

**DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS MARINHOS COSTEIROS E NOS SOLOS HIDROMÓRFICOS DA ORLA LITORÂNEA DO ESTADO DE SÃO PAULO**

CLAUDIO T. NAVARRA, VALDENIR V. FURTADO, BEATRIZ B. EICHLER e OMAR R. DO PRADO

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, SP, Brasil

**SYNOPSIS**

*The organic matter content in the fine-fraction of 200 marine sediments samples and in 50 whole continental samples along the Estado de São Paulo coast, between Cananéia and Ubatuba, show a close relation between organic content and depositional environment. Samples were collected in coastal-plains lagoon-estuarine mangroves and inner continental shelf environments representative of that coastal region.*

**Introdução**

O presente trabalho é parte de um estudo mais amplo dos sedimentos superficiais, marinhos e continentais, da costa do Estado de São Paulo, com o objetivo geral de identificar os tipos de materiais e sua compartimentação, bem como inferir os processos de sedimentação que os originaram.

Nesta parte foi estudada especificamente a distribuição do conteúdo de matéria orgânica nos sedimentos da plataforma continental interna (incluindo as reentrâncias litorâneas) e nos sedimentos continentais sob influência direta ou indireta de processos marinhos e continentais, considerados, quanto à sua associação com a matéria orgânica.

A região geográfica coberta estende-se da região lagunar de Cananéia até a região de Ubatuba. As amostras, cerca de 250, provêm de vários trabalhos do Instituto Oceanográfico e de campanhas litorâneas efetuadas especificamente para este trabalho. São disponíveis dados granulométricos de todas as amostras marinhas consideradas.

**Geoquímica da Matéria Orgânica**

Na decomposição dos resíduos de animais ou plantas, a maior parte do material orgânico se degrada até os compostos fundamentais inorgânicos como CO<sub>2</sub> e água que escapam para a atmosfera. Tanto no meio terrestre como no aquoso o oxigênio presente favorece a atividade das bactérias aeróbicas responsáveis pela biodegradação da matéria orgânica. A resistência que esta opõe à biodegradação é variável. Alguns compostos vegetais como a lignina e a celulose são mais resistentes que a maioria dos componentes de origem animal (carboidratos, proteínas, gorduras). Os resíduos que conseguem resistir às fermentações são objeto de outro tipo de transformação envolvendo reações de biosíntese que produzem um produto final relativamente estável, de aspecto amorfo, indiferenciado, que é o humus. Como os processos responsáveis e os produtos finais são semelhantes, podemos falar, de acordo com Waksman (1933) em humus terrestres e humus marinhos.

Devemos distinguir uma etapa bioquímica, de formação do humus, de outra propriamente geoquímica, de incorporação do humus ao sedimento.

Nos sedimentos marinhos, essas duas etapas são simultâneas. Os compostos orgânicos que resistiram à ação bacteriana depositam-se lentamente nos fundos junto com os sedimentos terrígenos que permaneceram por algum tempo em suspensão nas águas do mar e, junto com outros restos biogênicos (plâncton, necton e bentos), formam acúmulos de material de variada procedência. Nos fundos raros, ainda se encontram as bactérias aeróbicas capazes de seguir degradando os constituintes orgânicos do substrato. Continuando o mesmo processo, outras camadas, com novos materiais, se sucedem, recobrando as anteriores. Poucos centímetros abaixo da interface água-fundo não mais se encontra o oxigênio necessário para a atividade das bactérias aeróbicas, as quais vão desaparecendo, alterando o ambiente para reductor o que favorece a preservação do humus. Encontramos a partir daí a presença estável de matéria orgânica nos sedimentos, que diminui muito pouco com a espessura da camada, na escala trabalhada. Na maior ou menor concentração de matéria orgânica influem, portanto, as taxas relativas de sedimentação do material particulado terrígeno e de origem biogênica e de grau de preservação permitido pelas condições ambientes.

Nos sedimentos terrestres os depósitos superficiais se apresentam como resultado dos processos pedogenéticos e constituem o solo, substrato onde vivem microorganismos. Nos processos de formação do solo temos a influência importante do manto vegetal que, pelo seu sistema radicular, se introduz por entre as partículas minerais. Na superfície do solo se acumulam também os restos de folhas, troncos, raízes, formando camadas de material no início do processo de humificação. Abaixo deste horizonte orgânico, pouco modificado morfológicamente, encontra-se outra camada de substância orgânica mais fina e desintegrada. Só na camada mais profunda é que o humus aparece constituído. Nos terrenos litorâneos estudados temos o humus MOR brutos, (Richards, 1974), mostrando um horizonte superficial A<sub>0</sub> com as 3 camadas antes descritas. Só o horizonte A<sub>1</sub> é de humus misturado com material mineral.

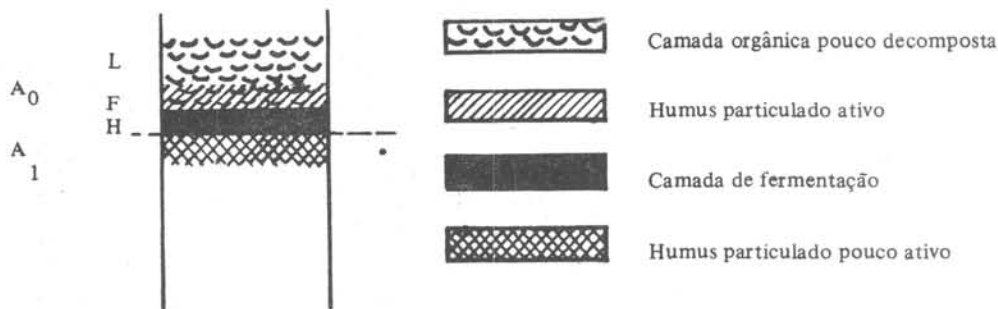


Fig. 1 - Horizontes do humus MOR.

Em suma, nos processos pedogenéticos o humus pode acumular-se *in situ* e temos assim um "raw humus" que é essencialmente um produto orgânico, uma "terra vegetal", ainda não incorporado ao solo. Por isso, na determinação da matéria orgânica deve-se fazer um perfil com os vários horizontes cada um com o seu conteúdo de matéria orgânica, pois existe uma grande variabilidade em sentido vertical.

#### Material e Métodos de Análise da Matéria Orgânica Precisão dos Resultados

Os sedimentos marinhos foram colhidos com amostrador "snapper" do tipo Marukawa e do tipo Van Veen modificado. As amostras de depósitos emersos foram recolhidas com trado, de 60 cm de comprimento útil. Em raras ocasiões aproveitaram-se trincheiras ou desmontes dos terrenos já existentes chegando-se a profundidades de até 2 m abaixo da superfície. Portanto, as amostras em estudo são estritamente superficiais.

Em todo esse material sedimentar, a presença de matéria orgânica é ubíqua. A sua determinação deve ser feita por escolha criteriosa do método. De fato, quando se comparam os resultados fornecidos por diversos autores, chamam a atenção as grandes divergências, devidas, sem dúvida, não só a problemas de amostragem, como também à escolha de métodos. É comum, ainda hoje, considerar como teor de matéria orgânica, o resultado analítico da perda ao fogo a 550°C. Visto que essa determinação engloba os valores não só da matéria orgânica como também os devidos à parcial decomposição de carbonatos, à expulsão da água de combinação, etc., os valores frequentemente reportados são altos com respeito aos obtidos pelos outros métodos que levam em conta só a destruição do carbono orgânico.

Usamos preferencialmente o método de digestão com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> descrito por Carver (1971) o qual destrói totalmente o humus.

Tratando-se de um método gravimétrico, é preciso fazer as pesagens com rapidez pois o material mineral, especialmente se argiloso, absorve rapidamente a umidade atmosférica. A máxima precisão determinada pelo desvio padrão, não passa de  $\pm 0,1\%$  o que é suficiente para análises de interesse geoquímico. Em alguns poucos casos fizemos determinações pelo método chamado de combustão úmida (oxidação a quente com dicromato e retrotitulação do excesso de oxidante).

#### Distribuição dos Sedimentos nas Regiões Estudadas

O conjunto de ecossistemas da zona costeira apresenta interações entre os elementos do espaço terrestre e do espaço marinho devidas à intervenção tanto de processos marinhos como continentais em seu modelamento. Apesar dessas interações os materiais continentais e marinhos apresentam diferenças em sua distribuição textural: os primeiros mostram-se homogêneos, essencialmente arenosos, enquanto os marinhos principalmente os de regiões protegidas, são muito variados. Nos sedimentos marinhos optou-se pela determinação da matéria orgânica apenas na fração fina, enquanto que nos materiais continentais, que constituem solos bem definidos, foi determinada na amostra total.

As regiões consideradas para amostragem no continente foram as planícies costeiras de Cananéia-Iguape, Itanhaém-Santos, Bertioga-Ilha de São Sebastião e Caraguatatuba-Ubatuba. Os dados obtidos de regiões marinhas protegidas provêm de: região lagunar de Cananéia (Magliocca & Kutner, 1964); Canal de São Sebastião (Magliocca, comunicação pessoal); Enseada do Mar Virado (Kutner, 1963) e mais os obtidos na presente pesquisa. Quanto à região de mar aberto, situada entre Santos e Caraguatatuba, não tinha sido objeto de estudos anteriores específicos de M.O. O mapa da Figura 2 localiza as regiões citadas.

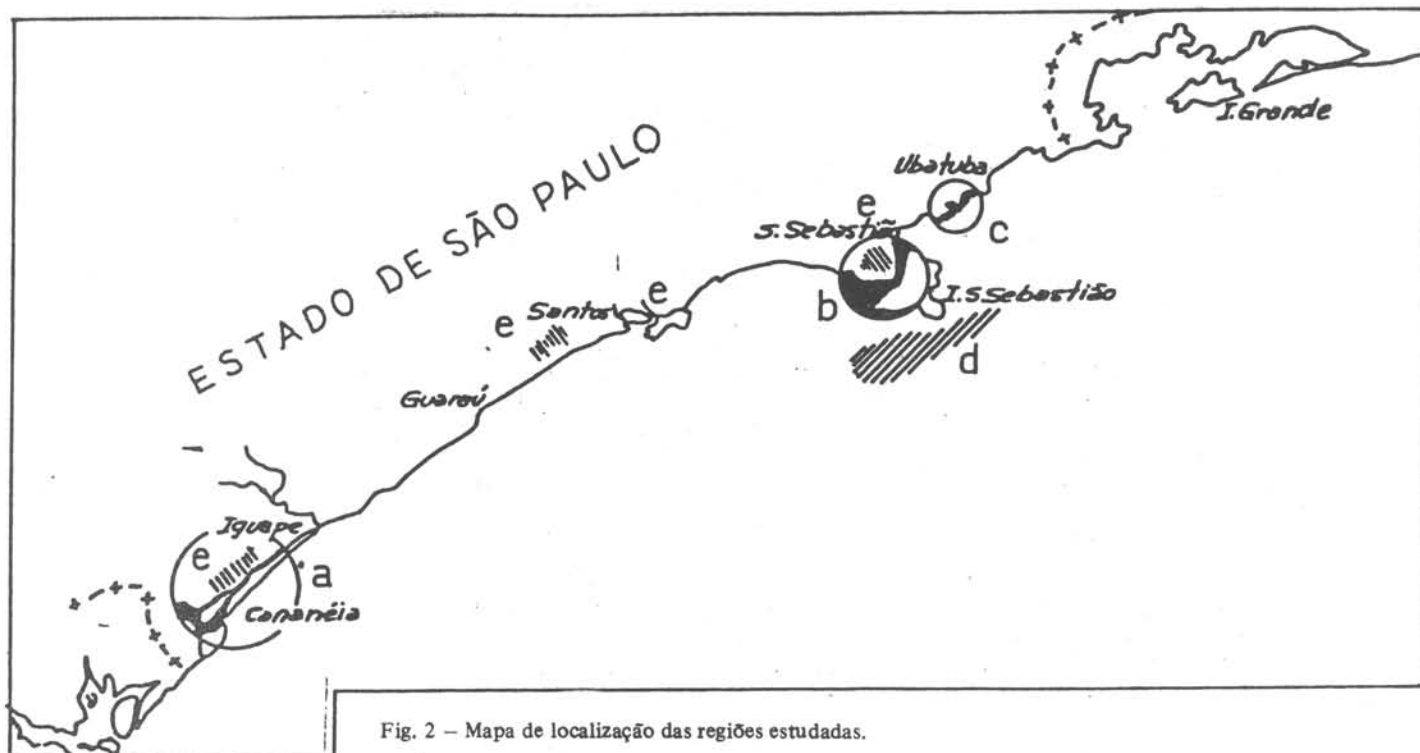


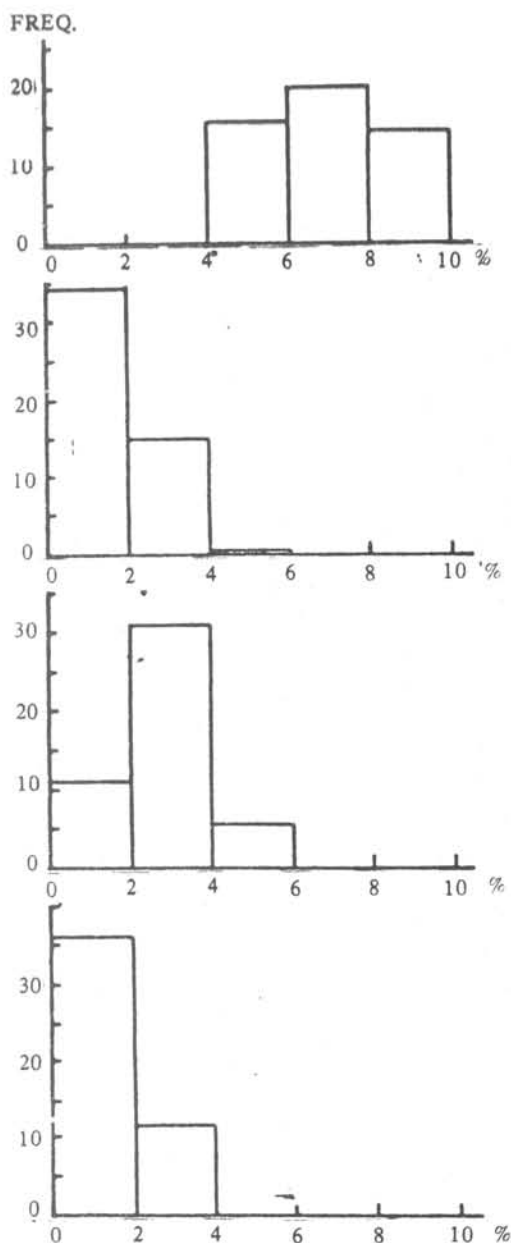
Fig. 2 - Mapa de localização das regiões estudadas.

#### Resultados e Conclusões

Para a discussão dos resultados classificou-se o material coletado de acordo com o ambiente deposicional, em sedimentos marinhos, areias de costas baixas, e solos de baixadas litorâneas, o que corresponde praticamente a 3 compartimentos distintos dentro da região costeira; zona marinha, zona baioestuarina e zona litorânea.

a) Sedimentos marinhos (0,1 - 10% de M.O. sobre a fração argilosa)

A zona marinha examinada compreende as áreas já citadas 1 a 4. Com os resultados da análise de matéria orgânica de 50 amostras de cada área, construímos os histogramas da Figura 3. Vemos claramente que os valores máximos foram encontrados em sedimentos de áreas protegidas especialmente nos da região lagunar de Cananéia onde existem as melhores condições morfológicas de acúmulo e preservação da matéria orgânica.



a) REGIÃO LAGUNAR DE CANANÉIA  
(50 amostras de Magliocca & Kutner, 1964)  
Fator de conversão: M.O. = 1,8 C.O.

b) CANAL DE SÃO SEBASTIÃO  
(25 amostras de Magliocca, não publicado  
e 25 amostras de Navarra)

c) ENSEADA DO MAR VIRADO (UBATUBA)  
(50 amostras de Kutner, 1963)  
Fator de conversão: M.O. = 1,8 C.O.

d) REGIÃO DE MAR ABERTO  
(50 determinações de Navarra)

Fig. 3 - Histogramas do teor de matéria orgânica nos sedimentos das regiões estudadas.

b) Areias de costas baixas (praias e restingas) (0,1 - 1% de M.O.)

As areias de praia oferecem uma certa homogeneidade aparente no seu aspecto e contém os menores teores de matéria orgânica encontrados em qualquer material sedimentar. Ao longo de toda a costa, as areias limpas e soltas, livres da influência da vegetação, próprias das zonas intertidais, dão valores de matéria orgânica próximos ao limiar de detecção pelo método da água oxigenada, isto é, no intervalo 0,1 - 0,2%.

Examinaram-se ao mesmo tempo areias de dunas, de cordões litorâneos frontais e de restingas. Nestas zonas faz-se sentir a influência da vegetação incipiente que as recobre parcialmente e não foi difícil atingir valores de matéria orgânica próximos a 1%. Na Ilha Comprida ocorrem areias associadas a pequenos fragmentos de "aguapé" fornecendo resultados mais altos (1,2% de matéria orgânica). Dunas com vegetação, também deram resultados desta ordem, porém as diferenças não são tão grandes para permitir acompanhar por meio deste índice, o grau de maturidade de uma duna, como admite Kanweil (1972). As amostras das areias obtidas na zona intertidal são superficiais. Areias de dunas e restingas foram retiradas a uns 20 cm de profundidade para evitar a presença de restos vegetais não incorporados.

c) Areias e lamas das zonas limítrofes dos mangues (1 - 4% de M.O.)

Manguezais aparecem na zona flúvio-marinha, em áreas próximas às costas, ao longo de rios, perto do mar, em lugares calmos, com profunda influência das marés. A superfície é geralmente lamacenta. A vegetação do mangue estende-se para fora das margens dos corpos d'água, em contato com materiais arenosos. Na seção de qualquer manguezal, a zona submersa central deve ser mais lamacenta que a encontrada nas regiões externas até onde se estende a vegetação. Por isso os valores esperados de matéria orgânica devem variar segundo o perfil sendo portanto um pouco arriscado determinar para cada manguezal um único valor a ser comparado com os outros.

Foram colhidas amostras de material, abaixo de 20 cm, em zonas de mangue em frente à Ilha do Cardoso, na Ilha Comprida e em Cananéia, todos próximos ao mar, assim como nas margens dos rios (Itanhaém, Diana, Sandi, Juqueriquerê e Juruatuba) e os resultados são sempre abaixo dos reportados por Mabeoone & Coutinho (1970) para a região norte de Pernambuco.

d) Solos das baixadas litorâneas (Máxima variabilidade de M.O.)

Planície costeira é a região baixa que se estende desde o nível de maré alta até a região sublitoral, a qual constitui uma zona de transição entre a planície costeira propriamente dita e a serra; apresenta pequenas elevações, cordões litorâneos e terraços com solos essencialmente arenosos. A vegetação é rala nos lugares ocupados pelo homem e as áreas intactas encontram-se cobertas de mata.

Em geral esses solos pertencem à grande família dos solos hidromórficos caracterizados pelo encharcamento e pela influência no lençol freático, muito superficial, que origina uma acumulação de matéria orgânica nos horizontes superiores. Os leitos argilosos ou lamacentos são raros. São mais abundantes em materiais coluviais, que ocorrem de preferência nas regiões de contato com o escudo cristalino. Nestes casos as condições favorecem o acúmulo de matéria orgânica em verdadeiras bacias orgânicas. O maior valor de matéria orgânica foi encontrado em solo coberto por mata na altura do km 81 da rodovia Padre Manuel de Nóbrega (antiga Pedro Taques) atingindo 75,8% no horizonte superficial A<sub>0</sub>.

Como foi dito, nestas baixadas os solos predominantes são arenosos enquadrando-se no grupo dos podzóis hidromórficos, com pequenos teores de humus. Observaram-se exemplos ao longo de toda a região costeira. De vez em quando chamava a atenção a presença de bancos de material semiconsolidado formado por areias endurecidas, de cor marrom escura dando um tipo de arenito friável conhecido popularmente por "piçarras". Na região Sul as "piçarras" atingem a linha de costas tanto de praia alta como baixa. Na região Norte aparecem com maior frequência concreções ferruginosas limoníticas na parte inferior da formação e podem-se encontrar a maiores distâncias da linha da costa (superiores a 1 km) e de maior espessura (vários metros). O teor de matéria orgânica que serviu de cimento permite distinguir pela coloração "piçarras" marrom-amareladas com teores médios de matéria orgânica abaixo daqueles das "piçarras" escuras contendo de 4 - 6% de matéria orgânica. O material cal-

cinado, carboniza facilmente a 400° e a 600°C perde completamente a matéria orgânica, reduzindo-se de novo a areia.

Em resumo, ao estudar a distribuição de matéria orgânica as diferenças existentes não devem ser procuradas em sentido regional, comparando-se entre si, mas, devem ser classificadas com respeito aos distintos ambientes deposicionais, próprios de cada unidade morfológica.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao Dr. Victor Sadowski, do Instituto Oceanográfico da USP, Chefe da Base de Cananéia, pelas facilidades obtidas, assim como ao Dr. Argeo Magliocca cujos trabalhos motivaram esta pesquisa.

#### Bibliografia

- CARVER, R. 1971. Procedures in sedimentary petrology. New York, Wiley-Interscience, p. 573-596.
- KUTNER, A. S. 1963. Levantamento oceanográfico-meteorológico da Enseada do Mar Virado, Ubatuba, Estado de São Paulo. Contrções Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, série Ocean. fis., (5) : 26-40.
- MABESOONE, J. M. & COUTINHO, P. N. 1970. Litoral and shallow marine geology Northern and Northeastern Brazil. Trablhs oceanogr. Univ. Fed. PE, 12:19-94.
- MAGLIOCCA, A. & KUTNER, A. S. 1964. Conteúdo orgânico dos sedimentos de fundo de Cananéia. São Paulo. Contrções Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, serie Ocean. fis., (7) : 1-14.
- RANWELL, D. S. 1972. Ecology of salt marshes and sand dunes. London, Clapman & Hall, 258 p.
- RICHARDS, B. N. 1974. Introduction to the soil ecosystem. London, Longman, 274 p.
- WAKSMAN, S. 1933. On the distribution of organic matter in the sea bottom and the chemical nature and origin of marine humus. Soil Sci., 36(2):125-147.