



Sociedade Brasileira
de Paleontologia

**ANAIS DO
X CONGRESSO
BRASILEIRO
DE PALEONTOLOGIA**



**DE 19 A 25 DE JULHO – RIO DE JANEIRO, BRASIL
1987**

VOL. I

NOVOS PROCEDIMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ICNOFÓSSEIS DA BACIA DE TAUBATÉ. SP.

Antonio Carlos Sequeira Fernandes * Helena Polivanov * * Ismar de Souza Carvalho * * *

ABSTRACT

At some tertiary shales levels of Taubaté Basin (São Paulo State, Brazil) some sedimentary structures can be attributed as a result of organic activities or inorganic processes. With the purpose of verifying the organic origin of these structures, it was done morphological observations, physical and chemical analyses. The resulting data, showed trails variations in relation to the matrix such as the high carbonate content, the decrease of organic carbon, and the structural modifications of the clay minerals, which were considered similar to the biological activities of aquatic oligochaeta. Actually, among these annelids, the process of ingestion and metabolization of sediments conduct to the absorption of organic material and the elimination of calcium excess, resulting in a fecal mass mainly constituted by carbonates and clay minerals.

RESUMO

Em alguns níveis de folhelhos terciários da Bacia de Taubaté (estado de São Paulo, Brasil), ocorrem estruturas que podem ser atribuídas à atividade de seres vivos ou resultantes de processos inorgânicos. No sentido de se avaliar a origem dessas estruturas, foram feitas observações morfológicas e análises físicas e químicas. Os dados resultantes mostraram variações ao longo das pistas em relação à matriz, como o alto conteúdo de carbonatos, a depleção do carbono orgânico, e modificações estruturais detectadas nos argilominerais, que podem ser interpretados como análogos aos de atividades biológicas de oligoquetos aquáticos. De fato, entre esses anelídeos o processo de ingestão e metabolização de sedimentos leva a absorção do material orgânico e a eliminação do excesso de cálcio, resultando em uma massa de dejetos constituída principalmente por carbonatos e argilominerais.

* MN - UFRJ e UERJ - I G, Rio de Janeiro, Brasil.

* * UERJ - I G, Rio de Janeiro, Brasil.

* * * MN - UFRJ - D G P, Bolsista do CNPq.

INTRODUÇÃO

Formas estruturais tubulares e semitubulares são encontradas em alguns níveis dos folhelhos terciários da Bacia de Taubaté. Estas formas, comumente acarretam interpretações dúbias no que tange a sua origem orgânica (bioturbações) ou inorgânica (gretas de contração formadas sob uma lâmina d'água).

Karcz et alii (1974), através de métodos experimentais, reproduziram feições com o aspecto de icnofósseis, as quais são resultantes dos efeitos de desidratação durante a consolidação dos sedimentos. Chamaram a atenção para o fato de que a atribuição de origem orgânica a essas feições sem evidências positivas deve ser evitada, pois gretas de contração desenvolvidas sob uma lâmina d'água podem originar estruturas morfologicamente semelhantes à Monocraterion, Laevicyclus, Kulindrichnus, Bifungites e Arthraria. Cloud (1973) sintetizou a importância dos processos físicos na produção de estruturas sedimentares inorgânicas, que podem ser confundidas com fósseis e icnofósseis. Em algumas situações, "dragmarks" podem fornecer feições semelhantes às pistas de invertebrados.

Em muitos casos, a interação entre estruturas inorgânicas e orgânicas mostram-se evidentes. Kues & Silmers (1977) demonstraram que a posição e orientação dos bivalves Pseudocyrena controlam o padrão de fraturamento em sedimentos argilosos. Estes bivalves atuam como pontos de "fraqueza" dentro da argila, e sob o "stress" induzido pela rápida dissecação, ocorrem fragmentações preferenciais em torno destes. A falta de homogeneidade no sedimento conduz a um padrão de pronunciada bifurcação das gretas primárias, com gretas secundárias curvando-se a partir das primeiras em ângulo reto. Fato semelhante foi registrado por Baldwin (1974) no controle do padrão das gretas de contração por pistas de gastrópodes. Considerou que em alguns casos há uma relação genética íntima entre as estruturas biogênicas e as gretas de dissecação, não ocorrendo então, os mosaicos de polígonos regulares onde a superfície do sedimento é bioturbada por numerosas pistas. Durante os estágios de dissecação, as pistas de gastrópodes correspondem às linhas de fraqueza preferenciais.

As estruturas encontradas na Bacia de Taubaté (Est. I, figs. 1-3) parecem não se enquadrarem neste contexto. Através da análise puramente morfológica e de distribuição espacial, observase que em seção transversal estas apresentam uma forma elipsóide (cujo eixo maior atinge até 5 mm e o menor 2 mm) e, que uma pista não ocorre de forma exclusiva numa única lâmina de sedimento. Nota-se também a mudança de nível através da laminação, percorrendo trechos contínuos de até 50 mm num mesmo plano. A forma semitubular ou tubular é sempre mantida. Não parece viável que estas estruturas sejam gretas de contração com um aspecto incomum, resultantes de uma indução por pistas de invertebrados. Representariam bioturbações enquadradas na classificação de Seilacher (1953) como Pascichnia.

O objetivo do presente artigo é sugerir, através de aná

lises físicas e químicas das estruturas (pistas) e matriz associadas, o seu caráter biogenético, provavelmente resultante das atividades de anelídeos da Classe Oligochaeta.

Os exemplares aqui ilustrados encontram-se depositados na coleção de invertebrados fósseis do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob os números 5.599-I a 5.601-I.

LOCALIZAÇÃO

A Bacia de Taubaté "estende-se desde as proximidades de Cachoeira Paulista até Jacareí, num comprimento de cerca de 150 Km no sentido NE-SW por uma largura de 10 a 20 Km, atingindo 25 Km entre Tremembé e Pindamonhangaba" (Brito, 1979: 123), em São Paulo, sendo cortada longitudinalmente pelo rio Paraíba. Compreende um pacote de sedimentos clásticos cenozóicos de origem continental, estratigraficamente dividido em duas unidades: uma inferior, Tremembé, constituída por folhelhos pirobetuminosos intercalados por areias finas e camadas de argilas esmectíticas, representando a facies predominantemente lacustre, e outra superior, Caçapava, com clásticos de granulometria variada, correspondendo a uma facies fluvial anastomosada (Melo *et alii*, 1985).

As amostras de folhelhos analisadas pertencentes à Formação Tremembé, são provenientes da parte basal do afloramento localizado na Fazenda Santa Fé, no município de Tremembé, e foram coletadas no primeiro nível de folhelhos situado acima da camada de argilas esmectíticas (Est. II, figs. 1 e 2).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os tratamentos físicos e químicos utilizados no sedimento conspícuo à matriz e ao interior das pistas, são descritos sucintamente. Evitou-se, após cuidadosa raspagem, a mistura dos dois materiais.

I - DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X.

Para proporcionar uma melhor dispersão das amostras, estas foram inicialmente submetidas ao tratamento de remoção dos carbonatos, utilizando-se uma solução de acetato de sódio pH 5,0 (Jackson, 1969) e eliminação da matéria orgânica pelo ataque em água oxigenada 30% (H₂O₂ 30%) à temperatura máxima de 50°C por diversas horas (Jackson, *op. cit.*). Para acelerar o processo da remoção da matéria orgânica e para auxiliar a dispersão das amostras, utilizou-se ultrassom de banheira Thorton-Gerador GA 240 por um tempo variável de 1 a 2 minutos. Em seguida foram preparadas lâminas orientadas para a difração de raios-X, utilizando-se o método de gotejamento, permanecendo o material em repouso por aproximadamente 24 horas.

O estudo mineralógico no material assim preparado foi conduzido de forma a permitir uma comparação com o material sem tratamento, no qual utilizou-se uma suspensão concentrada de material-água dispersa em vibrador (Vortex) por alguns minutos. Para auxiliar a identificação dos argilominerais, todas as lâminas foram glicoladas (o material é submetido a uma atmosfera de etileno-glicol por 24 horas) e, posteriormente as amostras foram aquecidas à 500°C por 4 horas em um forno mufla.

Utilizou-se um difratômetro com as seguintes condições: aparelho Phillips do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); tipo de detector: Geiger, 20mA, 40 Kv; velocidade do goniômetro: 1°/minuto; velocidade do papel: 600 mm/hora; tubo: Cu com monocromador. Para efeito comparativo realizou-se novas análises difratométricas com as seguintes condições: aparelho Phillips da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ); tipo de detector: contador proporcional, 15 mA, 40 Kv; velocidade do goniômetro: 2°/minuto; velocidade do papel: 1.200 mm/hora; tubo: Cu com monocromador.

A seleção dos difratogramas apresentados neste trabalho foi em função da observação do realce de determinados picos (bandas) em amostras submetidas aos tratamentos supramencionados.

Os argilominerais encontrados nas pistas são: camada mista C-Cg com clorita (nomenclatura *in* Thorez, 1975 e 1976), traços de illita e prováveis traços de caulinita (Difratograma 1); e na matriz associada: camada mista I-M (illita-montmorilonita), camada mista C-Cg com clorita, caulinita e illita (Difratograma 2).

Observa-se pelos difratogramas que as bandas dos argilominerais decrescem sensivelmente da amostra matriz para as pistas, o que pode ser confirmado pelas percentagens inseridas no Quadro I.

II - DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO.

Inicialmente a determinação foi feita pela oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio ácido e fervura branda (Método de Tiurim, *in* Vettori, 1969). Os resultados encontrados não foram totalmente satisfatórios, provavelmente devido à pouca massa de material disponível e teores elevados de carbono orgânico.

Assim sendo, as análises foram refeitas pelo método da combustão e absorção do CO₂, utilizando-se o equipamento WR-12 da LECO. Tomou-se o cuidado de inicialmente se remover os carbonatos, através da acidificação da amostra com ácido clorídrico 6 N à quente, durante aproximadamente 1 hora. Após este tratamento, as amostras foram lavadas exaustivamente com água quente para eliminar todos os cloretos resultantes. Deu-se por encerrada esta etapa quando o líquido sobrenadante não reagiu com o nitrato de prata. Em seguida as amostras foram secas em estufa à 80°C e pesadas, sendo levadas ao WR-12. Dessa forma determinou-se a percentagem de carbono orgânico.

A percentagem do resíduo insolúvel, isto é, material

não detectado pelo WR-12, pode ser calculada pela expressão:

$$\%R.I. = \frac{\text{peso do insolúvel}}{\text{peso da amostra}} \times 100$$

e representa aproximadamente a parte mineral da amostra, com exceção dos carbonatos e cloretos. A percentagem aproximada dos carbonatos pode então ser determinada pela expressão:

$$\% \text{ carbonatos} = 100\% - (\%R.I. + \%C.O.)$$

III - DETERMINAÇÃO DOS SAIS SOLÚVEIS.

A presença de sais solúveis nas amostras foi investigada lavando-se as mesmas com água quente e verificada a presença de cloretos com nitrato de prata 1%, e os sulfatos com cloreto de bário 1%. Em ambos os casos, os resultados indicaram a inexistência de cloretos e sulfatos.

IV - DETERMINAÇÃO DOS CARBONATOS.

Utilizou-se ácido clorídrico 1:1 à frio sobre amostras com aproximadamente 0,20 gramas do material proveniente das pistas e matriz. Não ocorreu reação visível nos folhelhos que constituem a matriz. O material das pistas apresentou uma boa efervescência, indicando certamente a presença de carbonatos.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

I - OS ARGILOMINERAIS DAS PISTAS COMO INDICADORES DA DIGESTÃO DOS SEDIMENTOS.

Através da análise dos argilominerais que constituem a matriz e pistas, observa-se que há uma perfeita identidade mineralógica. Com exceção da camada mista illita-montmorilonita (I-M), os restantes argilominerais (camada mista C-Cg com clorita, çaulinita e illita) ocorrem tanto nos icnofósseis como na matriz associada.

Os argilominerais encontrados nas pistas podem corresponder à "reliíquias" não digeridas quando da ingestão dos sedimentos pela infauna, ou modificações causadas pela ingestão dos mesmos. A existência da camada mista illita-montmorilonita apenas na matriz, parece ser uma evidência desta última hipótese. Os cátions trocáveis (Al^{+++} , H^+ , K^+ , Mg^{++} , Na^+ , Ca^{++} , etc) e as moléculas d'água interlamelares, tornam a estrutura do argilomineral relativamente instável em função da fraca ligação entre as camadas. Durante o processo de ingestão e digestão dos sedimentos, os cátions e a água interlamelar podem ser absorvidos pelo organismo, explicando assim sua inexistência nas pistas.

O Quadro II apresenta de forma resumida os diversos processos e possibilidades de transformação dos argilominerais da ma-

triz para os icnofósseis.

II - RELAÇÃO SUBSTRATO/INFAUNA.

A existência de maior ou menor quantidade de nutrientes em um substrato, condiciona o desenvolvimento e a abundância dos organismos da infauna, havendo então, uma relação direta com o grau de bioturbação apresentado pelo sedimento.

Nas pistas em análise, observa-se que há um controle entre o número e o tamanho destas. No estudo de diversas áreas com 20 cm², observou-se a tendência de diminuição do número de pistas em função do aumento do seu comprimento (Quadro III). Existe desta forma uma relação entre a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de sustentação da infauna. Aumentando o percurso de um indivíduo num plano, ocorre a diminuição de nutrientes e, conseqüentemente, isto impossibilita a manutenção de novos indivíduos na mesma superfície, forçando-os a uma mudança de nível em busca de novos suprimentos.

Não ocorre o fenômeno da fobotaxia, ou seja, há a sobreposição de algumas pistas, não tendo um organismo evitado a passagem por um local já percorrido por outro.

Deve-se ressaltar que o maior ou menor número de pistas não evidencia o número de indivíduos. Um mesmo organismo, percorrendo de forma aleatória as diversas lâminas de sedimentos durante fases de deposição lenta, dará o mesmo aspecto de bioturbação que a existência de grande número de indivíduos.

Na quantificação da matéria orgânica observa-se uma diminuição de 5,28% entre as pistas e a matriz envolvente. Dois fatores podem condicionar esta diferença na proporção de matéria orgânica, ou seja:

a) Absorção da matéria orgânica - Em função da necessidade de adquirir nutrientes para a manutenção de suas atividades biológicas, a infauna ingere os sedimentos argilosos retirando parte da matéria orgânica, a qual é metabolizada. O restante é expelido juntamente com os argilominerais. Fato análogo ocorre com uma grande parte de anelídeos aquáticos ou terrestres que possuem um hábito alimentar saprófago, utilizando-se em especial de restos vegetais em decomposição. Esses organismos podem também utilizar a matéria orgânica contida nos sedimentos, metabolizando detritos finos, algas e outros microorganismos de água doce.

b) Oxidação - Através da movimentação dos organismos bentônicos e, conseqüentemente, um maior revolvimento do material conduz a uma exposição onde os processos de oxidação são os mais atuantes. A matriz envolvente, não bioturbada, manteria assim uma maior percentagem de matéria orgânica.

Em ambos os casos, a infauna ao ingerir os sedimentos, ou ao revolve-los, conduz à diminuição da quantidade de matéria orgânica.

III - CONDIÇÕES QUÍMICAS DO AMBIENTE DEPOSICIONAL.

Em função da existência de uma percentagem considerável de matéria orgânica com restos de vegetais e caracídeos no material analisado (Est. III, figs. 1 e 2), e a ausência de sulfatos e cloretos, pode-se inferir que as condições reinantes eram anóxicas.

A quantificação dos carbonatos, através do resíduo insólvel do tratamento para a determinação da percentagem de carbono orgânico, mostrou a maior concentração destes na porção compreendida pelas pistas (84,91%), enquanto que a matriz apresenta apenas 12,63% de carbonatos. Essa percentagem mais elevada pode estar relacionada ao metabolismo do organismo que o ingeriu. É possível que as pistas analisadas tenham sido formadas por anelídeos de água doce, deduzindo-se da observação de Barnes (1984) sobre a importância das glândulas calcíferas na regulação iônica desses organismos. Sendo assim, pode-se admitir que, caso o nível de CO_2 no sangue e líquido celomático desses organismos se torne excessivo (com a consequente redução do pH), e com a necessidade do controle iônico dos espécimens carbonatos (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{--}), ocorre a união de íons nas glândulas calcíferas sendo excretado sob a forma de carbonatos ácidos, que devido a sua instabilidade transformam-se em carbonatos. Desta forma pode-se explicar a maior concentração de carbonatos nas pistas.

CONCLUSÃO

Procurou-se evidenciar neste trabalho que as pistas analisadas seriam resultantes do comportamento metabólico dos anelídeos (Classe Oligochaeta) com suas necessidades nutricionais e seus produtos excrecionais. Análises químicas e difratométricas por raios-X efetuadas no material estudado, mostraram algumas variações que podem estar relacionadas a atividades metabólicas. Indubitavelmente, as observações morfológicas, o alto conteúdo de carbonatos e a depleção do carbono orgânico, bem como modificações estruturais detectadas nos argilominerais ao longo das pistas em relação à matriz, sugerem um condicionamento biogenético em detrimento dos processos inorgânicos.

AGRADECIMENTOS

Professores Antonio Carlos Jacome de Castro e Franklin dos Santos Antunes (Instituto de Geociências/UFRJ) e Antonio Carlos Magalhães Macedo (Museu Nacional/UFRJ), pela leitura crítica e valiosas sugestões. Geólogo Luiz Antonio Freitas Trindade (CENPES/PETROBRAS), pela determinação do carbono orgânico.

BIBLIOGRAFIA

- BALDWIN, C. T. - 1974 - The control of mud crack patterns by small gastropods trails. Journal of Sedimentary Petrology, 44 (3): 695-697.

- BARNES, R. D. - 1984 - Zoologia dos Invertebrados. 4ª ed. São Paulo, Roca, 1.179 p.
- BRITO, I. M. - 1979 - Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil. Rio de Janeiro, Interciência, 179 p.
- CLOUD, P. - 1973 - Pseudofossils: a plea for caution. Geology, 1: 123-127.
- JACKSON, M. L. - 1969 - Soil Chemical Analysis - Advanced Course. 2ª ed. Madison, publicado pelo autor, Department of Soil Science, University of Wisconsin, 895 p.
- KARCZ, I.; ENOS, P.; LANGILLE, G. - 1974 - Structures generated in fluid stressing of freshly deposited clays resemble ichnofossils. Geology, 2: 289-290.
- KUES, B. S.; SIEMERS, C. T. - 1977 - Control of mudcrack patterns by the infaunal bivalve Pseudocyrena. Journal of Sedimentary Petrology, 47: 844-848.
- MELO, M. S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M.; COIMBRA, A. M. - 1985 - Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 15 (3): 193-201.
- SEILACHER, A. - 1953 - Studien zur Palichnologie. I. Über die Methoden der Palichnologie. Neues Jahrb Geol. Paläont., Abh., 98: 87-124.
- THOREZ, J. - 1975 - Phyllosilicates and Clay Minerals. Dison, G. Lelotte, 578 p.
- THOREZ, J. - 1976 - Practical identification of clay minerals. Dison, G. Lelotte, 90 p.
- VETTORI, L. - 1969 - Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Boletim nº 7, 21 p.

DESCRIÇÃO DAS ESTAMPAS

ESTAMPA I.

Figura 1 - Aspecto geral de uma amostra de folhelho contendo as pistas aqui atribuídas à atividades de anelídeos da Classe Oligochaeta, onde observa-se o caráter aleatório de sua distribuição. Exemplar MN 5.599-I.

Figuras 2 e 3 - Seções transversais a estratificação, onde se observa a forma elipsóide das pistas em corte perpendicular em relação a seus comprimentos. Exemplar MN 5.600-I, ilustrado em tamanho natural.

ESTAMPA II.

Figura 1 - Visão geral dos folhelhos da Formação Tremembé localizados em afloramento da Fazenda Santa Fé, município de Tremembé (SP). A seta indica o nível de ocorrência das pistas.

Figura 2 - Detalhe do nível de folhelhos indicado pela seta da figura anterior.

ESTAMPA III

Figura 1 - Detalhe de fragmento carbonizado associado as pistas, no exemplar ilustrado na estampa I, figura 1. Ampliado 4,5 X.

Figura 2 - Fragmento de peixe caracádeo associado no mesmo nível das pistas. Exemplar MN 5.601-I, ampliado 4 X.

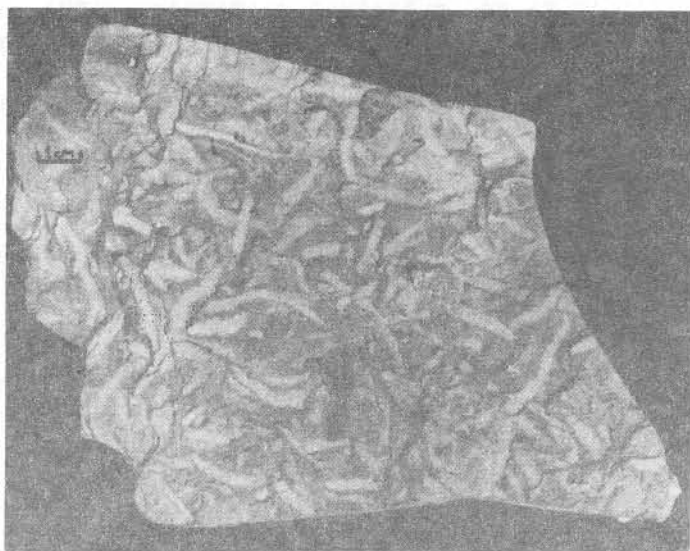
ESTAMPA I

Figura 1

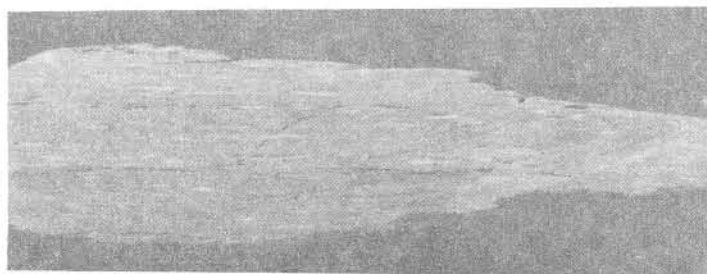


Figura 2

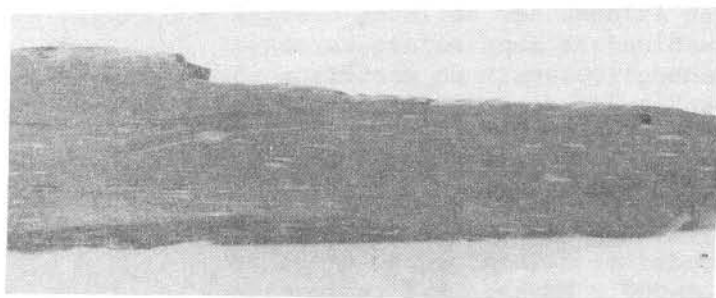


Figura 3

ESTAMPA II

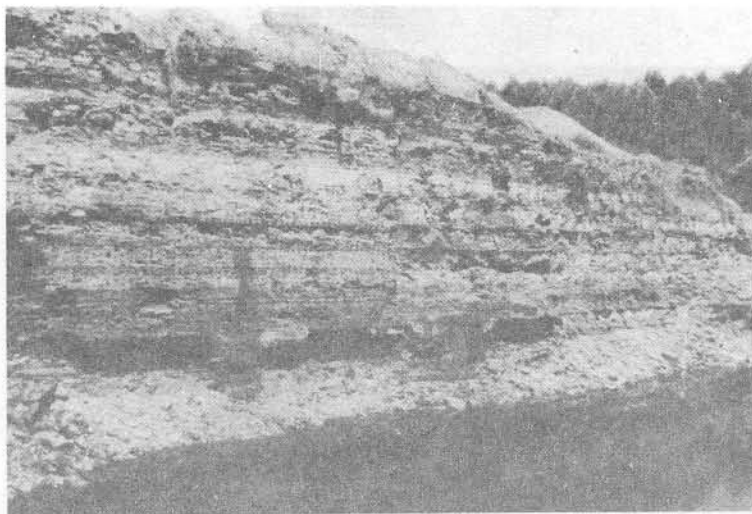


Figura 1

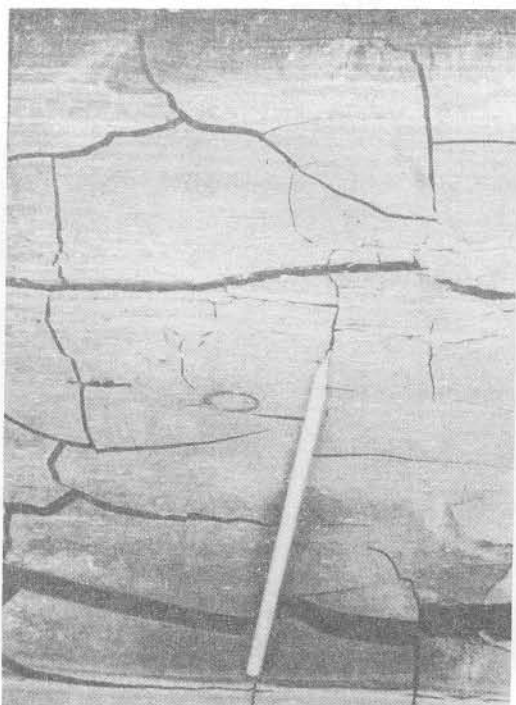


Figura 2

ESTAMPA III

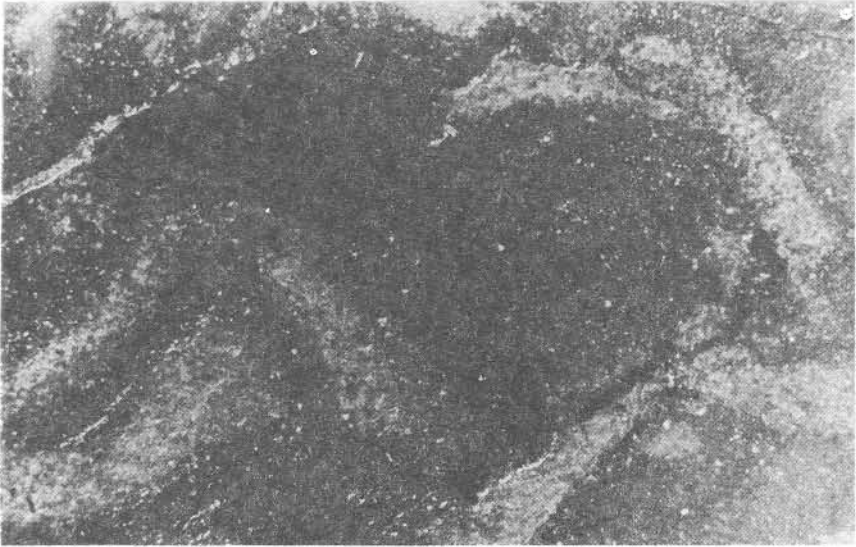
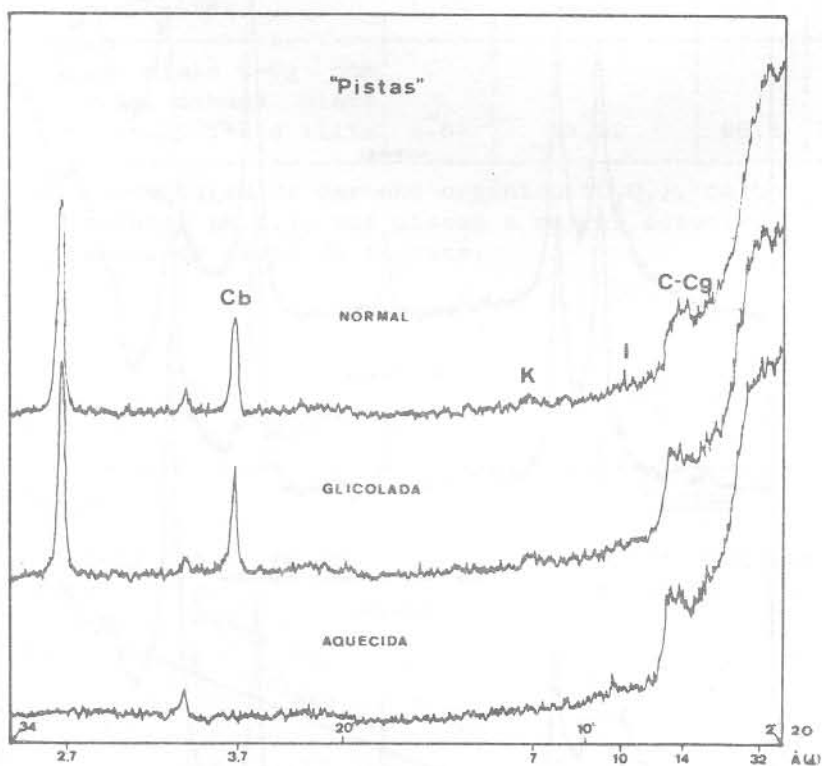


Figura 1



Figura 2

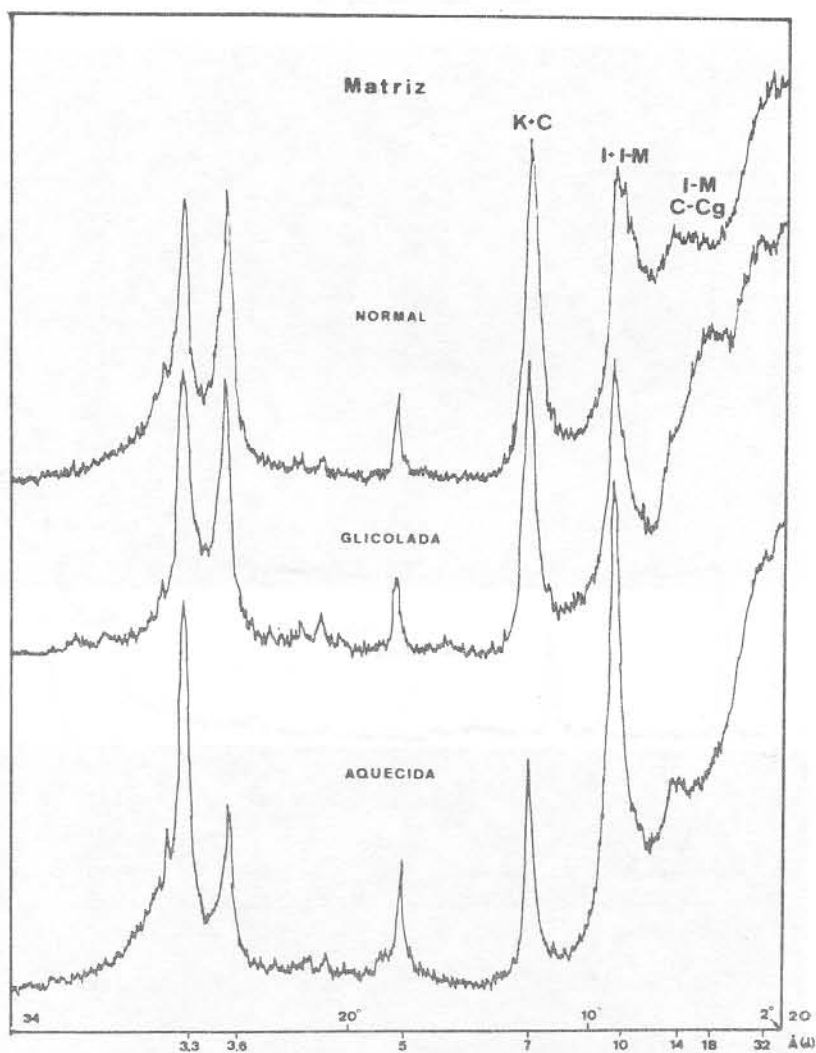
DIFRATOGRAMA 1

C-Cg - Camada mista de clorita expansiva com clorita.

K - Caulinita (traços).

I - Ilita (traços).

Cb - Carbonatos.

DIFRATOGRAMA 2

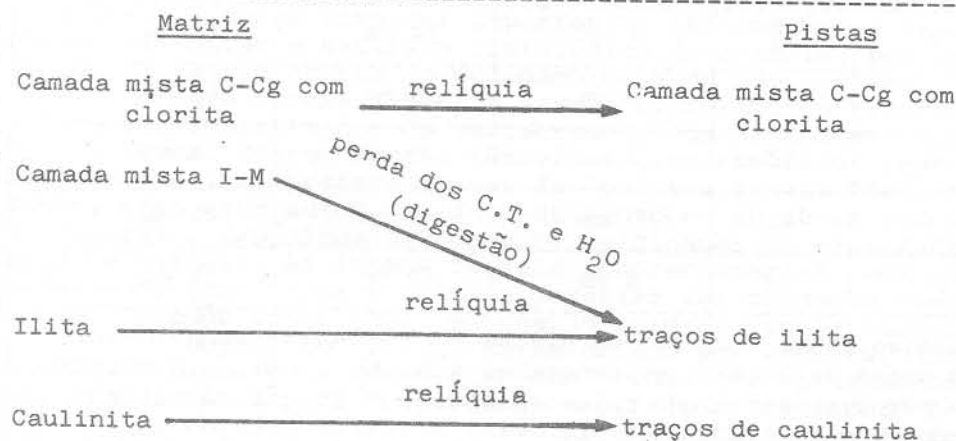
- I-M - Camada mista ilita-montmorilonita.
 C-Cg - Camada mista de clorita expansiva com clorita.
 C - Clorita.
 K - Caulinita.
 I - Ilita.

QUADRO I

Amostra	Mineralogia (Raios-X)	% C.O.	% Carbonatos	% R.I.	Σ
Pistas	Camada mista C-Cg com clorita, traços de ilita e de caulinita, além de carbonatos.....	1,59	84,91	13,5	100%
Matriz	Camada mista C-Cg com clorita, camada mista I-M, caulinita e ilita	6,87	12,63	80,5	100%

Mineralogia, percentagem de carbono orgânico (C.O.), carbonatos e de resíduo insolúvel (R.I.), das pistas e matriz associada dos folhelhos terciários da Bacia de Taubaté.

QUADRO II



Possibilidades de transformação dos argilominerais da matriz para as pistas, através da ingestão ou não dos sedimentos pela infauna.

QUADRO III

Área (20 cm ²)	Nº de pistas	Comprimento mínimo	Comprimento máximo	Comprimento médio
1	28	2 mm	35 mm	9 mm
2	22	2 mm	23 mm	7 mm
3	21	4 mm	37 mm	11 mm
4	20	7 mm	28 mm	13 mm
5	18	6 mm	27 mm	15 mm
6	18	3 mm	24 mm	14 mm
7	15	3 mm	35 mm	19 mm
8	14	4 mm	40 mm	18 mm
9	13	3 mm	47 mm	20 mm
10	13	8 mm	42 mm	16 mm

Relação entre o número de pistas e respectivos comprimentos em áreas de 20 cm², evidenciando a tendência de diminuição do percurso num plano pelo organismo, em função da maior ou menor abundância de pistas.