

PEDOLOGIA: CONCEITO, MÉTODO E APLICAÇÕES (*)

José Pereira de Queiroz Neto (**)

Natureza, objeto e método da Pedologia

Etimologicamente, Pedologia é nome erudito construído pela adição de PEDON (lugar ou solo onde se pisa) a LOGOS (discurso ou razão); Pedon, por sua vez, viria do indoeuropeu PED (pé). Assim, Pedologia seria o discurso do solo; há hoje em dia uma polêmica aberta em torno do significado da palavra: na década de 1920 foi fundada a Sociedade Internacional de Ciência do Solo, o que implicitamente guindaria a Pedologia ao status de Ciência. E a discussão é saber-se se haveria paralelamente a Ciência da Água, a Ciência do Ar, já que é aceita a existência da Ciência da Terra. Evidentemente, não se entrará nessa discussão, mas sim mostrar-se-á qual a posição do solo (e de seu estudo) dentre as Ciências Naturais, bem como a utilidade de seu estudo.

Na introdução ao curso de Pedologia na ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, França), o Professor G. AUBERT fornecia uma definição de solo como "a massa de elementos agregados, geralmente friáveis, que encontra-se na superfície da parte emersa da crosta terrestre, resultante das ações da atmosfera e biosfera sobre a litosfera, durante um tempo determinado.

Essa definição mostra que a Pedologia tem um objeto próprio de estudo, o solo, que apresenta características próprias que o distingue dos outros elementos da natureza. O estudo dessas características constitui a parte descritiva ou estática da Pedologia.

Mas, o solo adquire essas características através de certas ações. O estudo dessas ações, que envolvem na realidade outros elementos da paisagem, indica que um dos objetivos do conhecimento dos solos é a pesquisa dos processos e mecanismos que lhe deram origem: essa parte constituiria a Pedologia dinâmica ou evolutiva.

Essas preliminares permitem situar as linhas gerais do trabalho (e do discurso) pedológico:

1. *Pedologia descritiva*: o estudo do solo inicia-se no campo, pela observação das características morfológicas próprias (morphe: gr. forma), seguida das tentativas de medição dessas características (morfometria), que prosseguem no laboratório através de análises de vários tipos e modalidades (químicas, físicas, biológicas, mineralógicas, etc.). É claro que, de acordo com a definição inicial de solo, faz parte ainda da Pedologia descritiva a observação e o registro dos agentes causais pela sua formação e evolução: agentes atmosféricos e biosféricos, sem esquecer a descrição da situação ou posição ocupada pelo solo na paisagem e da parte da litosfera com a qual se relaciona (rochas e posição topográfica dentro do relevo). Uma consequência importante da Pedologia descritiva é a caracterização dos diversos tipos de solo que ocorrem na paisagem (de onde advem a noção de tipo ou facies), bem como a definição da distribuição espacial e do espaço ocupado por cada um: é dessa noção, por-

(*) — Recebido para publicação em 20/03/82.

(**) — Professor Titular do Dept^o de Geografia — F.F.L.C.H. — U.S.P.

tanto, que deriva o mapeamento dos solos. Este constitui, em última análise, a constatação e o inventário dos diferentes tipos de solos (ou facies) existentes num espaço determinado.

2. *Pedologia dinâmica* (ou evolutiva): a partir das características morfológicas, da morfometria do solo, adicionada à caracterização dos agentes causais, procura-se definir os processos e mecanismos responsáveis pela sua formação e evolução. Essa interpretação fenomenológica dos processos e mecanismos, muitas vezes chamada de Pedogênese, adquire um caráter indutivo, pois parte da observação, estabelece hipóteses, passa pela experimentação e atinge a generalização.

Vários aspectos da Pedologia, ultimamente, tem recebido particular atenção dos pesquisadores. Por exemplo, a mineralogia dos solos que representaria o saldo atual dos processos e mecanismos de alteração das rochas; a biologia ou microbiologia dos solos, por ser uma das principais responsáveis pela ciclagem dos elementos nutrientes; a micromorfologia dos solos, estudo efetuado ao microscópio, e que procura caracterizar a constituição e o arranjo dos componentes dos solos, etc..

2. Solo — constituinte do biótopo

Os constituintes do biótopo — solo, água e ar — são os elementos da litosfera, hidrosfera e atmosfera. O solo, na realidade, constitui o elemento central dessa relação, verdadeira interface entre os três grandes domínios, com a biosfera. A constatação desse fato mostra claramente o artificialismo de toda e qualquer separação dos domínios do conhecimento: o conhecimento de um é fundamental para o conhecimento de outro.

Os constituintes físicos do solo, em volume, são os seguintes:

— elementos minerais	= 45%
— matérias orgânicas	= 5%
— água	= 25%
— ar	= 25%

Nesse cálculo não entram os organismos vivos, por representarem, em volume, uma quantidade muito pequena. Sua importância, no entanto, é tão grande que alguns autores conceituam o solo como um meio de cultura onde vivem organismos.

A composição teórica do solo, exposta acima, mostra claramente sua posição de interface. Assim, por encontrar-se na superfície da parte emersa da crosta terrestre, conforme a definição, constituindo-se numa espécie de limite entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, esse limite não se faz segundo linhas definidas, mas é representado pelas interpenetrações que ocorrem dentro do solo: este contém elementos de cada um dos domínios, que interagem entre si e são responsáveis pelos processos e mecanismos da dinâmica pedológica.

O estudo do solo, como componente do biótopo, não pode ser realizado isoladamente, mas sim como a sede ou o local onde ocorrem os processos dinâmicos que regem as relações entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera. O ar do solo, ou a pedo-atmosfera, está em contacto com a atmosfera e dela recebe influências, por outro lado condiciona a atividade biológica do interior do solo (raízes dos vegetais superiores, macrofauna, microorganismos); da mesma forma a água do solo, que provem em última análise da água atmosférica (precipitações) e constitui o agente das inúmeras reações (alteração dos minerais, trocas de elementos com os seres vivos, etc.) e o veículo de numerosas migrações (lixiviação, translocações, etc.) que podem atingir os lençóis freáticos, e representa, assim, mais que a ponte com a hidrosfera, um componente desta. Por fim, as matérias orgânicas são adicionadas ao solo pela atividade biológica, tanto externa a ele como no seu interior; certos elementos da atmosfera são fixados por esse processo (nitrogênio), a manutenção de equilíbrios e ciclos de nutrientes passam pela matéria orgânica do solo; esta, ainda, é sede de importantes reações que condicionam o comportamento do solo.

É talvez sua posição na parte superficial da crosta, que faça com que o estudo do solo seja comumente integrado ao da litosfera, e que lhe confere suas características mais importantes: os elementos minerais representam a parcela mais importante da fração sólida.

A definição de solo, apresentada no início, indica que ele só poderá ocorrer onde exista atividade biológica. Assim, da parte emersa da crosta, ele só vai aparecer onde:

- não haja cobertura permanente de gelo (11,5% da superfície terrestre);
- haja água suficiente para manter atividade biológicas (8,5% de desertos não há atividade biológica).

O solo ocupa, portanto, cerca de 80% da parte emersa da crosta.

Ainda por definição, o solo provem das ações da atmosfera e biosfera sobre a litosfera. Essas ações são englobadas conceitualmente no intemperismo, que provoca alterações no substrato geológico, dando origem ao solo. Este herda, assim, certas características das rochas que lhe dão origem.

Como um dos constituintes do biótopo, o solo condiciona o crescimento vegetal, exercendo pelo menos dois papéis: funciona como meio de sustentação física, por onde penetram as raízes que permitem a fixação das plantas, e como o fornecedor (ou intermediário) de elementos essenciais para suas vidas.

Um exemplo clássico de experiência para a determinação dos princípios fundamentais da vida é encontrado no ensaio de VAN HELMONT, realizado na primeira metade do século XVII. Empregou um vaso com terra, pesando exatamente 100 kg, e nele plantou um pequeno arbusto; o conjunto foi colocado em condições que impedissem

“contaminações” atmosféricas, recebendo água de chuva, então considerada pura. Após 5 anos, VAN HELMONT pesou cuidadosamente a planta, que apresentou um aumento de peso de 90 kg, e o vaso de terra, que mostrava uma diminuição de apenas 50 a 60 g de peso. Desse ensaio, retirou o autor duas conclusões principais:

1. a perda de peso do vaso (cerca de 0,05%, desprezível segundo ele), corresponderia a erros experimentais, por exemplo na pesagem;
2. o aumento de peso da planta deveu-se à água e ar absorvidos.

Enquanto a segunda conclusão pode ser considerada genericamente correta (a maior parte do peso vivo dos vegetais é constituída por água, e a maior parte da matéria sólida provem da assimilação do CO² atmosférico através da fotossíntese), a primeira é incorreta. Sabe-se hoje que há uma quinzena de elementos essenciais para a vida das plantas, dos quais se conhece a função, além de alguns outros cujo papel ainda é razoavelmente obscuro. Esses elementos são fornecidos pelo solo, através de trocas com as raízes, num processo bastante complicado, porém quantitativamente e em relação ao peso vivo das plantas, em proporções pequenas: corresponde, “grosso modo”, aos 0,05% da experiência de VAN HELMONT.

A partir de dois exemplos esquemáticos, é possível mostrar o papel exercido pelo solo, no contexto dos elementos do biótopo, como fornecedor (intermediário ou mesmo regulador) de água e nutrientes.

Na figura 1 acha-se esquematizado o que pode ser chamado de ciclo hidrológico na natureza. O equilíbrio deve ser total, entre as entradas de água no sistema, a partir da hidrosfera, e as saídas a partir do escoamento superficial ou drenagem. Se assim não fosse, assistiríamos ou ao abaixamento

dos oceanos, em caso de déficit, ou sua elevação, em caso de superavit. O solo constitui elemento de extrema importância, pois recebe a maior carga de água das chuvas, é responsável pelo seu armazenamento para fornecimento às plantas (simbolizado pela evapotranspiração ET) e regula o abastecimento dos lençóis freáticos que desembocam (ou dão origem) aos cursos d'água (drenagem interna do solo D).

Na figura 2 foi esquematizado o balanço anual do ciclo biológico dos nutrientes, com exceção daqueles retirados diretamente da atmosfera, e sob vegetação de floresta tropical. Dos quatro "reservatórios" de nutrientes, a biomassa representada pela parte aérea dos vegetais constitui, inegavelmente, o mais importante. Aqui também é possível fazer-se a ressalva de que para manter a biomassa aérea, é necessário haver um equilíbrio entre os aportes de nutrientes ao solo (N) e a observação através das raízes (Ab). Se a biomassa constitui o principal reservatório, o solo representa um fator importante do processo, já que ele é o ponto de passagem e o fornecedor dos nutrientes que abastecem as plantas e que serão exportados pela drenagem interna. Esse papel é ressaltado se atentarmos que a liteira (constituída pelos restos de organismos depositados na superfície do solo) e as raízes também são integrantes do solo.

3. O solo e o homem

O solo é um recurso natural utilizado pelo homem. Sob esse aspecto, sofre formas de uso concorrentes entre si, que podem ser esquematizadas como segue:

Formas de uso concorrentes: meio de produção X espaço

1 — Meio de produção de bens:

- como elemento do biótopo:
solo — seres vivos (vegetais e animais)

- apropriação = produção agropecuária e florestal

- como elemento da litosfera:

- solo = potencial mineral — apropriação = produção mineral

2 — Espaço para assentamento permanente:

- para atividades não produtivas:

- a. atividades isoladas não produtivas e não superpostas: edificações, vias de circulação, etc.;

- b. atividades agrupadas em superposições complexas:

- na superfície: edificações, vias de comunicação, etc..

- em profundidade: vias de circulação (túneis, galerias, condutos, etc.);

- para atividades produtivas: usinas, fábricas, com as mesmas características acima.

Como se percebe, só no primeiro nível da produção de bens o solo entra como elemento do biótopo, pela apropriação que é feita para uso agro-pastoril e florestal. E é só nesse nível, além disso, que o solo assume o papel de recurso renovável ou conservável.

Sob todos os outros aspectos, a utilização (ou o uso) do solo degrada-o irreversivelmente, o que acarreta inclusive modificações sensíveis e importantes em todo o comportamento e dinâmica das paisagens.

Continuando na linha de apresentar o solo como um elemento do biótopo, justifica-se exem-

plificar as relações entre o solo e o homem a partir das atividades ligadas à agricultura.

O primeiro embate da ação do homem dá-se diretamente sobre a vegetação original, que é destruída e substituída por novas formas de associação vegetal ou, pelo menos, é modificada; para essa substituição, o solo passa a ser afetado diretamente através do trabalho mecânico (arações, gradeações, semeaduras, etc.). Em conjunto, essas ações afetam a organização (estrutura) do solo, com serias repercussões sobre o comportamento hídrico, modificando as relações infiltração da água X erosão, isto é, o balanço água e ar. A destruição da cobertura vegetal original, e sua substituição por novas formas, modifica completamente o balanço dos nutrientes; em primeiro lugar, o reservatório biomassa aérea é diminuído (às vezes drasticamente) provocando desarranjo no ciclo dos nutrientes; em segundo lugar, a dinâmica das novas formas de associação vegetal é diferente da original, e normalmente em intensidades muito mais francas. Há, então, uma perda global do potencial de fertilidade.

Na figura 3 acham-se representados alguns dados sobre solos sob floresta natural e solos cultivados da Amazônia, dados esses contidos em relatórios do RADAM. Mostram certas consequências do uso da terra:

— diminuição do carbono total (C %), que é empregado para estimar a quantidade de matéria orgânica; a diminuição do teor de matéria orgânica provoca modificações da estrutura (organização) da camada superficial, com reflexos negativos sobre a relação infiltração e escoamento superficial;

— diminuição do valor T, que serve para avaliar a capacidade de retenção de nutrientes pelo solo; essa diminuição é consequência, sobretudo, da perda de matéria orgânica, e mostra que a destruição do revestimento florestal original acarreta uma piora nas condições de abastecimento de nutrientes às plantas;

— diminuição do valor S, que avalia a quantidade atual de nutrientes disponíveis, ainda consequência da perda de matéria orgânica, porém aqui adicionada da perda acarretada pela exportação de produtos agrícolas ou pecuários, pelo aumento da drenagem interna (lixiviação) e do escoamento superficial (erosão).

O quadro 1, construído a partir de dados experimentais obtidos no Instituto Agrônomo, mostra os efeitos do manejo sobre a estrutura do solo (organização) e algumas relações com o comportamento das plantas:

— há uma nítida degradação da estrutura com o aumento da intensidade de manejo, manifestada pela diminuição do trabalho médio dos agregados e, principalmente, pela diminuição da estabilidade n'água; isso indica, por exemplo, que há uma tendência à diminuição do tamanho de agregados, sobretudo na estação chuvosa, com consequências diretas sobre o abastecimento de água às plantas.

— o milho cultivado em vasos contendo agregados de diferentes tamanhos, indica variações de comportamento, relacionados às condições físicas imperantes:

1. abastecimento em água — no início da experiência, os agregados maiores mostraram-se mais favoráveis, igualando-se a partir do 20º dia; além disso, o vaso 2-1 mm apresentou problemas de drenagem, que manifestou-se claramente como um excesso de água prejudicial a partir do 34º dia; com exceção dos primeiros dias, e até o 45º dia, os agregados menores propiciaram melhor abastecimento; isso permitiu maior desenvolvimento da parte aérea até o final da experiência;

2. penetração de raízes e formação do sistema radicular: os agregados menores mostraram-se menos favoráveis, indicando constituir um meio mais compacto que dificultou o crescimento das raízes; os agregados médios foram os mais favoráveis e os

maiores, inclusive, ainda mostravam evolução da parte aérea até o final da experiência, ao contrário dos outros.

Não foi possível levar essa experiência até o final previsto, devido ao surgimento de problemas durante sua execução (inclusive o assinalado para o vaso 2-1 mm), porém ela indica que quanto mais pulverizado o solo, menos favoráveis serão as condições de crescimento vegetal.

Finalmente, o quadro 4, também construído com dados experimentais do Instituto Agrônomo, mostra que o aumento da intensidade de manejo do solo, combinado à diminuição da densidade da parte aérea da vegetação, provoca um aumento considerável do escoamento superficial e das perdas de terra por erosão.

4. *Considerações finais*

A guisa de conclusão, qual seria a moral da história? Para que serve a Pedologia?

Apenas a partir dos aspectos apresentados, é possível ressaltar a importância do conhecimento correto do solo, para que se possa pensar em formas de manejo adequadas. Esse conhecimento, de acordo com a metodologia empregada pela Pedologia, tem seu início nas observações de campo, na mensuração das características observadas (tanto no campo como no laboratório), no estudo paralelo dos outros elementos do biótopo e do ecótopo, constituindo a Pedologia descritiva.

A Pedologia dinâmica, ainda a partir dos exemplos apresentados, procura interpretar os processos e mecanismos, passando pela experimentação. Esta não só serve de teste para comprovar hipóteses, como constitui a base para as generalizações.

Já há uma quantidade significativa de estudos e pesquisas, no mundo todo e no Brasil, a respeito do comportamento dinâmico dos solos e das conse-

quências acarretadas pelo seu uso. No entanto, são ainda muito restritos os estudos e pesquisas sobre os aspectos econômicos (e sobretudo sociais) das degradações causadas pelos diferentes tipos de manejo.

Apesar disso, é possível estabelecer o seguinte quadro hipotético, a partir do que se conhece:

1. *Agricultura tradicional* — definida comumente como de baixa (?) produtividade, com as seguintes características:

— tipo genérico de manejo: fogo — pequenas parcelas — policultura e ou rotação de cultura — pousio e ou adubação orgânica = menor incidência de erosão, menor perda de nutrientes, menor modificação das características do solo;

— energia empregada: fontes locais devido ao emprego de instrumentos simples; e pequeno trabalho mecânico do solo;

— baixa incidência de inimigos (pragas e moléstias) — ausência ou baixa intensidade de emprego de agrotóxicos.

2. *Agricultura moderna* — definida como de elevada (?) produtividade, com as seguintes características:

— tipo genérico de manejo: sementes selecionadas — grandes parcelas — monocultura — cultura contínua — adubação mineral (química) — trabalho mecânico intenso = maior incidência de erosão, maior perda de nutrientes e maiores modificações das características do solo;

— energia empregada: fontes externas (energia importada) necessárias para movimentar as máquinas e os equipamentos complexos;

— elevada incidência de inimigos (pragas e moléstias) devido à enorme concentração de hospedeiros.

deiros e fontes de alimento = intensa aplicação de agrotóxicos.

Esse quadro hipotético mostra, de forma bastante clara, as linhas de pesquisa que devem ser asseguradas, no sentido de procurar as alternativas para a solução de problemas relacionados com o uso do solo.

Trata-se de assunto que está na ordem do dia, dentro da classe agrônômica, originando polêmica da mais alta importância e da qual, com certeza, sairão resultados que nortearão, no futuro, as técnicas de manejo do solo.

Quadro 1

Influência de diversos tipos de uso do solo (Podzólico Vermelho Amarelo Orto) sobre o tamanho e a estabilidade de agregados — Estação Experimental de Monte Alegre do Sul (adaptado de Queiroz Neto e Crohmann, 1966).

Tipos de uso	Agregado médio mm	Estabilidade n'água	
		2 mm %	2 mm %
Eucalipto	2,25	87,3	12,7
Pomar	2,35	81,6	18,4
Milho	2,25	31,6	68,4

Quadro 2

Influência do tamanho de agregados no crescimento da parte aérea e sistema radicular do milho — Estação Experimental de Monte Alegre do Sul. Podzólico Vermelho Amarelo Orto (adaptado de Crohmann e Queiros Neto, 1966).

Tamanho dos agregados mm	8º dia	22º dia	45º dia	70º dia	Peso da parte aérea g	Desenvolvimento/raízes
	cm	cm	cm	cm		
7-4	14	43	52	57	2	médio muito
4-2	11,5	45	50	58	2,5	grande
2-1	13	49	57	46	1	grande
1	9	48	64	65	4	pequeno

Quadro 3

Valores médios de erosão e escoamento superficial para diferentes tipos de cobertura vegetal do Estado de São Paulo, para uma precipitação anual calculada de 1.300 mm (organizado a partir de dados de Marques, Bertoni e Barreto, 1961).

Coberturas vegetais	Perdas de terra T/ha/ano	Coefficiente de escoamento % das chuvas
Floresta	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Café	0,9	1,1
Batata doce, milho, feijão	5-10	2,5-5
Milho, cana, soja, batata	10-20	5-7,5
Algodão, arroz, amendoim	20-30	7,5-15
mandioca, feijão	30-40	10-15

BIBLIOGRAFIA

- AUBERT, G. e BOULAIN, J. (1967) — *La Pédologie*, Paris, Presses Universitaire de France, Col. "Que Sais-Je" n. 352, 126 p.
- BUCKMAN, H.O. e BRADY, M.C. (1968) — *Natureza e propriedades do solo*. Livraria Freitas Bastos S.A.
- GROHMANN, F. e QUEIROZ NETO, J.P. (1966) — Efeito do tamanho de agregados sobre o crescimento e sistema radicular do milho. *Bragantia*, 25 (23): 253-262.
- MARQUES, J.Q.A., BERTONI, J. e BARRETO, G.B. (1961) — Perdas por erosão no Estado de São Paulo. *Bragantia*, 19:329-343.
- Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional da Produção Mineral (1973) — *Folhas de São Luiz e Fortaleza*, vol. 3,
- (1974) — *Folha de Belém*, Vol. 5, Projeto RADAM, levantamento de Recursos Básicos.
- MONIZ, A.C. (coordenador) (1972) — *Elementos de Pedologia*, São Paulo, EDUSP e Ed. Polígono, 459 p.
- QUEIROZ NETO, J.P. (1975) — *Pedologia*, São Paulo/Rio de Janeiro, Enciclopédia Mirador Internacional, p. 8673-8684.
- QUEIROZ NETO, J.P. (1975) — *Solo*, São Paulo/Rio de Janeiro, Enciclopédia Mirador Internacional, p. 10557-10567.
- QUEIROZ NETO, J.P. e BENTACURT, J.J.V. (1979) — *Reflexions sur les milieux naturels de l'Amazonie: mise en valeur et équilibres écologiques*. In "Informatique et Biosphère", *Anais do Colóquio de Abidjan* (no prelo)
- QUEIROZ NETO, J.P. e GROHMANN, F. (1966) — Características da estrutura de um Podzólico Vermelho Amarelo da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul. *Bragantia*, 25(11):117:128.