

MOBILIDADE DO ZIRCÔNIO NA BAUXITIZAÇÃO DE ROCHAS ALCALINAS DO MACIÇO DE POÇOS DE CALDAS

François Soubiès⁽¹⁾

Adolpho José Melfi⁽²⁾

Ivone Aparecida Sardela⁽³⁾

RESUMO

Estudos mineralógicos e geoquímicos efetuados nos perfis de alteração do depósito de bauxita do morro do Cristo (Poços de Caldas) evidenciam que cerca de 40% do zircônio contido na rocha alcalina são lixiviados do perfil durante o processo de bauxitização.

Por outro lado, os resultados obtidos mostram ainda que apenas uma pequena parte do zircônio residual da bauxita encontra-se sob a forma de zircão. A quase-totalidade desse elemento aparece associado à fase ferruginosa da bauxita (goethita e leucoxênio) sob a forma de geles ferro-titânio-alumino-zirconíferos.

INTRODUÇÃO

Apesar do comportamento geoquímico do zircônio no ciclo supérgeno não estar ainda perfeitamente estabelecido, é comum considerá-lo como um elemento de grande estabilidade e praticamente imóvel no manto superficial de alteração. Dessa forma, o zircônio acumula-se residualmente nos perfis de intemperismo (Goldschmidt, 1937, 1954; Degenhardt, 1957; Adams & Richardson, 1960; Zeissink, 1971).

Na realidade, essa aparente imobilidade prende-se ao fato de que, de uma maneira geral, o zircônio ocorre nas rochas concentrado em um único mineral, o zircão ($ZrSiO_4$), de grande estabilidade na superfície da Terra (Goldich, 1938). Nesse caso, o comportamento geoquímico do zircônio estaria condicionado à alta insolubilidade do zircão nos processos de alteração intempérica, que possibilita sua concentração residual nos perfis de alteração.

Durante muito tempo, os altos níveis de zircônio encontrados nas bauxitas eram explicados única e exclusivamente pela presença de zircão nesses produtos lateríticos (Frederickson, 1948; Zakrutkin & Shvetsiva, 1975; etc.).

Por outro lado, sabe-se que, em muitos casos, somente o zircão não poderia explicar os altos teores de zircônio encontrados em bauxitas. Os trabalhos de Degenhardt (1969) e Beneslavskii (1963) mostram que nas bauxitas, o zircônio, além de se concentrar no zircão, ocorre também, provavelmente, como óxidos e hidróxidos coloidais, ou adsorvidos na forma iônica sobre minerais secundários ou, ainda, substituindo

isomorficamente o ferro e o alumínio em seus óxidos ou hidróxidos. Zakrutkin & Shvetsiva (op. cit.), estudando bauxitas no sul do Timão, sugerem que o Zr pode estar presente sob três formas diferentes: no zircão, em óxidos hidratados de zircônio ($ZrO_2 \cdot nH_2O$) e, predominantemente, em substituições isomórficas na boehmita e caolinita.

Em Poços de Caldas, depósitos de bauxitas ricos em Zr são desenvolvidos sobre rochas alcalinas, com altos teores nesse elemento (cerca de 1.500ppm) e quase isentas de zircão. Com o objetivo de caracterizar o comportamento geoquímico do zircônio durante o processo de bauxitização e sua eventual localização na bauxita, estudos mineralógicos e químicos foram realizados em perfis do depósito do morro do Cristo, desenvolvidos a partir de tinguaitos.

A BAUXITA DO DEPÓSITO DO MORRO DO CRISTO

Contexto Geológico e Petrográfico

O maciço alcalino de Poços de Caldas, de idade cretácica superior, forma um grande corpo circular, com aproximadamente 800km² de área intrusivo em rochas pré-cambrianas. Esse maciço destaca-se, nitidamente, na paisagem montanhosa do Pré-Cambriano, por um marcado desnível topográfico de cerca de 300m.

Do ponto de vista petrográfico, o maciço é formado predominantemente por tinguaitos, fonólitos e nefelinasienitos, associados a lavas fonolíticas, brechas e rochas piroclásticas. Os tinguaitos e os fonólitos são os termos litológicos mais importantes na gênese dos depósitos de bauxita, não somente pelo fato de suas composições químicas e mineralógicas favorecerem a bauxitização, mas, principalmente, pela sua grande expressão areolar e estrutura.

O depósito do morro do Cristo ocorre na borda do maciço de Poços de Caldas, onde domina uma

¹Orstom, UR/G1/Laboratoire de Mineralogie—Université Paul Sabatier—Toulouse—França

²Departamento de Geofísica do Instituto Astronômico e Geofísico da USP

19 FEV. 1996

Orstom Fonds Documentaire

Nº 43632 epl

Cote B

ORSTOM Documentation



010001051

topografia altamente acidentada, com grandes desníveis altimétricos e vertentes abruptas. As condições de drenagem são excelentes e possibilitam uma forte e rápida alteração da rocha alcalina. Como resultado, tem-se a formação de um perfil bauxítico em contato direto com a rocha original, rico em alumínio e pobre em sílica.

A rocha-mãe do depósito do morro do Cristo é um tinguaito, caracterizado por apresentar textura afanítica ou fanerítica muito fina, cores verde a verde-escura e com poucos fenocristais visíveis a olho nu. É comum a presença de numerosas fraturas, algumas preenchidas por um material totalmente argilificado.

Microscopicamente, essa rocha é constituída por um mosaico de grãos finos (algumas dezenas de μ) de feldspato e nefelina, aproximadamente equidimensionais, que, por vezes, se apresentam automorfos e, nesse caso, são de maiores dimensões (até 0,5mm). Inúmeros pequenos prismas de egirina-augita ($200 \times 100\mu$ em média) estão dispersos nesse fundo matricial e constituem mais ou menos 20% do volume total da rocha. Igualmente dispersos na matriz são encontrados cristais maiores (0,5 a 1,0mm) de "giannetita" e de um anfibólio sódico (ferro-edenito), que constituem cerca de 5% do volume total da rocha. Esses cristais são sempre poiquilíticos e englobam numerosos pequenos cristais de feldspato e nefelina da matriz. Zircônio existe, mas seus cristais são extremamente raros, ocorrendo como traços.

Quimicamente (tabela 1), esses tinguaitos apresentam um caráter apáítico bem marcado, o que é reforçado pelos altos teores em Zr, Nb e TR.

O alto teor em zircônio encontrado no tinguaito não pode ser explicado pela presença de zircão, visto que em todas as amostras estudadas (cinco amostras), apenas quatro diminutos cristais desse mineral foram encontrados. O estudo à microsonda eletrônica mostrou que, de todos os minerais formadores dos tinguaitos, apenas os anfibólios sódicos e as "giannetitas" possuem zircônio em sua constituição.

Os anfibólios sódicos (tabela 2) apresentam composição química que permite classificá-los como ferro-edenita, com fraco teor em zircônio.

As "giannetitas", descritas em Poços de Caldas pela primeira vez, por Guimarães (1948), apresentam composição química (tabela 3) que permite classificá-las como um "fluo-zircono-silicato complexo" da família da Wohlerita-Lavenita, que são di-ortossilicatos complexos, os quais podem abrigar nas cavidades octaédricas um grande número de cátions de raios e cargas diferentes (tabela 4).

Bauxitização dos Tinguaitos

As condições litológicas, topográficas e de drenagem existentes no morro do Cristo são favoráveis ao desenvolvimento de notáveis perfis bauxíticos, caracterizados por uma bauxitização direta que ocorre a poucos milímetros da rocha totalmente fresca (figura 1).

Trata-se de perfis altamente evoluídos, com altos teores em alumina, pequenas proporções de argilas e não muito espessos (nessas regiões a erosão é intensa).

A alteração do tinguaito tem início pela formação de uma fina crosta de alteração, de coloração amarela e composição essencialmente gibbsítica. Quantidades reduzidas da goethita são encontradas associadas à gibbsita. Produtos amorfos, com composição ferro-alumínica, são comuns.

Em direção à superfície, a alteração progride através de uma série de transformações, caracterizadas pela perda de coerência da rocha, devido ao desenvolvimento de um importante sistema de fratura, associado ao desenvolvimento de um intenso sistema poral.

Da base para o topo do perfil, foi possível distinguir três horizontes principais, com base em suas características morfológicas, mineralógicas e químicas.

Horizonte friável com estrutura preservada

Na base do perfil, separado da rocha fresca por uma crosta milimétrica de alteração, ocorre um horizonte bauxítico homogêneo, de coloração amarelo-avermelhada na base e amarelo-pálido, mais para o topo, altamente poroso, friável e com baixa densidade. Sua espessura é variável, apresentando em média 3m. Os valores de densidade são ao redor de $1g/cm^3$ e a porosidade pode atingir 60%. Juntas, fraturas ou estruturas concêntricas (alteração esferoidal) podem persistir nesse horizonte, como estrutura reliquiar. Sua composição mineralógica é essencialmente constituída de gibbsita com goethita subordinada. Traços de caolinita, leucoxênio e halloisita podem ser encontrados. Zircão é esporádico, visto como traços em algumas amostras do horizonte. Geles amorfos são comuns.

Horizonte coerente denso

Acima do horizonte friável, com contato transicional e espessura média de 2m, ocorre um horizonte mais coerente, denso e compacto, onde a densidade apresenta valores mais elevados, da ordem de 1,2 a $2,0g/cm^3$ e a porosidade é menos importante (10 a 50%). A estrutura original da rocha é ainda parcialmente preservada, mas deformada por fenômenos de compactação. A mineralogia é semelhante à do horizonte inferior, chegando a gibbsita a formar 90% do volume total do horizonte.

Horizonte nodular

Mais próximo da superfície, abaixo de uma fina camada de solo (30cm em média), rico em matéria orgânica, ocorre um horizonte nodular, em geral pouco espesso (máximo 1,5m). Esse horizonte é formado de nódulos, fragmentos e concreções de tamanhos e formas variados que se encontram dispersos em uma matriz argilosa. Os nódulos e concreções, de coloração amarela, apresentam composição mineralógica idêntica à dos horizontes inferiores e portanto rica em gibbsita, com goethita subordinada, enquanto que a matriz ar-

gilosa é constituída de caulinita e goethita dominantes.

Quimicamente (tabela 5), o perfil bauxítico é caracterizado por uma notável diminuição dos teores de sílica e dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos, e enriquecimento de Al_2O_3 e Fe_2O_3 , o que evidencia uma típica evolução ferralítica.

Nos dois horizontes inferiores (friável com estrutura preservada e coerente denso), a bauxita caracteriza-se, essencialmente, pela existência de duas grandes unidades de organização:

- predominantemente, existe um mosaico de grandes cristais de gibbsita (10 a 30μ), que se embricam entre si no meio desses cristais e, dispersos nesse cristalplasma gibbsítico, observam-se numerosos grânulos, que apresentam as seguintes características: tamanho semelhante aos cristais de gibbsita; coloração vermelho-alaranjada; relevo forte; forma arredondada ou ligeiramente geométrica (hexagonal corroída, com ângulos arredondados); isotropos sob luz polarizada ou, mais raramente, birrefringentes, com coloração análoga àquela que possuem sob luz normal e freqüentes zonação e fissuras;
- subordinadamente, ocorre um sistema de grandes poros (mais desenvolvido no horizonte friável e mais restrito no coerente), onde se pode observar dois tipos de cutãs: um forma um plasma análogo, nas suas propriedades, aos grânulos precedentes (plasma vermelho-alaranjado), que é sempre isotropo em luz polarizada, mas que às vezes pode ser birrefringente; o outro constitui um plasma de coloração marrom-avermelhada, comumente zonado, fazendo pensar em depósito iluvial, isotropo ou fracamente birrefringente.

O plasma vermelho-alaranjado pode ocorrer isolado (caso menos freqüente) e formar grandes volumes homogêneos, recortados por fissuras, tipo fendas de dissecação. O mais freqüente, entretanto, é encontrá-lo associado ao plasma marrom-avermelhado, de maneira não bem definida, mas com limites nítidos entre ambos. Em geral, nota-se, no plasma marrom-avermelhado, a existência de uma franja de pequenos cristais de gibbsita, que evidencia a forma do poro.

Comportamento do Zircônio no Perfil Bauxítico

As análises químicas apresentadas na tabela 5 mostram que o zircônio permanece em todos os horizontes, com teores aproximadamente constantes. Com o objetivo de verificar seu comportamento durante a alteração ferralítica, foi aplicado, nas amostras do horizonte bauxita friável, que possuem a estrutura original da rocha preservada (2.14, 2.13, 2.12), o raciocínio isovolume (tabela 6 – Millot & Bonifas, 1955).

Os resultados da tabela 6 mostram que Si, Ca, Mg, Na e K são quase que completamente eliminados, desde o início da alteração. Mn, Nb e Ce exibem alta mobilidade, apresentando altas taxas de exportação (70 a 90%). O Zr, assim como o fósforo, apresenta uma mobilidade intermediária, com taxas de exportação entre 20 e 40%. Fe, V, Al e Ti são praticamente imóveis, concentrando-se no perfil.

No que diz respeito ao zircônio, os dados da tabela 6 são significativos pois, considerado comumente como um elemento residual, verifica-se que ele possui uma notável mobilidade nesse meio superficial. Esse fato está, sem dúvida alguma, ligado a dois aspectos principais: a) nessas rochas, o essencial do estoque do Zr não se encontra no zircão, mineral praticamente ausente nos tinguaitos, mas associado a zirconossilicatos complexos, mais facilmente hidrolizáveis; e b) existência de valores elevados de pH nas águas que percolam essas rochas alcalinas (valores acima de 9,0 são comumente encontrados na região).

Os coeficientes de correlação (dados de 23 amostras) dos elementos químicos dosados nos diferentes horizontes do perfil estudado (figura 2) evidenciam uma estreita associação do Zr com ferro, vanádio, nióbio, titânio, manganês e cério. Isto, sem dúvida, indica claramente que o zircônio encontra-se associado à fase ferruginosa (goethita e leucoxênio) do minério de alumínio.

Estudos químicos pontuais realizados através de microsonda mostram que a gibbsita não é zirconfíera, podendo entretanto exibir teores elevados em Fe e baixos em Ti e Nb. A goethita, sempre associada a produtos mal identificados e impossível de ser isolada, parece apresentar teores elevados de Ti, Nb e Zr em sua constituição, fato esse constatado, também, em goethitas da jazida de bauxita de Lages (Cesbron, comunicação oral).

Entretanto, o essencial do zircônio nessas bauxitas ocorrem nos grânulos e nos dois tipos de plasma, onde teores de até 2,5% de ZrO_2 podem ser detectados.

Do ponto de vista químico, os dados apresentados na tabela 7 evidenciam que esses diferentes produtos amorfos (geles) são essencialmente de dois tipos: um rico em alumínio e pobre em ferro, titânio, nióbio e zircônio (plasma marrom-avermelhado que ocorre associado ao sistema poral da bauxita); outro, ao contrário, rico em ferro, titânio, nióbio e zircônio (grânulos e plasma vermelho-alaranjado, que se encontram nos interstícios deixados pelos cristais de gibbsita e nos grandes poros).

Esses geles zirconfíeros, muito ricos em ferro, não apresentam ao microscópio e aos raios X nenhum indício de cristalização e são fortemente hidratados (cerca de 40% de H_2O).

CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Os resultados químicos e mineralógicos obtidos no estudo do perfil de intemperismo do depósito de alumínio do morro do Cristo evidenciam que os altos teores

em Zr apresentados pelas bauxitas de Poços de Caldas representam apenas parte do estoque da rocha original, pois cerca de 40% do zircônio foi lixiviado para fora do perfil, já nos primeiros estágios de evolução do processo de bauxitização. Sem dúvida esse comportamento, considerado até certo ponto anormal, só pode ser explicado pelo fato do zircônio não se encontrar sob a forma de zircônio na rocha original, mas sim fazendo parte da estrutura de fluo-zirconossilicatos sódicos, do tipo Wohlerita-Lavenita. Esse mineral, facilmente alterável, libera o zircônio que, em contato com um meio altamente alcalino, pode formar com o flúor, também liberado pelo processo hidrolítico, complexo de grande estabilidade, que possibilita sua migração.

Por outro lado, os resultados mostram ainda a existência de uma íntima associação do Zr com a fase ferruginosa da bauxita. Além de parte do conteúdo total do zircônio poder estar adsorvida ou mesmo fazer parte da estrutura da goethita, o essencial do estoque desse elemento na bauxita aparece incorporado a geles, altamente hidratados, de ferro, titânio e nióbio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.A.S. & RICHARDSON, F.A. 1960. Thorium, uranium and zirconium concentrations in bauxite. *Econ. Geol.*, 21:1653-1675.
- DEGENHARDT, H. 1957. Untersuchungen zur geochemischen Verteilung des zirconium in der lithosphere. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 11:279.
- FREDERICKSON, A.F. 1948. Mode of occurrence of titanium and zirconium in laterites. *Amer. Mineral.* 33:374.
- GOLDICH, S.S. 1938. A study in rock weathering. *Jour. Geol.*, 46:17-58.
- GOLDSCHMIDT, V.M. 1937. The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. *J. Chem. Soc.*, 1:655.
- , 1954. *Geochemistry*. Muir, A. (ed.): Oxford: Clarendon Press.
- GUIMARÃES, D. 1948. The zirconium ore deposits of the Poço de Caldas plateau, Brazil and zirconium geochemistry. Instituto de Tecnologia Industrial, MG. Bol nº 6, pp. 45-79.
- MILLOT, G. & BONIFAS, M. 1955. Transformation isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation. *Bull. du Serv. de la Carte Geol. d'Alsace et de Lorraine*. 8:1.
- ZEISSINK, H.E. 1971. Trace element behaviour in two nickeliferous laterite profiles. *Chem. Geol.*, 7:25.

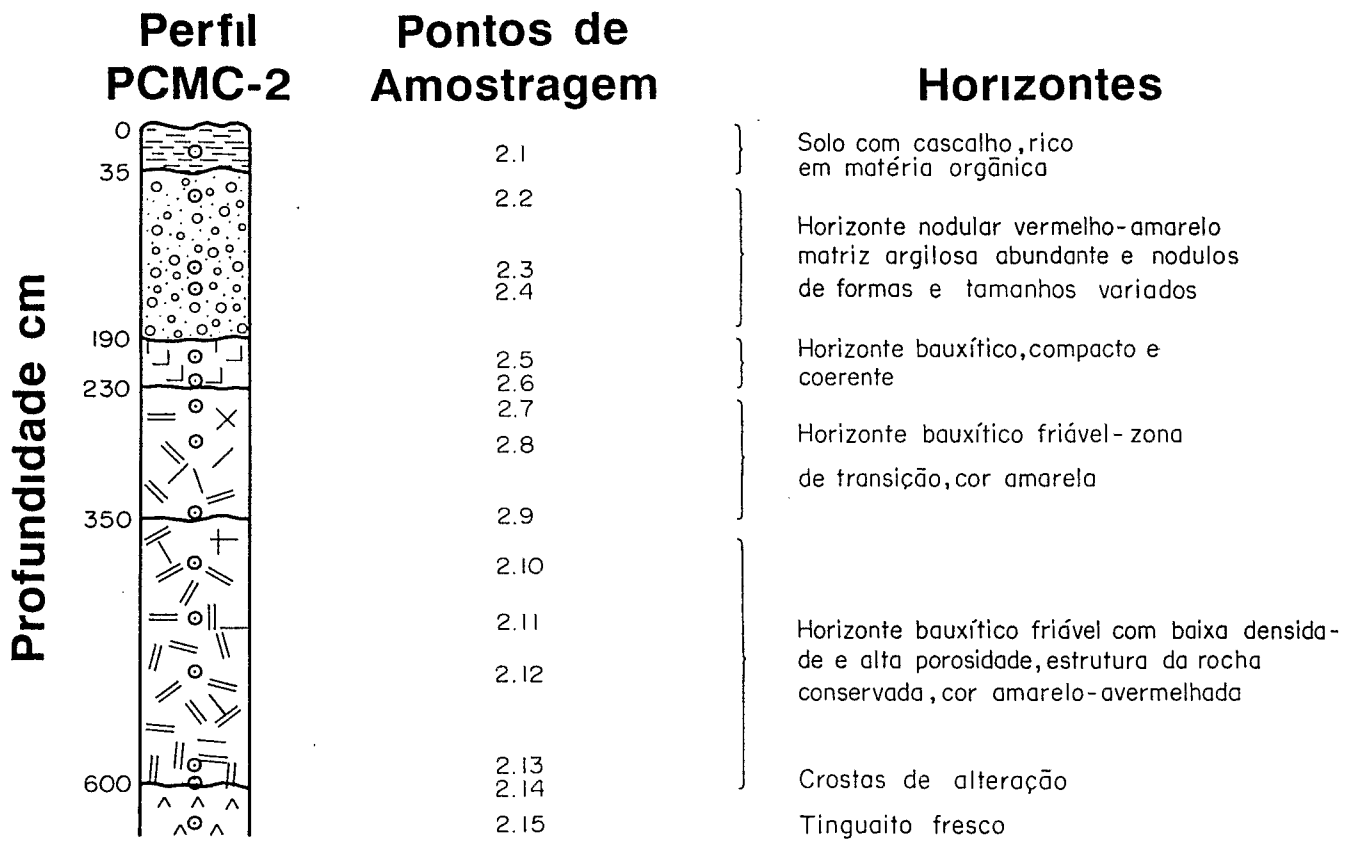


Fig. 1 – Perfil da bauxita do morro do Cristo.

J	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		ZrO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	V ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	CeO ₂	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅
1	ZrO ₂		0,917	-0,048	-0,064	-0,436	-0,136	0,918	0,918	0,887	0,895	0,899	0,793
2	Fe ₂ O ₃			-0,320	0,249	-0,274	0,006	0,988	0,833	0,937	0,842	0,982	0,763
3	Al ₂ O ₃				-0,787	-0,723	-0,347	-0,276	0,119	-0,336	-0,140	-0,286	0,192
4	SiO ₂					0,397	0,480	0,183	-0,121	0,200	0,058	0,271	-0,014
5	CaO						0,324	-0,303	-0,564	-0,172	-0,335	-0,361	-0,721
6	MgO							-0,036	-0,188	-0,008	-0,122	-0,061	-0,034
7	V ₂ O ₅								0,876	0,954	0,921	0,977	0,765
8	Nb ₂ O ₅									0,868	0,898	0,840	0,804
9	CeO ₂										0,897	0,913	0,628
10	MnO ₂											0,901	0,738
11	TiO ₂												0,797
12	P ₂ O ₅												

Fig. 2 – Coeficientes de correlação dos elementos contituítes.

Tabela 1 – Composição Química Média do Tinguaflo do Morro do Cristo.

Óxidos	Peso (%)	Óxidos	Peso (%)
SiO ₂	58,30	K ₂ O	7,40
TiO ₂	0,58	P ₂ O ₅	0,06
Al ₂ O ₃	19,10	ZrO ₂	0,12
Fe ₂ O ₃	3,61	V ₂ O ₅	0,02
MnO	0,38	Nb ₂ O ₅	0,08
MgO	0,30	CeO ₂	0,05
CaO	1,35	La ₂ O ₃	0,02
Na ₂ O	5,31	Total	96,68

Obs.: Média de três análises (determinação – ICP).

Tabela 2 – Composição Química Expressa do Anfibólio Sódico.

Amostra PCMC - 2.15 (% Peso)													
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	Ce ₂ O ₃	F	Ce
47,54	1,86	1,69	24,66	2,13	3,58	7,27	6,65	1,13	0,07	0,02	0,01	0,10	0,01

Obs.: Média de 4 pontos analisados à microsonda eletrônica.

Tabela 3 – Composição Química das “Giannetitas” (% de Peso).

Óxidos	Pontos Analisados							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	30,12	30,21	30,33	30,67	30,94	30,94	29,27	30,29
TiO ₂	9,30	9,10	9,35	9,33	9,16	9,16	9,28	9,28
Al ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,03	0,02	0,05	0,04	0,01
Fe ₂ O ₃	0,60	0,67	0,64	0,80	0,62	0,69	0,61	0,46
MnO	1,56	1,48	1,43	1,40	1,29	1,43	1,61	1,71
MgO	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01
CaO	32,30	32,08	33,11	33,20	32,47	32,60	31,68	31,45
Na ₂ O	7,37	7,40	7,43	7,16	7,46	7,32	7,59	7,80
K ₂ O	0,01	0,04	0,04	0,03	0,05	0,06	0,00	0,02
SrO	0,48	0,93	0,85	0,52	1,02	0,45	0,81	0,93
ZrO ₂	4,93	5,27	4,80	4,04	4,44	4,74	5,33	5,74
Nb ₂ O ₅	1,19	1,14	1,07	1,14	1,22	1,28	1,37	1,26
Ce ₂ O ₃	1,57	1,52	1,59	2,09	1,95	1,65	1,27	1,46
Y ₂ O ₃	0,14	0,14	0,18	0,20	0,15	0,11	0,12	0,22
F	7,31	7,45	8,23	7,97	7,74	7,39	7,46	8,26
Cl	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02
Total	96,92	97,48	99,07	98,60	98,57	97,42	96,46	98,94

Obs.: Análise à microsonda eletrônica de vários cristais da amostra PCMC – 2.15.

Tabela 4 – Fórmula Estrutural das “Giannetitas”.

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Si ⁴⁺	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
Na ⁺	3,80	3,80	3,80	3,62	3,74	3,71	4,02	3,99	
Ca ²⁺	9,19	9,10	9,36	9,28	9,00	9,14	9,28	8,90	
Zr ⁴⁺	0,64	0,68	0,62	0,51	0,56	0,60	0,71	0,74	
Ti ⁴⁺	1,86	1,81	1,85	1,83	1,78	1,78	1,91	1,84	
Mn ²⁺	0,35	0,33	0,32	0,31	0,28	0,32	0,37	0,38	
X Nb ⁵⁺	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,17	0,15	
Fe ²⁺	0,13	0,15	0,14	0,17	0,13	0,15	0,14	0,10	
Ce ³⁺	0,15	0,15	0,15	0,20	0,18	0,16	0,13	0,14	
Y ³⁺	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	
Sr ²⁺	0,07	0,14	0,13	0,08	0,15	0,07	0,13	0,14	
Σ cátions X	16,35	16,32	16,53	16,16	15,98	16,10	16,88	16,41	
Σ carga catiônica	66,51	66,40	66,76	66,03	65,56	65,86	67,61	66,65	
F ⁻	6,14	6,24	6,87	6,57	6,33	6,11	6,45	6,90	
Equilíbrio das cargas com (O, OH, F)	0 = 2,190 = 2,080 = 1,950 = 1,730 = 1,620 = 1,880 = 2,580 = 1,88	(1,86)	(1,76)	(1,13)	(1,43)	(1,67)	(1,89)	(1,55)	(1,10)

Obs.: Calculada sobre a base de 8 Si (mineral tipo X₁₆(Si₂O₇)₄(O,OH,F)₈).

Tabela 5 – Análise Química Total do Perfil Bauxítico do Morro do Cristo.

Perfil PCMC			Óxidos em % Peso															
Amostras	Horizonte	Profundidade	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Ba ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ZrO ₂	V ₂ O ₂	Nb ₂ O ₅	CeO ₂	La ₂ O ₃	Total
2.1N	Solo-nódulo	0-0,35	0,56	0,90	48,80	5,18	0,09	0,05	0,96	-	-	0,04	0,12	0,03	0,02	0,01	-	56,76
2.1N	Solo-matriz	0-0,65	4,47	1,56	37,10	7,39	0,15	0,07	0,95	-	-	0,08	0,10	0,03	0,02	0,10	-	51,93
2.2N	Horizonte nodular-nódulos	0,35-0,35	0,66	1,02	48,20	5,73	0,14	0,05	0,99	-	-	0,05	0,14	0,03	0,02	0,03	-	57,06
2.2N	Horizonte nodular-matriz	0,35-0,65	3,41	1,51	41,20	8,24	0,14	0,01	0,83	-	-	0,06	0,14	0,04	0,02	0,12	-	55,72
2.4N	Horizonte nodular-nódulo	1,50	0,55	1,32	54,30	7,05	0,14	0,06	0,06	-	-	0,10	0,21	0,03	0,04	0,08	-	63,94
2.4N	Horizonte nodular-matriz	1,50	2,29	1,64	42,90	8,27	0,17	0,05	0,79	-	-	0,07	0,16	0,04	0,02	0,12	-	56,52
2.5	Bauxita compacta	2,00	0,48	1,51	52,20	7,40	0,13	0,05	0,07	-	-	0,08	0,15	0,04	0,03	0,08	-	62,22
2.6	Bauxita compacta	2,20	0,35	1,09	57,50	5,45	0,12	0,05	0,56	-	-	0,09	0,13	0,03	0,03	0,05	-	65,45
2.10	Bauxita friável	3,50	2,33	2,14	48,40	10,95	0,33	0,05	0,07	-	-	0,11	0,21	0,05	0,05	0,28	-	64,97
2.11	Bauxita friável	4,50	0,39	1,07	57,35	5,28	0,14	0,04	0,05	-	-	0,63	0,13	0,02	0,04	0,01	-	65,25
2.12	Bauxita friável	5,00	0,38	1,62	54,40	8,58	0,18	0,04	0,05	-	-	0,10	0,18	0,03	0,03	0,02	-	65,61
2.13	Bauxita friável	5,90	0,47	1,79	52,30	8,59	0,32	0,04	0,05	-	-	0,12	0,18	0,04	0,04	0,02	-	63,96
2.14	Crosta de alteração	6,00	1,00	1,49	53,60	8,44	0,16	0,06	0,08	0,05	0,11	0,13	0,18	0,03	0,03	0,03	-	65,39
2.15	Rocha fresca	6,10	58,30	0,58	19,10	3,61	0,38	0,30	1,35	5,31	7,40	0,06	0,12	0,02	0,08	0,05	0,02	96,68

Obs.: Determinações feitas em ICP, a partir de amostras representativas das diferentes facies de alteração encontradas no perfil.

Tabela 6 – Balanço Isovolum. Percentuais de Perdas e Ganhos dos Elementos durante as Primeiras Fases de Bauxitização do Tinguaíto do Morro do Cristo.

Amostra	Densidade		Variação Relativa dos Teores (Em Relação à Rocha-Mãe 2.15 – $\delta = 2,615$)												
	Aparente	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	V ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CeO ₂	ZrO ₂
2.12	1,165	-99,7	25,0	26,9	6,3	-78,8	-98,1	-93,9	-100,0	-100,0	5,4	-82,3	-32,2	-75,7	34,4
2.13	1,055	-99,7	25,1	10,5	-3,6	-66,1	-98,5	-94,3	-100,0	-100,0	0,5	-81,4	-24,6	-79,8	40,6
2.14	1,195	-99,2	17,9	28,2	7,3	-79,8	97,3	-91,1	-9,6	-99,3	2,4	-81,8	-3,7	-69,1	-31,3

Obs.: Resultados relativos à rocha original (amostra 2.15), cuja composição química se encontra na tabela 1.

Tabela 7 – Composição Química Média dos Produtos Amofos “geles” da bauxita do Morro do Cristo.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	Ce ₂ O ₃	F	Cl
	(% Peso)														
Grânulos	1,29	3,92	10,75	49,20	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,37	1,50	0,23	0,01	0,01	0,02
n	21	21	21	21	8	8	8	8	8	13	21	21	8	8	8
Plasma vermelho-alaranjado	1,67	5,35	11,83	39,39	0,03	0,01	0,02	0,00	0,10	0,33	1,95	0,54	0,60	0,07	0,04
n	13	13	13	13	4	4	4	4	4	9	13	13	4	4	4
Plasma marrom-avermelhado	0,72	1,82	44,31	12,42	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,13	0,73	0,20	0,35	0,09	0,02
n	9	9	9	9	3	3	3	3	3	6	9	9	3	3	3

n = número de pontos analisados na microsonda eletrônica.