37	101,65	98,16	97,97	101,69	101,67	101,23	101,27	100,96	100,82	101,02	101,04	101,19	99,99	101,64	101,55
Fórmula estrutural na base de 24 (0)																
Si	5,9880	6,0244	6,2253	6,2689	6,0040	5,9832	5,9806	5,9872	6,0107	5,9942	5,9970	5,9837	6,0287	6,0082	5,9794	6,0121
Ti	0,0102	0,0060	0,2504	0,1682	0,0120	0,0050	0,0144	0,0122	0,0102	0,0041	0,0123	0,0082	0,0164	0,0062	0,0225	0,0082
Al	3,9714	3,9662	1,1597	1,2965	3,9840	3,9928	3,9880	3,9658	4,0135	4,0121	4,0118	4,0273	3,9631	4,0085	3,9687	4,0035
Cr	—	—	—	—	0,0016	0,0016	—	—	0,0000	0,0000	0,0019	0,0000	—	—	—	—
Fe	4,9038	5,0102	2,9440	2,8382	5,2856	5,3936	5,2894	5,3968	4,1861	4,4882	4,1062	4,5182	4,3221	5,0223	2,5864	4,905
Mn	0,1918	0,2688	0,1020	0,1085	0,0812	0,0404	0,0922	0,0286	0,9000	0,5726	1,0392	0,5285	0,9128	0,0370	2,5613	0,1296
Mg	0,3134	0,2226	0,0095	0,0141	0,2936	0,3228	0,2634	0,4084	0,4516	0,5803	0,4389	0,5924	0,2444	0,4916	0,0949	0,5015
Ca	0,6364	0,4870	6,2465	6,2101	0,3272	0,2712	0,3222	0,2178	0,3997	0,3438	0,3764	0,3359	0,4854	0,4070	0,8004	0,4121
Na	—	—	0,0131	0,0194	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
k	—	—	0,0000	0,0000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	16,0150	15,9852	16,9505	16,9239	15,9892	15,0116	15,9502	16,0168	15,9718	15,9953	15,9837	15,9942	15,9729	15,9809	16,0136	15,9775

Tabela 3 — Composição química (% peso) e fórmula estrutural de granadas (-) não analisado. N° de campo: 13= EN-28D 14= NP-37.

Amostra	7		13		14	
	a	b	a	b	a	b
SiO ₂	34,53	34,61	36,02	35,15	34,48	35,23
TiO ₂	1,44	1,40	1,76	1,36	1,64	2,14
Al ₂ O ₃	15,52	15,26	19,88	20,18	19,46	19,90
FeO	23,89	24,27	19,10	20,20	20,93	21,06
MnO	0,60	0,58	0,06	0,08	0,03	0,05
MgO	9,66	9,46	9,56	9,42	7,15	7,17
CaO	0,06	0,11	0,04	0,01	0,28	0,09
Na ₂ O	0,17	0,23	0,37	0,34	0,13	0,24
K ₂ O	9,66	9,48	8,85	8,27	7,39	8,67
Total	95,53	95,40	95,64	95,01	91,49	94,55
Número de cátions na base de 22 (0)						
Si	5,4286	5,4546	5,4216	5,3464	5,4499	5,4177
Ti	0,1702	0,1662	0,1992	0,1556	0,1951	0,2479
Al	2,8763	2,8346	3,5277	3,6177	3,6267	3,6072
Fe	3,1407	3,1993	2,4037	2,5689	2,7674	2,7080
Mn	0,0792	0,0774	0,0078	0,0098	0,0041	0,0059
Mg	2,2638	2,2222	2,1443	2,1358	1,6852	1,6433
Ca	0,0095	0,0191	0,0069	0,0023	0,0481	0,0140
Na	0,0514	0,0690	0,1089	0,1007	0,0393	0,0707
k	1,9369	1,9065	1,6986	1,6037	1,4901	1,7014
Total	15,9566	15,9489	15,5187	15,5409	15,3059	15,4161

Tabela 4 — Composição química (% peso) e fórmula estrutural de biotitas do Complexo Metamórfico Passo Feio.

GRAUS DE METAMORFISMO EM ANFIBOLITOS

Dentre os anfibolitos estudados, quatro estão situados na borda norte e os demais na borda sul do complexo granítico. É interessante observar na Figura 2 que as dez amostras apresentam anfibólio cristalizado na fácies anfibolito, com composição estendendo-se desde hornblenda até tschermackita. Este evento M1 está registrado no centro de cristais grandes de anfibólio.

Em todas as amostras, foram ainda analisados a borda do mesmo cristal ou um cristal pequeno na matriz. A observação da composição do anfibólio presente neste evento M₂ (Fig. 2)

mostra a presença de uma forte zonação para anfibólio do tipo actinolita ou hornblenda, na região norte, ao passo que na região sul a zonação não é observada. Na região norte, portanto, o evento M₂ atingiu a fácies anfibolito, e confunde-se, na química dos anfibólios, com o evento M₁. A presença dos dois eventos metamórficos na região sul está registrada texturalmente através de duas gerações de anfibólios.

Diversos cristais de plagioclásio foram analisados (Tab. 2), mostrando composições relativamente cálcicas tanto no núcleo (M₁) quanto na borda (M₂). Somente a amostra 7 apresenta albita; esta amostra, no entanto,

tem composição especial, pois a hornblenda é fortemente aluminosa e sódica. De maneira geral, o plagioclásio não foi instabilizado durante o evento M₂.

Na Figura 3, podem-se observar pontos selecionados dos dois principais eventos metamórficos que afetaram o Complexo Metamórfico Passo Feio, conforme registrados nos anfibólios de anfibolitos.

O tipo bórico de metamorfismo que registrou sua ocorrência no evento M₁ foi de baixa pressão, conforme assinalado pela presença de andalusita em alguns xistos pelíticos. Verifica-se o mesmo na Figura 4, pois os conteúdos de Ti e Al da fórmula estrutural de anfibólios oscilam consideravelmente, principalmente no tocante ao Ti. Essa feição é típica de anfibolitos de baixa pressão (Laird & Albee, 1981). Na Figura 4, estão também lançados os dados de anfibólios do Complexo Cambaizinho, próximo a São Gabriel, RS (Marcus Remus,

Figura 2 — Composição dos anfibólios em diagramas Al^{IV}x Na+K.

13										14									
Amostra																			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
SiO ₂	28,07	27,85	27,96	27,94	28,02	28,08	27,83	27,95	27,67	27,63	27,45	27,70	29,45	27,55	27,76	27,56	27,78	27,93	
TiO ₂	0,52	0,57	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,50	0,54	0,50	0,70	0,63	0,47	0,47	0,47	0,52	0,47	0,45	
Al ₂ O ₃	54,76	54,31	54,07	54,63	54,26	54,25	53,93	54,23	54,39	54,32	53,70	53,79	53,04	53,82	53,98	53,70	54,17	54,32	
FeO	14,27	14,40	14,27	13,93	13,99	13,66	14,09	14,24	14,05	15,03	15,32	15,24	14,89	15,02	15,07	15,22	15,10	14,49	
MnO	0,18	0,17	0,17	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,06	0,06	0,06	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	
MgO	1,71	1,72	1,73	1,73	1,73	1,73	1,72	1,73	1,64	1,45	1,48	1,47	1,34	1,34	1,41	1,43	1,44	1,31	
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
ZnO	0,12	0,15	0,15	0,17	0,14	0,12	0,15	0,18	0,15	0,32	0,34	0,31	0,31	0,32	0,34	0,34	0,34	0,35	
Total	99,64	99,18	99,93	99,10	98,81	98,51	98,35	98,98	98,60	99,32	99,06	99,21	99,50	98,61	99,12	98,86	99,39	98,92	
Número de cátions na base de 24 (O)																			
Si	3,9983	3,9911	4,0140	3,9968	4,0200	4,0337	4,0155	4,0094	3,9824	3,9684	3,9637	3,9884	4,2085	3,9869	3,9971	3,9836	3,9895	4,0141	
Ti	0,0557	0,0618	0,0619	0,0579	0,0561	0,0543	0,0525	0,0542	0,0582	0,0541	0,0757	0,0678	0,0500	0,0506	0,0504	0,0564	0,0502	0,0484	
Al	9,1941	9,1746	9,1501	9,2118	9,1774	9,1863	9,1726	9,1703	9,2265	9,1961	9,1390	9,1296	8,9236	9,1809	9,1605	9,1499	9,1680	9,2042	
Fe	1,6999	1,7264	1,7132	1,6667	1,6783	1,6412	1,7007	1,7086	1,6913	1,8058	1,8494	1,8348	1,7770	1,8178	1,8149	1,8403	1,8134	1,7421	
Mn	0,0222	0,0205	0,0205	0,0186	0,0168	0,0168	0,0169	0,0168	0,0187	0,0074	0,0075	0,0075	0,0111	0,0094	0,0093	0,0094	0,0093	0,0074	
Mg	0,3638	0,3671	0,3710	0,3684	0,3698	0,3694	0,3692	0,3706	0,3507	0,3114	0,3178	0,3164	0,2852	0,2899	0,3021	0,3075	0,3081	0,2796	
Ca	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0043	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	
Zn	0,0129	0,0162	0,0162	0,0178	0,0146	0,0130	0,0163	0,0195	0,0163	0,0341	0,0359	0,0326	0,0323	0,0344	0,0359	0,0360	0,0358	0,0374	
Total	15,3490	15,3598	15,3490	15,3396	15,3352	15,3190	15,3458	15,3515	15,3462	15,3794	15,3911	15,3792	15,2848	15,3821	15,3723	15,3852	15,3764	15,3353	

Tabela 5 — Composição química (% peso) e fórmula estrutural de estauroilitas.

Figura 3 — Campos composicionais dos anfibólios nos eventos metamórficos M_1 e M_2 , com pontos representativos em termos de Al^{IV} x $Na + K$

Figura 4 — Diagrama Ti x Al dos anfibólios. A reta representa o limite superior de composições de anfibólios de média pressão. As flechas indicam a zonação do núcleo para a borda dos cristais.

1990, informação verbal), que indicam tratar-se de um cinturão de pressão média. A linha reta colocada na Figura 4 representa o limite superior das composições de anfibólios de média pressão de outras regiões. Os anfibólios de baixa pressão de outros cinturões têm composições tanto acima quanto abaixo dessa linha, como é o caso daqueles deste estudo. Com base na química dos anfibólios, portanto, os cinturões do Passo Feio e do Cambaizinho formaram-se em condições distintas de pressão.

ESTUDOS DA ZONAÇÃO DA ESTAULOLITA

Nos estudos de Bitencourt (1983), não foram observadas feições relacionadas a metamorfismo de contato no Complexo Metamórfico Passo Feio, apesar da proximidade do complexo granítico. A possível presença de cornubianitos foi assinalada ainda recentemente por Bortoloto (1987). Com vistas a contribuir para a elucidação desse aspecto, foram realizados estudos químicos em cristais de estaulolita, gerados no evento M_1 . Estudos semelhantes foram realizados por Hollister (1970) e Smellie (1974) e resumidos em Tracy (1982).

As amostras 13 e 14 contêm cristais pré-tectônicos, com inclusões rotacionais, típicos do evento M_1 do complexo metamórfico, e estão localizadas na Figura 1. As amostras encontram-se próximas ao contato com o complexo granítico, e estariam dentro de uma auréola de contato gerada pela intrusão. Nesse tocante, pode-se tomar Turner (1981) como referência, no sentido de que um corpo granítico pós-tectônico tende a formar auréolas de contato com largura semelhante ao diâmetro da intrusão, que no caso do complexo granítico é da ordem de 10 a 15 km. Não foram encontrados na região cristais de estaulolita helicíticos e que, portanto, teriam sua geração relacionada a evento pós-tectônico.

Na Tabela 5 estão os dados analíticos dos dois cristais de estaulolita, tendo sido realizados perfis analíticos de nove pontos, desde uma borda até a outra, passando pelo centro. As Tabelas 6 e 7, que mostram a variação composicional dos cristais, foram obtidas por subtração entre o valor máximo e mínimo do óxido e do número de átomos, respectivamente. Nessas tabelas, constam ainda dados da bibliografia, para fins de comparação; as estaulolitas desses trabalhos são de metamorfismo de contato.

A estaulolita do presente estudo mostra zonação pouco significativa, principalmente o cristal da amostra 13. O cristal da amostra 14 apresenta irregularidade composicional na parte central, provavelmente devido a uma inclusão não identificada. Apesar dessa variação na parte central, a variação global não é significativa.

A Tabela 6 mostra que a variação máxima do TiO_2 , MnO e MgO e também do Al_2O_3 das estaulolitas é muito inferior àquelas do metamorfismo de contato de Smellie (1974). O conteúdo de Si , Ti , Al e Mg dos cristais das amostras 1 e 2 é muito inferior às estaulolitas de meta-

morfismo de contato de Hollister (1970), conforme visto na Tabela 7.

	1(13)	2(14)	3	4	5
SiO ₂	0,41	2,00	—	—	—
TiO ₂	0,09	0,25	0,40	0,25	0,30
Al ₂ O ₃	0,83	1,28	2,00	—	3,00
FeO	0,61	0,83	1,70	—	—
MnO	0,04	0,03	0,20	0,10	0,10
MgO	0,09	0,17	1,00	0,25	0,30
CaO	0,02	0,00	—	—	—
ZnO	0,06	0,04	—	—	—

Tabela 6 — Variação composicional máxima observada em cristais de estauroлита do Complexo Metamórfico Passo Feio (amostra 1 e 2), comparada com estauroлитas de metamorfismo de contato de Smellie (1974). N° de campo: EN-28D (amostra 1); NP-37 (amostra 2). As amostras 3,4 e 5 correspondem, respectivamente, às amostras D2, D3 e D4 das figuras 3, 4 e 5 de Smellie (1974). Dados em % peso. (-): não analisado.

	1 (13)	2 (14)	3
Si	0,05	0,20	0,60
Ti	0,01	0,03	0,08
Al	0,08	0,30	0,80
Fe	0,08	0,11	0,06
Mg	0,02	0,04	0,20

Tabela 7 — Variação composicional máxima observada em cristais de estauroлита do Complexo Metamórfico Passo Feio (amostra 1 e 2) comparada com valores para estauroлита de metamorfismo de contato da Figura 3 de Hollister (1970) (amostra 3). Dados em números atômicos na base de 24(0).

As granadas e biotitas das duas amostras avaliadas têm composição típica de xistos da zona da estauroлита. A granada é uma almandina, com nítida zonação de MnO; o centro do cristal da amostra 14 tem 18,85% MnO e a borda apenas 0,96%; essa variação é comum em rochas do metamorfismo regional (Tracy, 1982).

A zonação das estauroлитas é um critério confiável de distinção entre o metamorfismo regional e de contato. Os cristais gerados em evento dínamo-termal tendem a ter zonação pouco significativa, em contraste com os de metamorfismo de contato. Os elementos Ti, Mg e Mn apresentam a zonação mais significativa em estauroлитas de cornubianitos. No estudo em questão verifica-se que os cristais de estauroлита gerados no evento M1 na região do Passo Feio apresentam zonação pouco significativa, o que sugere sua cristalização em evento regional.

CONCLUSÕES

O estudo do metamorfismo de fácies anfibolito no Complexo Metamórfico Passo Feio, com base em química de minerais, indica a formação de hornblenda nos xis-

tos básicos durante o evento M₁, tanto a norte quanto a sul do Complexo Granítico de Caçapava do Sul. O evento M₂, registrado nas mesmas amostras, indica a atuação de um evento de fácies xistos verdes a anfibolito na porção norte e de fácies anfibolito na porção sul.

A investigação de cristais pré-tectônicos de estauroлита, cristalizados durante o evento M₁ na borda sul, indica um zonação pouco significativa de Ti, Mg e Mn, compatível com geração durante um evento regional e não apenas térmico.

O cinturão metamórfico é de baixa pressão, conforme indicado pela presença de andalusita em metapelitos e corroborado pela relação Ti x Al dos anfibólios de anfibolitos.

Agradecimentos — Os trabalhos analíticos na Open University, Inglaterra, foram apoiados financeiramente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através de bolsa de pós-doutorado (Processo n° 202453/83-GC) ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bitencourt, M.F.S. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: Geologia de relações com o corpo granítico. *Atas, 1º Simpósio Sul Brasileiro de Geologia*. SBG, 37-48.

_____. & Hartmann, L.A. 1984. Geoquímica das rochas anfibolíticas da região de Caçapava do Sul, RS: Parte I: caracterização geológica e petrográfica, elementos maiores e menores. *Anais, XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro. SBG. p. 4266-4278.

_____. & _____. 1984. Geoquímica das rochas anfibolíticas da região de Caçapava do Sul, RS: Parte II: elementos traços e considerações genéticas. *Anais, XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG, 4253-4265.

Bortoloto, O.J. 1987. Petrologia dos mármores de Caçapava do Sul (RS). *Revista Brasileira de Geociências*, 17(1): 65-66.

Carvalho, P.F. 1932. Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil*, 66: 1-72.

Hollister, L.S. 1970. Origin, mechanism, and consequence of compositional sector zoning in staurolite. *American Mineralogist*, 55: 742-766.

Laird, J. & Albee, A.L. 1981. Pressure, temperature, and time indicators in mafic schist: their application to reconstructiong the polymetamorphic history of Vermont. *American Journal of Science*, 281: 127-175.

Leinz, V.; Barbosa, A.F. & Teixeira, E.A. 1941. Mapa geológico Caçapava-Lavras, Rio Grande do Sul. *Boletim da Divisão de Produção Mineral*, 90: 1-39.

Ribeiro, M.; Bocchi, P.R.; Figueredo Fº, P.M. & Tessari, R.I. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim da Divisão Fomento da Produção Mineral*, 127: 1-232.

Silva Filho, B. C. da & Matsdorf, M. 1987. Análise estrutural dos metamorfitos da borda oeste do Granito Caçapava, Caçapava do Sul: implicações geológicas locais e regionais. *Anais, III Simpósio Brasileiro de Geologia*. SBG, 1: 197-222.

Smellie, J.A.T. 1974. Compositional variation within staurolite Crystals from the Ardara aureole, County Donegal, Ireland. *Mineralogical Magazine*, 39: 672-684.

Tracy, F.J. 1982. Compositional zoning and inclusions in metamorphic minerals. *Reviews in Mineralogy*, 10: 355-397.

Turner, F.J. 1981. *Metamorphic Petrology; mineralogical, field and tectonic aspects*. McGraw-Hill, New York. 524p.