FOSFATOS DO TIPO CRANDALITA (*PLUMBOGUMITA*, *GOYAZITA*, *GORCEIXCITA*) RESULTANTES DO INTEMPERISMO DE AMBLIGONITA DE PEGMATITOS DE CORONEL MURTA (NORDESTE DE MINAS GERAIS) E SEU SIGNIFICADO PALEOCLIMÁTICO

JOSÉ MARQUES CORREIA-NEVES*, VITÓRIA RÉGIA PERES DA ROCHA OLIVEIROS MARCIANO*,
JORGE CARVALHO DE LENA* e ANTÔNIO CARLOS PEDROSA-SOARES*

ABSTRACT This paper deals with crandallite type phosphates (plumbogummite, goyazite, gorceixcite) originating from amblygonite under weathering conditions active in very recent times in the Coronel Murta area (Northeastern Minas Gerais). Amblygonite, the crystallization of which took place about 500 Ma ago within the replacement bodies of pegmatites emplaced in mica-bearing quartzites from the Proterozoic Salinas Group, was the starting material for the above mentioned supergene minerals. The pegmatitic veins, emplaced in the quartzites according to two perpendicular joint systems, underwent a strong weathering which produced the quasi total kaolinization of the pegmatitic primary feldspars observed at the present time. During the supergene processes, the amblygonite, after acting as a geochemical fence for Ca, Sr, Ba, Pb etc., which provided conditions for the formation of the crandallitic minerals, was itself transformed into kaolinite. The stability fields of these crandallitic minerals, compared to those of kaolinite and amblygonite, show that they are easily formed under rather high pH values. As the environment becomes more acid and, keeping in mind the very low cationic activities in groundwaters, all these phosphates become unstable and, under SiO_2 metasomatism, evolve to kaolinite. This is thermodynamically sound as revealed not only by the calculated stability diagrams but by the identified mineral assemblages as well. These mineral assemblages and their widespread regional scattering seem to be induced not only by climatic and relief conditions but also by their position within the weathering profile. In the Coronel Murta area the most effective factors seem to have been the very recent climatic and relief changes.

INTRODUÇÃO O intemperismo ligado à lateritização é responsável pelo enriquecimento supergênico de numerosos fosfatos do tipo da crandalita, da wavelita e de outros fosfatos de alumínio. Vários autores têm referido este fato (Capdecombe 1952, 1953, em Thiès no Senegal; Espenshade & Spencer 1963, na Flórida; Slansky *et al.* 1964, em Taíba no Senegal; Bardossy & Mack 1967, nas jazidas de bauxita do Monte do Parnass-Kiona; Zanin 1967, na região de Altay Sayan; Oliveira & Schwab 1980a, 1980b, em Santa Luzia e Itacupim, no Pará; Costa 1982, na região de Gurupi na região norte do Brasil (Pará e Maranhão); Reymão 1983, na Chapada de Pirocaua, no Maranhão, e Morro de Jundiá, no Pará).

Os fosfatos mais comumente encontrados são wavelita, augelita, variscita, milisita, mitridatita, senegalita, wardita, os crandalíticos, strengita e outros mais. Nos trabalhos de Oliveira (1980), Costa (1982) e Reymão (1983) encontram-se detalhadas referências sobre as espécies mineralógicas comuns em tais tipos de ambientes do intemperismo laterítico encontrado no NE do Brasil. As características cristaloquímicas desses minerais podem ser encontradas em Strunz (1982).

Parece haver uma zoneografia na distribuição desses fosfatos nos perfis de intemperismo laterítico (Vieillard *et al.* 1979). Os fosfatos de alumínio e cálcio aparecem situados em faixas mais profundas nos perfis enquanto que os fosfatos puramente aluminosos, como a wavelita e a augelita, dispõem-se mais próximos da superfície, denunciando assim um grau mais intenso do intemperismo, provavelmente relacionado com as oscilações do lençol freático.

Os minerais do grupo da crandalita têm a seguinte fórmula geral: $\text{XAl}_3 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Nesta, X pode corresponder a Pb (plumbogumita), a Ba (gorceixcita), a Sr (goyazita), a Ca (crandalita) ou ainda ao Ce (florencita), que se representa pela fórmula: $\text{CeAl}_3 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_6$ (Strunz 1982).

Existe uma considerável solução sólida entre os membros do grupo da crandalita e os membros do grupo da alunita cuja fórmula é: $\text{KAl}_3 [(\text{OH})_6 (\text{SO}_4)_2]$ e da beaundantita (Blanchard 1972, Strunz 1982, Greiffo *et al.* 1984). Isto explica a freqüente presença do enxofre, às vezes em teores elevados, nas análises químicas dos fosfatos do grupo da crandalita.

FOSFATOS CRANDALÍTICOS DE CORONEL MURTA

Na região de Coronel Murta, na Serra da Lagoa Nova, esculpida em quartzitos impuros (unidade de quartzitos, Psq, do Grupo Salinas) do Proterozóico Indiviso, com metamorfismo de fácies anfibolito, de tipo cianita-sillimanita, particularmente bem caracterizado na unidade de xistos, Psx, do referido grupo (Pedrosa Soares 1984) e cujo topo constitui uma chapada, estão sendo lavrados pegmatitos com os feldspatos fortemente caulinizados (Gonçalves 1982). Em dois desses pegmatitos, o da Lorena e do Pau Alto, durante o trabalho de graduação de Gonçalves (*op. cit.*) foram caracterizadas diversas fases mineralógicas das quais se destacam para a finalidade do presente estudo as seguintes: minerais do grupo da crandalita, quartzo em "estalactites" e caulinita, todos ligados aos processos de intemperismo que atuaram na região nos últimos tempos de sua evolução geológica e

* Instituto de Geociências da UFMG, Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa, Caixa Postal 2608, CEP 30161, Belo Horizonte, MG, Brasil

ambligonita da paragênese pegmatítica primária. Estudos relativos ao enquadramento geológico e às relações de parentesco dos granitos e pegmatitos da área, bem como das características petrográficas e geoquímicas dos granitos e dos atributos mineralógicos e geoquímicos dos pegmatitos, foram apresentados nos últimos anos por Correia Neves (1980), Correia Neves *et al.* (1980, 1982a, 1982b, 1986) e Pedrosa Soares (1984).

A caracterização, nas crostas de intemperismo da ambligonita, de fosfatos do tipo da crandalita induziu os autores a um estudo mais detalhado desse material. Macroscopicamente foram separadas várias porções para, após estudo por difração e fluorescência de raios-X, infravermelhos e análise química quantitativa, proceder-se a uma interpretação genética.

As amostras estudadas pelos diversos métodos referidos foram as seguintes: 1672A, 1672B, 1729, 1729D, 1729C, 1733 e 1733A. Com estas referências elas estão arquivadas na litoteca do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG).

A coleta das amostras foi feita na perspectiva de uma interpretação genética. Assim, a amostra 1672A constitui uma capa compacta que, com espessura média de 3 mm, envolve um núcleo de ambligonita (amostra 1672B). A

amostra 1729C envolve a amostra 1729D.

Estudo roentgenográfico De todas as amostras anteriormente referidas, utilizando equipamento do Departamento de Química da UFMG, foram obtidos diagramas de difração de raios-X usando a radiação $K\alpha$ do Cu produzida sob 40 kV e 30mA. A interpretação desses diagramas, indicada na tabela 1 e nas figuras 1 e 2, permitiu a identificação dos minerais: caulinita, variscita, strengita, minerais do grupo da crandalita, ambligonita e quartzo. Os termos de comparação nessas interpretações foram os seguintes: ambligonitas de Chursdorf (ficha 22-1138 do Joint Committee on Powder Diffraction Standards - JCPDS - 1980) e do Alto Ligonha (Correia Neves & Lopes Nunes 1968); gorceixita do Rio Abaeté (ficha 19-535 do JCPDS 1980); goyazita de Binnen (ficha 11-194 do JCPDS 1980); plumbogumita de Ivanhoé Mine (ficha 29-757 do JCPDS 1980); crandalitas de Frederick County (ficha 25-110 do JCPDS 1980) e de Fairfield (ficha 25-1457 do JCPDS 1980); strengita do Museu Britânico (ficha 15-513 do JCPDS 1980); variscita do Alto Ligonha (Correia Neves & Lopes Nunes 1968); caulinita referida por Bailey (1984) e quartzo correspondente à ficha 5-490 do JCPDS (1980).

Todas as amostras de ambligonita (1672B, 1733A e 1733) mostram as raia mais intensas não só da variscita

Figura 1 - Difrátogramas de "ambligonita" de Coronel Murta (radiação $K\alpha$ do Cu; 40 kV 30 mA)

mas também de estruturas cristalinas do grupo da crandalita. O quartzo está presente em todo o material analisado. A caulinita foi identificada nas amostras 1729C e 1672A, a primeira, associada a uma maior quantidade da estrutura crandalítica que na segunda.

Os parâmetros das malhas elementares, referidos na tabela 1, foram calculados a partir dos difratogramas de pó usando um programa de cálculo adaptado para o microcomputador Nexus 1600. Na tabela 1 estão assinaladas, após correção dos valores 2θ por comparação com os do quartzo, as raia usadas para o cálculo dos parâmetros da malha de cada um dos minerais. Os valores obtidos concordam com os referidos na literatura para os mesmos minerais (Strunz 1982), naturalmente com as diferenças resultantes da composição química particular de cada um dos ora estudados.

Estudo químico Todas as amostras foram analisadas no Departamento de Química da UFMG, tendo sido obtidos diagramas de espectrografia de fluorescência de raios-X, cuja interpretação permite afirmar, resumidamente, que:

- As ambligonitas 1672B e 1733A, as menos crandalitizadas, mostram traços de K, Ba, Sr, Y e Fe. Na ambligonita 1733, mais crandalitizada que a 1733A, os teores em Ba, Y e Sr aumentam muito e aparecem traços de K, Pb, Zn e Fe. Nas ambligonitas 1672B e 1733A, o teor em Ca é menor na primeira que na segunda. As ambligonitas 1733 e 1733A, esta menos crandalitizada que a primeira, mostram teores equivalentes em Ca, o que foi confirmado pelos dados da

análise química quantitativa (Tab. 2).

- Nas amostras francamente crandalitizadas (1729, 1729C e 1729D), aparecem traços de K e teores elevados em Ba, Sr e Pb. Na amostra 1729C, envolvendo a 1729D, já com sinais de caulinitização (Tab. 1 e Fig. 2) observa-se, relativamente à amostra 1729D, uma diminuição no teor em Ca. A amostra 1672A, de todas as mais caulinitizada, apresenta teores em Ba, Sr e Y ainda detectáveis por fluorescência de raios-X, e em K, Ca e P muito baixos.

A origem metassomática, partindo da ambligonita, dos materiais crandalítico e caulínico, parece estar confirmada pelo fato de os resultados da análise química quantitativa (Tab. 2) da amostra 1729C, obtidos a partir do material usado na difração e na espectrografia de fluorescência a que se adicionou novo material coletado posteriormente, mostrarem valores muito mais altos em P e Ca do que os inferidos a partir dos diagramas de fluorescência de raios-X, onde as raia desses elementos são muito pouco intensas.

Das amostras anteriores obtiveram-se, no Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa, as análises químicas quantitativas referidas na tabela 2. Estas análises, recalculadas para 100, foram interpretadas em função das fases mineralógicas identificadas por difração de raios-X, sendo os resultados expressos em porcentagem dos cátions equivalentes, de acordo com as fórmulas cristaloquímicas correntemente aceitas para esses minerais (Strunz 1982).

Na amostra 1672B, cerca de 5% dos seus cátions pertencem ao material crandalítico nela existente e caracterizado por difração de raios-X (Tab. 1 e Fig. 1). À ambligonita, fase dominante na amostra 1672B, pertencem 95% dos cá-

Figura 2 – Difratogramas de material crandalítico de Coronel Murta (radiação $K\alpha$ do Cu; 40 kV 30mA)

Tabela 1 – Interpretação dos diagramas de difração de raios-X das figuras 1 e 2 (caulinita →; ambligonita □; “crandalita” +; variscita ○; strengita Δ; quartzo *; largas L; raios usadas para o cálculo dos parâmetros da malha elementar ●)

	1672B			1733A			1733			1729			1729D			1729C			1672A		
	d A°	I	hkl	d A°	I	hkl	d A°	I	hkl	d A°	I	hkl	d A°	I	hkl	d A°	I	hkl	d A°	I	hkl
→																7,161	19	001	7,20	16	001
□	6,142 ●	2	010	6,134 ●	1	010															
+	5,687	1	101	5,702	3	101	5,695	11	101	5,709 ●	25	101	5,695 ●	34	101	5,709 ●	23	101	5,72	4	101
○	5,315	2	111	5,366	2	111	5,334	2	111												
+										4,930 ●	2	012	4,930 ●	2	012	4,930 ●	1	012			
□	4,755 ●	11	100	4,755 ●	10	100	4,760	12	100												
□	4,627 ●	44	110,001	4,637 ●	44	110,001	4,632	26	110,001												
→																4,44	6	020	4,44 ●	15	020
<				4,418	3	002,201													4,35	6	110,110
→																					
○*	4,291	3	002	4,291	5	002	4,291	4	002												
□*	3,834 ●	5	111	3,840 ●	5	111	3,840	2	111												
→																3,567	18	002	3,58 ●	16	002
→+	3,48	1	110	3,49	3	110	3,493	8	110	3,510 ●	17	110	3,496 ●	22	110	3,493 ●	15	110	3,51	8	110
*	3,33	17	101	3,34	30	101	3,33	17	101												
□	3,271 ●	20	110	3,260 ●	17	110	3,281	13	110												
□	3,220	28		3,229	19		3,243	11													
□	3,207	33		3,195	30		3,216	18													
□	3,164 ●	56	011,120	3,162 ●	54	011,120	3,180	35	011,120												
○	3,089 ●	2	020	3,089	2	020	3,089	1	020												
□							2,998	14	021										2,98	4L	021
+□	2,969 ●	44	111	2,965 ●	55	111	2,978	44	111	2,971 ●	23	021,113	2,973 ●	32	021,113	2,955 ●	21	021,113	2,94	4L	113
+	2,875	1	202,015	2,866	1	202,015	2,866	5	202,015	2,845 ●	3L	202,015	2,851 ●	3	202,015	2,844 ●	2L	202,015			
□				2,698	1	006															
□	2,566 ●	6	210	2,564 ●	6	210	2,571	7	210												
→																2,559	3	130,201	2,56 ●	8	130,201
→																2,540	1	131	2,54 ●	6	131
□	2,499 ●	15	012	2,499 ●	11	012	2,505	9	012							2,491	4	131,200	2,500 ●	8	131,200
+	2,455	4	111	2,455 ●	5	111	2,455	2	111	2,456 ●	10	024	2,456 ●	10	024	2,456	7	024			
□	2,397 ●	18	211,131	2,398 ●	12	211,131	2,388	16	211,131							2,390	2	003	2,380 ●	4	003
□				2,338	8	122										2,340	7	202,131	2,340 ●	10	202,131
□	2,315 ●	3	220	2,315 ●	4	220	2,315	2	220										2,304 ●	6	131
□*	2,287 ●	5	121	2,284 ●	6	121	2,284	5	121												
□	2,254 ●	2	121,120	2,254 ●	3	121,120	2,254	3	121,120												
○							2,214	4	212,205	2,212 ●	9	212,205	2,212 ●	12	212,205	2,212 ●	8	212,205			
□	2,196 ●	4	130	2,200 ●	5	130	2,201	3	130												
□	2,107 ●	5	201,211	2,104 ●	3	201,211	2,105	3	201,211												
□	2,054 ●	1	231,132	2,061 ●	2	231,132	2,054	1	231,132												
□	2,036	5		2,040	2																
+										2,010	3L	300,214	2,014 ●	4L	300,214						
□	1,962 ●	11	210	1,958 ●	12	210	1,960	6	210												
□	1,931 ●	5	012,230	1,931 ●	6	012,230	1,931	5	012,230												
+										1,910	5	303,125	1,903 ●	8	303,125	1,903 ●	10	303,125			
□	1,895 ●	11	122	1,895 ●	16	122	1,895	7	122												
□	1,797 ●	6	141	1,797 ●	4	141	1,794	3	141												
□				1,759 ●	2	131															
+							1,755	2	220	1,751	6	220	1,750 ●	6	220	1,747 ●	4	220			
□	1,746 ●	6	211	1,745 ●	5	211	1,743	6	211												
	ao = 5,150 A° bo = 7,211 A° co = 5,052 A° α = 113,664° β = 98,427° γ = 67,332°			ao = 5,137 A° bo = 7,219 A° co = 5,061 A° α = 113,721° β = 98,663° γ = 67,179°						ao = bo = 7,019 A° co = 16,515 A°			ao = bo = 7,015 A° co = 16,498 A°			ao = bo = 7,014 A° co = 16,413 A°			ao = 5,157 A° bo = 8,962 A° co = 7,379 A° β = 104,421°		

Tabela 2 – Análises químicas de amostras da região de Coronel Murta e sua expressão modal em porcentagem catiônica (Cran-material crandalitizado; Ambli-amblygonita; Stren-strengita; Quar-quartzo; Caul-caulinita). Os valores de SO_3 e F foram obtidos nos laboratórios da Geologia e Sondagens Ltda. (Geosol), pelo Dr. Cláudio V. Dutra

	1672-B			1733-A			1733				1729			1729-D			1729-C				1672-A				
	%	Cran	Ambli	%	Stren	Cran	Ambli	%	Quar	Cran	Ambli	%	Quar	Cran	%	Quar	Cran	%	Cran	Caul	Quar	%	Cran	Caul	
SiO ₂	—			—				10,69	7,00			40,35	30,61		32,76	25,02		24,74			12,88	1,78	46,13		24,80
P ₂ O ₅	48,50	0,70	25,29	48,06	0,41	1,10	24,13	38,63		4,22	17,20	18,28		11,75	19,30		12,48	14,24	7,15				0,26	0,12	
Al ₂ O ₃	34,08	0,90	24,53	33,54		0,78	24,13	29,77		6,33	16,66	19,67		17,59	20,79		18,70	33,77	10,71	12,88			39,45	0,18	24,82
Fe ₂ O ₃	0,32	0,15		0,86	0,41			0,98			0,48	—			—		—								
CaO	0,25	0,17		0,79		0,53		0,86		0,60		0,93		0,76	1,61		1,32	1,16	0,74			1,12	0,06		
BaO	0,72	0,18		0,99		0,25		4,53		1,16		2,83		0,84	8,01		2,40	7,48	1,74						
SrO	0,02			0,13		0,05		0,73		0,27		1,77		0,78	1,69		0,75	1,19	0,41			0,02			
PbO	—			—				—				8,51		1,74	8,42		1,73	4,28	0,68			—			
Na ₂ O	—			0,07		0,08		1,16			1,47	0,40		0,58	—		—					—			
K ₂ O	—			0,04		0,03		0,05			0,04	0,12		0,11	—			0,20	0,15			—			
Li ₂ O	9,93		25,28	9,52			24,13	5,85			15,41	—		—	—		—					—			
Y ₂ O ₃	—			—				0,24		0,08		—		—	—		—					—			
H ₂ O ⁺	5,00	2,45	18,66	4,38	1,64		16,79	6,65		14,78	14,30	6,94		35,14	7,34		37,47	12,84	25,05	25,76		13,94	0,42	49,60	
SO ₃	—			—				0,01				0,17		0,10	0,23		0,13	0,17	0,07			—			
F	0,84		1,69	2,78			5,54	—				—		—	—		—	—	—			—			
	99,66			101,16				100,15				99,97		—	—		—	100,07				—			
O≡F	-0,35			-1,16				—				—		—	—		—	—	—			—			
	99,31	4,55	95,45	100,00	2,46	2,82	94,72	—	7,00	27,44	65,56	—	30,61	69,39	—	25,02	74,98	—	46,70	51,52	1,78	—	0,78	99,22	

tions correspondentes a sua composição química. A interpretação da análise química da amostra (Tab. 2) revela que existe uma leve deficiência em Al_2O_3 e no material volátil ($\text{H}_2\text{O} + \text{F}$).

Interpretando a análise química da amostra 1733A, com base nos minerais caracterizados pela difração dos raios-X (Tab. 1 e Fig. 1), verifica-se que, dos cátions presentes no material analisado, 2,5% pertencem à strengita, 2,5% resultam da crandalita e 95% são devidos à amblygonita. A análise química revela, porém, leve deficiência em P e Al, e ainda nos voláteis ($\text{H}_2\text{O} + \text{F}$).

Na amostra 1733, uma amblygonita muito mais crandalitizada que a 1733A (Fig. 1), de seus cátions pertencem, 27% ao material crandalítico, 66% à amblygonita e 7% ao quartzo associado à amostra (Tab. 1 e Fig. 1). A interpretação da análise química revela leve deficiência em Li e voláteis. A análise por infravermelhos da estrutura da amblygonita 1733 revelou a presença de flúor, que, porém, não se determinou quantitativamente.

A amostra 1729 contém quartzo e "crandalita" (Tab. 1 e Fig. 2) e de seus cátions pertencem, cerca de 31% ao quartzo e os restantes 69% ao material crandalítico. A interpretação da análise química indica leve deficiência nos cátions.

Na amostra 1729D, constituída também por quartzo e material crandalítico (Tab. 1 e Fig. 2), de seus cátions 25% pertencem ao quartzo e 75% ao material crandalítico. A interpretação da análise química mostrou leve deficiência em H_2O .

Da amostra 1729C, que corresponde a material caulinitizado (Tab. 1 e Fig. 2), foi analisada quantitativamente (Tab. 2) uma parte cuja composição mineralógica, expressa em porcentagem catiônica, corresponde a 1,78% de quartzo, a 51,52% de caulinita e a 46,70% de material crandalítico. Dentro dos limites dos erros experimentais, a análise química mostrou-se correta.

A amostra 1672A é predominantemente formada por caulinita mal cristalizada a que se associam traços de material crandalítico (Tab. 1 e Fig. 2). De todos os cátions presentes no material analisado (Tab. 2), 99% pertencem à caulinita.

A determinação quantitativa do S (Tab. 2) foi feita nas amostras crandalitizadas (1733, 1729, 1729D e 1729C). Os valores mais altos foram encontrados nas amostras das quais desapareceu a amblygonita (1729, 1729D e 1729C). Isto mostra a semelhança estrutural entre os grupos PO_4 e SO_4

neste tipo de minerais e evidencia o caráter isoestrutural entre os minerais do grupo da crandalita e da alunita (Strunz 1982).

Estudo por espectrografia de infravermelhos Os diagramas de infravermelhos da figura 3 para as amostras 1733A, 1672B, 1729 e 1729D, foram obtidos usando um espectrofotômetro Perkin Elmer modelo 467, pertencente ao Departamento de Química da UFMG, em suporte de KBr. Pode-se obter o significado de cada uma das bandas de absorção em Moenke (1962), Correia-Neves & Lopes Nunes (1968) e Fransolet & Tarte (1977).

A interpretação dos diagramas mostrou não só a presença de CO_2 em todas as amostras e de traços de metano (Correia Neves *et al.* 1984) nas amostras 1729 e 1672B mas também permitiu comparar as estruturas cristalinas identificadas por este método com os resultados obtidos por difração dos raios-X. Assim, nos diagramas das amblygonitas 1672B e 1733A, a presença do material crandalítico, revelada pelos raios-X, não se pode caracterizar com segurança. Nas amostras 1729 e 1729D, além das bandas de absorção atribuíveis ao material crandalítico e ao CO_2 são identificáveis as bandas 3.710 cm^{-1} , 3.630 cm^{-1} e 912 cm^{-1} devidas ao grupo OH^- da estrutura da caulinita e ainda as bandas 800 cm^{-1} e 782 cm^{-1} causadas pela estrutura do quartzo, este já revelado também por difração de raios-X, o que não se verificou com a caulinita.

ORIGEM DO MATERIAL CRANDALÍTICO E DA CAULINITA

A amblygonita, mineral acessório das paragêneses primárias dos corpos de substituição dos pegmatitos de Coronel Murta, foi o material de partida para o desenvolvimento de minerais de intemperismo do grupo da crandalita e da caulinita referidos no presente trabalho. A caulinita aparece quer como produto de intemperismo direto da amblygonita, como acontece com a amostra 1672A (caulinita) que envolve diretamente a amblygonita (amostra 1672B), quer ainda como produto de intemperismo dos próprios fosfatos crandalíticos, como se observa com a amostra 1729C que envolve a amostra 1729D. O aparecimento da caulinita após a plumbogumita é também referido por Greiffo *et al.* (1984).

A formação da caulinita a partir dos fosfatos (amblygonita e crandalita) implica metassomatismo com adição de

Figura 3 – Diagramas de infravermelhos de "crandalitas" (1729D, 1729) e ambligonitas (1672B, 1733A)

SiO₂.

A ambligonita ocorre, como mineral acessório, em bolsões nas unidades de substituição de alguns pegmatitos da região de Coronel Murta. Esses pegmatitos encontram-se encaixados quer segundo a foliação de micaxistos, quer segundo dois sistemas de diáclases verticalizadas que cortam os quartzitos impuros (Correia Neves *et al.* 1978, 1982a, 1983, 1986; Pedrosa Soares 1984).

Enquanto os pegmatitos encaixados em quartzitos apresentam seus feldspatos quase totalmente caulinizados, os posicionados nos micaxistos têm seus feldspatos e outros minerais muito pouco intemperizados. Isto resulta do fato de os quartzitos, que constituem o antiforme da Serra da Lagoa Nova, onde estão encaixados os pegmatitos, serem rochas muito porosas e facilitarem por isso a percolação da H₂O e ao mesmo tempo ocuparem um alto topográfico, o que possibilita oscilações do nível do lençol freático que condicionam o dinamismo da água subterrânea que veicula as reações intempéricas.

A gênese do material crandalítico e a caulinição generalizada dos feldspatos dos pegmatitos encaixados nos quartzitos estão relacionadas com processos de intemperismo. Como analisar-se-á mais adiante, as condições genéticas para o material crandalítico e o caulínico implicaram, pelo menos, condições de pH diferentes, que devem estar relacio-

nadas a variações das condições climáticas e de relevo.

Na época da crandalitização da ambligonita devem ter existido condições ambientais particularmente eficientes para que se tenham concentrado, sob a forma de fosfatos do grupo da crandalita, quantidades apreciáveis de Ca, Sr, Ba e Pb, alterando-se assim drasticamente, devido à presença do P, o comportamento normal desses cátions no intemperismo de rochas silicatadas (Vieillard *et al.* 1979).

A análise dos resultados da difração de raios-X (Tab. 1 e Figs. 1 e 2) e da composição química (Tab. 2) do material em estudo permite afirmar que as estruturas crandalíticas presentes correspondem a associações isomorfas dos termos crandalita (Ca), goyazita (Sr), gorceixcita (Ba) e plumbogumita (Pb) em proporções variáveis e não a misturas de fases mineralógicas independentes.

É de assinalar a presença, em proporções relativamente altas, dos componentes plumbogumita, crandalita, goyazita e gorceixcita nas amostras 1729, 1729D, 1729C e 1733.

A presença de teores tão elevados em Ca, Ba, Sr e particularmente em Pb deve corresponder a um mecanismo especial que conduziu às concentrações anômalas desses cátions, no processo de intemperismo, sob a forma de fosfatos. Os elementos Sr, Y, Ba e Ca já existem, como traços, na estrutura da ambligonita primária e mesmo no contexto geoquímico regional. Nas pertitas dos pegmatitos da região de Co-

ronel Murta determinaram-se teores em Ba, que variam de 100 a 2.200 ppm, e em Sr, variando de 20 a 500 ppm (Correia Neves 1980, Pedrosa Soares 1984, Correia Neves *et al.* 1986).

Determinações de Pb em xistos biotíticos, xistos carbonáticos e rochas cálcio-silicáticas da região de Coronel Murta deram valores variando entre 20 e cerca de 100 ppm. Os teores em Ba e Sr dessas mesmas rochas variam entre cerca de 100 a 2.000 ppm para o Ba e cerca de 100 e 500 ppm para o Sr (Pedrosa Soares 1984). Determinações de Pb nos granitóides da área não são do conhecimento dos autores, porém os teores em Ba e Sr nessas rochas chegam a atingir até 3.000 ppm para o Ba e até 1.000 ppm para o Sr (Pedrosa Soares *op. cit.*). Atendendo, porém, ao teor médio do Pb em granitos, que atinge 32 ppm (Wedepohl 1974), pode-se, pois, concluir que as águas de circulação subterrânea na região de Coronel Murta contêm os elementos necessários para a formação do material crandallítico.

Tendo em mente o que se acaba de escrever, as atividades desses cátions nas águas de circulação subterrânea da região de Coronel Murta devem ter sido muito pequenas e por isso os mecanismos de retenção desses elementos, particularmente o do Pb, devem, pois, ter sido altamente eficientes. Isto resulta, ao menos em parte, da presença do P, que altera drasticamente o comportamento usual dos Ca, Si, Al, Fe, Sr, Ba, Cu, Ce etc., observado no intemperismo de rochas silicatadas nas mesmas condições climáticas (Vieillard *et al.* 1979).

A própria estrutura cristalina desses minerais crandallíticos deve também desempenhar um importante papel na retenção desses elementos, particularmente do Sr, já que, como Frondel (1958) mostrou, as estruturas do tipo da alunita são particularmente aptas a captar o Sr. A esta conclusão chegou também Blanchard (1972) ao explicar o anômalo enriquecimento do Sr em material crandallítico derivado, por intemperismo, de amostras com apatita, em que a concentração do SrO raramente chega a 0,20%.

CAMPOS DE ESTABILIDADE DOS MINERAIS DE INTemperismo ASSOCIADOS À AMBLIGONITA DE CORONEL MURTA

No sentido de definir melhor não só as condições físico-químicas do intemperismo que, na região de Coronel Murta, conduziram à imobilização dos P, Ca, Ba, Sr e Pb, mas também os campos de estabilidade em condições supergênicas dos minerais ambligonita, plumbogumita, goyazita, gorceixcita, crandalita e caulinita, calcularam-se os diagramas de estabilidade referidos nas figuras 4 e 5. Esses diagramas foram construídos tendo em atenção o que parece ser a evolução histórica dos minerais, em particular dos supergênicos, que estão sendo objeto de estudo no presente trabalho. Partindo da ambligonita, mineral de cristalização primária dos corpos de substituição dos pegmatitos, que ocorreu há cerca de 500 Ma (Sá 1977), foram produzidos por intemperismo, implantado já no Quaternário ou quando muito no fim do Terciário, os minerais estudados no presente trabalho.

As seqüências de alteração, tendo em mente as relações paragenéticas referidas anteriormente, parecem ter sido as seguintes:

Durante o intemperismo houve uma forte migração da sílica tornada evidente (Tabs. 1 e 2; Figs. 1 e 2) não só pela gênese da caulinita a partir dos fosfatos (ambligonita e crandallíticos), mas também pela ocorrência, nas formações pegmatíticas estudadas, de verdadeiras estalactites decimétricas de SiO₂ com crescimento zonado perfeito e claramente observável em cortes, de 2 a 3 mm de diâmetro, perpendiculares ao eixo maior das referidas estalactites.

Com base nessas considerações, procurou-se estabelecer as relações de estabilidade entre os diversos minerais geneticamente relacionados. Para isso usaram-se os valores da energia livre de formação (ΔG_f°) desses minerais, alguns obtidos na literatura, outros calculados de acordo com o método de Vieillard *et al.* (1979), que, aliás, é uma modificação do processo usado por Nriagu (1979) e Flicoteaux *et al.* (1977), para adequar os cálculos à realidade geológica. Este procedimento levou aos valores da energia livre de formação para a ambligonita, a plumbogumita, a gorceixcita e a goyazita referidos na tabela 3.

Tabela 3 – Valores de ΔG_f° para as fases consideradas nos diagramas de estabilidade referidos nas figuras 4 e 5

Mineral	Fórmula	ΔG_f° (kCal/mole)	Fonte
Crandalita	CaAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₅ ·H ₂ O	-1.336,7	Vieillard <i>et al.</i> (1979)
Plumbogumita	PbAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₅ ·H ₂ O	-1.217,04	Presente trabalho
Gorceixcita	BaAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₅ ·H ₂ O	-1.335,95	Presente trabalho
Goyazita	SrAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₅ ·H ₂ O	-1.331,46	Presente trabalho
Ambligonita	LiAl PO ₄ OH	-502,26	Presente trabalho
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-907,68	Helgeson (1969)

Na obtenção desses valores usaram-se as fórmulas cristaloquímicas correspondentes às diversas fases minerais (Figs. 4 e 5). Como seria de esperar, os valores da energia livre de formação que se obteve para a plumbogumita, goyazita e gorceixcita, isomorfos da crandalita, são da mesma ordem de grandeza do obtido por Vieillard *et al.* (1979) para a crandalita. Nos cálculos dos valores da energia livre de formação e dos campos de estabilidade dos minerais (Figs. 4 e 5), considerou-se a temperatura de 25°C (298,15°K) e 1 atm, ou seja, as condições-padrão usadas no tratamento teórico dos processos do intemperismo, assumindo-se, para os Li⁺, H₄SiO₄ e H₃PO₄, as concentrações indicadas nas figuras 4 e 5. Na definição dos campos de estabilidade indicados nessas figuras, usaram-se os produtos de solubilidade referidos na tabela 4. Dos produtos de solubilidade indicados, os da plumbogumita, gorceixcita, goyazita e ambligonita foram calculados e os outros foram obtidos da literatura.

Os diagramas referidos nas figuras 4 e 5 mostram claramente que para valores de pH à volta de 7, são necessários teores muito baixos em Ba, Ca, Pb e Sr para, a partir da ambligonita, obter-se o material crandallítico. A formação desse material será, porém, favorecida desde que a atividade catiônica aumente, o que melhorará se a circulação de H₂O subterrânea for mais lenta, o que é condicionado pela topografia, se o clima for tropical, com períodos úmido e seco alternantes, e se as condições de pH se deslocarem para o intervalo alcalino, no qual a própria sílica é também mais

facilmente solubilizada (Krauskopf 1979).

O topo plano da Serra da Lagoa Nova (± 860 m), encon-

tra-se cerca de 100 m acima da Chapada de São Domingos (Folha Araçuaí, SE.23-X-B-VI, 1:100.000, 1983). Esta

Tabela 4 – Valores dos logaritmos dos produtos de solubilidade dos minerais representados nos diagramas das figuras 4 e 5 calculados a 25°C (298,15°K) e 1 atm e dos ΔG_f° usados nos cálculos desses produtos de solubilidade

Mineral	Fórmula	ΔG_f° (kCal/mole)	Produto de Solubilidade a 25°C (log Kps)	Fonte	ΔG_f° (kCal/mole) usados nos cálculos de log Kps	Fonte
Crandalita	$\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1.336,7	$\log \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{H}^+]^2} + 3 \log \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} + 2 \log [\text{H}_3\text{PO}_4] = 21,95$	Vieillard (1978)	$\text{Pb}^{++}(\text{aq}) = -5,81$ $\text{Sr}^{++}(\text{aq}) = -130,38$ $\text{Ca}^{++}(\text{aq}) = -132,18$ $\text{Ba}^{++}(\text{aq}) = -134,0$ $\text{Li}^+(\text{aq}) = -70,22$ $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) = -116,0$	Handbook of Chemistry and Physics 1983 Vieillard et al. 1979
Plumbogumita	$\text{PbAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1.217,04	$\log \frac{[\text{Pb}^{2+}]}{[\text{H}^+]^2} + 3 \log \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} + 2 \log [\text{H}_3\text{PO}_4] = 33,11$	Este estudo		
Gorceixita	$\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1.335,95	$\log \frac{[\text{Ba}^{2+}]}{[\text{H}^+]^2} + 3 \log \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} + 2 \log [\text{H}_3\text{PO}_4] = 22,91$	Este estudo		
Goyazita	$\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1.331,46	$\log \frac{[\text{Sr}^{2+}]}{[\text{H}^+]^2} + 3 \log \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} + 2 \log [\text{H}_3\text{PO}_4] = 22,32$	Este estudo	$\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq}) = -273,10$	
Ambligonita	$\text{Li Al PO}_4 \text{ OH}$	-502,26	$\log \frac{[\text{Li}^+]}{[\text{H}^+]} + \log \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} + \log [\text{H}_3\text{PO}_4] = 10,29$	Este estudo	$\text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq}) = -312,56$ $\text{H}_2\text{O}(\text{liq}) = -56,69$	
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	-907,68	$2 \log \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{H}^+]^3} + 2 \log [\text{H}_4\text{SiO}_4] = 7,63$	Helgeson (1969)

VALORES ASSUMIDOS PARA A CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS (A) E (B)

$$\begin{aligned} [\text{Li}^+] &= 10^{-3} \text{ M} \\ [\text{H}_4\text{SiO}_4] &= 10^{-4} \text{ M} \\ [\text{H}_3\text{PO}_4] &= 10^{-3} \text{ M} \\ T &= 25^\circ\text{C} \text{ (298,15 K)} \\ P &= 1 \text{ atm} \end{aligned}$$

Figura 4 – Diagramas de estabilidade envolvendo a plumbogumita (A), a goyazita (B), a caulinita e a ambligonita

chapada está implantada sobre sedimentos argilo-siltico-arenosos, por vezes arcossianos, bem estratificados e horizontais (Correia Neves *et al.* 1982, Pedrosa Soares 1984). Na altura da sedimentação, houve assim uma violenta erosão, particularmente das rochas granitóides, que permitiu a extensa sedimentação na Chapada de São Domingos que correspondia, nessa época, a uma ampla área flúvio-lacustre. Durante esta fase, devem ter sido criadas as condições para a gênese do material crandalítico.

Tectônica mais recente, de tipo ruptural (Karfunkel *et al.* 1981), promoveu condições para uma inversão de relevo, o que, em conjunção com a grande permeabilidade dos quartzitos da Serra da Lagoa Nova, facilitou a extensa e intensa caulinitização não só dos feldspatos, quer dos quartzitos, quer dos pegmatitos, mas também dos próprios fosfatos pegmatíticos. Nessas condições de relevo e de estrutura e textura petrográfica dos quartzitos (muitos dos quais feldspáticos, micáceos e/ou carbonáticos), facilita-se a lixiviação catiônica e favorece-se a gênese da caulinita que pare-

ce ser um dos minerais de intemperismo mais comuns na área. A gênese da caulinita, como os diagramas das figuras 4 e 5, aliás, mostram claramente, será ainda favorecida pela implantação de condições caracterizadas por valores de pH inferiores a 7.

A caracterização da variscita, associada ainda que em pequena quantidade à ambligonita (Tab. 1 e Fig. 1), denuncia também a existência de ambiente de intemperismo com pH levemente mais baixo do que o necessário à formação do material crandalítico (Reymão 1983). Esta evolução do pH, no sentido dos valores mais baixos, é também indicada pela presença generalizada de caulinita nos perfis de intemperismo da região de Coronel Murta.

SIGNIFICADO PALEOCLIMÁTICO Minerais de tipo crandalítico têm sido identificados no Estado de Minas Gerais em diversas áreas.

No princípio deste século foram identificadas, nos trabalhos pioneiros de Hussak & Prior (1900), a florencita na

VALORES ASSUMIDOS PARA A CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS (A) E (B)

[Li⁺] = 10⁻³ M
[H₄SiO₄] = 10⁻⁴ M
[H₃PO₄] = 10⁻³ M
T = 25 °C (298,15 K)
P = 1 atm

Figura 5 – Diagramas de estabilidade envolvendo a crandalita (A), a gorceixita (B), a caulinita e a ambligonita

localidade de Tripuhi (Ouro Preto), e de Hussak (1906), as ocorrências de goyazita e de gorceixcita constituindo favas do cortejo de satélites dos diamantes da região de Diamantina e de hamilitina (goyazita) na Serra de Congonhas.

Ocorrências de wavelita nos calcários de Carandaí e em Ouro Preto, de florencita também na região de Ouro Preto e ainda de plumbogumita, gorceixcita, florencita e goyazita, constituindo favas que acompanham o cortejo dos satélites dos diamantes, são referidas por Ferraz (1929).

A ocorrência de favas de lazulita entre os satélites dos diamantes explotados no leito do Jequitinhonha é referida por Cassedane & Cassedane (1975).

Wavelita e turquesa, de origem supergênica, são identificadas na região de Conselheiro Mata (Diamantina) por Correia-Neves *et al.* (1976).

Nos perfis de intemperismo, originados a partir do material alcalino de Araxá, foi caracterizada a presença de grandes quantidades de goyazita-gorceixcita (Mendes *et al.* 1968).

Na Mina do Córrego do Feijão foi caracterizada por Greiffo *et al.* (1984), como produto de intemperismo dos minérios de ferro, a gorceixcita rica em Sr.

No sul do Estado de Minas Gerais, na região pegmatítica de Bicas e Mar de Espanha, Svisero *et al.* (1984) caracterizaram a florencita em "veios limoníticos", que cortam o quartzo dos pegmatitos dessa região, e Simone *et al.* (1985) apresentam o estudo da estrutura cristalina desta florencita.

A generalizada ocorrência, de norte a sul do Estado de Minas Gerais, de fosfatos cuja gênese se liga a condições de intemperismo laterítico, permite pensar que o Estado esteve sujeito a um clima quente tropical úmido, com períodos

secos e chuvosos alternando entre si, talvez já desde o fim do Terciário. Com essas condições climáticas deve também relacionar-se a gênese dos depósitos bauxíticos do Estado. Após a permanência desse tipo de clima, evoluiu-se para as condições climáticas atuais, que favorecem o aparecimento de grandes quantidades de caulinita nos perfis de intemperismo.

Na região de Coronel Murta as assembléias mineralógicas de intemperismo implantadas sobre a amblygonita permitem pensar quer numa transformação direta da amblygonita (amostra 1672B), nas condições climáticas e topográficas atuais, em caulinita (amostra 1672A), quer na transformação da amblygonita (amostra 1733A) em material crandallítico (amostras 1733, 1729 e 1729D) em condições de intemperismo laterítico, a que se seguiu uma evolução para material caulínico (amostra 1729C) nas atuais condições climáticas.

Agradecimentos A realização do presente trabalho foi possível graças a vários auxílios de pesquisa e bolsas concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para a consolidação e institucionalização da pesquisa geológica na UFMG, aos quais se agradece. As determinações quantitativas do F e do S agradecemos ao Dr. Cláudio V. Dutra, da Geologia e Sondagens Ltda. (Geosol). Ao Departamento de Química da UFMG agradecemos a possibilidade de utilização de seus laboratórios de raios-X. A datilografia do texto é de Hilnaide M.C. Ferreira e as tabelas e gráficos foram desenhados por Frederico Rosa e Silva. Aos dois, nossos agradecimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, S.W. - 1984 - Structures of layer silicates. In: BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. eds. *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification*. Mineralogical Society, London: 1-124.
- BARDOSY, G. & MACK, E. - 1967 - Zur Kenntnis der Bauxite des Parnass-Kiona-Gebirges. *Min. Deposita*, 2:334-348.
- BLANCHARD, F.N. - 1972 - Physical and chemical data for crandallite from Alachua County, Florida. *Amer. Mineral.*, 57:473-484.
- CAPDECOMME, L. - 1952 - Sur les phosphates alumineux de la région de Thiès (Sénégal). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 235(D): 187-189.
- CAPDECOMME, L. - 1953 - Etude Minéralogique des gites phosphatés de la région de Thiès (Sénégal). In: INT. GEOL. CONGR. 19, Alger. *Proceedings...*, v. 11, p. 103-118.
- CASSEDANE, J.P. & CASSEDANE, J.O. - 1975 - Note sur la lazulite de la région de Diamantina (MG). *An. Acad. brasil. Ciênc.*, 47(2):283-288.
- CORREIA-NEVES, J.M. - 1980 - Composition and structural state of feldspars from the eastern pegmatite province of Minas Gerais, Brazil. In: INT. GEOL. CONGR., 26, Paris, 1980. 15p. (inédito).
- CORREIA-NEVES, J.M. & LOPES NUNES, J.E. - 1968 - Pegmatitic phosphates of Alto-Ligonha Region (Mozambique-P.E.A.). *Rev. Ciências Geol.*, ULM, 1 (série A):1-48.
- CORREIA-NEVES, J.M.; CARDOSO, R.N.; BRICHTA, A. - 1976 - Geologia e Mineralogia de depósitos de wavelita e turquesa da região de Conselheiro Mata, Diamantina, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Ouro Preto, 1976. *Anais...*, Ouro Preto, SBG, v. 3, p.207-217.
- CORREIA-NEVES, J.M.; KARFUNKEL, J.; KARFUNKEL, B.; SCHMIDT, J.C.; QUÉMENEUR, J.J.G. - 1978 - Geologia da região pegmatítica entre Coronel Murta e Salinas, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. *Resumos...*, Recife, SBG, p.17. (Texto integral inédito).
- CORREIA-NEVES, J.M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; VALLE, R.R. - 1980 - Geoquímica e gênese do Pegmatito Limoeiro (Virgem da Lapa, MG). In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Balm. Camboriú, 1980. *Anais...*, Balm. Camboriú, SBG, v.4, p.2134-2148.
- CORREIA-NEVES, J.M.; QUÉMENEUR, J.J.G.; BARAUD, R.; PEDROSA-SOARES, A.C.; MONTEIRO, R.L.B.P.; SCLAR, C. - 1982a - Avaliação das Províncias Pegmatíticas de Minas Gerais; *Enquadramento Geológico*. Conv. 227 FINEP/UFMG, Relatório final. 227p. (inédito).
- CORREIA-NEVES, J.M.; MONTEIRO, R.L.B.P.; PEDROSA-SOARES, A.C. - 1982b - Granitóides da região de Coronel Murta, Minas Gerais, Brasil; I. Petrografia. In: CONGR. LATINO-AMERICANO DE GEOL., 5, Buenos Aires, 1982. *Actas...*, Buenos Aires, v. 2, p. 133-146.
- CORREIA-NEVES, J.M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; MONTEIRO, R.L.B.P.; SCLAR, C. - 1983 - Contribuição à Geologia e Petrografia da Região Pegmatítica de Virgem da Lapa-Coronel Murta, Minas Gerais. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 2, Belo Horizonte, 1983. *Anais...*, Belo Horizonte, SBG Núcleo MG, p. 100-114, (Bol. 3).
- CORREIA-NEVES, J.M.; DUTRA, C.V.; MONTEIRO, R.L.B.P. - 1984 - Composição química de berilos pegmatíticos do Brasil e seu significado petrológico e metalogenético. *Rev. Bras. Geoc.*, 14(3):137-146.
- CORREIA-NEVES, J.M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; MARCIANO, V.R.P.R.O. - 1986 - A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(1):106-118.
- COSTA, M.L. - 1982 - *Petrologisch-geochemische Untersuchungen Zur Genese der Bauxite und Phosphat-Laterite der Region "Gurupi" (Ost-Amazonien)*. 189p. (Tese de doutoramento, Universitaet Erlangen-Nuernberg).
- ESPENSHADE, G.H. & SPENCER, C. - 1963 - Geology of Phosphate deposits of Northern Peninsular Florida. *U.S. Geol.*

- Surv. Bull.*, 118.
- FERRAZ, L.C. — 1929 — *Compêndio dos Minerais do Brasil em forma de dicionário*. Rio de Janeiro. Imprensa Nacional. 645p.
- FLICOTEAUX, R.; NAHON, D.; PAQUET, H. — 1977 — Genèse des Phosphates aluminieux à partir des sédiments argilo-phosphatés du Tertiaire de Lam-Lam (Sénégal): suite minéralogique. Permanences et changements de structures. *Sci. Géol. Bull.*, 30:153-174.
- FRANSOLET, A.M. & TARTE, P. — 1977 — Infrared spectrum of analysed samples of the amblygonite-montebrazite series: a new rapid, semi-quantitative determination of fluorine. *Amer. Mineral.*, 62:559-564.
- FRONDEL, C. — 1958 — Geochemical enrichment of strontium in minerals of the alunite structure type (abstr.) *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 69:1567-1568.
- GONÇALVES, F.D. — 1982 — Mineralogia e geoquímica dos pegmatitos das lavras da Chapadinha, Lorena e Pau Alto; Coronel Murta, MG. Belo Horizonte. 151p. (Trabalho de Graduação, IGC-UFGM).
- GREFFO, W.; HEREMANN, K.; MUELLER, G.; STRAUSS, K.W. — 1984 — Sr-gorceixite, a weathering product in rich iron ores from the Corrego do Feijão Mine, Minas Gerais, Brasil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 87:418-419.
- HELGESON, H.C. — 1969 — Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. *Amer. J. Sci.*, 267:729-804.
- HUSSAK, E. — 1906 — Über die sogenanteen "Phosphat-Favas" der diamantführenden Sande Brasiliens. *Tschermaks Mineral. Petrol. Mitt.*, 25:335-344.
- HUSSAK, E. & PRIOR, G. — 1900 — On florencite, a new hydrated phosphate of aluminum and the cerium earths, from Brazil. *Mineral Mag.*, 12:244-248.
- JCPDS, INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA — 1980 — *Selected Powder Diffraction Data for Minerals (Sets 1-29)*. 1601 Park Lane, Swarthmore, PA 19081. 425p.
- KARFUNKEL, J.; SCHMIDT, J.C.; KARFUNKEL, B.S. — 1981 — Contribuição à estratigrafia e tectônica da faixa de dobramentos Araçuai. In: SIMP. SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. Salvador, 1981. *Anais...*, Salvador, SBG, Núcleo BA, p. 158-163.
- KRAUSKOPF, K.B. — 1979 — *Introduction to geochemistry*. 2 ed., New York, McGraw-Hill. 617p.
- MENDES, M.J.C.; MURTA, C.C.; CASTRO, L.O. — 1968 — *Mineralogia do depósito de terras-raras, nióbio e urânio da área zero*. Araxá (MG). Belo Horizonte, Inst. Pesq. Nucleares UFGM CNEN. 12 p.
- MOENKE, H. — 1962 — *Sammlung von 513 Mineralspektren*. Erste Auflage. Berlin.
- NRIAGU, J.O. — 1976 — Phosphate-clay mineral relations in soils and sediments. *Can. J. Earth Sci.*, 13:517-736.
- OLIVEIRA, N.P. — 1980 — *Mineralogie und Geochemie der phosphatführenden Laterite von Itacupim und Trautira, Nordbrasilien*. 149 p. (Tese de doutoramento, Universitaet Erlangen-Nuernberg).
- OLIVEIRA, N.P. & SCHWAB, R.G. — 1980a — Petrographie und Geochemie der AL-Phosphate von Santa Luzia, Pará. *Muenster. Forsch. Geol. Pal.*, 51:295-306.
- OLIVEIRA, N.P. & SCHWAB, R.G. — 1980b — Itacupim, um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: CONG. BRAS. GEOL. 31, Baln. Camboriú, 1980. *Anais...*, Baln. Camboriú SBG. v. 1, p. 184-196.
- PEDROSA-SOARES, A.C. — 1984 — *Metamorfismo, granitogênese e mineralizações associadas na região de Coronel Murta, NE de Minas Gerais, Brasil*. Brasília, 171 p. (Dissertação de Mestrado, UnB).
- REYMÃO, M.F.F. — 1983 — *Estudo físico-químico de hidróxi-fosfatos e minerais associados ocorrentes na Chapada de Pirocaua (MA) e no Morro de Jandú (PA)*. Belém, 153 p. (Dissertação de Mestrado, UFFa).
- SÁ, J.H.S. — 1977 — *Pegmatitos litiníferos da região de Itinga-Araçuai, Minas Gerais*. São Paulo, 112 p. (Tese de doutoramento, IG-USP).
- SIMONE, C.A.; MASCARENHAS, Y.P.; SVISERO, D.P. — 1985 — Refinamento da estrutura cristalina da florencita pelo método dos mínimos quadrados utilizando amostras policristalinas. *Rev. Bras. Geoc.*, 15(2):164-169.
- SLANSKY, M.; LALLEMAND, A.; MILLOT, G. — 1964 — La sédimentation et l'altération latéritique des formations phosphatées du gisement de Taiba. *Bull. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine*, 17311-324.
- STRUNZ, H. — 1982 — *Mineralogische Tabellen*. 8. Auflage. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., 621 p.
- SVISERO, D.P.; MASCARENHAS, Y.P.; SIMONE, C.A.; FRANCESCONI, R. — 1984 — Mineralogia da ocorrência de florencita do Município de Bicas, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...*, Rio de Janeiro, SBG, v. 9, p. 4434 - 4445.
- VIEILLARD, P. — 1978 — *Geochemie des phosphates. Étude thermodynamique. Application à la genèse et à l'altération des apatites*. Strasbourg (Tese de doutoramento, Université Louis Pasteur). *Sci. Geol. Mem.*, 51:200 p.
- VIEILLARD, P.; TARDY, Y.; NAHON, D. — 1979 — Stability fields of clays and aluminum phosphates: parageneses in lateritic weathering of argillaceous phosphatic sediments. *Amer. Mineral.*, 64:626-634.
- WEDEPHOL, K.H. — 1974 — *Handbook of geochemistry*. Lead 82E-1-18. Heidelberg, Springer-Verlag.
- ZANIN, Yu. N. — 1967 — Zones of laterite weathering of secondary phosphorites of Altay-Sayan region. *Geologia i Geofizika*, 9:56-65 (trad. *Int. Geol. Rev.*, 10:1119-1127, 1968).

MANUSCRITO 393

Recebido em 9 de setembro de 1986

Revisão aceita em 3 de fevereiro de 1987

A sabedoria de um pensador se mede pela capacidade de dar um exemplo.

(Máxima chinesa)