

## **EVOLUÇÃO DOS SOLOS NOS TERRAÇOS MARINHOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DE BERTIOGA-SP\***

**Vanda Moreira MARTINS<sup>(1)</sup>; Pablo VIDAL-TORRADO<sup>(2)</sup>; Maurício Rizzato  
COELHO<sup>(3)</sup>; Célia Regina de Gouveia SOUZA<sup>(4)</sup>**

**mmvanda@hotmail.com**

**<sup>1</sup> Unioeste-PR; <sup>2</sup> Esalq/USP-SP; <sup>3</sup> Embrapa Solos-RJ; <sup>(4)</sup> IG/SMA-SP  
Rua Pernambuco, 1777, Marechal Cândido Rondon-PR, (45) 32847878, CEP: 85960-000**

**RESUMO** - O interesse em estudar a organização e evolução dos solos nos terraços marinhos costeiros direcionou os objetivos deste trabalho. Dados sobre a cronologia, a topografia e as formas do relevo foram necessários para o entendimento da organização dos solos nos diferentes compartimentos marinhos da planície costeira. Fotointerpretação, levantamentos topográficos e pedológicos, análises físico-químicas e geocronológicas (<sup>14</sup>C, TL e LOE) dos solos, índice ZTR dos constituintes, etc. deram sustentação aos resultados. Os depósitos marinhos quaternários estão representados por três principais níveis de terraços: a) terraço marinho holocênico (Tmh); b) Terraço marinho pleistocênico alto e c) Terraço marinho pleistocênico baixo (Tmpb). As classes dos Espodossolos e dos Neossolos Quartzarênicos dominam os terraços marinhos, independentemente da cronologia dos depósitos. A dinâmica espacial dessas classes de solos pode ser sintetizada da seguinte maneira: nos setores dissecados e bem drenados dos remanescentes de terraços marinhos pleistocênicos, a influência das condições de relevo e da circulação hídrica na pedogênese se reflete na evolução dos Espodossolos para Neossolos Quartzarênicos a partir do dismantelamento dos horizontes Bh, dentro da seção de controle. Nos terraços marinhos holocênicos os Neossolos Quartzarênicos se desenvolvem e evoluem para os Espodossolos. As oscilações sazonais do lençol d'água nos depósitos marinhos comandam na dinâmica evolutiva e a distribuição espacial dos Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos.

**Palavras-Chave:** Quaternário, Geomorfologia, Espodossolo, Restinga, Solos

### **1. INTRODUÇÃO**

A carência de informações sobre os solos dos terraços marinhos em regiões tropicais, as áreas de ocorrência, a relação com o relevo e com a cronologia do material de origem motivaram este estudo. Em Bertioiga, a planície costeira é caracterizada por um sistema de relevo de agradação, com altitudes inferiores a 15m, formado por depósitos sedimentares de origem marinha, flúvio-marinha e continental. Essa região do litoral de São Paulo apresenta registros da evolução quaternária das planícies costeiras, incluindo os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos das Formações Cananéia e Ilha Comprida, relacionadas aos eventos transgressivos-regressivos Cananéia e Santos, respectivamente (Suguio & Martin, 1978a,1978b; Suguio & Tessler, 1984).

Esses terraços são constituídos por depósitos de areias finas e muito finas sobre os quais se desenvolvem os Espodossolos, os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos e os

Organossolos (Rossi & Queiroz Neto, 2001). A presença do lençol d'água próximo à superfície e o acúmulo de matéria orgânica sob a vegetação de Restinga favoreceram os processos pedogenéticos de formação (De Coninck, 1980; Lundström *et al.*, 2000) e degradação dos solos nos terraços marinhos.

Em ambientes tropicais brasileiros, o conhecimento sobre os processos e fatores condicionantes envolvidos na mobilização, migração e acúmulo de matéria orgânica (MO) e metais (Al e Fe) no horizonte diagnóstico dos Espodosolos (Bh) é incipiente (Klinge, 1965; Coelho *et al.*, 2010). A topografia plana e a lenta drenagem lateral, associadas ao material de origem arenoso e poroso e à flutuação temporária dos níveis freáticos, influenciam sobre o modo e o estágio de formação dos horizontes B espódicos. Da mesma forma, esses fatores determinam a formação e a evolução dos Espodosolos e outros solos na planície costeira.

Dessa maneira, a proposta desse trabalho foi apresentar informações sobre a evolução dos solos nos terraços marinhos da planície costeira de Bertioga e a sua relação com as formas de relevo e a cronologia dos depósitos. Para tanto foi realizado o levantamento topográfico, pedológico e geomorfológico dos terraços. Análises físico-químicas dos solos, índice ZTR, análises geocronológicas por luminescência (Termoluminescência-TL e Luminescência Opticamente Estimulada-LOE) e  $^{14}\text{C}$  auxiliaram a interpretação dos dados de campo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A identificação dos terraços marinhos baseou-se na compartimentação das unidades geológico-geomorfológicas quaternárias realizadas por Souza (2007) e Suguio & Martin (1978b). A interpretação de fotografias aéreas pancromáticas (escala 1:25.000) e coloridas (escala 1:35.000) e de imagens de satélite LANDSAT 7 ETM+ de 2000 (fusão colorida 4R5G2B e PAN, resolução de 15m e escala 1:50.000) foi a técnica utilizada na etapa de compartimentação, delimitação e descrição do relevo nos terraços marinhos. O levantamento, a descrição e a classificação dos solos foram realizados a partir dos métodos das transeções e do caminhamento livre (Embrapa, 1995; Santos *et al.*, 2005; Embrapa, 2006). Análises físico-químicas dos solos, índice ZTR e análises geocronológicas (TL, LOE e  $^{14}\text{C}$ ) dos depósitos auxiliaram na descrição e registro da distribuição dos solos nos compartimentos marinhos holocênicos e pleistocênicos e na obtenção de informações sobre a cronologia e constituição dos depósitos estudados.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados obtidos permitiram identificar três níveis de terraços marinhos: os terraços marinhos pleistocênicos altos (Tmpa); os terraços marinhos pleistocênicos baixos (Tmpb) e os terraços marinhos holocênicos (Tmh), os quais apresentam características fisiográficas distintas, refletindo variação espacial dos solos que, por sua vez, está relacionada às condições topográficas e à baixa profundidade do lençol d'água.

### **3.1 A distribuição dos solos nos terraços marinhos holocênicos**

Nos depósitos marinhos holocênicos recentes (praias atuais) os processos pedogenéticos, quando existentes, são incipientes e nas áreas em que a vegetação pioneira se

instalou é comum encontrar os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos com seqüência de horizontes A e C.

Formado pelo alinhamento de cristas praias holocênicas, os terraços marinhos holocênicos apresentam Espodossolos Humilúvicos Hidromórficos espessarênicos (EKg) e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos (RQg) e Órticos (RQo). Localmente também ocorre a classe dos Espodossolos Ferrihumilúvicos Hidromórficos (ESKg).

Com a regressão do nível médio relativo do mar (NMRM), após o pico máximo transgressivo ocorrido há cerca de 5.100 anos A.P. (Suguio *et al.*, 1985), os processos pedogenéticos instalaram-se sobre os sedimentos marinhos arenosos depositados. O domínio do clima quente e úmido holocênico, bem como a sua ação sobre a vegetação, associada à natureza arenosa do material de origem, criaram condições favoráveis ao desenvolvimento dos Espodossolos jovens identificados sobre as cristas praias e cujos sedimentos apresentaram idades TL e LOE holocênicas inferiores a  $4.800 \pm 1000$  e  $5.100 \pm 1000$  A.P., respectivamente.

Os Espodossolos Humilúvicos hidromórficos (EKg) e Ferrihumilúvicos (ESK) ocorrem, via de regra, nos setores mais afastados da linha de costa, com relevo plano e cotas entre 2 e 4 m de altitude. O lençol d'água, oscilando em profundidade inferior a 200 cm na maior parte do ano, favorece a formação do horizonte B espódico. Em todas as classes desse solo, diferentemente do que ocorre nos terraços marinhos pleistocênicos, os horizontes espódicos apresentam maior homogeneidade dos atributos morfológicos (cor e transição).

Os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos (RQg) e Órticos (RQo) ocupam as áreas de transição para os depósitos marinhos recentes (praia) e os topos das cristas praias, respectivamente. São os solos mais jovens desenvolvidos sobre os depósitos marinhos e podem estar evoluindo para a classe dos Espodossolos. A vegetação de Floresta Baixa de Restinga e de Escrube fornece matéria orgânica para os solos favorecendo a evolução dos Neossolos Quartzarênicos para os Espodossolos. Essa evolução está diretamente relacionada com a cronologia dos depósitos e acompanhou a dinâmica regressiva do nível relativo do mar. Aqueles formados junto à linha de costa se desenvolveram a partir de sedimentos holocênicos mais recentes. O índice de maturidade ZTR do material constituinte corrobora essa assertiva. Em relação à classe dos Neossolos, os RQg típicos e organossólicos são as classes mais comuns nos Tmh. Nas áreas deprimidas (entre as cristas praias) e próximas à rede de drenagem pode ocorrer a classe dos Organossolos e ou Gleissolos.

### **3.2 A distribuição dos solos nos terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos**

As classes dos Espodossolos e dos Neossolos Quartzarênicos dominam os setores bem drenados dos terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos, enquanto os Organossolos e Gleissolos ocorrem nas áreas deprimidas.

Nesses terraços, a classe dos Espodossolos está representada pelas classes dos Espodossolos Ferrihumilúvicos Órtico e Hiperespessos; dos Espodossolos Humilúvicos Órticos, Hidromórficos e Hiperespessos, com caráter espessarênico ou dúrico no quarto nível categórico do SiBCS (Embrapa, 2006), enquanto que a classe dos Neossolos está representada pelo Neossolo Quartzarênico Órtico espódico.

Nos terraços marinhos mais antigos e elevados (Tmpa) os horizontes B espódicos dos Espodossolos apresentam morfologia com sinais de desmantelamento. A descontinuidade

vertical e horizontal desses horizontes e o espessamento do horizonte E denotam o estágio avançado de dismantelamento e evolução (maturidade) desses solos. A classe dos Espodossolos com horizonte E espesso (acima de 100 cm) é comum nos Tmpa. Nos terraços marinhos pleistocênicos mais baixos (Tmpb) essas características são menos pronunciadas e os Espodossolos apresentam-se com morfologia dos horizontes espódicos mais homogênea.

A grande variação morfológica dos horizontes (consistência, estrutura, espessura, cor, forma, transição etc.) nas diversas classes dos Espodossolos identificados nos terraços marinhos, está associada ao estágio de desenvolvimento dos solos e à evolução geomorfológica na planície costeira.

Os Neossolos Quartzarênicos, embora com menor expressão geográfica nos terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos, são representados pelas classes do Neossolo Quartzarênico Órtico espódico e do Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

A ocorrência desses solos nos terraços marinhos pleistocênicos altos está associada aos processos de construção e dissecação das formas de relevo durante a fase regressiva pleistocênica do nível médio relativo do mar. As conseqüentes mudanças do nível de base da rede de drenagem local e as oscilações do lençol freático desencadearam as transformações e a evolução dos Espodossolos para os Neossolos Quartzarênicos.

A topografia (5-10 m), a boa drenagem lateral e vertical, a profundidade do lençol d'água (>3-5 m) e a composição essencialmente arenosa dos sedimentos marinhos pleistocênicos são os fatores que condicionam a evolução dos solos nos terraços marinhos altos. Tais condições fisiográficas e os atributos morfopedológicos dos Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos explicam a baixa densidade dos canais fluviais permanentes nesses compartimentos, sobretudo nos mais elevados. Nas áreas deprimidas o lençol elevado e a saturação quase permanente do solo favorecem o desenvolvimento dos Organossolos e Gleissolos.

As idades  $^{14}\text{C}$  obtidas em Bertioga para a matéria orgânica de dois horizontes *ortstein* (4.800±80 anos A.P. e 2.130±70 anos A.P.) desenvolvidos sobre o Tmpa (±9 m) e o Tmpb (5 m), respectivamente, evidenciam que os processos pedogenéticos de formação dos Espodossolos com horizonte dúrico (*ortstein*) não são recentes. Considerando que a idade  $^{14}\text{C}$  da matéria orgânica datada ou o seu tempo médio de residência no solo corresponde, aproximadamente, à metade do intervalo desde que sua acumulação iniciou (Schwartz, 1988), então é possível inferir que os horizontes *ortstein* analisados podem ter idades aproximadas de 9.600 e 4.260 anos A.P. Isto significa que os processos pedogenéticos de formação do horizonte B espódico dúrico se desenvolveram sobre os sedimentos pleistocênicos (>120.000mil anos A. P.) relacionados ao evento transgressivo-regressivo Cananéia (Pleistoceno Superior) e sob condições climáticas úmidas que dominaram o Quaternário após a glaciação Würm.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

- Nos terraços marinhos pleistocênicos altos, predomina a classe do ESKo em relação aos terraços marinhos holocênicos, onde a classe do EKg ocorre com maior frequência.
- Nos terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos, a geomorfologia e a topografia comandam a circulação hídrica, principal responsável pelas modificações na morfologia dos solos, os quais apresentam estágios diferentes de evolução nos compartimentos marinhos holocênicos e pleistocênicos;

- Nos setores bem drenados dos terraços marinhos pleistocênicos altos a influência das condições de relevo na pedogênese se reflete na formação dos RQ a partir do dismantelamento dos Espodossolos (horizonte Bh); enquanto nos terraços marinhos holocênicos os RQ se desenvolvem e evoluem para os Espodossolos;
- As evidências geomorfológicas, geocronológicas e pedológicas analisadas, associadas à presença do horizonte *ortstein*, contribuíram para a distinção, cronologia e evolução dos depósitos marinhos quaternários na planície costeira.

## REFERÊNCIAS

- Coelho, M.R. *et al.*, 2010. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no estado de São Paulo. *Viçosa, R. Bras. Ci. Solo*, 34:1951-1964.
- De Coninck, F., 1980. Major mechanisms in formation of spodic horizons. *Geoderma*, Amsterdam, v. 24, p. 101-126.
- Embrapa, 1995. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Embrapa/Solos/RJ, 101p.
- Embrapa, 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Humberto Gonçalves dos Santos *et al.*, 2.ed., Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306p.
- Lundström, U.S.; van Breemen, N. & Bain, D., 2000. The podzolization process. A review. *Geoderma*, Amsterdam, v. 94, p. 91-107.
- Rossi, M. & Queiroz Neto, J.P. 2001. Os solos como indicadores das relações entre sedimentos continentais e marinhos na planície costeira: Rio Guaratuba (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.113-120.
- Santos, R.D. *et al.* 2005. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5ª ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Schwartz, D., 1988. Some podzols on bateke sands and their origins, people's republic of Congo. *Geoderma*, Amsterdam, v. 43, p. 229-247.
- Souza, C.R. de G. 2007. Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertioga (SP). XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Belém (PA). Anais (CD-ROM).
- Sugio, K. & Martin, L., 1978a. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, 1978. São Paulo. Special Publication. São Paulo: IGCB/IG-USP/SBG. 55 p.
- Sugio, K. & Martin, L. 1978b. Mapas geológicos da planície costeira do Estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro (1:100.000). São Paulo, DAEE/Secret. de Obras e Meio Ambiente. Gov. Do Estado de São Paulo.
- Sugio, K. & Tessler, M., 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: Lacerda *et al.* (Orgs.). Restingas: origem, estruturas, processos. Niterói: CEUFF, p.15-25.
- Sugio, K. *et al.*, 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 15, p. 273-286.
-