

ESTUDO GEOQUÍMICO DOS SOLOS E FORMAÇÕES SUPERFICIAIS DO BRASIL*

Parte 2 Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil

ADOLPHO JOSÉ MELFI** e GEORGES PEDRO***

ABSTRACT A study of the geochemical processes involved during surface weathering of rocks and soil formation is carried out, considering the main hydrodynamical and physico-chemical parameters.

Four main environments are identified in the Brazilian territory ("acidolitic", "hydrolitic", "alcalinolitic" and "salinolitic"). Their relative importance is discussed and a geographical distribution in the Territory is sketched.

INTRODUÇÃO Os trabalhos pedológicos realizados nas últimas duas décadas no Brasil e sobretudo a síntese cartográfica elaborada em 1971 pela FAO, sob a direção de Dudal, forneceram os conhecimentos básicos que hoje possuímos sobre a natureza e a distribuição dos solos brasileiros.

A partir desse inventário geral, Melfi e Pedro (1977) realizaram um estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil, enfocando o aspecto genético, sob um ângulo estritamente pedogeoquímico, e referindo-se essencialmente ao tipo de evolução da fração mineral.

Complementando o trabalho anterior, o presente artigo tem como objetivo principal caracterizar os mecanismos envolvidos na alteração superficial das rochas e na formação dos solos brasileiros, e fornecer os elementos necessários para definir sua importância e repartição no território nacional.

APRESENTAÇÃO DAS BASES METODOLÓGICAS Os mecanismos envolvidos na alteração geoquímica superficial decorrem da presença de um certo número de condições que caracterizam o meio evolutivo e, em particular, das características litológicas, termoidráticas e físico-químicas (Pedro, 1964 e 1966).

Características litológicas Os processos geoquímicos decorrem, em primeiro lugar, das características petroquímicas da rocha-mãe, pois são elas que impõem a constituição química e cristaloquímica dos minerais secundários da alteração. De uma maneira geral, distingue-se 4 conjuntos litogeoquímicos, que são tipicamente separados, do ponto de vista pedogenético, e que isoladamente conduzem a processos de alteração que lhe são específicos. (Tab. I).

* Trabalho realizado com o auxílio financeiro da FAPESP

** Departamento de Geologia Geral — IGUSP — CP. 20899-SP

*** Department de Science du Sol — INRA — Versailles

Tabela I — Características dos 4 conjuntos litogeoquímicos

Denominação do conjunto	Rochas	Simbolização litogeoquímica	Tipos de constituintes secundários
Ortossialférico	Rochas aluminossilicáticas cristalinas	$[\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3]$ (Fe_2O_3) cristalino	Argilo-minerais aluminosos de neoformação
Vitrossialférico	Rochas aluminossilicáticas vítreas	$[\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3]$ (Fe_2O_3) vítreo	Silicatos amorfos (alofanas)
Sifêmico	Rochas ultrabásicas	$[\text{SiO}_2 - \text{MgO}]$ (FeO)	Argilo-minerais magnesianos
Calcimagnésico	Rochas calcárias e dolomíticas	$\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3 - (\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3)$	Argilo-minerais aluminosos herdados

No Brasil, devido a suas condições geológicas, o conjunto vitrossialférico é inexistente. O conjunto sifêmico, apesar de apresentar uma importância considerável para a metalogenia do País, possui extensão muito limitada, sendo o mesmo válido para o conjunto calcimagnésico. É, portanto, o conjunto *ortossialférico* o único que será aqui abordado; é conveniente lembrar que os processos geoquímicos da alteração foram definidos na parte I do trabalho (Melfi e Pedro, 1977), considerando-se implicitamente a evolução das rochas cristalinas aluminossilicatadas.

Características termoiônicas São definidas pelos elementos clássicos do clima e do pedoclima: temperatura, pluviosidade e evaporação, que condicionam praticamente a evolução que sofrem os materiais da superfície da Terra.

Efetivamente, a evolução só se verifica quando a água líquida se encontra em contato, durante um certo tempo, com as rochas. Isto implica que as regiões cujas temperaturas média anuais são inferiores a 0°C e as regiões absolutamente secas não são atingidas pelos fenômenos de alteração geoquímica. Estas zonas não existem no Brasil, de forma que, *a cobertura de alteração se distribui por todo o país.*

De início, é possível distinguir diversos tipos de meios de acordo com as condições pedoclimáticas relativas; de um lado em relação ao estado da água no solo e de outro lado em relação ao balanço hídrico.

Do ponto de vista do estado da água, duas situações clássicas são opostas:

— aquela onde os minerais estão na maior parte do tempo unicamente em contato com a água que preenche todos os poros do material (meio saturado); a alteração se produz então em meio pouco oxigenado e envolve processos especiais. É o domínio da *hidromorfia*.

— A segunda é a situação normal, na qual a rocha evolui em contato com a água não saturante e portanto em presença de ar. Trata-se neste caso da *ortomorfia*.

Do ponto de vista do balanço hídrico, pode-se, a grosso modo, considerar 2 casos, que se relacionam à ortomorfia.

— O balanço é positivo, isto é, a pluviosidade é maior que a evaporação, de forma que o solo é atravessado por um fluxo descendente (drenagem vertical). Corresponde aos meios *lixiviados*, termodinamicamente abertos, nos quais a evolução se traduz por uma subtração de matéria.

— Ao contrário, desde que a evaporação ultrapassa a pluviosidade, o fluxo se inverte e é do tipo ascendente, pelo menos durante uma parte do ano. O meio, globalmente fechado, pois não existe drenagem*, é dito *confinado*.

Baseando-se no índice de aridez, E (índice de De Martonne), é possível demonstrar que na escala do globo, o valor 20 permite separar facilmente os 2 tipos de meios (Tab. II).

Tabela II — Caracterização dos fenômenos de alteração do ponto de vista das condições termoídricas

Presença ou ausência de água líquida	Fases presentes no sistema de alteração	Denominação e delimitação eventual do fenômeno	
Ausência de Água líquida	Mineral — gelo — ar	Criomorfia [$\theta_m < 0^\circ\text{C}$]	
	Mineral — ar	Areimorfia [$I_A < 5$]	
Presença de Água líquida	Mineral — água líquida	Hidromorfia	
	Mineral — água líquida — ar	Ortomorfia	meio lixiviado [$I_A > 20$]
			meio confinado [$5 < I_A < 20$]

Características físico-químicas As características físico-químicas dos meios de alteração, dependem inicialmente dos reativos presentes nas águas pluviais que chegam ao contato das rochas. Quanto à origem, eles podem ser:

- *Atmosféricos* (O_2 , CO_2 ...);
- *Litosféricos*, resultantes da dissolução de constituintes solúveis ou facilmente solubilizáveis ($NaCl$, $CaCO_3$...), da evolução de certos minerais (H_2SO_4 , proveniente da oxidação dos sulfetos), ou ainda de reações de alteração (SiO_2 , cátions básicos ...);
- *Biosféricos*, resultam de uma síntese consecutiva à degradação físico-química e microbiológica das camadas vegetais e dos excrementos animais; sua natureza

* Na realidade, o meio é pontualmente aberto, caso contrário os fenômenos de alteração não se desenvolveriam.

depende, portanto, da composição dos produtos brutos iniciais (compostos carbonosos, nitrogenados, sulfetados) e das condições gerais da evolução: anaeróbica ou aeróbica — ataque de fungos e bactérias — umidade, etc. É preciso assinalar que eles podem também se formar por síntese de numerosos produtos orgânicos mais ou menos polimerizados.

Na natureza, considerando-se os compostos que tomam parte nos fenômenos de alteração geoquímica*, vê-se que, a grosso modo, existem duas grandes possibilidades quanto à decomposição dos produtos carbonosos: o gás carbônico, que se forma nas condições mais habituais como resultado da mineralização, e os ácidos orgânicos hidrossolúveis, mais ou menos voláteis e sempre complexantes, que aparecem em quantidade apreciável desde que o clima se torne frio ou em condições hidromórficas (anaerobiose).

A natureza dos reativos, estando assim sucintamente inventariada, os principais tipos de ambientes, característicos de um mecanismo evolutivo específico, podem ser definidos, considerando-se os dois critérios físico-químicos seguintes:

- Concentração em prótons H^+ (pH)
- Concentração em cátions básicos (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , ...)

Os limites retidos para valores de pH são precisos e função dos minerais primários submetidos à alteração. Se considerarmos unicamente aqui o conjunto ortossilférico, os limites são dados pelas características ácido-básicas do alumínio ($pK_A = 5,0$) e da sílica (pK_i , ácido silícico = 9,6). Quanto à carga catiônica, o valor retido é menos preciso: ela corresponde a uma concentração vizinha de M/100.

Combinando os limites de pH e da concentração catiônica, chega-se a definir 4 grandes mecanismos responsáveis da evolução biogeoquímica (Tab. III).

Tabela III — Mecanismos envolvidos no decorrer da evolução superficial

pH Concentração em cátions	pH < 5	5 < pH < 9,6	pH > 9,6
	Acidólise	Hidrólise	—
Meios pobres em cátions básicos (autogênese)			
Meios ricos em cátions básicos (halogênese)	—	Salinólise	Alcalinólise

* Os outros compostos orgânicos sintetizados, que são polimerizados e não hidrossolúveis, são naturalmente muito importantes na pedologia, porém, eles são os constituintes orgânicos característicos dos solos e não fatores da evolução geoquímica.

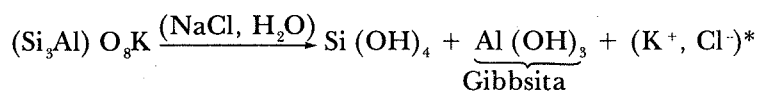
A natureza (e as características) dos reativos envolvidos nestes 4 mecanismos físico-químicos da alteração, são indicadas na Tab. IV.

Tabela IV — Características químicas dos reativos que intervêm nos diversos mecanismos

Mecanismo físico-químico		Características gerais dos reativos de alteração (pK)	Natureza dos reativos gerais
Autogênese	Acidólise	$pK < pK_{Al}$	Ácido orgânico hidrossolúvel (complexólise ácida) Ácido mineral (acidólise mineral)
	Hidrólise	$pK_{Al} < pK < pK_{Si(OH)_4}$	Águas mais ou menos carregadas de CO_2
Halogênese	Salinólise	$pK_{Al} < pK < pK_{Si(OH)_4}$	Águas contendo sais de ácidos fortes-cloreto (NaCl ...), sulfatos (Na_2SO_4 , $CaSO_4$)
	Alcalinólise	$pK > pK_{Si(OH)_4}$	Águas contendo sais de ácidos fracos — carbonatos (Na_2CO_3)

— Na hidrólise, já definida no trabalho anterior (Melfi e Pedro 1977), o meio é pouco ácido por definição, de forma que somente os cátions básicos são susceptíveis de serem neutralizados pelos íons carbonato; Si e Al aparecem sob a forma de hidróxidos.

— Na salinólise, os reativos envolvidos não são mais agressivos; os mecanismos para Si e Al são, portanto, do mesmo tipo que no caso precedente, aos quais se acrescenta, para os cátions alcalinos, um fenômeno de dupla decomposição; a reação se escreve:



— Na acidólise, os reativos presentes são suficientemente ácidos para salificar não somente os cátions básicos, mas também o alumínio, que aparece neste caso em solução, sob forma de íons mais ou menos hidroxilados de acordo com o pH do meio. Não ocorre aqui individualização de um mineral secundário mas, principalmente, solubilização mais ou menos rápida dos constituintes primários.

* A reação é escrita dessa forma por comodidade. Na realidade, desde que a concentração em cátions satura, ocorre uma retrogradação da hidrólise que não ultrapassa mais o estágio parcial (formação de argilas).

— Finalmente, na alcalinólise o meio é caracterizado por um ataque alcalino, que transforma Si e Al em *ânions*: (silicatos e aluminatos). A dissolução é importante em todos os casos, mas pode-se formar, de acordo com condições específicas do meio, filosilicatos 2/1 (montmorilonitas Na) ou, mesmo em situações extremas, tectossilicatos alcalinos, (analcita, sodalita, etc.).

IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS MECANISMOS FUNDAMENTAIS E SUA REPARTIÇÃO GEOGRÁFICA

Importância relativa dos mecanismos físico-químicos A *acidólise* é o mecanismo fundamental envolvido nos solos sulfatados ácidos, caracterizados pela presença de ácido sulfúrico (fluvissolos tíonicos) e nos solos onde a decomposição da camada vegetal ("liteira") conduz à produção de ácidos orgânicos mais ou menos complexantes. De acordo com os trabalhos realizados no Brasil meridional (Bramão e Simonson, 1956; Costa Lemos *et al.*, 1967, Pedro, 1970), isso parece ser o caso dos *rubrozens* (cambissolos húmicos) e dos ferralsolos húmicos.

A *salinólise* afeta os únicos solos salinos representados no Brasil, ou seja os *solonchaks*, enquanto que a *alcalinólise* se desenvolve mais ou menos intensamente em 2 unidades: de um lado os *solonetz*, e de outro os solos solodizados, tais como os planossolos solódicos.

Todos os outros solos pertencem ao domínio da *hidrólise*.

A repartição desses principais mecanismos se encontra indicada na Tab. V.

Tabela V — Repartição e extensão dos mecanismos de alteração no Brasil

Mecanismo de alteração		Solos	Extensão (%)
Autogênese	Acidólise	Jt — Bn — Fn	2,3
	Hidrólise	Jd — Gd — Gm — Re — Rd — Qf — Qa — Vp — Vc — Hl — Bd — Lo — Lc — Lf — We — Wm — Ao — Ap — Ne — Nd — Fo — Fx — Fr — Fa	97,1
Halogênese	Salinólise	Zm	0,5
	Alcalinólise	Sm — Ws	0,1

O exame dessa tabela conduz às seguintes observações:

A halogênese é muito pouca representada no Brasil (0,6% de seu território), contrariamente ao que se produz em muitos outros países da América Latina; é essencialmente ligada a uma influência marinha.

O domínio da acidólise "senso stricto" concerne apenas 2,3% do país. Esse dado é certamente subestimado, porque ele não engloba as zonas de *podzois* gigantes e de areias brancas da Bacia Amazônica (Klinge, 1965 e Sombroek 1966). De acordo com trabalhos recentes, realizados na Guiana Francesa (Turenne, 1975), esse tipo de solo resulta de um ataque ácido-complexolítico desenvolvido sobre velhos solos ferralíticos.

Um fato interessante é relacionar a pequena expressão relativa da acidólise (2,3%) com a importância dos solos fortemente dessaturados e com reação ácida (83,3%, cf. Melfi e Pedro, 1977). Isso não é contraditório, na medida que a acidólise provém de um ataque *ácido provocado* pela chegada de íons H^+ do exterior (ácidos orgânicos e minerais relativamente fortes). Ao contrário, a acidez de numerosos solos brasileiros resulta de uma dessaturação progressiva do complexo de alteração e está ligada à aparição de íons H^+ , devido a dissociação da água, na superfície das partículas argilosas. Trata-se, nesse caso, de uma *acidez induzida*, mas que resulta do mecanismo geral da hidrólise (hidrólise ácida).

A Tab. VI permite mostrar a extensão relativa destes diferentes domínios:

Tabela VI — Hidrólise normal e hidrólise ácida no Brasil

Tipos de hidrólise	Solos	Extensão (%)
Hidrólise normal (presença de cátions básicos)	Gm — Re — Vp — Vc Hl — Lo — Lf — Lc We — Wm — Ne	83,2
Hidrólise ácida (presença de cátions ácidos e ausência de cátions básicos)	Jd — Gd — Rd — Qf Qa — Bd — Ao — Fo Fx — Fr — Fa — Ap	16,8

Importância relativa da hidromorfia Fazem parte do domínio hidromórfico os gleissolos e os solos gléicos, os fluvisolos, os planossolos, particularmente bem representados no Pantanal Matogrossense, os solos caracterizados por um horizonte plínico (laterita hidromórfica dos pedólogos brasileiros) e, enfim, os solos salinos com submersão marinha temporária.

Os restantes resultam então, propriamente dito, de uma evolução em condições ortomórficas. (Tab. VII).

Constata-se, dessa forma, que o domínio hidromórfico, que representa mais de 10%, está longe de ser negligenciado no Brasil. É necessário acrescentar ainda, que ele foi provavelmente subestimado, em função da grande extensão de zonas recobertas periodicamente pelas águas, notadamente na Bacia Amazônica.

Esboço geográfico sobre os diferentes mecanismos da evolução geoquímica A repartição geográfica dos mecanismos geoquímicos da evolução superficial, foi realizada aplicando algumas regras que decorrem dos parágrafos precedentes, e se encontra caracterizada na Fig. 1.

Tabela VII — Extensão respectiva dos domínios hidromórficos e ortomórficos do Brasil

Condições da evolução		Hidromorfia	Ortomorfia
Autogênese	Acidólise	Jt < (0,1%)	Bh — Fh (2,2%)
	Hidrólise	Gd — Gm — We — Wm — Ap (9,9%)	Jd — Re — Rd — Qf Qa — Vp — Vc — Hl Bd — Lo — Lc — Lf Fx — Fr — Fa (87,2%)
Halogênese	Salinólise	Zm (0,5%)	—
	Alcalinólise	Sm — Ws (0,1%)	—
Total (%)		10,6%	89,4%

— O domínio da *acidólise*, refere-se essencialmente à ação dos ácidos orgânicos (ácido complexólise), tendo em vista ser impossível representar os solos sulfatados ácidos (Jt)* na escala adotada.

— Os mecanismos da *alcalinólise* e da *salinólise* foram reagrupados devido a sua pequena extensão; o conjunto corresponde ao domínio da *halogênese* ligada a uma hidromorfia temporária.

— O domínio da *hidrólise*, que é de longe o mais importante (97,1% do território), foi fracionado de modo a fazer aparecer 3 categorias principais: as zonas hidromórficas, as zonas ortomórficas caracterizadas por uma hidrólise normal em meio confinado (corresponde, a grosso modo, a um domínio onde o índice de aridez é inferior a 20) e as zonas abundantemente lixiviadas onde o índice de aridez é superior a 20; neste caso, na maior parte do tempo, trata-se de uma hidrólise ácida.

CONCLUSÕES GERAIS Da mesma forma que na Parte 1 (Melfi e Pedro, 1977), é necessário salientar, em primeiro lugar, que o documento cartográfico apresentado deve ser considerado simplesmente como um “esboço” esquemático. Nessas condições, a precisão dos resultados numéricos, relativos aos diferentes aspectos examinados, está longe de ser perfeita. As indicações semi-quantitativas parecem suficientes para exprimir as grandes *tendências* da evolução geoquímica da superfície no conjunto do território brasileiro.

A análise dos dados apresentados faz ressaltar dois aspectos:

1. A carta apresentada foi realizada, baseando-se nas características das unidades de solos tipos, isto é, dos solos que sofreram uma evolução natural (solos virgens)

* As abreviações aqui utilizadas são as mesmas constantes na Tab. 1 (Melfi e Pedro, 1977).

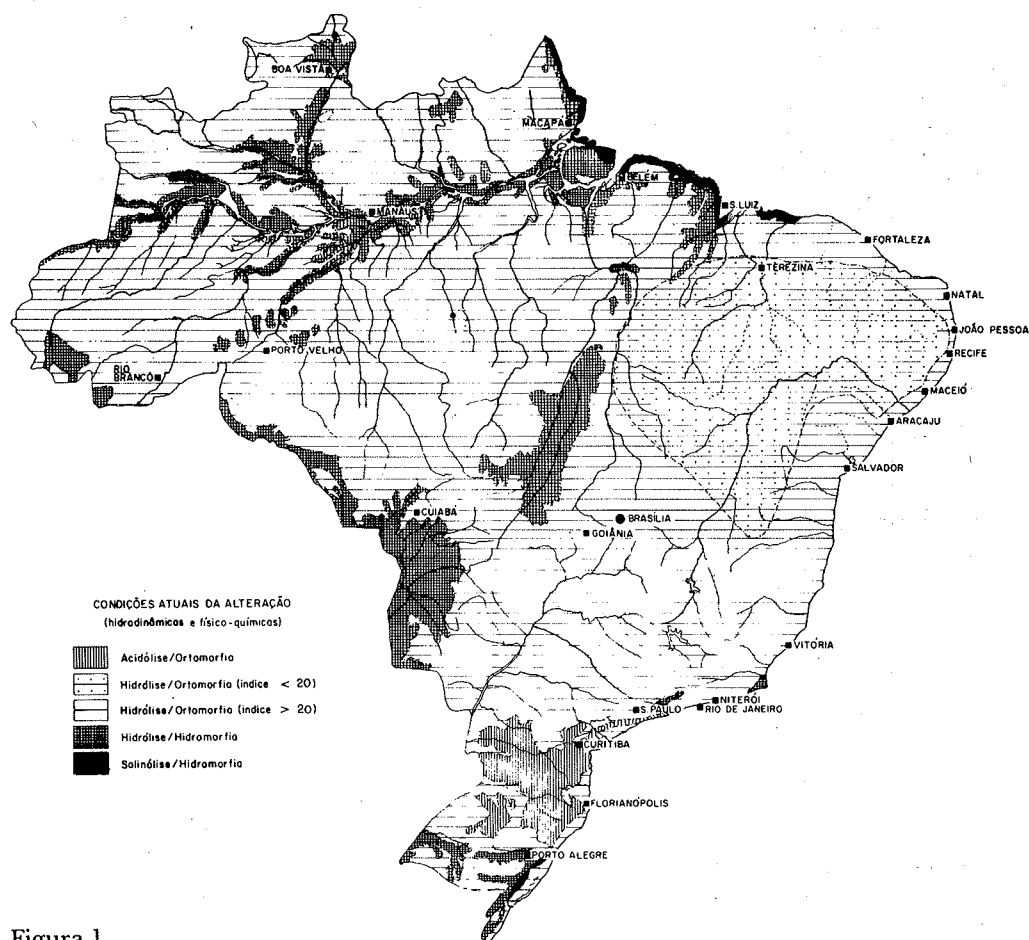


Figura 1

desde o início da pedogênese. Reflete, portanto, o ambiente geoquímico que caracteriza os horizontes superiores do perfil, sem fazer intervir considerações de ordem histórica (valorização da região, desenvolvimento agrícola intensivo, etc.). Dessa forma, podemos utilizá-la para tentar previsões ao nível dos potenciais agronômicos e metalogenéticos dos solos e dos materiais de alteração superficial.

Sob esse ponto de vista, o fato mais marcante se refere à preponderância do fenômeno de *hidrólise*, que afeta 97% do território. Ora, conhecendo-se a geoquímica dos elementos em condições hidrolíticas oxidantes, pode-se prever seu comportamento na superfície. A Tab. VIII resume, com esta finalidade, as informações clássicas relativas a esse problema (Pedro et Delmas, 1970).

Tabela VIII — Características fundamentais dos principais elementos e seu comportamento geoquímico em condições hidrolíticas

Categorias	Características físico-químicas	Estado característico em soluções hidrolíticas	Solubilidade dos hidróxidos PS	Natureza dos elementos
A	$pK \geq 12,6$	Cátions simples	Muito forte $PS < 5$	Li^+ , K^+ , Na^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+}
B	$7,6 < pK < 11,5$	Cátions e hidróxidos	Fraca $5 < PS < 20$	Mg^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , La^{2+}
C	$\sim 0 < pK < 7$	Hidróxidos	Nula $PS > 30$	Al^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Mn^{4+} , Cr^{3+} , Ga^{3+} , Zr^{4+}
D	$pK \leq -1,2$	Hidróxidos e ânions condensados	Fraca	Si^{4+} , B^{3+} , V^{5+} , Mo^{5+} , Ge^{4+}

Devido a importante intensidade da hidrólise no Brasil, vê-se que existe:

— Uma forte possibilidade de concentração dos elementos das categorias C e B no meio das coberturas de alteração superficial: existência de jazidas metálicas de origem meteórica;

— Uma tendência generalizada de empobrecimento dos solos em elementos A (K e Na notadamente), o que explica que mais de 83% dos solos sejam ácidos e fortemente dessaturados. A utilização de corretivos e fertilizantes, torna-se necessário e indispensável se quisermos chegar a uma agricultura intensiva;

— Uma eventualidade relativa ao desenvolvimento de *carências* ou de *subcarências* (B, S, Co, etc.) e de fenômenos de toxidez (Al^{3+} ...) que podem ser prejudiciais, tanto na agricultura extensiva, como na organização de uma produção animal generalizada (caso da Austrália).

2. É necessário assinalar por outro lado que, no Brasil, a laterização superficial não corresponde sempre a um equilíbrio pedoclimático. Ela sofre atualmente uma evolução secundária, seja em zonas de altitude do Brasil meridional, sob o efeito de uma *acidólise* ligada à existência de baixas temperaturas, seja na Bacia Amazônica, sob a influência de uma *hidromorfia* progressiva, relacionada mais ou menos a uma elevação do nível de água (*podzóis* gigantes).

A generalização dos ferralsolos não deve, portanto, esconder a existência de uma diversidade regional e mesmo de uma diferenciação latitudinal. Para isso, é suficiente fazer uma seqüência do Norte ao Sul e paralela à Costa Atlântica com, por

Tabela IX — Características pedoclimáticas e geoquímicas de uma sequência geral de alteração (de Fortaleza — 4° latitude sul a 31° latitude sul)

Latitude Sul		31°		20°	10°	4°
Elementos climáticos	0°C Temp. média	18 — 20	14 — 16	20 22 — 24	25 26	
	mm Prec. média	1250	1500	1250 — 1500	750 500	
	Índice xerotérmico — Duração da estação seca	0	0	0 — 40	40 — 100 100 — 150	150 — 200
Classificação de Koppen		Cfa	Cfb	Cw	Aw	Bsh
Vegetação dominante		Campo limpo	Floresta de araucária	Floresta latifoliada tropical	Cerrado	Caatinga
Condições pedoclimáticas		Meio confinado hidro-morfia	Meio lixiviado frio	Meio lixiviado quente		Meio confinado seco
Mecanismos envolvidos		Hidrólise parcial	Complexólise ácida	Hidrólise intensa (desalcalinização)		Hidrólise parcial
Estado do complexo de alteração	Natureza dos minerais secundários	Montmorilonita	Caolinita	Caolinita-gibbsita	Caolinita	montmorilonita
	Estado de saturação	Complexo saturado (100%)	Complexo fortemente aluminizado (Al > 4meq/100g)	Complexo pouco aluminizado (Al < 1meq/100g)	Complexo aluminizado (1 < Al < 4meq/100g)	Complexo quase saturado

exemplo, de Fortaleza (Ceará) até Santa Maria (Rio Grande do Sul), passando um pouco a leste de Brasília. A Tab. IX reúne as informações geoquímicas e físico-químicas concernentes a essa seqüência, em relação aos dados pedobioclimáticos.

Dessa forma, encontra-se realmente uma gradação, desde os climas mais secos do nordeste aos mais frios da Cuesta de Huedo, passando pela zona tropical úmida e considerando ainda os meios muito lixiviados ou os mais confinados, seja por razões pedoclimáticas, seja por razões topográficas.

Apesar da posição geral do Brasil, no seio do domínio intertropical, a zonalidade pedoclimática dos solos e das coberturas de alteração permanece, portanto, ainda uma realidade no país.

BIBLIOGRAFIA

- BRAMÃO, L. e SIMONSON, R.W. (1956) — Rubrozem — A proposed great soil group. VI Cong. Int. Sc. Sol., Paris, E: 25-30.
- COSTA DE LEMOS, R. *et al.* (1967) — Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul — Planalto Sul Riograndense. DPFS, Bol. Tec. (2): 71-209.
- FAO/UNESCO (1971) — Carte Mondiale des sols — IV — Amerique du Sud. Paris.
- KLINGE, H. (1965) — Podzol soils in the Amazon Basin. Journ. Soil Sc., 16: 95-103.
- MELFI, A.J. e PEDRO, G. (1977) — Estudo Geoquímico dos Solos e Formações Superficiais do Brasil — Parte 1. Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedo-geoquímica. Rev. Bras. Geoc., 7: 271-286.
- PEDRO, G. (1964) — Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse Doctorat d'Etat, Paris, 344 pp.
- PEDRO, G. (1966) — Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles. C.R.Ac.Sc. Paris, (292 D): 1828-1831.
- PEDRO, G. (1970) — L'évolution des sols et la caractérisation des phénomènes d'altération superficielle dans la zone basaltique du Paraná (Brésil). Rapport de Mission — 53 p. (mimeografado) — Versailles.
- PEDRO, G. et DELMAS, A.B. (1970) — Les principes géochimiques de la distribution des éléments traces dans les sols. Ann. Agron. 21: 483-518.
- SOMBROECK, W.G. (1966) — Amazon soils: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon Region. These Wageningen, 303 pp.
- TURENNE, J.F. (1975) — Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposequences guyanaises. Thèse Univ., Nancy, 185 pp.