

**A EXPRESSÃO DA IDADE E DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS PERFIS DE  
ALTERAÇÃO QUÍMICA PROFUNDA EM BOÉ (G. BISSAU) E MAYOMBÉ (BAIXO ZAIRE)**

T. Boski<sup>1</sup>, M'Bui Kaseba<sup>2</sup>, R. Paepe<sup>2</sup>, A. Herbosh<sup>3</sup>

1. UCTRA, Universidade do Algarve, Portugal

2. IFAQ, Vrije Universiteit Brussel, Belgie

3. Laboratoires Associés de Géologie, Petrologie et Geochronologie, Belgique

## ABSTRACT

A comparison of the mineralogical composition and trace element contents in bauxites from Tsala (Zaire) and Felo Ore Suaibo (Guinea Bissau), formed through deep chemical weathering of dolerites, revealed important differences. The bauxites from Tsala, composed of gibbsite, goethite and hematite, are in direct contact with the parent rock and they are recovered by a ferruginous carapace originated from allochthonous material. At Felo Ore Suaibo, the parent bedrock is separated from bauxite, by bixialite and monossialite horizons marked also by different patterns of trace elements concentration (Ni, Zn, Cu, Mn, ...). The observed differences are explained by stable climatic and geomorphologic conditions favourable for bauxitization which prevailed in Zaire, probably during the time span limited to Quaternary, whereas in Guinea Bissau the formation of weathered mantle dates since Eocene and comprises several climatic and/or erosion cycles. The guinean bauxites crop directly on surface and, beyond the three already mentioned minerals they contain boehmite which is characteristic for the areas of prolonged hydric deficits.

## RESUMO

A comparação da composição mineralógica e dos teores dos elementos vestigiais nas bauxites em Tsala (Zaire) e em Felo Ore Suaibo (Guiné Bissau), formados pela alteração profunda dos doleritos, revelou diferenças importantes. As bauxites de Tsala compostas de gibbsite, goethite e hematite, jazem directamente sobre rocha mãe e estão recobertas pela couraça ferruginosa formada de material allóctono. Em Felo Ore Suaibo, entre o material parental e a bauxite, existem horizontes bissialítico e monossialítico de transição, com distintos modos de acumulação dos elementos vestigiais (Ni, Zn, Cu, Mn, ...). As diferenças constatadas devem-se à constância das condições climáticas e morfológicas favoráveis a bauxitização que agiram em Zaire, provavelmente, durante o período limitado ao Quaternário, enquanto na Guiné Bissau, a formação do manto alterado data de Eocénico e abrangeu vários ciclos climáticos e/ou de erosão. As bauxites guineenses afloram directamente na superfície e, para além dos minerais citados, contém boehmite característico para zonas sujeitas aos prolongados défices hídricos.

## ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DAS ÁREAS ESTUDADAS

### Baixo Zaire

Os mantos de alteração laterítica frequentemente bauxitizados pertencem geograficamente a subregião denominada de Bas Fleuve ou Mayombé (Fig. 1). O desenvolvimento mais espectacular dos alteritos, nesta área, verifica-se ao longo das bandas dos doleritos, alongadas na direcção NNW-SSE, compreendidas entre 4°45' e 5°30' de latitude Sul e 13°10' e 13°45' de longitude Este. Na geomorfologia regional distinguem-se, de acordo com Cahen & Leperonne (1948), três níveis de aplanamento e nomeadamente:

P<sub>1</sub> - a 750-750 m de altitude, cujo substrato é constituído basicamente por quartzitos e psamitos Sansikwa do Precâmbrico superior.

A cobertura destas rochas é formada pelos ferrissolos amarelados e castanhos tropicais, de espessura não superior a 50 cm. Ao relevo quartzítico, com cotas pró-

ximas da superfície Calahariana, pode ser, atribuída idade Cretássica Superior.

P<sub>2</sub> - a 650-550 m de altitude, cujo substrato é constituído por doleritos continentais de textura porfírica com fenocristais de plagioclase e augite em matriz afanítica de cor cinzenta escura. Na vizinha República Centro Africana, foram efectuadas datações das rochas do mesmo carácter e idêntica posição estratigráfica por método Rb-Sr que revelaram idades  $995 \pm 15$  Ma (Bonhome & Weber, 1969). No seio deste nível distingue-se dois andares. Ao andar superior - b, desenvolvido esporadicamente, em forma de colinas a topo plano (ex. Tsala e Sumbi) atribui-se idade Médio Terciária. O andar inferior - a, que apresenta bom desenvolvimento em toda a área, formou-se no final de Terciário. Os observados perfis de alteração "in situ" sobre os doleritos, em todas as localidades

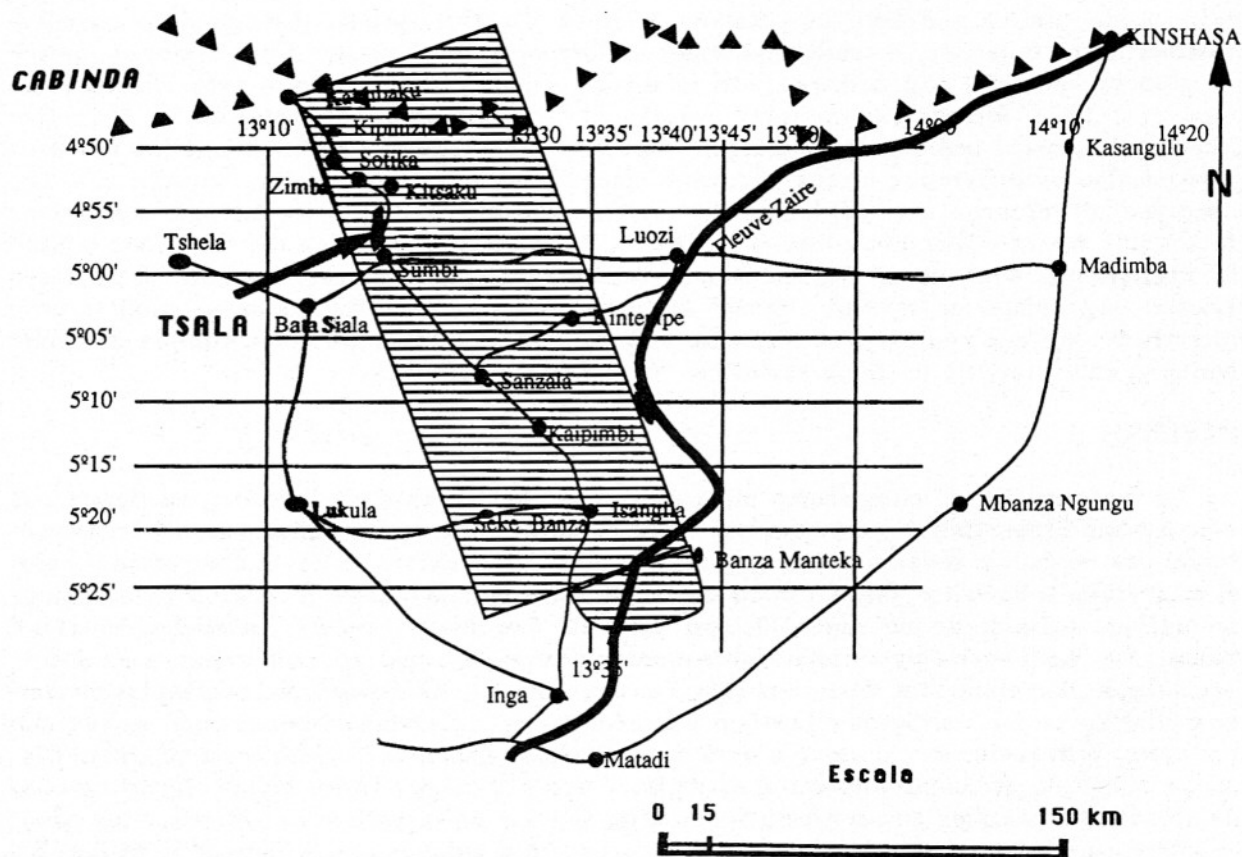


Figura 1 - Localização das bandas de doleritos e bauxites associadas no Baixo Zaire.

estudadas, estão cobertos por pisólitos em matriz ferro argilosa. Esta cobertura allóctona, de espessura variável entre 2 a 6 m, relaciona-se mais provavelmente com um ou mais eventos climáticos de aridização e mudança do nível de base da erosão no Quaternário, que conduziram a degradação do manto alterado ou cobertura edáfica em partes superiores de relevo.

Os níveis geomorfológicos P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub> observam-se sobretudo em áreas dos cursos baixos dos tributários do Rio Zaire, fora das zonas estudadas.

### Guiné Bissau

Os perfis de alteração química profunda estudados, enriquecidos em alumínio, situam-se na parte Sudeste da Guiné Bissau, na Região de Boé (Fig. 2) (11°40'-12° lat. N, 13°40'-14°15' long. W), pertencente à província bauxítica Oeste Africana. De facto, trata-se de extensão dos depósi-

tos da área de Boké da vizinha República da Guiné, detentora da maior reserva mundial dos minérios de alumínio, de acordo com Bárdossy & Aleva (1990) ± 8 Gt. A área sujeita a amostragem compreendeu um dos múltiplos platôs residuais, denominado Felo Ore Suaibo ou "Eva", de acordo com Fratschner (1960). O comprimento da estrutura totaliza 11 km, a altitude média alcança 250 m snm, tornando-a uma feição dominante na paisagem local. Do ponto de vista geomorfológico, a área estudada situa-se dentro da Superfície Africana de Aplanamento, formada no Eocénico e, geologicamente, constitui flanco Norte do Maciço Fouta Djallon. O seu substrato geológico é constituído por dois tipos de rochas: xistos quartzo-hidromicáceos de baixo grau de metamorfismo de idade Devoniana (Teixeira, 1968) e doleritos em forma de soleira instalada nos metassedimentos. O magmatismo basáltico/dolerítico em causa que é característico para todo Oeste

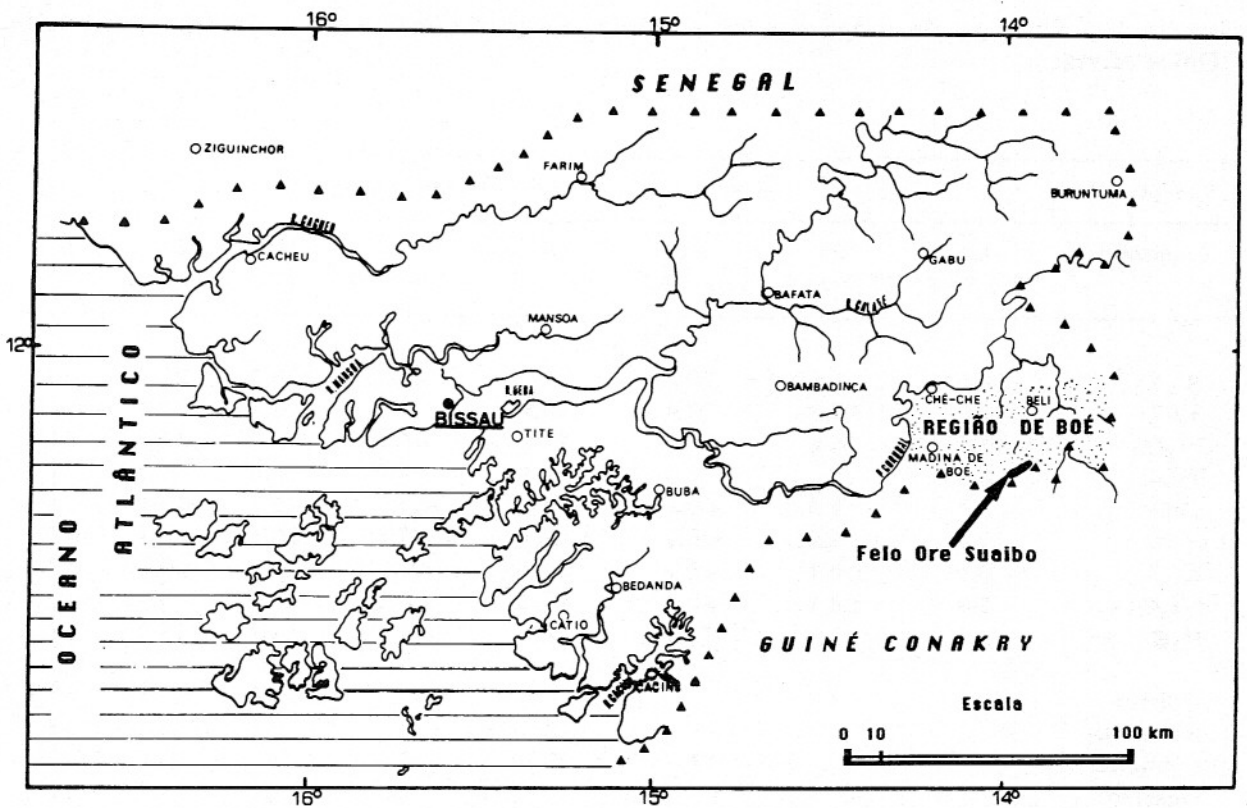


Figura 2 – Localização da zona de extenso desenvolvimento de couraças lateríticas com platôs bauxíticos associados, no Sudoeste da Guiné Bissau.

Africano, relaciona-se com a abertura do Atlântico Sul e data do Jurássico/Cretássico (Cahen et al., 1984). A textura dos doleritos é offítica, por vezes intersertal, sendo os principais minerais a labradorite, o diópsido rico em magnésio e em grau menor hornblenda e biotite.

A área estudada pertence à zona climática de savana tropical. A precipitação anual varia entre 1400 a 1000 mm e verifica-se, na totalidade, entre os meses de Maio e Novembro. A posição hipsométrica dominante do Bowal provoca oscilações muito pronunciadas do nível freático das águas subterrâneas. As medidas efectuadas no mês de maior pluviosidade (Julho) permitiram verificar diferenças até 11 m no nível de água nos furos.

## EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DOS PERFIS

### Felo Ore Suaibo

O manto de alteração foi estudado a partir dos tarolos obtidos da sondagem carotada que penetrou até a profundidade de

24 metros. As características texturais dos alteritos, mostra a Figura 3, e a composição mineralógica e química está apresentada na Tabela 1.

Embora o substrato rochoso completamente fresco não fosse alcançado, para fins comparativos cita-se a análise (amostra 104) da amostra obtida do afloramento. O dolerito, em estado de decomposição inicial (Fig. 3) assinalada pela caulinizacão parcial dos feldspatos e cloritização dos minerais ferromagnesianos, é substituído pelo mineral argiloso de tipo camada mista esmectite/clorite de cor esverdeada, a profundidade de 24 metros. A grande superfície específica deste mineral, e daí resultante alta capacidade de adsorção dos cátions, está evidenciada por um espectacular enriquecimento em elementos traço metálicos, nomeadamente Cu, Zn, Mn, Cr (Tabela 1). Estes elementos vestigiais, lixiviados progressivamente dos horizontes sobrejacentes, migram em solução em direcção da base do perfil para serem incorporados num dos múltiplos processos (Kühnel, 1986) nas fases anfritriãs colectoras. Espesso de 3 m, este horizonte é seguido por 7 m de sapro-



Tabela 1 – Composição química e mineralógica do perfil de alteração em Felo Ore Suaibo (Guiné Bissau).

Componente	Amostra nr./intervalo de amostragem [m]							
	104 25.5-25.1	105 22.8-22.5	106 19.8-19.5	107 18.3-18.1	108 15.8-15.6	109 9.0-8.0	110 3.7-3.5	111 0.4-0.5
	% peso							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.6	11.8	28.2	23.6	27.6	29.2	27.6	48.4
SiO <sub>2</sub>	42.3	53.8	33.9	26.8	6.9	3.6	1.8	0.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.6	16.6	22.9	34.6	46.9	46	50.9	24.9
TiO <sub>2</sub>	0.8	1	1.9	1.6	1.7	1.6	1.3	2.7
CaO	8.4	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
MgO	19.9	5.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
K <sub>2</sub> O	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Na <sub>2</sub> O	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
H <sub>2</sub> O	3.6	9	13.1	12	16.2	18.7	18.2	22.1
Gibbsite				7	32.7	31.1	25.7	33.1
Boehmite				0	0	6.6	6.4	32.3
Caulinite			72	49	11.3	3.3	0	0
Quartzo				4	2.2	2.1	1.7	1
Anatazio				1.6	1.7	1.5	1.3	2.7
Goethite			n.d.	n.d.	9.8	32	45.9	0.8
Hematite			n.d.	n.d.	39	20.7	16.7	23.9
	ppm							
Sr	363	246	198	233	112	28	26	700
Ba	105	216	30	250	5	10	14	28
La	33	45	20	30	33	64	58	63
Ca			5	5	260	415	379	558
Mg			5	189	15	175	166	108
Cu	85	225	17	250	86	158	401	18
Zn	111	404	65	260	118	80	213	27
V	224	136	475	360	991	750	833	693
Ni	528	2866	34	1860	30	82	108	39
Co	195	258	32	515	17	49	53	49
Mn	1272	2770	528	4750	323	1260	1003	342
Ga	14	40	75	45	51	57	46	56
Cr	855	2680	598	4720	2085	780	617	810
Zr	112	210	307	323	297	334	301	277

lito fino (monossilito), composto por caulinite e oxi/hidróxidos livres de ferro. O aumento do teor de hematite no topo deste horizonte, em forma de nódulos e veios marca a frente de dessilificação e transição de domínio dos monossilitos secundários a horizonte ferralítico de oxi/hidróxidos livres de alumínio. Os elevados teores dos elementos vestigiais, tais como Ni, Mn, Cr, são relacionados com a acumulação abso-

luta dos óxidos de ferro (Boski & Herbolch, 1990), o que foi directamente provado pela análise por microsonda que revelou teores pontuais de Cr = 11,3% e Mn = 4,8%. De acordo com Ambrosi et al. (1986), o decaimento do caulinite é provocado pelos protões liberados durante a precipitação dos óxidos hidratados de ferro, o que sumariza duas reacções químicas acopladas:

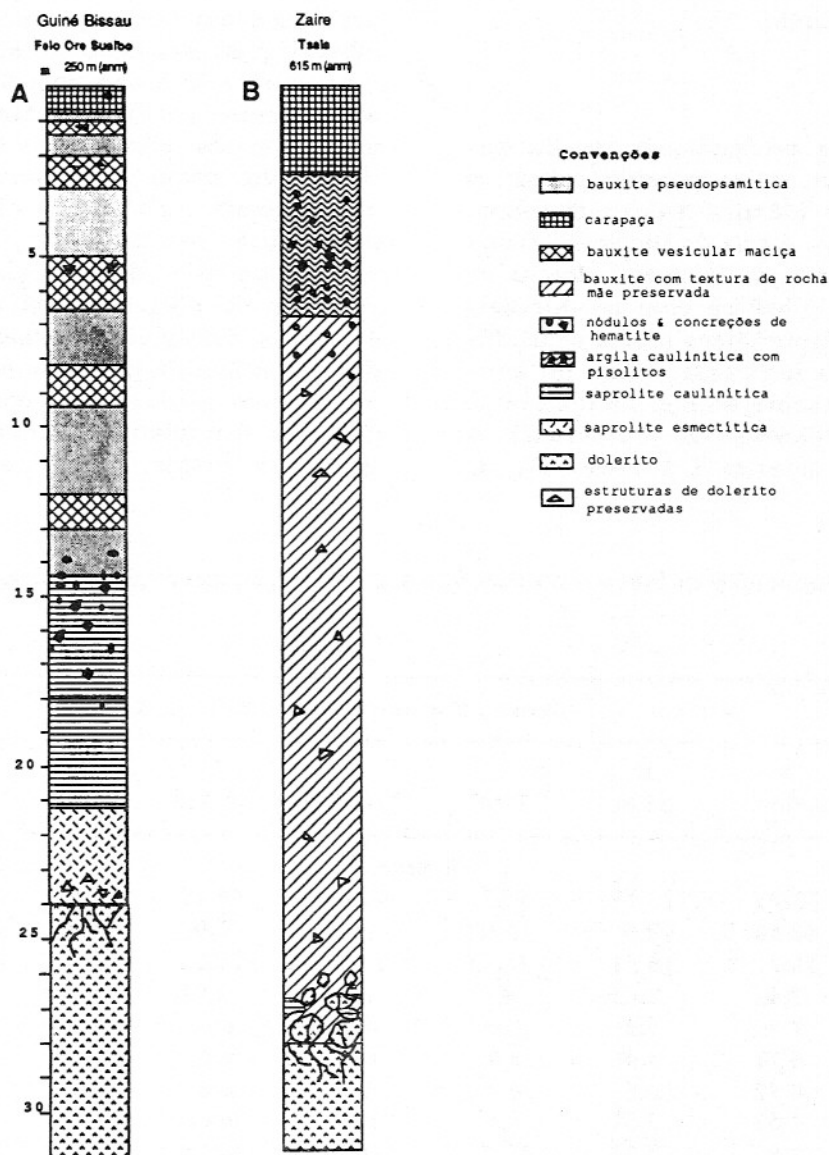
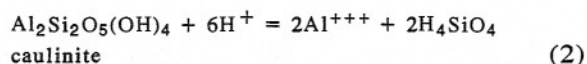
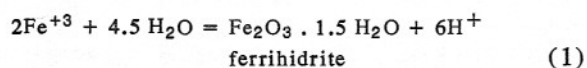


Figura 3 – Perfis litológicos dos mantos alterados em A - Felo Ore Suaibo e B - Tsala.



A associação dos mencionados elementos traço e óxidos de ferro, procura-se nesse contexto, na migração conjunta dos solutos organometálicos, e subsequente coprecipitação, após a degradação da parte orgânica (Tipping & Cooke, 1982 e Singer & Huang, 1990).

A zona de nódulos possui um limite nítido a profundidade de 14.1 m, onde passa em mal consolidado laterite pseudopsa-

mítico do horizonte ferralítico. Hematite, goethite e gibsite são fases minerais dominantes e a sílica possui carácter residual. A camada mal consolidada recobre-se de 70 cm de carapaça vacuolar, dura, com concreções de hematite. Esta alternância (Fig. 3), que reflete mais provavelmente as cíclicas variações da base de erosão e do nível freático, sucede-se até a superfície blindada por couraça, contendo pisólitos cimentados compostos por boehmite e hematite. O aumento do teor da boehmite até 35% (Boski & Paepe, 1988), em proximidade da superfície, verifica-se em todo manto de alteração no Bowal Felo Ore Suaibo. Esta fase mineral aparece como típica da última etapa de neoformação em condições de fre-

qüente déficit hídrico.

## Tsala

A partir da profundidade de 28 metros, os doleritos, cujos minerais primários sofrem alteração idêntica a descrita acima, apresentam-se em forma de blocos de tamanhos progressivamente menores, dentro da matriz argilosa gibsítica com oxi-hidróxidos de ferro e esporádicas partes caulínificas. Tanto neste horizonte, como no horizonte bauxítico sobrejacente, as texturas e estruturas dos doleritos são preservadas. A composição da amostra 1 (Tabela 2), em

que aparecem como componentes maiores gibsite, goehteite, hematite e quartzo, prova que a alteração e neoformação mineral procedeu, neste perfil, directamente dos aluminossilicatos primários a oxi-hidróxidos livres sem passar por etapas intermédias dos minerais argilosos. A ausência das fases anfiriãs colectoras (argilas e acumulações secundárias de Fe) reflete-se também em falta de níveis de enriquecimento em elementos vestigiais nas amostras 1, 5 e 7. Entre 8 e 6 m de profundidade, as texturas preservadas gradualmente desaparecem e os pisólitos ferruginosos tornam-se um traço textural marcante. A 6 m de profundidade,

Tabela 2 - Composição química e mineralógica do perfil de alteração em Tsala (Zaire).

Componente	Amostra nr./intervalo de amostragem [m]							
	A Aflor.	B 27 m	1 25-24.7	5 21-20.7	7 10-9.7	9 4.20-4	10 3-2.70	11 superf.
	% peso							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.83	13.18	36.7	40.65	41.75	14.83	20.47	9.12
SiO <sub>2</sub>	49.98	49.6	11.02	6.44	7.91	14.45	16.11	5.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.7	16.31	28.75	27.5	24.2	58.55	48.33	71.4
TiO <sub>2</sub>	2.42	2.42	4.21	3.66	2.81	1.83	1.94	0.58
CaO	7.73	7.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	4.72	4.46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K <sub>2</sub> O	0.72	0.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> O	2.53	2.57	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
H <sub>2</sub> O	2.8	3.15	19.7	21.88	22.35	8.8	13.04	12.36
Gibbsite			55.1	58.1	60.4	7.5	9.3	4.1
Boehmite			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Caulinite			0.0	3.1	0.0	14.2	18.6	15.1
Quartzo			11.0	3.9	7.9	8.2	6.5	3.0
Anatazio			4.2	3.7	2.8	1.8	1.9	0.6
Goethite			19.3	16.8	11.8	52.5	46.2	49.8
Hematite			10.1	12.3	14.3	14.1	17.1	26.1
	ppm							
Sr	190	180	0	0	0	0	0	0
Ba	225	255						
Cu	172	276	74	48	82	335	438	223
Zn	116	140	27	22	17	114	137	111
V	331	335						
Ni	42	48	24	21	13	98	107	83
Co	42	45						
Mn	1400	1400						
Ga	26	28	47	43	31	95	85	80
Cr	16	17						
Rb	34	25	0	0	0	0	0	0

a matriz dos pisólitos muda abruptamente de carácter gibbsítico para caulínítico com goehteite como fase férrica predominante, que constitui cerca de 50% de peso das amostras 9, 10 e 11. Esta mudança mineralógica encontra seu reflexo em concentração dos elementos traço Cu, Ni e Zn, mais elevada que no substrato dolerítico. Contudo, tanto a presença do caulinite, como o teor de elementos vestigiais com especial atenção para Gálio, que habitualmente segue as fases aluminosas, apontam para origem allóctona deste horizonte. O perfil está protegido por 2 m de couraça ferruginosa vacuolar, com canais tubulares preenchidos por argila caulínítico/ferruginosa, de composição idêntica a do horizonte subjacente.

## CONCLUSÕES SOBRE A GÉNESE DOS PERFIS FELO ORE SUAIBO E TSALA

### Felo Ore Suaibo

O complexo perfil de alteração, formado sobre doleritos, pertence à Superfície Africana de Aplanamento. Deve sua origem a dissecação (Quaternária?). O decaimento dos aluminossilicatos primários, em fases oxí/hidroxidadas de energia livre mínima, procedeu de maneira indirecta, isto é através da etapa bissialítica e monossilítica. Os menores gradientes hipsográficos, a cobertura dos xistos Devónicos e incisão tardia, contribuíram para o regime de percolação mais lenta de que em Tsala, que tornou possível a recombinação da sílica e catiões metálicos com alumínio. Contudo, a heterogeneidade textural do horizonte ferralítico aponta para história climática e/ou morfológica complexa desta área em que sucediam-se ciclos secos, húmidos de baixa base de erosão, e elevada base de erosão. A presença de boehmite em quantidades até 34% (Boski & Paepe, 1988), prova a contínua e prolongada exposição de bauxite às

na superfície apenas em partes baixas do relevo, protege a bauxite da degradação final provocada pela desidratação e pisolitização. A total ausência da boehmite no material bauxítico estudado aponta para estabilidade de clima húmido ao longo de processo de alteração. Embora ao perfil de alteração de Tsala atribui-se idade Quaternária Inferior (Kaseba et al., 1991), do ponto de vista de deriva da Placa Africana, desde Eocénico (Tardy et al., 1991), as condições climáticas nesta região mantiveram-se suficientemente húmidas para manter a bauxitização contínua, sem períodos de couraçamento e erosão que intervíram na África Ocidental.

condições de défice hídrico imposto pela passagem do Oeste Africano da zona de clima húmido para zona de clima a estações contrastadas secas/húmidas (Tardy et al., 1991).

### Tsala

A dominante posição geomorfológica e as condições de drenagem muito favoráveis conduziram à quase-directa bauxitização da rocha mãe determinada como tolesto continental. A presença muito limitada de caulinite na base do perfil e a preservação de texturas e estruturas de dolerito em toda extensão do horizonte bauxítico testemunha a directa dissolução incongruente dos aluminossilicatos, acompanhada de evacuação de sílica e ferro. A parte superior de perfil está protegida de erosão pela couraça sobrejacente ao horizonte de argila caulínítica com pisólitos. De acordo com as evidências geoquímicas, nomeadamente o teor dos elementos traço, a cobertura ferruginosa possui, mais provavelmente, um carácter allóctono e deriva-se da erosão e deposição dos produtos de alteração das rochas sedimentares de grupo Sansikwa, localmente mineralizadas por sulfuretos auríferos. Esta cobertura móvel que aflora presentemente

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSI, J.P., NAHON, D., HERBILLON, A.J. (1986) The epigenetic replacement of kaolinite by hematite in laterite. *Geoderma*, **37**: 283-294.
- BÁRDOSSY, G. & ALEVA, G.J.J. (1990) *Lateritic Bauxites*. Elsevier, Amsterdam, 624p.
- BONHOME, M. & WEBER, F. (1969) Données géochronologiques, par la méthode Rb-Sr sur les séries du Précambrien supérieur de la Région de Bakouma (République Centrafricaine). *Ann. Soc. géol. Belg.*, **100**: 125-133.
- BOSKI, T. & PAEPE, R. (1988) Quantitative mineralogy of bauxite profiles in SE Guinea Bissau. *Catena*, **15**: 417-432.



- BOSKI, T. & HERBOSCH, A. (1990) Trace elements and their relation to the mineral phases in the lateritic bauxites from SE Guinea Bissau. *Chemical Geology*, **82**: 279-297.
- CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. (1948) Notes sur la géomorphologie du Congo Occidental. *Ann. Mus. Congo Belge, Tervuren*, 98p.
- CAHEN, L., SNELLING, N.J., DELHAL, J., VAIL, J.R. (1984) *The Geochronology and Evolution of Africa*. Clarendon Press, Oxford, 512p.
- FRATSCHNER, W. TH. (1960) Die laterite der Sudostlichen Boè (Portugiesish Guinea). *Geologie en Mijnbouw*, sp. uit: 500-511.
- KASEBA, M., BOSKI, T., PAEPE, R. (1991) Schéma de répartition des bauxites latéritiques sur des surfaces d'aplanissement post-Eocenes dans le district de Sumbi (Region du Bas Zaire). *Geobound*, 3 (no prelo).
- KÜHNEL, S.A. (1986) The role of cationic and anionic scavengers in laterites. *Proceedings of an International Seminar on Laterites*, October 14-17, 1985, Tokyo, Japan, *Chemical Geology*, **60**: 31-40.
- SINGER, A. & HUANG, P.M. (1990) Effects of humic acid on the crystallization of aluminum hydroxides. *Clays and Clay Minerals*, **38**: 47-52.
- TARDY, Y., KOBILSEK, B., PAQUET, H. (1991) Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. *Journal of African Earth Sciences*, **12(1)**: 283-295.
- TEIXEIRA, J.E. (1968) *Geologia da Guiné Portuguesa*. Curso de Geologia do Ultramar, Lisboa, 53-104.
- TIPPING, E. & COOKE, D. (1982) The effects of adsorbed humic substances on the surface charge of goethite ( $\alpha$ -FeOH) in freshwaters. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**: 75-80.