



C A P Í T U L O 6

PROCESSOS PEDOGENÉTICOS MÚLTIPLOS

Marlen Barros e Silva

Professora – Universidade Estadual do Maranhão

Marcos Gervasio Pereira

Professor – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Professora – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Glécio Machado Siqueira

Professor – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

1. INTRODUÇÃO

A pedogênese, ou gênese do solo, é um processo contínuo e dinâmico que resulta da interação entre cinco fatores, denominados de fatores de formação, a saber: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo (Jenny, 1941), bem como da atuação pedogenéticos específicos, anteriormente denominados de mecanismos de formação, responsáveis tanto pela transformação do material original em solo quanto pela evolução do perfil (Simonson, 1959; Fanning; Fanning 1989; Kämp; Curi, 2012; Pereira et al., 2023) (Figura 1.). Esses processos atuam de forma simultânea e/ou sequencial, podendo se sobrepor e interagir em múltiplas escalas espaciais e temporais, resultando nos atributos que caracterizam os diferentes tipos de solo, os quais refletem o equilíbrio entre processos presentes e passados (Resende et al., 2014). Isso confere aos solos uma natureza policíclica e complexa, com horizontes e propriedades resultantes de diversas fases de formação (Santos et al., 2025).

Quatro são os processos pedogenéticos múltiplos definidos por Simonson (1959): adições, perdas, transformações e translocações. Segundo Simonson, todos os processos ocorrem de forma simultânea nos solos, mas o predomínio de um ou mais sobre os outros determina as características do solo e, associado aos fatores de formação, resulta nos chamados processos pedogenéticos específicos (Schaetzl; Anderson, 2005). Os processos pedogenéticos múltiplos são detalhados no texto a seguir.

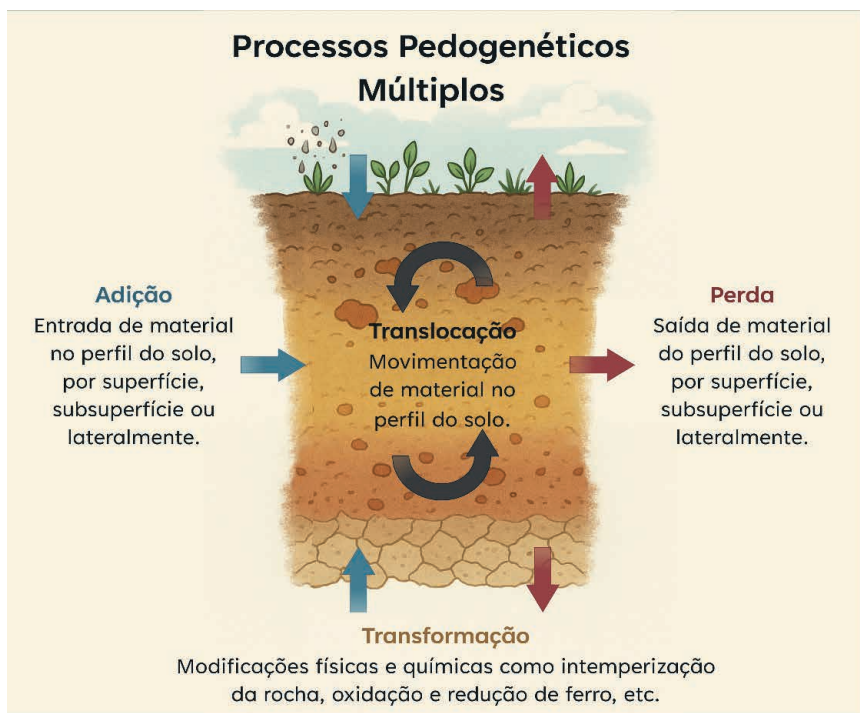


Figura 1. Representação esquemática dos processos pedogenéticos:

2. ADIÇÕES

Entende-se por adições todas as entradas de matéria e/ou energia provenientes do meio externo ao perfil do solo, tanto de forma natural quanto por ação antrópica. As adições podem ocorrer na superfície, na subsuperfície ou lateralmente, sendo as primeiras as ocorrências mais comuns.

Como exemplos de adições naturais em superfície, podem ser citados: os ganhos de calor por absorção de energia solar; resíduos orgânicos de origem vegetal (serapilheira e resíduos vegetais de culturas) e/ou animal (Figura 2) – sendo este o principal processo na formação de horizontes de constituição orgânica hísticos (H ou O); água e solutos trazidos pelas chuvas; sedimentos aluviais (depositados por rios em planícies de inundação) – importantes na formação de Neossolos Flúvicos, coluviais (transporte de materiais de elevações circunvizinhas e deposição em partes mais baixas da encosta), ou colúvio-aluviais; além de gases como CO_2 , N_2 .

Dentre as adições superficiais de origem antrópica, podem-se citar: corretivos; adubações; remineralizadores (pós de rochas); irrigação e/ou fertirrigação. Em áreas com uso intenso de agrotóxicos ou de deposição de rejeitos (urbanos, industriais ou de mineração) pode haver a introdução de substâncias tóxicas e, desta forma, a contaminação do solo.

Em subsuperfície, destaca-se a adição de íons pelo lençol freático, por meio de ascensão capilar, comum em algumas planícies e depressões localizadas em ambientes de clima árido ou semiárido, onde a precipitação pluviométrica supera à evapotranspiração.

Menos comum é a adição lateral de minerais da fração argila, que pode ocorrer em encostas de paisagens com relevo suave ondulado ou ondulado. Nessas áreas, a declividade da superfície favorece a infiltração da água no solo e seu posterior fluxo lateral — especialmente quando o perfil apresenta diferenças de permeabilidade entre os horizontes — contribuindo para o transporte da argila dispersa e sua adição aos solos localizados à jusante, isto é, em porções inferiores da paisagem.

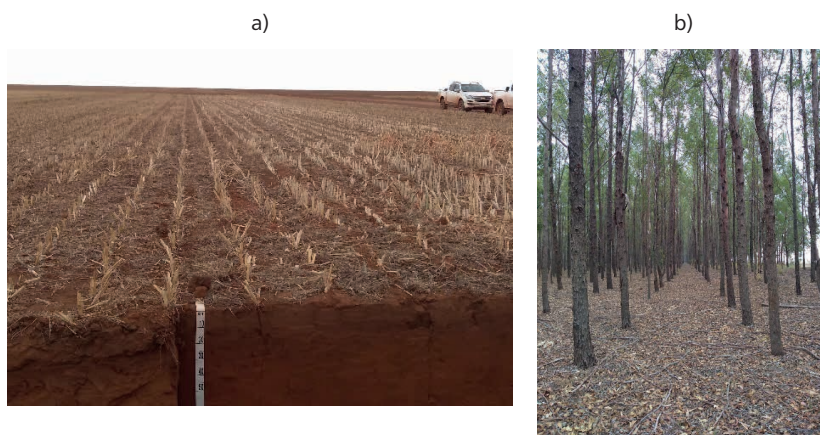


Figura 2. Adição de resíduos culturais (a) e serapilheira (b) na superfície do solo. Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

3. PERDAS

As perdas referem-se à saída de matéria e/ou energia do perfil do solo para o meio externo e desempenham um papel central na evolução química, física, mineralógica e morfológica dos solos. As perdas, que podem ser naturais ou resultantes da ação antrópica, assim como as adições, podem ocorrer na subsuperfície, na superfície ou lateralmente, e estão intimamente ligadas aos fatores formadores do solo, especialmente o clima, o relevo e os organismos.

Do ponto de vista químico, a principal forma de perda subsuperficial ocorre por meio da lixiviação de íons solúveis, como cálcio, magnésio, potássio e nitrato, para o lençol freático, pela percolação da água em regiões de alta pluviosidade e em solos de drenagem livre. Esse processo é particularmente acentuado na formação de solos tropicais altamente intemperizados como os Latossolos e Argissolos, em que há acentuada remoção de bases trocáveis e sílica, favorecendo o empobrecimento nutricional e o acúmulo relativo de óxidos de ferro e alumínio (Buol et al., 2011; Resende et al., 2014; Pereira et al., 2023).

Além das perdas subsuperficiais por lixiviação, ocorrem também perdas superficiais, como as de água por evaporação, acentuadas no processo de salinização em regiões áridas e semiáridas. Vale destacar as perdas por erosão hídrica e/ou eólica, que envolvem a retirada de partículas sólidas da superfície do solo, como argilas e matéria orgânica e os nutrientes adsorvidos, especialmente em áreas agrícolas (lavouras, pastagens ou silvicultura) com manejo inadequado, com intensa mobilização do solo e pouca cobertura vegetal, ou em relevo acentuado (Figura 3). As perdas por erosão se expressam pela diminuição da espessura ou mesmo a completa remoção do horizonte superficial do solo, redução da sua fertilidade e favorecem os processos de degradação (Schaetzl; Anderson, 2005).

Ocorrem ainda perdas gasosas em superfície, como a de nitrogênio, por meio dos processos de volatilização e desnitrificação, e a de carbono, resultantes da respiração microbiana e da decomposição da matéria orgânica, que liberam CO_2 ou CH_4 para a atmosfera e influenciam o ciclo do carbono no solo e sua dinâmica em ambientes agrícolas e naturais (Vidal-Torrado et al., 2005). Essas perdas são ainda mais relevantes quando se considera a relação entre as mudanças de uso do solo, de vegetação nativa para agricultura, e o aumento de emissões de gases de efeito estufa (GEE).



Figura 3. Perdas de solo por processos erosivos em encostas.
Foto: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

Adicionalmente podem ocorrer perdas laterais de argila, favorecendo o aumento absoluto desta fração em um outro perfil de solo, como citado antes para as adições laterais.

Em síntese, o mecanismo das perdas é essencial para compreender a dinâmica de formação e evolução dos solos, pois interfere na sua composição química (fertilidade), física, mineralógica e na morfologia. Sua intensidade e natureza variam de acordo com as condições ambientais e o uso da terra.

4. TRANSLOCAÇÕES

As translocações podem ser definidas como os movimentos de materiais dentro do próprio perfil do solo, geralmente de um horizonte para outro, podendo ocorrer tanto na forma de partículas sólidas (argilas ou moléculas orgânicas) quanto de substâncias dissolvidas em solução (íons) ou transportadas em suspensão coloidal, sem que haja a remoção dos constituintes do solo para o meio externo.

O processo múltiplo de translocação é responsável pela redistribuição vertical de constituintes do solo, resultando em horizontes com características distintas ao longo do perfil e que podem ser diagnósticas de algumas classes de solo. Esse movimento pode ser descendente, ascendente ou mesmo lateral, embora o deslocamento vertical descendente seja o mais comum (Buol et al., 2011). Entre os materiais mais comumente translocados encontram-se argilas, óxidos de ferro e/ou alumínio e matéria orgânica dissolvida, sais solúveis e carbonatos. Além disso, as raízes e a biota do solo também contribuem para a redistribuição de materiais no solo (Schaeztl; Anderson, 2005).

Um dos exemplos mais clássicos da ação do processo múltiplo de translocação na pedogênese é o da fração argila. Chamado de eluviação/iluviação ou argiluviação, resulta do deslocamento vertical da fração argila em suspensão pela água de percolação do horizonte superficial para o subsuperficial, podendo levar à formação de um gradiente textural entre o horizonte A e o horizonte Bt (iluvial), ou ainda à formação de um horizonte E (eluvial) sobrejacente ao horizonte de iluviação de argila (Bt), como observado em Argissolos, Luvissolos e Planossolos (Resende et al., 2014). Quando a iluviação das argilas resulta no expressivo revestimento de partes externas dos agregados com aspecto lustroso e brilho graxo, reconhece-se o atributo da cerosidade, necessário à identificação do horizonte B nítico, diagnóstico para a ordem dos Nitossolos (Santos et al., 2025).

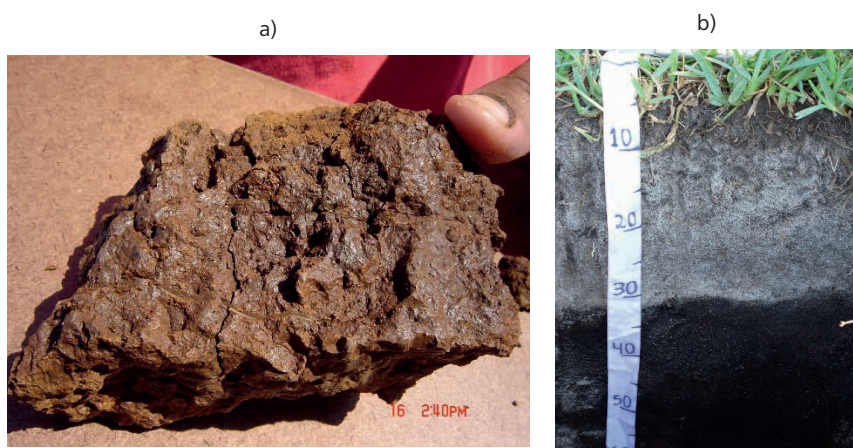


Figura 4. (a) Cerosidade propriedade morfológica resultante da deposição de argila na superfície de um torrão de solo e (b) Translocação de compostos orgânicos resultando no acúmulo de material orgânico em subsuperfície levando à formação de horizonte B espódico, observa-se o contraste entre os horizontes eluvial e iluvial. Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

Outro exemplo de translocação é a de complexos organo-oxídicos dispersíveis, em que Al é dominante e o Fe codominante (Anjos et al., 2025), em solos de textura essencialmente arenosa levando à formação do horizonte B espódico, diagnóstico da ordem dos Espodossolos (Santos et al., 2025) (Figura 4).

Em perfis de solos influenciados por variações no regime de umidade, principalmente em ambientes com flutuações do nível do lençol freático, a redução do ferro favorece a translocação desse íon no perfil de solo. Quando o lençol freático ascende durante o período chuvoso, o ferro é solubilizado e transportado em solução; já nos períodos de menor precipitação pluviométrica, em função do rebaixamento do lençol e surgimento de condições oxidantes, o ferro precipita, concentrando-se em determinadas partes do solo, levando à formação de feições morfológicas denominadas de mosqueados. Esse ciclo de redução-oxidação (redox) também é fundamental para o desenvolvimento da plintita (Resende et al., 2014), que é critério diagnóstico para a ordem dos Plintossolos e de outros solos com caráter plintico (Santos et al., 2025).

Em climas mais secos, áridos ou semiáridos, pode haver a translocação de íons dos horizontes subsuperficiais para os superficiais, por capilaridade (soluviação), formando, em alguns casos, crostas salinas recobrimdo o perfil de solo, como exemplos, Planossolos Nátricos e Gleissolos Sálidos.

5. TRANSFORMAÇÕES

As transformações referem-se às modificações químicas, físicas e mineralógicas que ocorrem no solo ao longo do tempo, resultando na formação de novos materiais ou na alteração daqueles já existentes. Podem ser de ordem química ou física, sob a influência do componente biológico e atuam diretamente na diferenciação dos horizontes, na gênese de novos minerais e compostos orgânicos, e na mudança nas características estruturais e coloidais do solo, resultando na conversão do material de origem em um sistema complexo e dinâmico.

Quanto ao material orgânico (MO), o processo de transformação envolve a decomposição da serapilheira ou resíduos de culturas, seguida da humificação, isto é, da formação de ácidos húmicos, fúlvicos e humina, que constituem a matéria orgânica estável do solo. Esses compostos afetam diretamente a retenção de água e a capacidade de troca de cátions, sendo responsáveis pela cor mais escura dos horizontes superficiais (Resende et al., 2014), além de influenciarem a biodiversidade e a atividade biológica no solo. Adicionalmente, a decomposição da MO orgânica leva à produção dos ácidos orgânicos, que atuam, entre outras interações, na união das partículas e formação de agregados, favorecendo o aumento da porosidade do solo.

Em áreas cultivadas, as práticas de calagem e adubação contribuem, na camada arável do solo, para mudanças na composição do complexo sortivo do solo, diminuindo os teores de elementos tóxicos como o alumínio e aumentando os de bases (Ca, Mg e K) e de nitrogênio e fósforo, bem como alterações na reação do solo (pH e acidez).

Nos solos minerais formados *in situ* e a partir de rochas ígneas, o processo múltiplo de transformação é relevante desde o início, na intemperização dos minerais primários como feldspatos, olivinas e micas, que, ao interagirem com a água, o oxigênio e ácidos orgânicos, transformam-se em minerais secundários, levando a formação de argilominerais (como caulinita e montmorilonita) e óxidos (como hematita, goethita e gibbsita). Esses processos ocorrem via reações de hidrólise, oxidação-redução, hidratação e carbonatação (Buol et al., 2011). As transformações têm início antes da própria pedogênese, com a alteração das rochas tão logo são expostas aos agentes do intemperismo (água, atmosfera e organismos), e podem ocorrer de forma mais rápida ou mais lenta em função da natureza do material de origem, além das condições climáticas e topográficas.

Em condições propícias de clima, altitude e/ou em ambientes hidromórficos, a transformação da MO pode ocorrer de forma apenas parcial, o que favorece a sua acumulação no solo, originando os horizontes hísticos (O ou H) (Silva Neto et al., 2023; Soares et al. 2021, Pereira et al., 2023) que são diagnósticos da ordem dos Organossolos.

No perfil do solo, podem ser observadas cores mosqueadas ou variegadas presentes em horizontes subsuperficiais de Plintossolos e Gleissolos (Santos et al., 2015) (Figura 5) e outros solos formados em ambientes com hidromorfismo são exemplos da transformação de formas do ferro, também do manganês, em função dos processos de redução e oxidação. Em solos que apresentam horizontes sulfúricos após terem sido submetidos à drenagem pode ser observada a presença de jarosita (Figuraxxb) identificada por um mosqueamento de cor amarelada.

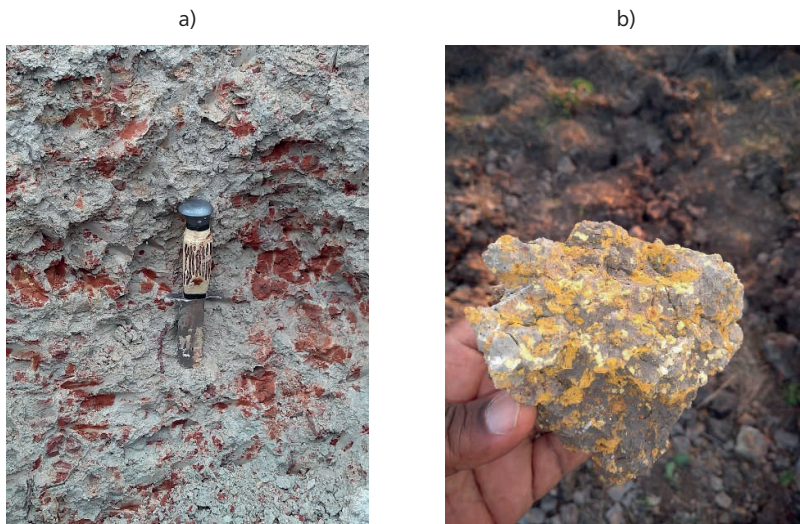


Figura 5. (a) Cores mosqueadas decorrentes da redução e oxidação do ferro, levando a presença de plintita; (b) Mosqueamento devido a presença de jarosita.. Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pedogênese é um processo dinâmico e o solo um sistema aberto, portanto, mais de um processo pedogenético múltiplo pode ser observado nos perfis de solo e estes podem variar com o tempo e em função dos fatores de formação. Quando um processo ocorre de forma mais intensa, contribuindo de maneira expressiva para a diferenciação dos horizontes, este será relevante na identificação das classes de solo, como exemplo, a translocação de argila para os horizontes subsuperficiais que leva à formação do horizonte diagnóstico B textural, que caracteriza, entre outras classes, os Argissolos, ou ainda, as perdas de bases e sílica e a transformação de minerais primários em secundários (caulinita e óxidos) que definem o horizonte B latossólico, o qual caracteriza os Latossolos. Estas duas sendo as ordens de solos predominantes no território brasileiro.

Alguns processos múltiplos ocorrem na própria alteração do material de origem ou quando da sua deposição, como o intemperismo das rochas e a adição de sedimentos fluviais e coluviais. O fator organismos do solo influencia em todos os processos múltiplos, seja diretamente, como fonte, na adição de nutrientes e componentes orgânicos, ou na perda de nutrientes para a atmosfera em processos como a desnitrificação, na transformação dos resíduos vegetais e no processo de redução do ferro e ainda favorecendo a translocação através de poros criados pelos organismos do solo e as raízes das plantas.

As atividades antrópicas podem levar a mudanças nos fatores de formação do solo, como no relevo pela sistematização do terreno e alteração de declividade, nos organismos pela mudança de cobertura vegetal, nas condições hidrológicas pela drenagem e/ou irrigação, ou ainda pelas práticas agrícolas, alterando a intensidade dos processos múltiplos, em especial, para os horizontes superficiais do solo. As atividades urbanas, industriais e de mineração, entre outras, também são importantes agentes nos processos de formação dos solos e devem ser consideradas como fatores relevantes e sua expressão justifica até mesmo a criação de novas classes de solos, a exemplo de sistemas de classificação internacionais.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, L.H.C.; KER, J.C.; SHIMIZU, S.H.; PEREIRA, M.G.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, V. A. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 8ª Edição - Revisada e ampliada. Viçosa, MG: SBCS, 2025. 158 p.
- BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; McDANIEL, P. A. Soil genesis and classification. 6. ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2011.
- FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. Soil morphology, genesis, classification. New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.
- JENNY, H. J. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York, 1941. 281 p.
- KÄMPF, N.; CURTI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; SHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Org.). Pedologia: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; SILVA NETO, E.C.; PINHEIRO JUNIOR, C.R. Solos do Rio de Janeiro: Gênese, Classificação e Limitações ao Uso Agrícola. Editora Atena, 2023. 231p. Doi: 0.22533/at.ed.273232510
- RESENDE, M. et al. Pedologia: base para distinção de ambientes. 6. ed. Lavras: UFLA, 2014.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2025. 393 p.
- SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. Soils: genesis and geomorphology. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23:152-156, 1959.

SOARES, P.F.C.; SILVA, R.C.S.; SILVA NETO, E.C.; PEREIRA, M.G.; PINHEIRO JUNIOR, C.R.; PESSEDA, L.C.R.; ANJOS, L.H.C. Histosol pedogenesis in floodplain coastal environments in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Catena*, 207, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105612>

SILVA NETO, E.C.; COELHO-JUNIOR, M.G.; HÓRAK-TERRA, I.; GONÇALVES, T.S.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. Organic Soils: Formation, Classification and Environmental Changes Records in the Highlands of Southeastern Brazil. *Sustainability* 2023, 15(4), 3416; <https://doi.org/10.3390/su15043416>

VIDAL-TORRADO, P. et al. Gênese, morfologia e classificação dos solos. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.