

PETROLOGIA DAS CONCENTRAÇÕES RELATIVAS E ABSOLUTAS EM PERFIS DE ALTERAÇÃO LATERÍTICA:
EXEMPLOS DE ENRIQUECIMENTO SUPERGENO DE FERRO E ALUMÍNIO

Bruno Boulangé[†]
Joel B. Sígolo[†]
Jean Delvigne[†]

RESUMO

São apresentados dois perfis bauxíticos que desenvolvem-se em condições topográficas similares com uma sucessão vertical comparável de fácies.

Ambos os perfis são resultados de processos de acumulação relativa e absoluta, sendo um instalado em rocha granítica (Costa do Marfim-Africa) e o outro sobre rocha nefelino sienítica (Passa Quatro - Brasil).

Valores médios de composição química percentual de alumínio, ferro, titânio e silício são apresentados, tanto para a rocha original (granito e nefelina-sienito), como para o produto formado por intemperismo (bauxita).

Os produtos de alteração e os produtos de migração observados nos casos apresentados seguem evolução similar, respeitada a diferença químico-mineralógica composicional da rocha-mãe.

ABSTRACT

Two bauxitic profiles developed in similar topographic conditions where the vertical facies of weathering show a comparable evolution are here presented.

Both profiles are the result of relative and absolute accumulation processes. One lies on granitic rock (Ivory Coast-Africa) and the other is on nepheline syenite rock (Passa-Quatro-Brasil).

Mean data on the chemical composition in percentage of aluminium, iron, titanium and silicon are shown for the original rocks (granite and nepheline syenite) and also for their secondary products (bauxite).

In both cases the weathering products show a similar evolution despite the considerable chemical and mineralogical differences of the parent-rocks.

INTRODUÇÃO

As lateritas são formadas durante longo tempo geológico sobre superfícies continentais estáveis, permitindo uma maior ação do processo de intemperismo químico sobre o físico. Estas formações superficiais caracterizam-se por sua espessura e pela acumulação de produtos residuais de alteração e de pedogênese. Freqüentemente endurecidas, são constituídas por óxidos e hidróxidos metálicos e caulinita que formam as couraças lateríticas, ferruginosas, bauxíticas, manganésíferas, níquelíferas, cupríferas, etc. As lateritas têm sido reconhecidas

[†] Projeto CNPq/ORSTOM/IG-USP - Dept^o Geologia Geral

e estudadas desde o início do século passado e são objeto de numerosos trabalhos² com respeito à sua gênese, à sua evolução geoquímica e mineralógica e, mais recentemente, à cristaloquímica de certas fases minerais.

No Brasil, a ocorrência, extensão e espessura destas camadas lateríticas representam aspecto de elevada importância nos domínios da geoquímica, da metalogênese e da pedogênese. Alguns trabalhos relativos às lateritas foram executados no âmbito da prospecção mineral (QUERRA, 1952; LINDSTAEDT, 1972; SZUBERT & VERGARA, 1975; ALMEIDA, 1977; GRUBB, 1979; ALEVA, 1981). Nos últimos anos vários pesquisadores do Instituto de Geociências da USP têm desenvolvido estudos sobre esse tema, no domínio da geoquímica (MELFI & LEVI, 1972; MELFI & PEDRO, 1977, 1978; OLIVEIRA, 1980; GROKE, 1981) das concentrações metálicas supérgenas (SIGOLO, 1979; MELFI & CARVALHO, 1983; OLIVEIRA & TRESCASES, 1985; GROKE, 1986) e da pedogênese (CARVALHO et al., 1970; VOLKOFF & CESAR, 1977; GONÇALVES, 1978; CARVALHO et al., 1983; CHAUVEL et al., 1983; VOLKOFF, 1983; MODENESI, 1974, 1983; RODRIGUES & SILVA, 1985).

Os progressos obtidos no conhecimento da gênese das lateritas revelam que o significado genético das diversas fases e de algumas de suas associações não pode ser deduzido só dos estudos geoquímicos e mineralógicos. É preciso analisar, com base na petrologia, as relações entre as diferentes texturas e estruturas que se sucedem nestas formações. Esta análise envolve técnicas de observação de amostras não perturbadas (impregnação de amostras para as confecções de lâminas, análise por microscopia óptica, ou por microscopia eletrônica de varredura, microsonda, etc.) e de separações de fases para análises mineralógicas e geoquímicas. Assim, nas formações lateríticas, através da análise conjunta das evoluções estruturais, minerais e geoquímicas é possível distinguir as fases resultantes das transformações "in situ", daquelas ligadas à transferência, e precisar a sua cronologia relativa. As primeiras correspondem a acumulações relativas de materiais e as segundas correspondem a acumulações absolutas de materiais (D'HOORE, 1954).

Como exemplo, o presente trabalho fornece de modo comparativo alguns resultados da gênese de bauxita pela alteração de nefelina sienitos (Maciço Alcalino de Passa Quatro - MG; SIGOLO, 1979) com resultados obtidos pela alteração de um granito (Mont Tato - Costa do Marfim; BOULANGÉ, 1984). Os perfis bauxíficos selecionados, desenvolveram-se sob condições de formações similares, ou seja, em topografia que permitiu o desenvolvimento de uma boa drenagem e em clima quente e úmido. Face a isto, os perfis apresentam uma sucessão vertical de facies comparáveis.

De modo genérico, para ambos os casos, do topo para a base podem ser reconhecidos:

- uma couraça alumino-ferruginosa ou bauxita fragmentada, composta principalmente de gibbsita e hematita, com relíquias da textura original conservadas;
- uma couraça aluminosa ou bauxita maciça, composta principalmente de gibbsita, com textura e estrutura da rocha-mãe conservadas;
- um horizonte isalterítico ou alterita composto principalmente de gibbsita, com textura e estrutura da rocha-mãe conservadas;
- granito no Mont Tato (Costa do Marfim), nefelina sienito, no maciço de Passa Quatro (M.G., Brasil).

A espessura dos perfis é de 20m para o da Costa do Marfim e de 10m para o de Passa Quatro. A Tabela I, apresenta as composições químicas médias tanto para as rochas sãs como para os produtos delas derivados (alterita e bauxita).

² O leitor pode referir-se a uma bibliografia recente no trabalho de BOCQUIER et al., 1984.

ALTERAÇÃO DOS MINERAIS PRIMÁRIOS E ACUMULAÇÃO RELATIVA DO FERRO E DO ALUMÍNIO

Em ambos os perfis, a alteração dos minerais primários é diferencial. Isto é, não ocorre simultaneamente para todos os minerais, e os minerais secundários formados são diferentes dependendo dos minerais primários que lhes deram origem. Além disto, a alteração é eminentemente pseudomórfica (a estrutura dos minerais primários encontra-se preservada).

Alteração Sobre Rocha Granítica (BOULANCE, 1984)

A alteração dos feldspatos é diferencial. Os ortoclásios e as albitas intemperizam-se em primeiro lugar, formando um produto opticamente isótropo, constituído de metahalloisita, que, por dessilicificação completa, transforma-se em gibbsita. Posteriormente, os microclínios formam um produto amorfo, mas muito instável que evolue para gibbsita. Nos dois casos a transformação é pseudomórfica. Processos de transferência acompanham esta alteração e, assim, produtos aluminosos ou argilosos acumulam-se nos vazios como materiais consequentes à alteração, contribuindo no preenchimento dos volumes originais.

A alteração das biotitas inicia-se pela exudação do ferro que se cristaliza como goethita em situação interlamelar ou na borda do cristal. As lamelas intemperizam-se e formam estruturas interestratificadas de biotita-vermiculita, que logo transformam-se em caolinita e, a seguir, em gibbsita. Produtos de transferência constituídos de caolinita asseguram o preenchimento completo dos poros criados pelo aumento apreciável do volume durante as etapas sucessivas da alteração das biotitas.

A dissolução do quartzo é completa. Inicia-se nas primeiras etapas da alteração, desenvolvendo-se a partir de uma trama de fissuras iniciais, resultado mais de processos mecânicos que químicos.

Alteração Sobre Rocha Nefelina Sienítica (SIGOLO, 1979; GROKE, 1981; SIGOLO & BOULANCE, 1987)

A alteração da nefelina ocorre em primeiro lugar e a formação de gibbsita é quase direta, como no caso dos microclínios do granito. A alteração é do tipo isovolume, porém não pseudomórfica. A característica textural mais importante é dada por uma textura em "favo de abelha", com uma porosidade importante delimitada por paredes de gibbsita.

O processo da alteração dos feldspatos parece corresponder ao mesmo do feldspato no granito, iniciando-se com um produto opticamente isótropo, porém mais fugaz que no caso precedente, e imediata formação de gibbsita. Esta alteração é acompanhada da transferência de materiais, principalmente aluminosos que preenchem os vazios sob a forma de gibbsita.

A alteração dos piroxênios (egerinaugita), dos anfíbólios e das biotitas são do tipo pseudomórfico, originando a formação de produtos ferruginosos (goethita, hematita e amorfos).

Estas alterações são acompanhadas de perda de matéria que resulta na formação de importante porosidade, permitindo assim acumulação de alumínio e de ferro de modo residual, num processo de acumulação relativa.

DEPÓSITO DE PRODUTOS POSTERIOR À ALTERAÇÃO E ACUMULAÇÃO ABSOLUTA DO FERRO E DO ALUMÍNIO

O surgimento de uma nova porosidade, a partir da alteração dos minerais primários, representa local ideal para a deposição dos produtos de transferência. Estes provêm diretamente dos produtos secundários neoformados lixiviados dos níveis superiores do perfil e

que passam a constituir a acumulação absoluta.

Os produtos de transferência são distinguidos em função de seu modo de migração, ou seja, em suspensão seguido de deposição ou em solução seguido de cristalização. Podem ainda ser distinguidos em função da posição dos depósitos dentro do perfil.

Nos perfis estudados, a zona de maior acumulação absoluta é encontrada acima do lençol freático onde se superpõem diversos tipos de depósitos, sendo mais freqüentes os do tipo cutânico (BREWER, 1964). Esses depósitos compreendem produtos amorfos alumino-ferruginosos, produtos argilo-ferruginosos, aluminosos (gibbsita) e ferruginosos (hematita e goethita). Qualquer que seja o mecanismo evolutivo desses produtos, o resultado final será a individualização do ferro como hematita (FOLSTER, 1964; NAHON, 1976) e do alumínio como gibbsita (BOULANGE, 1984).

Todos esses depósitos conferem não só a conservação e aumento da coesão das estruturas originais, como também um enriquecimento local das alteritas que evoluem até bauxita isalterítica.

CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ACUMULAÇÕES DE ALUMÍNIO E DE FERRO

A caracterização das várias formas de acumulação de ferro e de alumínio é possível a partir do estudo dos diversos estágios de alteração das rochas em questão, incluindo a evolução dos minerais primários e o aparecimento e evolução dos produtos secundários.

A distinção petrográfica entre os produtos de acumulação relativa dos de acumulação absoluta fornece importante subsídio às interpretações executadas com base nas análises químicas globais.

Este trabalho restringiu-se a dois exemplos de depósitos, onde as estruturas da rocha-mãe encontram-se conservadas na alterita e na bauxita. Outras estruturas também foram observadas e reconhecidas, principalmente aquelas encontradas nos fragmentos de bauxita compacta dos horizontes superiores. Face a essas variações texturais, escolheu-se, para cada horizonte diferenciado, uma ou duas amostras representativas, que foram analisadas. (Tabela I).

A conservação das texturas permite aplicar o raciocínio isovolumétrico (MILLOT & BONIFAS, 1955). Os fatores de concentração assim calculados são apresentados na Tabela II. O exame dessa tabela indica que, já na zona de alteração, a acumulação absoluta de alumínio é significativa, 20 a 30% sobre o granito, 10 a 15% sobre o sienito.

Pode-se depreender do exame da Tabela II que no granito a zona de alteração - alguns centímetros de espessura - análise SIAD 15 - caracteriza-se por uma ligeira concentração transitória de sílica livre nos horizontes superiores e pela da alteração dos feldspatos, marcada por uma perda de sílica combinada. Ao mesmo tempo, registra-se uma queda dos teores de alumínio, ferro e titânio. Para esta queda de concentração na fase inicial de alteração (córteix) não se encontra uma explicação segura. Uma provável explicação residiria na própria heterogeneidade do granito, principalmente pela quantidade de biotita que pode reter esses elementos (Al, Fe e Ti), inviabilizando sua detecção analítica. Esta explicação, no entanto, não é satisfatória e cremos ser este um problema merecedor de maior atenção em trabalhos futuros. Ao atingir-se a isalterita, as perdas são debitadas à sílica livre e combinada, e às bases, ao passo que alumínio, ferro e titânio concentram-se devido às acumulações absolutas.

No córteix de alteração do nefelina sienito registra-se uma perda de silício combinado acentuada comparável em termos relativos à do granito. Este efeito provém de uma porosidade mais aberta que a do granito e de condições de dinâmica de água mais acentuadas. Não se observa nesse caso, nos poros, uma acumulação transitória de sílica livre ou excedente.

Quanto à bauxita verifica-se que as concentrações absolutas de alumínio e de ferro são

A	Passa Quatro - MG	SiO ₂ livre	SiO ₂ comb.	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	H ₂ O ⁺	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
PQA 3	Blocos de bauxita compacta		1,73	56,90	5,80	1,30	31,50	0,21	-	-	-
PQA 15	Bauxita friável		0,50	59,00	6,38	1,31	31,61	0,12	-	-	-
PQA 17			0,64	58,00	5,85	1,37	30,88	0,05	-	-	-
PQ 3d	Isalterita (córtex de alteração)		42,60	28,00	3,04	0,88	8,81	7,94	2,75	0,51	0,29
PQ 3c			47,85	25,64	2,11	0,76	6,14	8,46	3,60	1,73	0,29
	Nefelina sienito		57,96	20,84	1,65	0,88	-	6,33	6,58	1,75	1,07
B Mont Tato-CdM-											
SIAA 1-3	Blocos de bauxita compacta	0,2	2,0	57,4	11,0	0,84	28,60	0,06	-	-	-
SIAA 5-18	Bauxita	0,6	3,0	58,1	7,9	0,78	29,72	0,23	-	-	-
SIAA 1-19		1,9	6,9	54,0	8,6	1,01	27,50	0,13	-	-	-
SIAD 10	Isalterita	12,1	7,5	50,9	3,2	0,28	25,00	0,36	-	-	-
SIAD 14	Zona de alteração	25,5	30,0	30,6	1,7	0,15	11,10	0,99	0,16	0,42	0,34
SIAD 15		33,0	37,3	16,9	1,0	0,10	1,90	3,01	3,77	1,74	0,24
	Granito	27,0	42,3	17,2	1,74	0,25	0,5	4,15	4,08	1,30	0,16

Tabela I - Composição química média dos diferentes horizontes das formações bauxíticas (% em peso)

		SiO ₂ liv.	SiO ₂ comb.	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	d.app.
Blocos bauxita compacta	PQA 3		0,02	1,93	2,49	1,05	1,82
Bauxita friável	PQA 15		-	1,56	2,14	0,82	1,42
	PQA 17		0,01	1,69	2,15	0,95	1,56
Isalterita (córtex de alteração)	P 3 d		0,41	1,13	1,56	0,84	2,17
	P 3 c		0,75	1,12	1,17	0,79	2,35
Rocha sã	Nefelina Sienito		1	1	1	1	2,57

Blocos bauxita compacta	S1A A1-3		0,04	2,5	4,7	2,5	1,95
Bauxita	S1A A5-18		0,05	2,3	3,1	2,1	1,77
Isalterita	S1A D 10	0,33	0,13	2,2	1,4	0,8	1,93
Zona de alteração	S1A D 14	0,68	0,51	1,3	0,7	0,4	1,87
	S1A D 15	1,04	0,76	0,8	0,5	0,3	2,24
Rocha sã	Granito	1	1	1	1	1	2,61

Tabela II - Fatores de concentração calculados com volumes constantes.

SiO₂ liv. = quartzoSiO₂ comb. = sílica combinada

d.app. = densidade aparente

maiores para o caso do granito, e pode ser observada a presença de inúmeros ferrigibbsitans e um aumento conseqüente da densidade aparente.

A diferença na importância das acumulações absolutas entre os dois perfis pode ser explicada pelo diferente grau de porosidade no início e ao longo do perfil de alteração para cada variedade de rocha envolvida. O nefelina sienito apresenta-se mais poroso que o granito, nesse processo. Deste modo, favorece a alteração mediante uma mais rápida velocidade de evolução do perfil de alteração. De outro lado, o granito, por apresentar baixa porosidade no processo, demanda um período mais prolongado de tempo para sua evolução, comparativamente à espessura do perfil em nefelina sienito. Esta menor porosidade, em termos relativos, gera condições diferenciais na variação do lençol freático para um perfil sobre o nefelina sienito e um perfil sobre o granito. No primeiro, a tendência é de rebaixamento rápido do lençol freático, caracterizando uma baixa lixiviação de produtos. No segundo caso, a dinâmica da água é menor e permite flutuações no lençol freático com conseqüente mudança na dinâmica do perfil, permitindo uma maior concentração absoluta de produtos secundários.

A Fig. 1 esquematiza esta evolução geoquímica para ambos os casos. Uma linha evolutiva direta existe tanto para o granito como para o sienito, sendo que para o primeiro há uma segunda linha com acumulação absoluta de ferro mais importante.

Os casos apresentados retratam a importância de relacionar a evolução petrológica com as análises geoquímicas para o estudo das formações superficiais resultantes da alteração. Este tipo de trabalho, ao longo dos perfis e das toposseqüências, permite delinear a história geológica dos perfis e estabelecer suas relações com a evolução geomorfológica das paisagens.

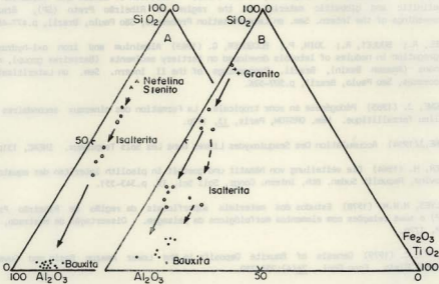


Figura 1 - Variação da composição ponderal (SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-TiO₂) das principais facies das formações bauxíticas: (A) sobre sienito (Passa Quatro-Brasil), (B) sobre granito (Mont Tato-Costa do Marfim).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEVA, G.J.J. (1981) Essential differences between the bauxite deposits along the Southern and Northern Edges of the Guyana Shield, South America. *Econ. Geol.*, 76:1142-1152.
- ALMEIDA, E.B. (1977) Geology of the Bauxite Deposits of the Poços de Caldas District, State of Minas Gerais, Brasil. PhD Thesis, Stanford Univ., 273p.
- BOCQUIER, G.; MÜLLER, J.P.; BOULANGE, B. (1984) Les Latérites Connaissances et perspectives actuelles sur les mécanismes de leur différenciation. Livre Jubilaire du cinquantenaire AFES, CNRS-Paris, p.123-138.
- BOULANGE, B. (1984) Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. Les facies, leur transformation, leur distribution et l'évolution du modèle. Travaux et Documents. ORSTOM-Paris, v.175, 341p.
- BREWER, R. (1964) Fabric and minerals of soils. John Wiley and Sons, N.Y., 470p.
- CARVALHO, A. (1970) Study of Terra Roxa Estruturada and Latossolo Roxo on a topographic sequence in São Paulo state, Brazil. Thesis Master of Sci., Univ. New Castle upon Tyne, 93p.
- CARVALHO, A.; CHAUVEL, A.; GONÇALVES, N.M.M. (1983) Alteration of basalt and formation of kaolinitic and gibbsitic material in the region of Ribeirão Preto (SP), Brazil. Proceedings of the Intern. Sem. on Lateritisation Processes, São Paulo, Brazil, p.477-485.
- CHAUVEL, A.; BOULET, R.; JOIN, P.; BOCQUIER, G. (1983) Aluminium and iron oxi-hydroxide segregation in nodules of latosols developed on tertiary sediments (Barreiras group), near Manaus (Amazon Basin), Brazil. Proceedings of the II Intern. Sem. on Lateritisation Processes, São Paulo, Brazil, p.507-526.
- DELVIGNE, J. (1965) Pédogénèse en zone tropicale. La Formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mém. ORSTOM, Paris, 13, 177p.
- D'HOORE, J. (1954) Accumulation Des Sesquioxides Libres Dans Les Sols Tropicaux. INEAC, 131p.
- FOLSTER, H. (1964) Die Verteilung von Hämatit und Goëthit in Pisolith lateriten der äquatorialen Provinz, Republik Sudan. 8th. Intern. Congr. Soil Sci, IV, p.343-351.
- GONÇALVES, N.M.M. (1978) Estudos dos materiais superficiais da região de Ribeirão Preto (SP) e suas relações com elementos morfológicos da paisagem. Dissertação de Mestrado, IG-USP, 177p.
- GRUBB, P.L.C. (1979) Genesis of Bauxite Deposits in the Lower Amazon Basin and Guyanas Coastal Plain. *Econ.Geol.*, 74(4):735-750.
- GUERRA, A.T. (1952) Formação de lateritas sob a floresta equatorial amazônica. *Rev. Bras. Geogr.*, XIV(4):407-426.
- LINDSTADT, H.P. (1972) A alteração das rochas alcalinas. Lajes, Santa Catarina. Dissertação

de Mestrado MEC-UFRS, 54p. [Inédito].

MELFI, A.J. & CARVALHO, A. (1983) Bauxitization of alkaline rocks in Southern Brazil. Coll. Intern. Petrologie des altérations et des sols. CNRS. Paris, Mém.Sc.Geol., 73:161-172.

MELFI, A.J. & LEVI, F. (1972) Geochemical and mineralogical study on the first stage of weathering of basic related rocks. Part 1, Mineralogical Study. Rev.Bras.Geoc., 1(1): 22-28.

MELFI, A.J. & PEDRO, G. (1977) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. I- Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. Rev.Bras.Geoc., 7:271-286.

MELFI, A.J. & PEDRO, G. (1978) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. II. Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. Rev.Bras.Geoc., 8:11-22.

MILLOT, G. & BONIFAS, M. (1955) Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et de bauxitisation. Bull. Serv. Geol. Als. Lorr, Strasbourg, 8:3-10.

MODENESI, M.C. (1974) Contribuição à geomorfologia da Região de Itú-Salto: estudo de formações superficiais. IGEOG-USP. Tese e Monogr., 10:99p.

MODENESI, M.C. (1983) Weathering and Morphogenesis in a tropical plateau. Catena, 10:237-251.

NAHON, D. (1976) Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal Oriental et Mauritanie. Mém. Sci. Geol., Strasbourg, 44, 232p.

OLIVEIRA, S.M.B. (1980) Alteração intempérica das rochas ultrabásicas de Santa Fé (GO) e gênese do depósito níquelífero. Tese de Doutorado, IG-USP, 216p.

OLIVEIRA, S.M.B. de & TRESCASES, J.J. (1985) O depósito de níquel de Jacupiranga (SP): evolução mineralógica e geoquímica. Rev.Bras.Geoc. 15(3):249-254.

RODRIGUES e SILVA, F.B. (1985) Os cambissolos da porção central da Província Estrutural da Mantiqueira e suas relações com os latossolos: alteração e pedogênese. Tese de Doutorado, IG-USP, 261p.

SANCHES FURTADO, A.F.A. (1968) Altération des granites dans les régions intertropicales sous différents climats. Proceedings 9 Int. Cong. Soil Sci., IV:403-409.

SIGOLO, J.B. (1979) Geologia dos depósitos residuais bauxíticos de Lavrinhas (SP) e sua viabilidade econômica. Dissertação de Mestrado, IG-USP, 190p.

SIGOLO, J.B. & BOULANGE, B. (1987) Caracterização dos fácies de alteração de uma toposseqüência no maciço alcalino de Passa Quatro (MG). Rev.Bras.Geoc. (no prelo).

SZUBERT, E.C. & VERGARA, V.A. (1975) Avaliação das reservas e da qualidade dos depósitos de bauxita do município de Lages (SC). CPRM, Porto Alegre, 68p.

- TOLEDO-GROKE, M.C. (1981) Evolução geoquímica, mineralógica e micromorfológica no processo de bauxitização. Estudo comparativo dos depósitos de Mogi das Cruzes, Curucutu e Lavrinhas (SP), associados a diferentes tipos litológicos. Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo, 106p.
- TOLEDO-GROKE, M.C. (1986) Intemperismo das rochas mineralizadas em cobre do Salobo 3A, Serra dos Carajás. Tese de Doutorado, IG-USP, 172p.
- VOLKOFF, B. (1983) Iron constituents of the latosolic cover in Northeast Brazil. Proceedings of the IITH Intern. Sem. on Lateritization Processes. São Paulo, Brazil, p.527-540.
- VOLKOFF, B. & CESAR, V.R.S. (1977) Ferro nos latossolos do Estado da Bahia. Rev. Bras. Cienc. do Solo, 1:85-92.