

## TENDÊNCIAS ATUAIS DAS PESQUISAS DE SOLOS EM SÃO PAULO (\*)

JOSE PEREIRA DE QUEIROZ NETO (1)

### TENDÊNCIAS GERAIS

Há dez anos, o Boletim Paulista de Geografia publicava um primeiro balanço sobre os estudos de solos no Brasil (Queiroz Neto, 1964), que serviu de base para um texto de maior fôlego, incluído na 2.<sup>a</sup> edição do livro "Brasil, a terra e o homem, volume 1, As Bases Físicas" (QUEIROZ NETO, 1968).

Na época, através de exaustivo levantamento bibliográfico, procuramos reunir toda a documentação existente a respeito dos tipos de solos e sua distribuição, isto é, sobretudo referente a levantamentos em qualquer nível de detalhe, e a estudos regionais mencionando solos. Esses trabalhos tiveram como principais finalidades:

- 1 — definir os tipos de solos presentes;
- 2 — definir as linhas gerais de sua distribuição geográfica.

Não colocáramos nenhum pressuposto de análise e crítica a respeito dos trabalhos existentes, no sentido, por exemplo, de procurar interpretar leis gerais que comandassem a presença deste ou daquele tipo de pedogênese. Sobre a distribuição, fora apenas mencionado que certos perfis, os latossolos, "aparecem freqüentemente sobre os testemunhos de superfícies aplainadas, onde ocorre quase sempre um material retrabalhado sem muita relação com a rocha subjacente". (QUEIROZ NETO, 1968).

Não voltaremos aqui a certos aspectos então mencionados, como os tipos de solo, suas características principais, suas correlações nos principais sistemas classificatórios.

É considerável o conhecimento acumulado até hoje a partir da época em que aqueles textos foram preparados, apesar do curto lapso

(\*) Recebido para publicação em junho de 1974.

(1) Prof. do Departamento de Geografia da F.F.L.C.H. da USP.

de tempo decorrido, permitindo inclusive perceber a existência de certas linhas de pesquisa bem definidas. Mas todas têm em comum um ponto de partida: o cadastramento dos solos.

É sobretudo a partir desse momento que os trabalhos de levantamento e definição dos solos se multiplicam. Os Congressos Brasileiros de Ciência do Solo mostram claramente esse fato, como se percebe no quadro 1. No Congresso de Belém (1961) apenas sete trabalhos eram apresentados à Comissão de Gênese, Morfologia e Cartografia dos Solos, em Fortaleza (1963) 9 e em Piracicaba (1965) 13. Daí para a frente as pesquisas avolumam-se: em Brasília (1967) encontramos 20 trabalhos, em Curitiba (1969) 31 e em Vitória (1971) o número máximo de 51. Por não termos em mãos os Anais do Congresso da Santa Maria (1973) não o incluímos, porém o número de trabalhos apresentados àquela Comissão foi inferior ao de Vitória, acompanhando uma menor participação geral de pedólogos no próprio Congresso.

Quadro 1. Participação da Comissão de Gênese, Morfologia e Cartografia de solos nos Congressos Brasileiros de 1961 a 1971

Comissões	1961		1963		1965		1967		1969		1971		Total	
	nº	%	nº	%	nº	%								
Física dos solos	8	21	9	24	9	14	6	9	9	9	13	9	54	12
Química dos solos	3	8	9	24	10	15	10	15	12	12	7	4	51	11
Microbiologia	4	11	1	3	—	—	8	12	15	16	8	5	36	8
Gênese, Morfologia	7	18	9	24	13	20	20	30	31	32	51	33	131	28
Fertilidade do solo	15	39	8	20	34	51	23	34	28	29	62	40	170	37
Conservação do solo	1	3	2	5	—	—	—	—	—	—	11	7	14	3
Metodologia	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	3	2	5	1
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>100</b>	<b>38</b>	<b>100</b>	<b>66</b>	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>155</b>	<b>100</b>	<b>461</b>	<b>100</b>

O quadro 2 indica também ser bem maior o número de trabalhos de levantamentos que, somados aos estudos regionais, alcançam uma participação global de 53%.

Do reconhecimento regional dos solos surgem os problemas pedológicos que despertam o interesse dos pesquisadores. Numa primeira etapa, trata-se de definir com minúcia os perfis, tanto morfológicamente como em laboratório, para fins de classificação; esse item apresenta um crescimento das pesquisas no período, e a ele pode ser acrescentado o seguinte, que trata de estudos sobre uma ou outra característica morfológica.

Quadro 2. Agrupamento por tema dos trabalhos apresentados à Comissão de Gênese, Morfologia e Cartografia de solo, nos Congressos Brasileiros de 1961 a 1971.

Temas	1961		1963		1965		1967		1969		1971		Total	
	nº	%	nº	%										
Levantamentos	4	57	3	34	4	31	11	55	18	58	20	39	60	46
Estudos Regionais	2	29	1	11	—	—	—	—	1	3	5	10	9	7
Classificação, Definição de perfis	1	14	2	22	—	—	—	—	5	16	8	15	16	12
Características Morfológicas	—	—	—	—	2	15	1	5	—	—	1	2	4	3
Mineralogia dos solos	—	—	—	—	2	15	3	15	3	10	6	12	14	11
Gênese	—	—	—	—	2	15	2	10	1	3	2	4	7	5
Uso do solo	—	—	1	11	3	24	1	5	3	10	8	16	16	12
Normas Técnicas	—	—	2	22	—	—	2	10	—	—	1	2	5	4
Totais de trabalhos apresentados	7	100	9	100	13	100	20	100	31	100	51	100	131	100

A mineralogia dos solos aparece somente em 1965, porém mostra também crescimento. Em geral os trabalhos de mineralogia estão claramente relacionados à gênese. Esses dois itens adicionados mostram um aumento de interesse pelo assunto, que se traduz por ocuparem juntos o segundo lugar em participação do total de trabalhos do período.

Os outros dois itens são de menor interesse para este trabalho

A observação do quadro 3 mostra aspectos interessantes a respeito do desenvolvimento das pesquisas. Deve-se levar em conta que os dados referentes aos solos de São Paulo não indicam o total das atividades dos pedólogos paulistas, já que estes apresentam, com frequência, observações efetuadas em outras unidades da Federação; o inverso também pode ser verificado, isto é, pedólogos não paulistas apresentando trabalhos sobre solos paulistas. Aquele quadro, dessa maneira, apresenta somente dados de trabalhos sobre solos de São Paulo.

Em levantamentos, há um nítido decréscimo de participação, pois de mais de 25% desce a 5%. A tendência é manter baixa a participação, pois a maior parte das pesquisas pedológicas no restante do Brasil dizem respeito a levantamentos, efetuados pelo que remanesce da antiga Comissão de Solos do Ministério da Agricultura, parcialmente englobado hoje pelo EMBRAPA. Em segundo lugar em São

Quadro 3. Porcentagens de participação, por temas, de trabalhos sobre solos do Estado de São Paulo, apresentados à Comissão de Gênese, Morfologia e Classificação dos Solos, nos Congressos Brasileiros de 1961 a 1971. T = Total de trabalho; SP = sobre solos de São Paulo.

Temas	1961			1963			1965			1967			1969			1971			Total		
	T	SP	%	T	SP	%	T	SP	%	T	SP	%									
Lev.	4	1	25	3	—	—	4	2	50	11	3	27	18	3	17	20	1	5	60	10	16
E. Reg.	2	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	5	2	40	9	2	22
Classe	1	1	100	2	2	100	—	—	—	—	—	—	5	1	20	8	2	25	16	8	50
Morf.	—	—	—	—	—	—	2	2	100	1	—	—	—	—	—	1	—	—	4	2	50
Min.	—	—	—	—	—	—	2	1	50	3	—	—	3	2	67	6	3	50	14	6	43
Gên.	—	—	—	—	—	—	2	2	100	2	—	—	1	—	—	2	1	50	7	3	43
Uso	—	—	—	1	—	—	3	3	100	—	1	100	3	—	—	8	—	—	16	4	25
Norm.	—	—	—	2	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	1	—	—	5	0	0
Total	7	2	28	9	2	22	13	10	77	20	4	20	31	6	19	51	9	18	131	35	27

Paulo apenas os pedólogos de Campinas prosseguem levantamentos sistemáticos, os outros os fazendo de maneira mais aleatória.

Com respeito aos outros itens temáticos, a participação de estudos sobre solos de São Paulo torna-se nitidamente importante. Isso também parece refletir o que fora apontado acima, isto é, no restante do Brasil a fase ainda é grandemente de cadastramento ao nível daquele já existente em São Paulo desde 1960. Dizem respeito a áreas restritas, trabalhos normalmente detalhados, mais demorados.

Os centros mais ativos de pesquisa pedológica como Piracicaba, Campinas e mesmo São Paulo, além de bem aparelhados e com pessoal de nível técnico bom, encontram nos levantamentos o ponto de partida para a especulação interpretativa. Os temas classificação e definição de perfis, estudos morfológicos especiais, mineralogia e gênese decorrem da necessidade de explicar a presença e a história dos diversos tipos de solo assinalados pelos cadastramentos.

#### LEVANTAMENTOS DE SOLOS

O documento básico ainda é o Levantamento de Reconhecimento da antiga Comissão de Solos, na escala 1:500.000 (1960). Esse trabalho constitui a única representação e síntese cartográfica da distribuição dos solos de todo o Estado. Sua importância é múltipla: não só reconheceu as principais unidades pedológicas de expressão geográfica, como lançou a nomenclatura básica que a maior parte dos pedólogos brasileiros empregam até hoje. Mas, para assim fazê-lo, fora necessário definir com clareza e precisão as características morfoanalíticas, única forma de se chegar à interpretação genética dos perfis, como exigia a classificação adotada. E, além disso, algumas considerações foram apresentadas representando pelo menos uma base de partida para futuras interpretações mais acuradas sob o prisma da pedogênese, interessando tanto a evolução dos solos como os fatores responsáveis pela sua distribuição espacial, por exemplo, (QUEIROZ NETO, 1969).

Foi trabalho pioneiro e de fôlego, de importância fundamental para o processo de desenvolvimento do conhecimento. Sob muitos aspectos é atual, não superado.

Logo após surgiram alguns trabalhos de cadastramento de detalhe, avultando os "solos da Bacia de Taubaté" resultante de trabalho em equipe, cujo principal animador era VERDADE (1961); dele brotaram algumas interpretações de perfis de solos da região. Mesma sorte não teve os "Solos da Baixada Santista", apesar de ter

abordado alguns problemas pedológicos interessantes (QUEIROZ NETO e KUPPER, 1964).

Os Anais dos Congressos também mostram essa tendência para levantamentos detalhados. Foram apresentadas no período as cartas dos municípios de Piracicaba, Sud Menucci, Iracemápolis, Itapura e Atibaia, geralmente em escalas de no máximo 1:50.000. Ainda com maior grau de detalhe (cartas até 1:5.000) são os levantamentos das Estações Experimentais de Ipanema, Monte Alegre do Sul, Jundiá e Limeira, ou de pequenas bacias como a de Ribeirão Grande.

Mas há uma certa quantidade de documentos que infelizmente não chegaram à publicação, não estando portanto divulgados. Constam de relatórios de circulação restrita, alguns abrangendo áreas importantes como o Vale do Ribeira, região metropolitana de São Paulo ou área de influência de Jupiá, CELUSA.

Certos trabalhos apresentados em Congressos mostram a filiação direta com os levantamentos que os precederam. Apenas para exemplificar, da Estação Experimental de Limeira surge uma definição de perfis de solos e sua aplicação. Do levantamento da região da CELUSA decorre o estudo sobre a mineralogia dos solos e sua interpretação. Os levantamentos de Piracicaba e Iracemápolis deram origem a várias outras pesquisas.

A elaboração das legendas das cartas de solos é geralmente um trabalho delicado, tanto mais quanto procura se filiar geneticamente as unidades. Em trabalhos de maior grau de generalização, como por exemplo o mapa de solos de 1960 do Estado, e pelo fato da adoção de sistema decorrente da classificação de THORP e SMITH (1949, na sua 5.<sup>a</sup> aproximação para o caso), as características morfológicas eram suficientes, corroboradas por análises clássicas de laboratório.

No levantamento de maior grau de detalhe, o uso de nomes "geográficos" (cidades, rios, fazendas, etc. .) para as unidades (séries de solo segundo os cânones clássicos ou mesmo família) até certo ponto esconde a dificuldade, desde que a preocupação não é genética. Assim foi feito o levantamento de solos da bacia de Taubaté (VERDADE e outros, 1961), onde as séries são, algumas vezes, vagamente filiadas a Grandes Grupos.

O emprego de legendas baseadas em classificações mais complexas, como é o caso da americana de 1960-1970 (ver AVELAR MARQUES, 1971), torna mais delicada a solução. Com efeito, a morfologia dos perfis, visualizável diretamente no campo, já não é mais suficiente para distinguir os solos nem mesmo, algumas vezes, no nível superior da hierarquia, das ordens e subordens.

Um dos exemplos mais interessantes foi-nos apresentado por OLIVEIRA e ROTTA (1971) com o levantamento da Estação Experimental de Limeira, seguido posteriormente pelo levantamento da Estação Experimental de Ribeirão Preto por OLIVEIRA e MONIZ (1973).

Em Limeira, nos 198 hectares da Estação, foram determinadas meia dúzia de unidades cartográficas. Observou-se então que a simples separação das unidades por características morfológicas agrupa solos com variações exageradamente amplas das características químicas, com repercussões nos problemas agronômicos.

Retomando o trabalho em grau de detalhe bem maior, com a finalidade de estimar as variabilidades dos dados mineralógicos, químicos e físicos dos solos, OLIVEIRA (1972) escolheu nas duas Estações Experimentais referidas, duas áreas de aproximadamente 18 ha consideradas homogêneas morfológicamente. Procurou avaliar o número de amostras necessárias para estimar a média dos resultados e testar a classificação USDA 1970. Para mostrar a complexidade do problema, citaremos apenas alguns resultados.

Nas duas áreas, e sob o ponto de vista morfológico, ocorrem apenas duas ordens, das quais apenas uma é determinável sem análises de laboratório (oxissolos).

As análises químicas, físicas e mineralógicas, efetuadas em amostras coletadas em malha de 50m de lado, permitiram, nos dois casos, aumentar o nível de detalhe com a determinação da presença de algumas séries. Como muito bem observou o autor, "os solos distribuem-se já ao nível de grande grupo de maneira aparentemente caótica" e essa aparência mantém-se e amplia-se ao nível da série.

Se sob o ponto de vista da cartografia o problema é delicado, para os fins do trabalho é resolvido com certa facilidade. Segundo o resultado da análise estatística dos dados de laboratório, seria necessário coletar de uma a dez amostras para a obtenção de médias corretas para os dados físicos e mineralógicos e de vinte a trinta e cinco para os químicos, cuja variabilidade é maior.

Mas o papel do pedólogo não deve terminar aí. Uma das razões de ser de seu trabalho é a busca das causas dos fenômenos observados, em outras palavras, saber porque os solos são o que são, e porque estão onde estão, isto é, procurar descobrir a sua história. Infelizmente o trabalho de OLIVEIRA não nos dirige para esse caminho.

### ESTUDO DE GÊNESE

As pesquisas mais coerentes e sistemáticas sobre a gênese dos solos iniciam-se, na realidade, com a década de 60 e a partir daí manifestam-se claramente as atuais tendências.

Anteriormente, desde a fundação do Instituto Agrônomo em fins do século passado, análises químicas eram efetuadas tanto para definir as características de interesse agrícola, como para ensaiar interpretações genéticas. Um dos exemplos curiosos é o pequeno trabalho do pedólogo franco-russo AGAFONOFF que, recebendo algumas amostras provenientes de São Paulo, procedeu as suas análises químicas e estabeleceu algumas considerações a respeito (AGAFONOFF, 1932).

Esse trabalho define uma linha de pesquisa, dentro da concepção de linearidade dos fenômenos de alteração entre o substrato rochoso e o perfil de solo. Essa idéia subsiste até hoje, apesar da percepção que teve MILNE da importância da posição topográfica, que o levou a definir a catena na década de 1930.

É dentro dessa tendência que foram feitos trabalhos de pesquisa, inicialmente comparando-se as análises químicas de solos e rochas (MORAES REGO, 1935, VERDADE, 1961). Com a introdução da difração de raios X para análises mineralógicas (PAIVA NETTO, 1942), as pesquisas tornam-se mais sofisticadas, mas raramente dela escaparam.

PAIVA NETO e NASCIMENTO (1957) apresentam no Congresso de Solos de Salvador um trabalho sobre os produtos de decomposição de rochas básicas. Trabalho pioneiro que abre nova frente de pesquisas, ao estudar especificamente as capas de alteração que envolvem rochas frescas.

Vários trabalhos seguem essa nova frente, até hoje. MONIZ, NASCIMENTO e PAIVA NETO (1973) estudam capas de alteração de rochas básicas, procurando definir os minerais formados e a remoção (ordem e quantidade) dos elementos.

MELFI e GIRARDI (1966) introduzem o emprego de microscopia ótica para o exame mineralógico. Com essa técnica e trabalho até certo ponto análogo ao de MUNIZ e colaboradores, MELFI e LEVI (1971, 1972) também estudam capas de alteração de rochas básicas e anfíbolitos.

Na realidade, esses trabalhos ainda estão dentro da concepção de linearidade, só que abordada apenas na base do perfil. Tomado o outro fio da meada, faltava uni-los.

MELFI (1967) realiza minucioso trabalho de pesquisa sobre alteração de rochas básicas e granitos. Mas desta vez toma o perfil completo, desde a rocha fresca até a superfície, englobando assim pela primeira vez o solo, e a alteração da rocha. Aplica técnicas bastante sofisticadas para aquela época no Brasil: análises químicas, físicas, microscopia ótica, raios X, microscopia eletrônica, análise térmica diferencial. A esse trabalho segue-se outro (MELFI, 1968) apenas sobre os latossolos roxos, mas que pouca coisa acrescenta ao anterior.

Aparentemente, pouca atenção fora dada para um fato registrado pela própria Comissão de Solos em 1960: a presença, lado a lado, de solos bastante dissemelhantes "pedogeneticamente" como os B latossólicos e os B texturais. A própria Comissão antecipara uma linha de pesquisas, ao tentar estabelecer cronossequências (ou sequências cronológicas) para os diferentes tipos de perfil derivados do mesmo material de origem.

A comparação de solos diferentes formados sobre materiais de origem análoga chamou também a atenção de MONIZ. Aplicando técnicas minuciosas para o estudo da fração argila, interpretou solos provenientes de rochas básicas dentro de uma concepção ambígua, onde admite ao mesmo tempo cronossequências e diferenças qualitativas de rocha mãe (MONIZ e JACKSON, 1967).

Com os pedólogos de Piracicaba, inicia MONIZ uma extensa colaboração. Comparando ora solos de uma mesma série (DEMATTE, e MONIZ, 1969), ora séries diferentes desenvolvidas de mesmo material de origem (DEMATTE, MONIZ, PESSOTTI, 1971) ou topossequências de solos (ESCOBAR, DEMATTE e MONIZ, 1971), procuram estabelecer sequências de intemperismo e cronologias de alteração dos perfis, com ou sem influência da posição ocupada.

Aproveitando os dados coletados durante o levantamento de solos da área da CELUSA, MONIZ e CARVALHO apresentam uma tentativa de interpretação dos solos presentes (MONIZ e CARVALHO, 1969). A inovação em relação aos anteriores é que a posição ocupada na paisagem é levada em conta. Isso permite escapar ligeiramente da "linearidade" e do simples estabelecimento de sequências de intemperismo dos minerais e cronologia de alteração dos solos, ao fazer intervir processos externos aos perfis.

O fato assinalado pela Comissão de Solos, registrado mais atrás, foi retomado e redefinido por nós mesmos ao discutir os perfis de solos dentro do seu quadro natural (QUEIROZ NETO, 1969). Procuramos estabelecer o papel de cada fator de formação para os di-

ferentes perfis que, situados dentro de uma ótica de evolução da paisagem, deveriam constituir-se também em testemunhos dessa evolução ou, pelo menos, de algumas de suas etapas. Pouco mais tarde (QUEIROZ NETO, 1970) procuramos dar maior generalização a essa interpretação.

A terra roxa ainda é o chamariz. A presença de três tipos de perfis sucedendo-se numa mesma encosta foi o objeto da pesquisa de CARVALHO (1970). Pela primeira vez empregou a feitura de lâminas delgadas para estudos micromorfológicos. Pela primeira vez também apresentou uma interpretação pedogenética para a terra roxa estruturada, fazendo intervir inclusive interrelações entre os perfis. A concepção linear foi enfim ultrapassada.

Uma contribuição interessante para a interpretação da gênese dos horizontes B das terras roxas é apresentada com auxílio de pesquisadores estrangeiros (PEDRO, CHAUVEL, QUEIROZ NETO e MALFI, 1971). O emprego de técnica de micromorfologia relacionada a análises físicas, químicas e mineralógicas mostra a possibilidade de uma gênese diversa da proposta por CARVALHO.

Mais recentemente, procuramos mostrar que a par de processos pedogenéticos "lineares" ou "tradicionais", os perfis acham-se expostos a contribuições variadas no tempo e no espaço (QUEIROZ NETO e MODENESI, 1973; QUEIROZ NETO e NAKASHIMA, 1973; QUEIROZ NETO e DIAS FERREIRA, 1973). Em trabalhos desenvolvidos em colaboração com os pesquisadores do Centre de Géomorphologie CNRS de Caen, observou-se que cada perfil representa uma história particular, sujeita a episódios comuns, recebendo influências de seus vizinhos, mas tendo pontos de partida em épocas diversas (QUEIROZ NETO, CARVALHO, JOURNAUX e PELLERIN, 1973).

Na interpretação de perfis de solo particulares, mostramos a impossibilidade de interpretação baseada somente em processos pedogenéticos "lineares", já que certos horizontes mostram claramente ações de erosão e deposição, acrescidos de fenômenos puramente pedológicos (QUEIROZ NETO, 1973).

#### OS PRINCIPAIS ASPECTOS DAS PESQUISAS

##### 1 — *Alteração dos minerais e das rochas*

A — Um dos aspectos interessantes das pesquisas sobre alteração das rochas foi a verificação da diferença de comportamento das rochas ácidas e básicas.

Nos basaltos e diabásios as alterações processam-se em poucos centímetros, como observaram inicialmente PAIVA NETTO e NAS-

CIMENTO (1957) e posteriormente MELFI (1967) e MONIZ, NASCIMENTO e PAIVA NETO (1973). Nos granitos a alteração é muito mais progressiva, e a zona de alteração pode atingir vários metros (MELFI, 1967).

Utilizando índices de lixiviação e índices de relações molares, VERDADE (1961) percebeu que a remoção de elementos é sempre mais intensa nas rochas ácidas. MELFI (1967) confirma essa observação, indicando inclusive que nas rochas ácidas há possibilidades de manutenção de certa quantidade de minerais primários alteráveis até na superfície.

B — A natureza das alterações depende antes de tudo das condições de drenagem. Em condições de boa drenagem, de acordo com a qualificação proposta por PEDRO (1969), é monossilítica a alítica, em função, entre outras, do tipo de rocha. Em condições de má drenagem é sialítica; monossilítica em rochas ácidas e parcialmente bissialítica em rochas básicas.

O balanço global das alterações, pela análise das frações argila dos perfis, mostra claramente esse fato, como se depreende dos trabalhos de MONIZ (1966), MONIZ e JACKSON (1967), MELFI (1967), MELFI e LEVI (1971, 1972).

Há, no entanto, variações de grau de alteração, em condições de boa drenagem, o que permitiu a MONIZ e JACKSON (1967) e QUEIROZ NETO (1969, 1970) empregarem tanto o teor de gibbsita como a relação molecular sílica/alumina para índice de intensidade de intemperismo. A este problema voltaremos mais adiante.

C — A natureza da alteração dos minerais depende antes de tudo das condições locais de drenagem.

A observação da presença de gibbsita pseudomórfica em plagioclásios, por MELFI e GIRARDI (1966), constitui um dado de primeira importância. A partir daí foi observado que os feldspatos (MELFI, 1967; MELFI e LEVI, 1971) fornecem:

com boa drenagem — Fd — Amorfos — Gibbsita — Caulinita  
drenagem moderada — Fd — Amorfos — Caulinita  
com má drenagem — Fd — Amorfos e Caulinita, parcialmente Halloisita.

Essas seqüências de alteração não parecem totalmente aceitas. MONIZ e JACKSON (1967) propõem, como primeiro termo de alteração e primeiro mineral formado, a mica, desde que haja potássio disponível. A partir daí, por dessilicatização, formar-se-iam sucessivamente caulinita e gibbsita.

A presença de material amorfo nas frações argila dos solos também tem sido tomada como termo de passagem para gibbsita, já que os seus teores variam inversamente (MONIZ e JACKSON; 1967, CARVALHO, 1970).

Para os máficos, MELFI e LEVI (1971) observaram que, em condições de boa drenagem, há uma pequena perda inicial de ferro, ao longo de clivagens e fraturas dos cristais. O prosseguimento da alteração atinge o núcleo e o resíduo final do processo são hidróxidos férricos, com a remoção de praticamente todos os outros elementos constituintes. Em más condições de drenagem, os cátions são removidos em menor quantidade, podendo até formar-se argila de tipo smectítico.

As micas têm comportamento diverso, pela própria estrutura. A biotita perde inicialmente certa quantidade de ferro, e nos raios X observa-se desarranjo estrutural, que poderia corresponder à formação de hidrobiotita. Esta passaria a vermiculita, que seria apenas uma fase fugaz na formação de caulinita e/ou gibbsita. Essa seqüência fora observada por MONIZ e JACKSON (1967) e posteriormente por MELFI (1967) e MELFI e LEVI (1971).

## 2 — *Desenvolvimento e evolução dos perfis*

A — A natureza mineralógica da fração argila dos perfis vem sendo tomada como um índice do tipo de evolução do solo. Assim, MELFI (1967) acreditara na necessidade de processo de ressilicitação da gibbsita nas camadas superiores, já que aqui a caulinita a substituíra. Mais tarde (MELFI e LEVI, 1971) essa interpretação é parcialmente retificada pois, em zonas superiores, haveria a possibilidade das alterações dos piroxênios oferecerem condições favoráveis à formação de caulinita, a partir dos geis amorfos presentes.

Para MONIZ e JACKSON (1967), o fenômeno fundamental é a dessilicitação e os teores de gibbsita e a variação da relação molecular sílica/alumina são tomados como índices para a definição de seqüências de alteração de solos formados a partir de rochas básicas.

Para explicar a variação dos teores no interior dos perfis, CARVALHO (1970) encontra indícios para supor a possibilidade de migração simultânea de caulinita e amorfos dos horizontes superiores para os de acumulação. Por outro lado, a diminuição de gibbsita das camadas mais profundas para as superficiais poderia ser o resultado de remoção daquele mineral por compostos orgânicos. Dentro do perfil mediano da seqüência estudada, terra roxa estruturada, a maior

porcentagem de caulinita do que nos outros seria a consequência de adição de sílica, pelas soluções que percolam lateralmente, permitindo a reorganização de geis amorfos em caulinita e não gibbsita.

B — A origem e natureza dos horizontes B texturais vem sendo discutida com enfoques diversos. Para MONIZ e JACKSON (1967), a evolução normal em rochas básicas seria B latossólica. Quando as rochas sofrem modificação por ações hidrotermais (que restam ser comprovadas), tornar-se-iam mais resistentes ao intemperismo e formariam Terras Roxas Estruturadas. A estrutura em blocos do horizonte C e B<sub>2</sub> seria uma herança da estrutura original da rocha. Não entram em nenhuma consideração a respeito da presença de cerosidade no horizonte B<sub>2</sub>.

Há, porém, um fato comumente observado, e registrado inclusive por CARVALHO (1970), que contradiz a herança da estrutura dos horizontes superiores. Normalmente, os perfis de Terra Roxa Estruturada mostram a presença de um B<sub>3</sub> logo abaixo do B<sub>2</sub>, com estrutura de aparência maciça, formada de pequenos agregados granulares tal como os B latossólicos. O exame micromorfológico mostra essa semelhança, onde apenas o diâmetro dos microagregados é maior no segundo caso. Em compensação, o horizonte B<sub>2</sub> mostra uma organização diversa: microagregados granulares de tamanhos diversos acham-se justapostos, os espaços preenchidos por uma matriz argilosa e minerais opacos. Os vazios e fissuras mostram a presença de "cutans" finos. Para CARVALHO (1970), o horizonte B<sub>2</sub> da Terra Roxa Estruturada teria se organizado e tomado caráter mais angular, por migração de argila e acumulação em material previamente alterado e de estrutura granular.

Aceitando também origem pedológica para esses horizontes, PEDRO, CHAUVEL, QUEIROZ NETO e MELFI (1971) propõem nova interpretação. As lâminas micromorfológicas mostram quantidade muito pequena de "cutans", mas presença de dois tipos de plasma. Um mais vermelho, correspondendo talvez aos microagregados granulares de CARVALHO (1970), seria bastante estável e pouco dispersável. Envolvido por um plasma mais amarelo, mais facilmente dispersável, portanto mais mobilizável e que seria responsável pelas características dinâmicas desse horizonte B<sub>2</sub>. A cerosidade, às vezes definida como abundante nas observações de campo, não corresponderia a "cutans".

A presença de cerosidade nos B texturais é normalmente tomada como o mais forte indício de migração de argila, desde os trabalhos da Comissão de Solos (1960). Tendo em vista essa interpretação,

a variação textural A/B muito grande de certos perfis Podzolizados variação Marília com B abruptico, sua posição no terço inferior de encostas suaves, levaram QUEIROZ NETO, CARVALHO, JOURNAUX e PELLERIN (1973) a interpretá-los como resultantes de migrações verticais ao longo dos perfis e laterais nas encostas.

C — Curiosamente, pouca atenção foi dada à gênese dos horizontes B latossólicos. Do trabalho de MONIZ e JACKSON (1967) é possível perceber uma posição a respeito, citada anteriormente, a respeito da diferença entre as Terras Roxas.

O problema no entanto é geral: há sempre B texturais e B latossólicos lado a lado. Recentemente (QUEIROZ NETO, 1970), mostramos que eles apresentam sistematicamente diferenças notáveis nas características químicas e mineralógicas, que podem ser definidas como seqüências de alteração. Estas já haviam sido propostas anteriormente, ora como cronosseqüências (Comissão de Solos, 1960; QUEIROZ NETO, 1969), ora sem explicitar o fator tempo (MONIZ e JACKSON, 1967).

Dentro da concepção de cronosseqüências, os solos com B textural precederiam os B latossólicos, e seria necessário procurar interpretar a passagem de um perfil com horizonte de acumulação de argila para um de textura homogênea.

Procuramos uma interpretação dupla para essa passagem (QUEIROZ NETO, 1970). Inicialmente, nos B texturais de pequena espessura, o fenômeno de acumulação parece processar-se simultaneamente em duas frentes. No topo do horizonte B, diminuem a porosidade e a drenagem, permitindo que a acumulação de argila se acentue, num processo que se efetuará de baixo para cima. Na parte basal, a argila seria remobilizada e carregada mais abaixo. Granulometricamente, o perfil mostra o máximo de acumulação na parte superior do horizonte B, havendo diminuição progressiva em direção ao B<sub>3</sub>.

Numa segunda etapa, o perfil torna-se mais espesso, o horizonte de acumulação parece diluir-se, com aumento de sua espessura. O processo de remobilização acentua-se e a argila parece ser distribuída cada vez mais abaixo. Ao mesmo tempo, dois processos se instaurariam: a lixiviação acentua-se com a contínua remoção das bases, o horizonte A mais frágil, é erodido. São alguns "Intergrades" que prencunciam já a passagem para os B latossólicos: a cerosidade é descontínua, mas ocorre desde quase a superfície até maiores profundidades.

A degradação do complexo de alteração, a diminuição da capacidade de troca de cátions, a lixiviação e o abaixamento da saturação em bases, concorrem para manter a fração argila (gibbsita, caulinita e óxidos e hidróxidos de ferro) floculada nos perfis B latossólicos (QUEIROZ NETO, 1969).

No entanto, percebe-se comumente nestes uma variação do teor de argila de A para B. Explicamos esse fenômeno como decorrente de arrastamento mecânico vertical e lateral nas encostas (QUEIROZ NETO e DIAS FERREIRA, 1973).

Por outro lado, é bom assinalar que a grande quantidade de perfis com B latossólicos tem sua parte essencial (A e B) desenvolvidas sobre material retrabalhado, cujas origens ainda não são bem conhecidas. MODENESI (1971) e NAKASHIMA (1973) supõem constituírem em certos casos um elemento residual na paisagem, sempre remobilizados, transportados e depositados. É provável que a cada episódio, perca elementos e degrade-se ainda mais, tornando-se cada vez mais inerte para migrações internas.

### 3 — *Relações com outros elementos da paisagem*

A — Dois trabalhos procuraram estabelecer as relações entre os perfis de solo, através do estudo de suas características, com os outros elementos da paisagem. Em primeiro lugar, a Comissão de Solos (1960) em âmbito estadual e em segundo lugar, em maior grau de detalhe, estabelecemos correlações a nível regional (QUEIROZ NETO, 1969). Não voltaremos a esse assunto.

B — O relacionamento do grau ou intensidade de intemperismo com a posição ocupada na paisagem foi tentada inicialmente em âmbito regional (QUEIROZ NETO, 1969) e posteriormente extrapolada para todo o Estado, em linhas muito gerais (QUEIROZ NETO, 1970).

Numa primeira abordagem, é a constatação de um pressuposto: as cronossequências de alteração devem estar relacionadas com a cronologia de superfícies geomorfológicas, desde que ambas tenham sido parcialmente preservadas. Uma série de pesquisas confirma a hipótese; QUEIROZ NETO (1969, 1970); QUEIROZ NETO e MODENESI (1973); RANZANI, PENTEADO e SILVEIRA (1972); QUEIROZ NETO, CARVALHO, JOURNAUX e PELLERIN (1973).

Dois pesquisas apresentam resultados aparentemente contraditórios. MONIZ e CARVALHO (1969) encontraram na área da CELUSA os solos mais alterados em superfícies mais baixas e mais

recentes. Esse problema foi por nós discutido posteriormente (QUEIROZ NETO, 1970). Mas PENTEADO e RANZANI (1971) também encontraram seqüência de alteração invernia na região de Jaboticabal.

C — O perfil de solo pode conservar no seu interior os indícios de paleoprocessos pedogenéticos ou morfológicos, geralmente ambos.

Por exemplo, a superposição de horizontes de natureza pedogenética diferente. Pelo menos duas interpretações são possíveis: sobre um perfil de solo desenvolve-se nova alteração e pedogênese, provavelmente por modificações de condições ambientais (seria talvez a interpretação para o perfil de Terra Roxa Estruturada de CARVALHO, 1970). Ou então o perfil de solo é soterrado por novos materiais, tendo sido prévia e parcialmente erodido (QUEIROZ NETO e MODENESI, 1973; RANZANI, PENTEADO e SILVEIRA, 1972) ou não (QUEIROZ NETO e NAKASHIMA, 1973).

No segundo caso não há necessariamente modificações sensíveis de natureza pedogenética nos materiais superpostos, que seriam assim no essencial indicativos de processos morfogenéticos. Para a definição da história do perfil de solo torna-se necessário conhecer a natureza correta do seu material de origem (QUEIROZ NETO, 1973; QUEIROZ NETO, CARVALHO, JOURNAUX, PELLERIN, 1973).

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Do exposto é possível ressaltar campos de pesquisa que estão recebendo maior atenção. Não se deve esquecer que são muitas vezes derivadas de abordagens metodológicas diversas, mas que utilizam técnicas comuns. Percebe-se, assim, uma espécie de cruzamento de dados que facilita a tarefa do analista.

1 — Pesquisas sobre alteração de rochas e minerais, formação de minerais de argila, remoção de elementos, podendo ser englobadas no título amplo de geoquímica da alteração. São as mais numerosas e delas derivam pesquisas experimentais de laboratório, não mencionadas, e que surgiram em torno de A.J. MELFI, do Instituto de Geociências da USP.

2 — Pesquisas sobre as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos, no sentido de definir sua gênese, e que poderiam ser englobadas no título pedogênese.

3 — Pesquisas sobre as relações entre solos e paisagens, tanto para auxiliar a interpretação desta como dos próprios perfis, que

poderiam talvez ser englobadas num título amplo e duplo, Geografia dos solos e pedogênese.

Além disso, é possível ressaltar certos problemas mais específicos que vêm despertando a atenção dos pesquisadores:

1 — A natureza da alteração de cada mineral e os fatores condicionantes, para o estabelecimento de seqüências de alteração.

2 — Os materiais amorfos dos solos, presença, natureza, características e comportamento de geis.

3 — A natureza dos materiais de origem dos diferentes perfis de solo.

#### BIBLIOGRAFIA

- AGAFONOFF, M.V. — 1932 — *Sur quelques sols latéritiques rouges et jaunes du Brésil*. Soil Res., vol. 3, 13-20.
- AVELAR MARQUES, J.Q. (coordenado:) — 1971 — *Manual Brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra. III Aproximação*. Rio de Janeiro, Escritório Técnico de Agricultura Brasil-Estados Unidos, 433 p.
- CARVALHO, A. — 1970 — *Study of Terra Roxa Estruturada and Latossolo Roxo on a topographic sequence in São Paulo State, Brazil*. Tese para Master of Science, Dep. Soil Science Universidade de Newcastle upon Tyne, 93 p. (mimeografado).
- COMISSÃO DE SOLOS (1960) — *Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. Ministério da Agricultura, S.N.P.A., vol. 12, 634 p.; Rio de Janeiro.
- DEMATTÊ, J.L.I., MONIZ, A.C. — 1969 — *Estudo Pedológico de três perfis da série Guamiun*. XII Congresso de Ciência do Solo, Curitiba, Paraná.
- DEMATTÊ, J.L.I., MONIZ, A.C., PESSOTTI, J.C.S. — 1971 — *Estudo Pedológico de solos originários de sedimentos do grupo geológico Estrada Nova, Município de Piracicaba*. XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Vitória, E.S.
- ESCOBAR, E.H., DEMATTÊ, J.L.I. e MONIZ, A.C. — 1971 — *Gênese e Classificação de alguns solos da Bacia do Ribeirão Tijuco Preto, Município de Rio das Pedras, S.P. I, Análise mineralógica da fração argila*. Bragantina (no prelo).
- LEVI, F. e MELFI, A.J. — 1972 — *Geochemical and mineralogical study of the first stages of weathering of basic and related rocks*. Part 2, Geochemical Study, Rev. Brasil. Geoc. 2 (1): 1-7.

- MELFI, A.J. — 1967 — *Intemperismo de granito e diabásio no município de Campinas e arredores. Estado de São Paulo*. Tese inédita. I.G.A., U.S.P., 166 pp.
- MELFI, A.J. (1968) — *Contribution à l'étude des — "terras roxas legítimas" du Brésil. Caractéristiques géochimiques et minéralogiques des formations de Campinas*. Bull Assoc. Fr. Et. Sol, nº 6, pp. 31-39.
- MELFI, A.J. and GIRARDI, V.A.V. (1962) — *Ocorrência de um sil de diabásio no arenito de Botucatu, Município de Igarapava, SP.*, Bol. Soc. Bras. Geol. 11 (2): 55-70.
- MELFI, A.J., GIRARDI, V.A. e MONIZ, A.C. — 1966 — *Mineralogia dos solos da Estação Experimental "Theodurato de Camargo" Bragantin*, 25: 9-30.
- MELFI, A.J. e LEVI, F. — 1971 — *Geochemical and mineralogical study of the first stages of weathering of basic and related rocks. Part 1 — Mineralogical study*. Rev. Brasil. Geoc., 1 (1): 22-28.
- MODENESI, M.C. — 1971 — *Geomorfologia e sedimentologia da região de Itu-Salto*. Tese de Mestrado, Dep. Geogr., FFLCH da U.S.P.
- MONIZ, A.C. (1969) — *Estudo mineralógico de argilas do maciço alcalino de Poços de Caldas*. Universidade de São Paulo, FFCL, Bol. 304, Mineralogia 19, 134 p., São Paulo.
- MONIZ, A.C. e CARVALHO, A. — 1969 — *Estudo mineralógico de solos derivados do arenito Bauru e rochas básicas da região CELUSA, SP*. Apresentado ao XII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, Paraná.
- MONIZ, A.C., DEMATTE, J.L.I., MEDEIROS, G.B. — 1971 — *Mineralogia da fração argila de alguns solos da região do município de Rio das Pedras*. XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Vitória, Espírito Santo.
- MONIZ, A.C. and JACKSON, M.L. 1967. *Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils derived from basic rocks and slate*. Univ. Wisconsin, Madison, Wis., Soil Sci. Report 212, 73 p.
- MONIZ, A.C., NASCIMENTO, A.C. e PAIVA NETO, J.E. — 1973 — *Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o Intemperismo*. Rev. Bras. de Geociências, vol. 3, nº 3, 201-213.
- MORAES REGO, L.F. (1935). — *Considerações Preliminares sobre a genesis e a distribuição dos solos do Estado de São Paulo*. Geografia, ano I, Nº 1, São Paulo.
- NAKASHIMA, P. — 1973 — *Estudo das formações superficiais da área de Campinas — Viracopos (SP)*. Tese de Mestrado, Dep. Geogr., FFLCH, USP, 128 p. (mimeografado).
- OLIVEIRA, J.B. e MONIZ, A.C. — 1973 — *Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Ribeirão Preto*. XIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Sta. Maria, Rio Grande do Sul.

- OLIVEIRA, J.B. — 1972 — *Variação de características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas em duas áreas de oxissolo*. Tese de doutoramento, ESALQ, USP, 199 p.
- OLIVEIRA, J.B. e ROTTA, C.L. — 1971 — *Levantamento detalhado da Estação Experimental de Limeira, Estado de São Paulo*. XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Vitória.
- OLIVEIRA, J.B. e ROTTA, C.L. — 1971 — *Apreciações generalizadas sobre a variação das características químicas das unidades de solos da Estação Experimental de Limeira*. XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Vitória.
- PAIVA NETO, J.E. — 1942 — *A fração argila dos solos do Estado de São Paulo e seu estudo roentgenográfico*. *Bragantina*, vol. 2, nº 10, 355-428.
- PAIVA NETO, J.E. e NASCIMENTO, A.C. (1957) — *Diabásio e seus produtos de decomposição*. XI Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia.
- PEDRO, G. 1969 — *A alteração das rochas em condições superficiais (perimorfismo)*. *Caracterização geoquímica dos processos fundamentais*. *Notícias Geomorfológica*, vol. 9, nº 17, 3-14.
- PEDRO, G., CHAUVEL, A., QUEIROZ NETO, J.P. e MELFI, A. — 1971 *Contribution à la connaissance des horizons B des "terras Roxas Estruturadas" du Brésil*, XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Vitória, 1971.
- PENTEADO, M.M. e RANZANI, G. — 1971 — *Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal*. *Geographica*, ano VII, nº 25, 42-61, Lisboa.
- QUEIROZ NETO, J.P. 1964 — *O estado atual dos estudos dos solos brasileiros*, *Bol. Paulista de Geografia*, nº 41, São Paulo.
- QUEIROZ NETO, J.P. — 1968 — *Os solos*, in "Brasil, a Terra e o Homem", vol. I, *As Bases Físicas*", 2ª ed., p. 463-514, Cia. Editora Nacional, São Paulo.
- QUEIROZ NETO, J.P. — 1969 — *Interpretação dos solos da Serra de Santana para fins de classificação*, Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 235 p., São Paulo.
- QUEIROZ NETO, J.P. — 1970 — *Les rapports entre les sols et les formations superficielles de l'État de São Paulo, Brésil, Etat actuel des connaissances*. *Bull. Ass. Seneg. Et. Quat. Ouest Afr.*, nº 26, p. 57-75, Dakar.
- QUEIROZ NETO, J. P. — 1970 — *Étude sur le degré d'alteration de quelques profils de sols de l'État de São Paulo, Brésil* *Science du Sol*, nº 2, p. 73-85, Paris.
- QUEIROZ NETO, J.P. — 1973 — *Observações preliminares sobre perfis de solo com bandas onduladas no Estado de São Paulo*. Apresentado ao XIV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Santa Maria, R.G.S.

- QUEIROZ NETO, J.P. — 1973 — *Proposição de uma tipologia dos materiais de origem dos solos do Brasil de Sudeste*. Apresentado ao XIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Santa Maria, R.G.S.
- QUEIROZ NETO, J.P., CARVALHO, A., PELLERIN, J. JOURNAUX, A. — 1973 — *Cronologia da alteração dos solos da região de Marília, SP*, USP, Instituto de Geografia, Sedimentologia e Pedologia 5, 55 p.
- QUEIROZ NETO, J.P. e DIAS FERREIRA, R.P. — 1973 — *Observações sobre solos arenosos do platô Inácio, Estado de São Paulo*. XIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- QUEIROZ NETO, J.P. e KUPPER, A. — 1965 — *Os solos da Baixada Santista*, in "Baixada Santista, aspectos geográficos", vol. I, "As bases físicas", ed. Universidade de São Paulo.
- QUEIROZ NETO, J.P. e MODENESI, M.C. — 1973 — *Observações preliminares sobre os solos e a geomorfologia na área de Itu-Salto*. USP, Instituto de Geografia, Sedimentologia e Pedologia, 3, 28 p.
- QUEIROZ NETO, J.P. e P. NAKASHIMA — 1973 — *Observações preliminares sobre os solos da região de Paralheiros: contribuição ao estudo da pedogênese regional*, Boletim Paulista de Geografia, 48, 17-44.
- RANZANI, G., PENTEADO, M.M. e SILVEIRA, J.D. — 1972 — *Concreções ferruginosas, paleossolo e a superfície de Cimeira no Planalto Ocidental Paulista*. USP, Instituto de Geografia, Geomorfologia 31, 28 p.
- THORP, J. e SMITH, G.D. (1949) — *Higher categories of soils classification: order, suborder and great soil group*. Soil Science, 67, p. 117-126.
- VERDADE, F.C. e col. (1961) — *Composição Química dos solos do Estado de São Paulo*. Bragantia, vol. 20, Nº 4, 885-905.
- VERDADE, F.C. (1961) — *Solos da Bacia de Taubaté (Vale do Paraíba)*. Bragantia, vol. 20, p. 43-322, Campinas.