

O PAPEL DA DERIVA LITORÂNEA DE SEDIMENTOS ARENOSOS NA CONSTRUÇÃO DAS PLANÍCIES COSTEIRAS ASSOCIADAS ÀS DESEMBOCADURAS DOS RIOS SÃO FRANCISCO (SE-AL), JEQUITINHONHA (BA), DOCE (ES) E PARAÍBA DO SUL (RJ)

JOSÉ MARIA L. DOMINGUEZ*, ABÍLIO CARLOS S. P. BITTENCOURT* e LOUIS MARTIN**

ABSTRACT Wave-induced longshore drift played an important role in the construction of the Quaternary coastal plains associated with the São Francisco, the Jequitinhonha, the Doce and the Paraíba do Sul rivers. Geomorphic indicators shown on these coastal plains, e.g. spits, hooked spits, and lunate sandkeys, were used to determine the patterns of the littoral sand drift in these regions. It was possible to demonstrate, through the knowledge of these patterns, that the incorporation of littoral drifted sand sediments to these plains occurs mainly through a mechanism named herein as the groin-effect. According to this mechanism the river acts as a hydraulic groin, retaining, on its updrift side, the littoral drifted sand sediments. As a consequence the updrift side progrades more rapidly than the downdrift one, which is nourished mainly by the sediments carried by the rivers. An asymmetry in facies distribution between downdrift and updrift sides results. The updrift side progrades through the addition of successive beach ridges, forming a continuous sand sheet, whereas at the downdrift side the progradation is promoted by the incorporation of sandy islands backed by mangrove swamps. The littoral sand drift can also promote an intermittent migration of the river mouth in downdrift direction.

INTRODUÇÃO As zonas de progradação associadas às desembocaduras dos grandes rios que deságuam na costa leste brasileira têm sido objeto de uma série de estudos nos últimos anos. Assim, Araújo e Beurlen (1975) e Bandeira Jr. *et al.* (1975) estudaram, respectivamente, as planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios Paraíba do Sul (RJ) e Doce (ES) (Fig. 1), caracterizando-as do ponto de vista sedimentológico. A planície costeira do Rio Paraíba do Sul foi ainda estudada por Dias e Gorini (1980) e Dias (1981), que identificaram suas principais províncias morfológico-sedimentares. Bittencourt *et al.* (1982), Dominguez *et al.* (1982c) e Suguio *et al.* (1981), levando em conta as oscilações do nível relativo do mar durante o Quaternário na costa leste do Brasil, mapearam e dataram os principais depósitos sedimentares correlativos a esses eventos nas planícies costeiras associadas, respectivamente aos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA) e Doce (ES) (Fig. 1). Esses autores estabeleceram as principais linhas da evolução quaternária dessas zonas de progradação, sintetizadas em Dominguez *et al.* (1981), concluindo que o principal fator a controlar a sedimentação nessas regiões foram as variações do nível relativo do mar. Desse modo, por ocasião dos eventos regressivos, grandes quantidades de areia foram expostas na plataforma continental, constituindo-se, assim, na principal fonte de sedimentos a alimentar a progradação. Os eventos transgressivos, por outro lado, interromperam a progradação, erodindo e afogando as planícies costeiras, e possibilitaram o aparecimento de sistemas laguna-ilha barreira. No caso dos rios Paraíba do Sul e Doce, os mesmos passaram então a construir deltas nessas lagunas. Bittencourt *et al.* (1982) e Dominguez *et al.* (1982a e c) também aventaram a possibilidade de a deriva litorânea de sedimentos ter exercido um impor-

tante papel na história evolutiva daquelas feições, embora não se tenham detido a analisar o assunto.

Tendo em vista o fato de que as zonas de progradação acima mencionadas se desenvolveram em ambiente dominado por ondas, tendo estado portanto sujeitas à ação de correntes litorâneas induzidas por este agente, acredita-se ser oportuno analisar o papel desempenhado pela deriva litorânea de sedimentos na construção dessas feições. Serão analisadas neste trabalho as planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul (Fig. 1), escolhidas em função de já existirem aí dados suficientes para se proceder a uma análise desta natureza.



Figura 1 — Desembocaduras associadas a zonas de progradação na costa leste do Brasil

* Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica e Instituto de Geociências da UFBA, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP 40000, Salvador, BA

** Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), França, e Observatório Nacional, Rua General Bruce, 586, CEP 20000, Rio de Janeiro, RJ

INDICADORES GEOMÓRFICOS DO SENTIDO PREFERENCIAL DO TRÂNSITO LITORÂNEO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NAS PLANÍCIES COSTEIRAS ESTUDADAS

Quando as ondas se aproximam da linha de costa segundo um ângulo agudo, uma corrente fluindo longitudinalmente à praia se estabelece (Fig. 2A). A velocidade desta corrente cai rapidamente a zero, externamente à zona de re-entação, estando sua atuação restrita à zona de surfe (Komar, 1976). Esta corrente, associada ao movimento em ziguezague das partículas sedimentares provocado pela atividade de espraimento das ondas de encontro à face da praia (*swash transport*) (Fig. 2B), constitui o principal agente responsável pela deriva litorânea de sedimentos ao longo da costa.

A quantificação da movimentação longitudinal de sedimentos induzida pela ação das ondas é operacionalmente dificultada pelas próprias características de alta energia do ambiente praial. Associe-se a isto também a carência generalizada de dados relativos ao regime de ondas que afeta a costa leste brasileira. Por essas razões, optou-se, neste trabalho, por um método indireto de estudo, que consistiu na observação de feições geomórficas presentes na planície costeira que possibilitassem estabelecer, ainda que de maneira esquemática, o padrão do trânsito litorâneo de sedimentos arenosos nas regiões aqui consideradas. Proceder-se-á, a seguir, uma descrição dos principais indicadores geomórficos encontrados nas planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul.

Esporões (*hooked spits*, AGI, 1972) Foram observadas em processo de formação na linha de costa atual, ou como testemunhos preservados no interior das planícies costeiras, flechas arenosas, via de regra associadas a desemboca-

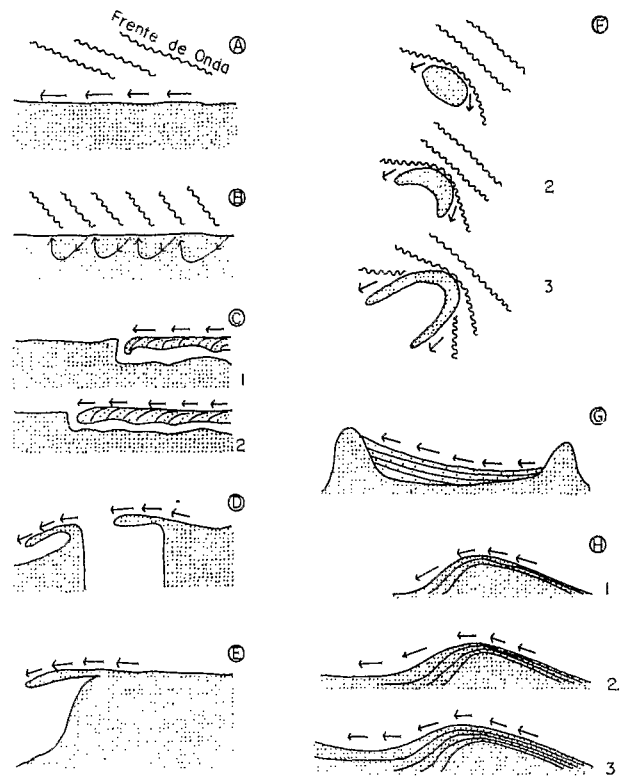


Figura 2 — Agentes responsáveis pela deriva litorânea de sedimentos arenosos ao longo da costa: A — corrente longitudinal; B — swash transport. Indicadores geomórficos do sentido preferencial do trânsito litorâneo de sedimentos arenosos; C — esporão; D e E — pontais arenosos; F — ilha lunada arenosa; G — configuração da linha de costa; e H — acumulação costeira assimétrica

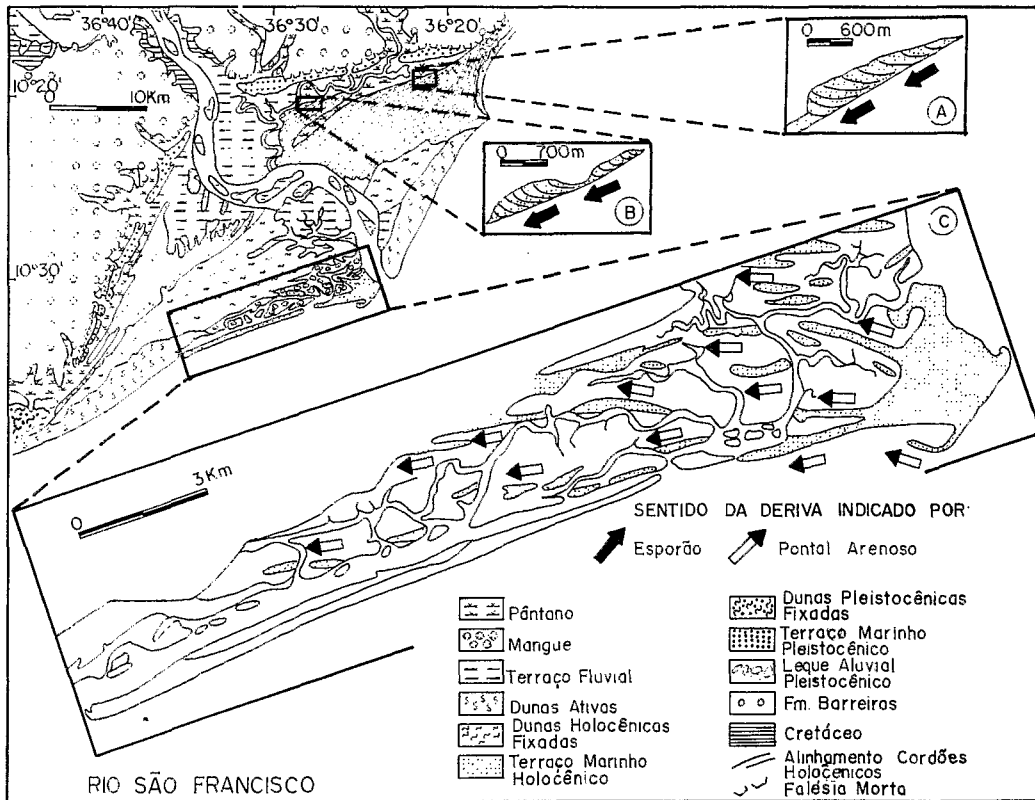


Figura 3 — Mapa geológico da planície costeira associada à desembocadura do Rio São Francisco (segundo Bittencourt et al., 1982) e indicadores geomórficos do sentido preferencial da deriva litorânea de sedimentos arenosos

duras de canais de maré. Essas flechas apresentam ao longo de seus corpos feições geomórficas do tipo esporão, sugerindo que sua origem se deve a um processo de acréscimo lateral de sucessivos esporões acompanhado pela migração, no mesmo sentido, da entrada do canal de maré associado. Tal acréscimo é alimentado pela deriva litorânea de sedimentos, conforme mostra a Fig. 2C 1 e 2, cujos sentidos, no que se refere às planícies costeiras associadas aos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul, aparecem indicados nas Figs. 3A e B, 4A e B, 5A e 6B e C.

Pontais arenosos (spits, AGI, 1972) Trata-se de línguas de areia que se desenvolvem a partir de um enraizamento num ponto de amarração situado na linha de costa. De forma diferente das flechas arenosas acima mencionadas, esses pontais não apresentam feições do tipo esporão em seu corpo nem tampouco estão associados a entradas de canais de maré. Em função do ponto de amarração, foram identificados dois tipos de pontais arenosos nas planícies costeiras estudadas:

a) Pontais arenosos que crescem enraizados em uma ou ambas as margens da desembocadura fluvial (Fig. 2D), como é o caso das desembocaduras dos rios São Francisco (margem direita, Fig. 3C), Jequitinhonha (margem direita, Fig. 4B), Doce (margem esquerda, Fig. 5B) e Paraíba do Sul (margem direita, Fig. 6A). No caso do Rio São Francisco,

são ainda encontrados no interior da planície costeira testemunhos de antigos pontais arenosos imobilizados pela progradação (Fig. 3C).

b) Pontais arenosos que crescem enraizados em saliências da linha de costa (*salient traps*, Davies, 1972) (Fig. 2E). Este tipo não é mais ativo na linha de costa atual das regiões pesquisadas, contudo foram encontrados alguns testemunhos antigos no interior da planície costeira do Rio Paraíba do Sul. Trata-se de diversos pontais arenosos que cresceram ancorados no Cabo de São Tomé e que durante seu desenvolvimento deram origem às lagoas Salgada, das Ostras, das Flechas e Mololô (Fig. 6B).

O desenvolvimento desses dois tipos de pontais arenosos é alimentado pela deriva litorânea de sedimentos, e seu sentido de crescimento constitui portanto um bom indicador do sentido da deriva (Komar, 1976).

Ilhas lunadas arenosas (lunate sandkeys, AGI, 1972) Estas ilhas, de forma em crescente, parecem estar relacionadas ao retrabalhamento pelas ondas de barras de desembocadura (Fig. 2F 1, 2 e 3). A refração das ondas ao redor do obstáculo, representado por essas barras, faz com que as mesmas adquiram extremidades recurvadas. Essas extremidades, por ação da deriva litorânea, tendem a aumentar em comprimento ao mesmo tempo que apontam no sentido preferencial desta deriva. Atualmente, as ilhas lunadas

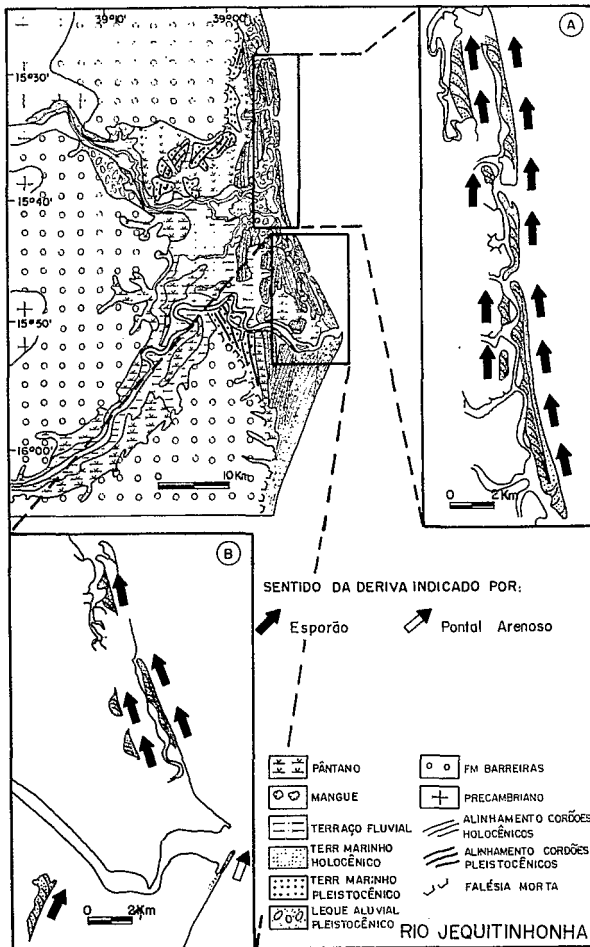


Figura 4 — Mapa geológico da planície costeira associada à desembocadura do Rio Jequitinhonha (segundo Dominguez et al., 1982c) e indicadores geomórficos do sentido preferencial da deriva litorânea de sedimentos arenosos

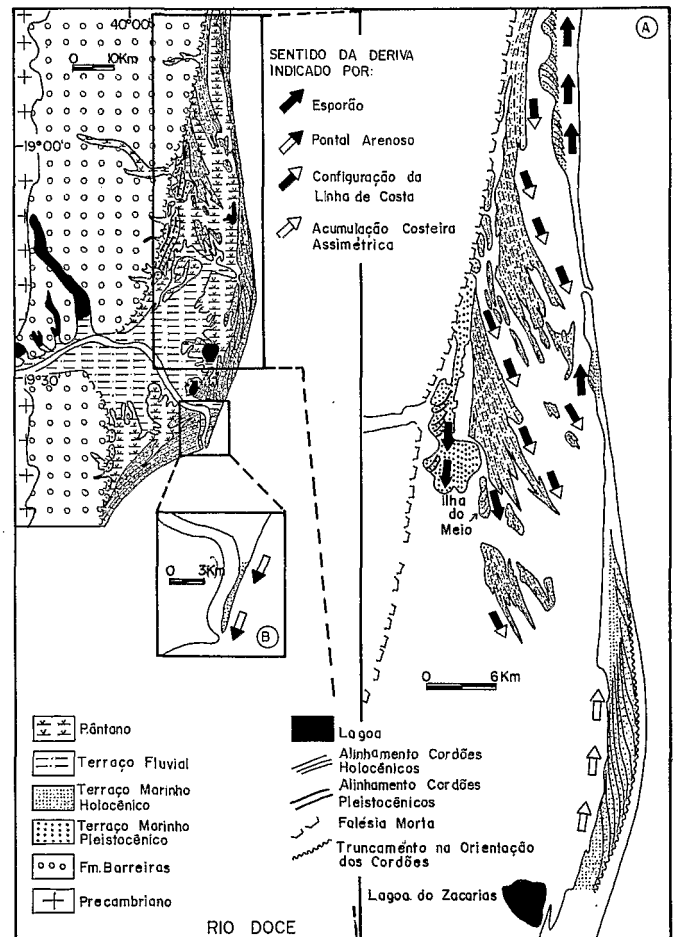


Figura 5 — Mapa geológico da planície costeira associada à desembocadura do Rio Doce (segundo Suguio et al., 1981) e indicadores geomórficos do sentido preferencial da deriva litorânea de sedimentos arenosos

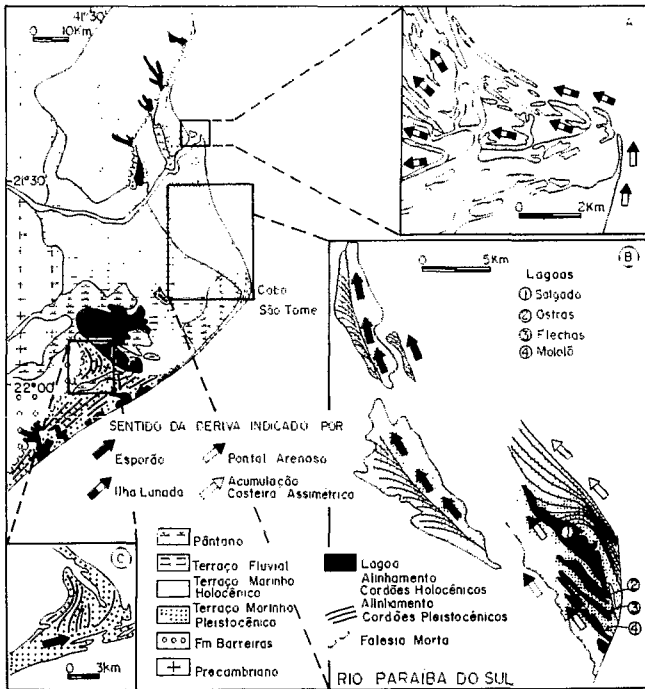


Figura 6 — Mapa geológico da planície costeira associada à desembocadura do Rio Paraíba do Sul (modificado de Dias, 1981) e indicadores geomórficos do sentido preferencial da deriva litorânea de sedimentos arenosos

arenosas estão associadas apenas à desembocadura do Rio Paraíba do Sul (Fig. 6A). Testemunhos mais antigos, ainda muito bem preservados, foram também identificados no interior da planície costeira associada a este rio (Fig. 6A).

Configuração da linha de costa Tanner (1958) introduziu o conceito de praia em equilíbrio (*equilibrium beach*), segundo o qual as configurações em plantas e em perfil de uma praia estão de tal maneira ajustadas ao regime de ondas que predomina em uma determinada região, que as mesmas, ao alcançarem a linha de costa, fornecem a energia precisamente requerida para transportar a carga de sedimentos de que é suprida a praia. Resulta daí que a configuração da linha de costa é controlada principalmente pela curvatura e orientação das cristas de ondas refratadas. Este fato tem sido bem demonstrado principalmente pelos trabalhos de Komar (1976), que utilizou simulação por computadores para prever a configuração da linha de costa em variadas situações de energia e direção de aproximação das ondas. Este fenômeno é bem ilustrado para trechos costeiros contidos entre dois promontórios (Fig. 2G), quando a linha de costa se orienta de tal maneira que o setor situado a sotamar (*down-drift*) prograda mais rapidamente, às expensas dos sedimentos carreados de barlamar (*updrift*) pela deriva litorânea. Desse modo, em costas expostas à ação da deriva litorânea, a observação da configuração da linha de costa, bem como da orientação dos feixes de cordões litorâneos que constituem antigos testemunhos dessas linhas, pode possibilitar o estabelecimento do sentido preferencial do trânsito litorâneo de sedimentos. Esta análise pode ser, entretanto, dificultada pela presença de um curso fluvial que induza uma conformação em cuspide para a linha de costa, fazendo com que a largura da planície costeira aumente em direção à desembocadura fluvial, sem que este fato indique necessariamente

um sentido preferencial para a deriva litorânea. No presente trabalho, esta análise foi feita apenas em relação à planície costeira do Rio Doce, tendo em vista ser possível aí identificar trechos de costa cuja geometria não parece estar diretamente relacionada ao curso de água principal. É o caso, por exemplo, da primeira geração de cordões holocênicos (Fig. 5A) que foi construída em um período no qual os aportes fluviais, segundo Suguio *et al.* (1981), ficaram retidos dentro de uma laguna. De outro lado, a linha de costa nas vizinhanças da Lagoa do Zacarias (Fig. 5A) apresenta uma ligeira intumescência cuja disposição espacial dos cordões litorâneos contidos em seu interior sugere tratar-se de uma forma de acumulação costeira de natureza assimétrica (Zenkovich, 1967), construída em condições de fluxo unilateral de sedimentos, segundo mecanismo ilustrado na Fig. 2H 1, 2 e 3. Esta feição pode, portanto, também ser utilizada como indicador de um sentido preferencial para a deriva litorânea na região estudada.

Na planície costeira do Rio Paraíba do Sul, o arranjo espacial dos cordões litorâneos externamente à Lagoa Salgada (Fig. 6B) indica que os mesmos, durante sua construção, estavam igualmente associados a uma forma de acumulação de natureza assimétrica.

PADRÃO DO TRÂNSITO LITORÂNEO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NAS PLANÍCIES COSTEIRAS ESTUDADAS

A partir da análise efetuada anteriormente foi possível estabelecer os seguintes sentidos para o trânsito litorâneo de sedimentos arenosos nas planícies costeiras aqui consideradas:

Rio São Francisco Sentido preferencial para a deriva litorânea: NE—SW, atuante provavelmente durante a construção dos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos. Além dos indicadores apontados na Fig. 3, Bittencourt *et al.* (1982 e no prelo) identificaram na planície costeira associada à foz do Rio São Francisco três gerações de dunas, uma pleistocênica e duas holocênicas (Fig. 3), que exibem notável uniformidade de orientação, evidenciando que, durante toda a história da evolução da planície costeira, os ventos sopraram persistentemente do quadrante NE, que é de onde se originam os ventos que predominam para a região nos dias atuais (Coutinho, 1970). Tais ventos, para possibilitarem o desenvolvimento de campos de dunas tão extensos, devem ser relativamente “duros” e capazes, portanto, de induzir a formação de ondas de energia suficiente para exercerem um trabalho geomórfico significativo.

Rio Jequitinhonha Sentido preferencial da deriva litorânea: S—N, atuante provavelmente durante todo o Holoceno. Não foi possível encontrar na planície costeira indicadores que permitam extrapolar este sentido preferencial da deriva litorânea também para o Pleistoceno.

Rio Doce. Para o Rio Doce, durante a evolução da planície costeira, puderam ser estabelecidos dois sentidos preferenciais para o trânsito litorâneo de sedimentos. Um primeiro, de orientação N—S, parece ter predominado na região durante a construção dos terraços marinhos pleistocênicos e durante a construção da primeira geração de cordões holocênicos (Fig. 5A). Em seguida, quando da construção do sistema de cordões litorâneos associados ao intumescimento apresentado pela planície costeira nas vizinhanças da Lagoa do Zacarias, o sentido da deriva inverteu-se para S—N. Mais recentemente, o trânsito litorâneo readquiriu seu sentido original N—S, como atesta o pontal arenoso as-

sociado à desembocadura do Rio Doce (Fig. 5B). Esta última mudança no sentido da deriva litorânea é provavelmente responsável pelo importante truncamento na orientação dos cordões litorâneos nas proximidades da Lagoa do Zacarias (Fig. 5A).

Medidas de orientação de ondas realizadas pela Petrobrás durante o período 1972/1973 (Bandeira Jr. *et al.*, 1975) permitiram a identificação, para a região, de dois sistemas de ondas procedentes dos quadrantes NE—E e SE—S, com predominância do primeiro, o que geraria um trânsito litorâneo preferencial de sentido norte—sul, corroborando desta forma as observações de caráter morfológico mencionadas anteriormente.

Rio Paraíba do Sul Sentido preferencial da deriva litorânea: S—N, atuante provavelmente durante a construção dos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos. Este sentido, deduzido a partir de observações de caráter geomórfico, encontra-se em notável conflito com as opiniões de Dias e Gorini (1980) e Dias (1981), que atribuem para a deriva litorânea um sentido inverso ao do aqui indicado. Esta contradição prende-se ao fato de aqueles autores terem dispensado demasiada importância aos ventos de NE que, embora predominem nessa região durante a maior parte do ano, são também os mais fracos, apresentando força inferior a 4 na escala de Beaufort (Araújo e Beurlen, 1975) e sendo, portanto, inapropriados para a geração de ondas capazes de exercer trabalho geomórfico significativo (Davies, 1972).

O PAPEL DA DERIVA LITORÃNEA DE SEDIMENTOS ARENOSOS NA CONSTRUÇÃO DAS PLANÍCIES COSTEIRAS ESTUDADAS

Observações feitas nas planícies costeiras em apreço mostram que a interação entre o fluxo fluvial e a deriva litorânea de sedimentos se processa principalmente segundo duas maneiras: a) efeito de molhe e b) migração da desembocadura.

Efeito de molhe São bastante conhecidos os efeitos da construção de molhes perpendicularmente à linha de costa. Essas estruturas marítimas, enraizadas em terra, geralmente são construídas de modo a se estender além da zona de re-entação, interrompendo completamente o trânsito litorâneo de sedimentos. Como resultado, os sedimentos ficarão retidos de encontro ao molhe, fazendo com que a linha de costa a barlarar desta estrutura avance rapidamente. A sotamar, a deriva litorânea continua atuante, removendo os sedimentos e provocando recuo e erosão da linha de costa.

Komar (1973), desenvolvendo modelos por meio da simulação por computadores do crescimento e da forma de equilíbrio de deltas nos quais a ação das ondas é a força predominante na redistribuição dos sedimentos, chamou a atenção para o fato de que, em presença de ondas que se aproximam da costa segundo um ângulo agudo, o fluxo fluvial se comporta à semelhança de um molhe, constituindo uma barreira à deriva litorânea, o que faz com que a planície deltaica a barlarar da embocadura prograda mais rapidamente que a sotamar, que por sua vez se irá caracterizar como uma região de déficit de sedimentos. Este fenômeno, observado nas planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios Paraíba do Sul, Jequitinhonha e São Francisco, será aqui designado *efeito de molhe*.

O efeito de molhe é bem ilustrado na desembocadura do Rio Paraíba do Sul (Fig. 7A), onde os sedimentos mobilizados pela deriva litorânea de sentido S—N, que predomina para a região, e retidos de encontro ao espigão hidráulico representado pelo fluxo fluvial fizeram com que a linha de cos-

ta a barlarar da desembocadura progradasse de uma magnitude maior que a sotamar. Efetivamente não ocorre erosão no litoral a sotamar, visto o mesmo ser abastecido pelos sedimentos carregados pelo Rio Paraíba do Sul, assim como pelos sedimentos trazidos pela deriva litorânea que ocasionalmente ultrapassam a foz em períodos de estiagem, quando a efetividade do fluxo fluvial como barreira ao trânsito litorâneo de sedimentos se vê grandemente reduzida. A observação da Fig. 7A mostra que, tomando-se como referência a margem inferior da mesma, que secciona a planície costeira a cerca de 10 km em seu interior, é possível constatar que a linha de costa a barlarar da desembocadura progradou cerca de 1,5 vez mais que a linha de costa a sotamar.

Para o Rio Jequitinhonha, onde predomina uma deriva litorânea de sentido S—N, pode-se constatar que, desde a instalação de sua desembocadura atual, por volta de 2 500 anos A.P., a planície costeira a barlarar da embocadura progradou cerca de duas vezes mais que a sotamar (Dominguez, 1982) (Fig. 7B). Nas duas outras desembocaduras ocupadas por este rio durante o Holoceno, entre 3 500 e 2 700 anos A.P. e entre 5 100 e 3 800 anos A.P., Dominguez (*op. cit.*), por uma análise das orientações dos cordões litorâneos a elas associados, igualmente constatou a existência de efeito de molhe, com o litoral a barlarar da desembocadura tendo sempre progradado mais rapidamente que a sotamar.

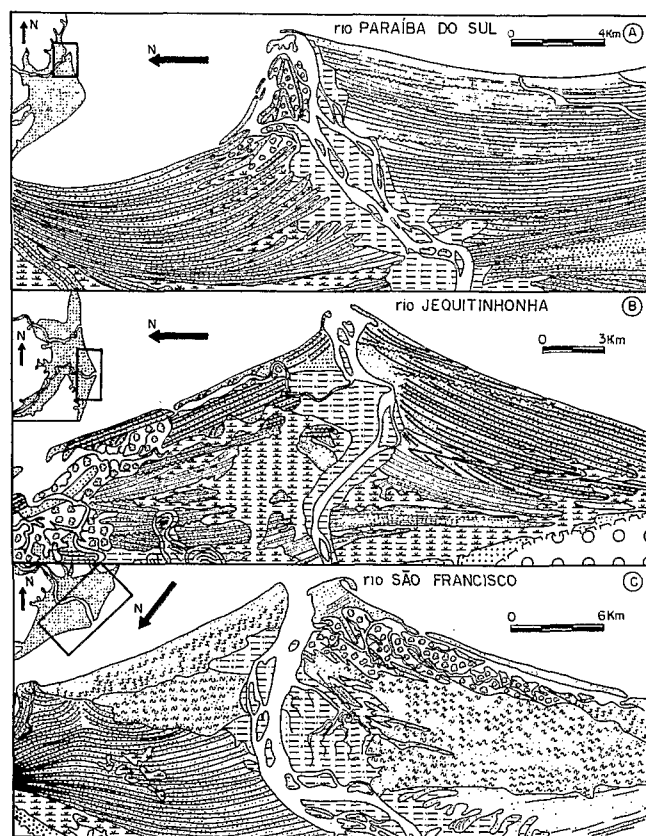


Figura 7 — Mapas geológicos de parte das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios Paraíba do Sul (A), Jequitinhonha (B) e São Francisco (C). Ver legenda da Fig. 3. Na Fig. 7B, as linhas grossas representam cordões litorâneos formados nos últimos 2 500 anos

Na planície costeira do Rio São Francisco, o efeito de molhe não é tão evidente, devido principalmente à intensidade da atividade eólica que tem afetado a região. De fato, os ventos, removendo sedimentos da praia e transportando-os para o interior da planície costeira, impediram uma progradação mais acentuada da região a barlamar da desembocadura.

Como conseqüência do efeito de molhe pode-se constatar uma marcada assimetria na distribuição das fácies sedimentares entre os dois lados da desembocadura fluvial, reflexo da atuação de diferentes mecanismos de progradação. Enquanto a barlamar da desembocadura a linha de costa avança à custa da incorporação gradativa de sedimentos arenosos trazidos pela deriva litorânea, a sotamar a progradação se processa em função principalmente dos aportes fluviais, seja pelo desenvolvimento de pontais arenosos que crescem enraizados na margem da desembocadura a sotamar, seja pelo retrabalhamento de barras de desembocadura que, pela ação da refração das ondas, evoluem para ilhas lunadas. O primeiro mecanismo parece predominar para o Rio São Francisco (Figs. 3C e 7C) enquanto o segundo é mais característico do Rio Paraíba do Sul (Figs. 6A e 7A). Uma vez formadas, essas ilhas e esses pontais abrigam em seu lado interno uma zona protegida, rapidamente colonizada por manguezais, e que passa a captar os sedimentos finos carreados pelo rio. Para o Rio São Francisco, esta diferença na dinâmica da progradação persiste provavelmente desde o início da construção da planície costeira holocênica, uma vez que testemunhos de antigas ilhas de areia e sedimentos de mangue a elas associados são encontrados nas porções mais internas da metade sudoeste da planície, o que efetivamente não ocorre para a metade a nordeste (Bittencourt *et al.*, 1982). Para o Rio Paraíba do Sul, a análise de fotografias aéreas mostra que esta assimetria persiste até cerca de 10 km no interior da planície costeira, o que representa aproximadamente metade da largura total alcançada pela parte holocênica desta planície. Embora não tão marcante quanto nas demais planícies costeiras, no Rio Jequitinhonha esta assimetria pode ainda ser percebida. De fato, enquanto a barlamar da desembocadura o litoral exhibe uma linha de costa contínua, a sotamar esta continuidade é interrompida por uma série de ilhas de areia que abrigam em seu lado interno, protegidos da ação direta das ondas, extensos manguezais (Fig. 7C).

Migração da desembocadura A presença de um trânsito litorâneo preferencial de sedimentos pode provocar, além dos fenômenos descritos no item anterior, uma migração intermitente da foz do rio no sentido de sotamar. Tal fenômeno é bem ilustrado nas desembocaduras dos rios Jequitinhonha e Paraíba do Sul. Para o Jequitinhonha, Dominguez (1982), tomando por base análises da orientação, morfologia e padrões de truncamento dos cordões litorâneos, mostrou ter ocorrido ao longo dos últimos 2 500 anos um deslocamento da desembocadura deste rio para o norte, portanto no sentido de sotamar. No caso do Paraíba do Sul, este fenômeno havia sido reconhecido anteriormente por Lamego (1940), que, a partir de dados históricos, determinou um deslocamento de cerca de 1 km da foz no sentido de sotamar, para um período de 25 anos.

O seguinte mecanismo, baseado em observações feitas nas planícies dos rios Jequitinhonha e Paraíba do Sul, é proposto para descrever este deslocamento:

a) Durante os períodos de vazão normal, o rio se comporta à semelhança de um molhe, interrompendo o trânsito litorâneo de sedimentos e provocando progradação acentuada da linha de costa a barlamar da desembocadura (Fig. 8A).

b) Em época de estiagem, a efetividade do espigão hidráulico representado pelo fluxo fluvial é grandemente reduzida. Como conseqüência, a meia-cúspide construída a barlamar, na fase anterior, experimenta um acelerado processo de erosão. Os sedimentos erodidos são deslocados para sotamar, originando um pontal arenoso que obstrui parcialmente a desembocadura. Este processo deixa como testemunho sobre a planície costeira uma linha de truncamento (Fig. 8B).

c) Se a estiagem é prolongada, o pontal arenoso irá consolidar-se de tal forma a não poder ser mais erodido na próxima cheia. Ao fim do processo, com a retomada das condições normais de vazão, a desembocadura ter-se-á deslocado a sotamar, onde irá mais uma vez desempenhar seu papel de espigão hidráulico. Sobre a linha de truncamento será construído a barlamar da desembocadura novo sistema de cordões arenosos, alimentado pelos sedimentos transportados ao longo da costa e retidos de encontro ao obstáculo representado pelo fluxo fluvial (Fig. 8C).

Na desembocadura do Rio São Francisco não foi detectado nenhum movimento de migração da foz, provavelmente devido ao fato de este rio apresentar vazões elevadas (média anual de 2 756 m³/s para o período 1929/1964, UNESCO, 1971), se comparadas às apresentadas pelos rios Jequitinhonha (média anual de 434,68 m³/s para o período 1943/1969, UNESCO, 1971) e Paraíba do Sul (média anual de 902 m³/s para o período 1928/1964, UNESCO, 1971).

Para o Rio Doce, nenhum dos fenômenos anteriormente considerados foi verificado, seja o efeito de molhe e a conseqüente assimetria na distribuição das fácies sedimentares, seja a migração da desembocadura. Duas possíveis causas podem ser aventadas para explicar tal ausência: a) as sucessivas inversões na deriva litorânea, em número de três, impe-

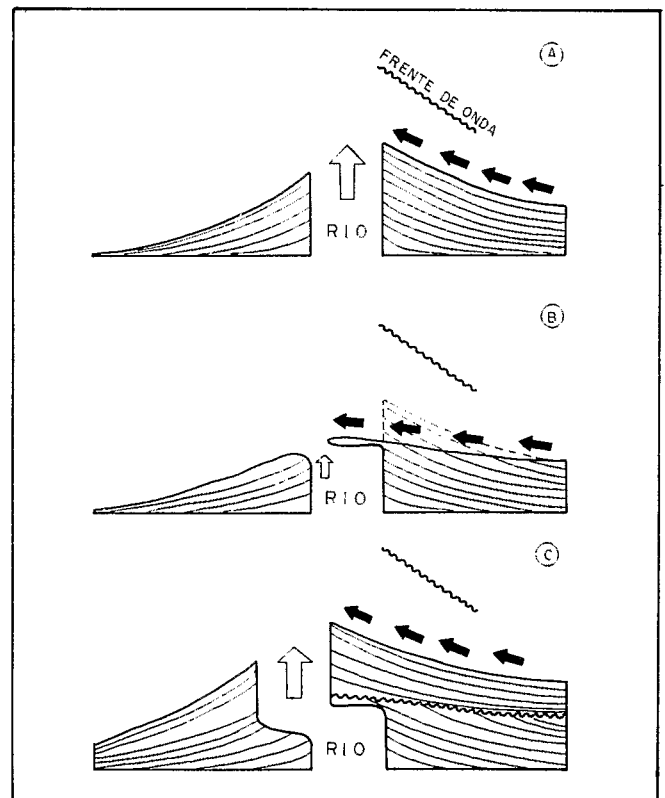


Figura 8 — Esquema do mecanismo de migração da desembocadura fluvial sob a ação da deriva litorânea de sedimentos arenosos

diram a atuação desses fenômenos durante períodos de tempo suficientemente prolongados de maneira a se tornarem notáveis; e *b*) durante a maior parte da construção da porção holocênica da planície costeira o Rio Doce desaguou dentro de uma laguna (Suguio *et al.*, 1981), não alcançando diretamente o mar aberto e portanto não alterando a dinâmica de sedimentação ao longo da costa.

DISCUSSÃO Embora não tenha sido possível determinar em termos quantitativos a contribuição efetiva de deriva litorânea na construção das planícies costeiras aqui consideradas, ainda assim é possível demonstrar que o volume de sedimentos carreados por este agente é de fato significativo, podendo em alguns casos superar nitidamente os aportes fluviais. A progradação da linha de costa nas vizinhanças das desembocaduras fluviais estudadas neste trabalho é patrocinada por três fontes de sedimentos: *a*) aportes fluviais; *b*) sedimentos expostos pelo abaixamento do nível do mar; e *c*) sedimentos trazidos pela deriva litorânea. Pode-se supor que a contribuição devida ao abaixamento do nível do mar seja idêntica nos dois lados da desembocadura e, portanto, incapaz de promover velocidades de progradação diferentes nessas duas regiões. De outro lado, devido ao efeito de molhe, o litoral a sotamar da desembocadura é alimentado pelos aportes fluviais enquanto o litoral a barlamar é alimentado pela deriva litorânea. Assim, se os volumes de sedimentos introduzidos por esses dois agentes forem equivalentes, podem-se esperar velocidades de progradação idênticas para ambos os lados da desembocadura. Quando tal fato não acontece, é evidente que existe então predomínio de um desses agentes sobre o outro. A observação da Fig. 7B mostra claramente que, no caso do Rio Jequitinhonha, durante os últimos 2 500 anos, a linha de costa a barlamar da desembocadura progrediu aproximadamente duas vezes mais que a sotamar (Dominguez, 1982; Dominguez *et al.*, 1982b). No caso do Rio Paraíba do Sul (Fig. 7A), embora não se disponham de datações absolutas, é possível observar, se se considerar como referência uma linha de cerca de 10 km no interior da planície costeira, que a linha de costa a barlamar da desembocadura progrediu de cerca de 1,5 vez mais que a linha de costa a sotamar. Desse modo, pode-se afirmar que, pelo menos durante a construção dos trechos acima mencionados das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios Paraíba do Sul e Jequitinhonha, o volume de sedimentos introduzidos pela deriva litorânea superou por larga margem os aportes fluviais desses dois rios.

No caso da planície costeira associada ao Rio São Francisco, verifica-se que a magnitude da progradação da linha de costa, durante a construção da parte holocênica desta planície, foi praticamente idêntica nos dois lados da desembocadura. Ao mesmo tempo, constata-se a presença de uma assimetria na distribuição das fácies sedimentares nos dois lados da desembocadura, que persistiu também durante toda a construção da porção holocênica da planície costeira (Bittencourt *et al.*, 1982). Como esta assimetria é consequência direta do efeito de molhe, pode-se supor que os sedimentos a barlamar da desembocadura foram trazidos pela deriva litorânea enquanto a sotamar a progradação se processou em função dos aportes fluviais do Rio São Francisco, além da contribuição daqueles sedimentos expostos pelo abaixamento do nível do mar que, como se supôs anteriormente, deve ser idêntica para ambos os lados da desembocadura. Assim, se se despreza o volume de sedimentos estocados na planície costeira sob a forma de dunas, pode-se supor que durante o Holoceno a quantidade de sedimentos introduzidos pela deriva litorânea na região foi equivalente aos aportes fluviais,

visto que a progradação da linha de costa nos dois lados da desembocadura foi aproximadamente idêntica.

Ainda que na planície costeira associada à desembocadura do Rio Doce os fenômenos anteriormente mencionados não tenham sido comprovados, não se pode, entretanto, ignorar o fato de uma porção significativa dos terraços marinhos holocênicos nesta região ter sido construído, em parte, a partir de sedimentos introduzidos na planície costeira pela deriva litorânea, como atesta a primeira geração de cordões holocênicos (Fig. 5A). Durante a construção desse sistema de cordões, os aportes fluviais eram retidos dentro de uma laguna, não podendo portanto ser utilizados para promover a progradação da linha de costa.

CONCLUSÕES Inicialmente consideradas como deltas do tipo "altamente destrutivo dominado por ondas" (Baccocoli, 1971), as planícies costeiras associadas às desembocaduras dos grandes rios que deságuam na costa leste brasileira tiveram sua classificação como deltas questionada recentemente por Dominguez *et al.* (1982a). Os trabalhos desenvolvidos por Bittencourt *et al.* (1982), Dominguez *et al.* (1982a e c) e Suguio *et al.* (1981) demonstraram o papel desempenhado pelas variações do nível relativo do mar durante o Quaternário na construção dessas feições e mostraram ter sido o abaixamento de cerca de 5 m deste nível, durante os últimos 5 000 anos (Martin *et al.*, 1980), expondo enormes quantidades de sedimentos na plataforma continental, o principal fator a alimentar a progradação na linha de costa nessas regiões. Neste aspecto, os rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul desempenharam um papel secundário como supridores de sedimentos, durante a construção das planícies costeiras a eles associadas.

A progradação não se deu apenas à custa dos sedimentos expostos durante a última regressão nas vizinhanças imediatas dessas planícies costeiras. Importante papel pode ser atribuído aos sistemas de correntes induzidas por ondas, atuantes na zona litoral. Esses sistemas, responsáveis pela deriva litorânea, podem introduzir quantidades significativas de sedimentos nas planícies costeiras aqui consideradas. A partir da observação de feições geomórficas presentes nas planícies costeiras em apreço, tais como pontais arenosos, esporões e ilhas lunadas, foi possível estabelecer o padrão do trânsito litorâneo dos sedimentos nessas regiões. O conhecimento deste padrão permitiu demonstrar que a incorporação de sedimentos transportados pela deriva litorânea se dá principalmente pelo efeito de molhe, segundo o qual o rio funciona como um espigão hidráulico, retendo a barlamar da desembocadura os sedimentos mobilizados pela deriva litorânea. O litoral a sotamar é abastecido basicamente pelos aportes fluviais, o que resulta em uma assimetria na distribuição das fácies sedimentares entre os dois lados da desembocadura. Enquanto no litoral a barlamar da foz a progradação se processa pelo acréscimo sucessivo de cordões litorâneos, no litoral a sotamar a progradação se dá pela incorporação de ilhas arenosas. Essas ilhas protegem em seu lado interno zonas calmas, onde se instalam manguezais e que doravante passam a captar os sedimentos finos trazidos pelo rio.

Por fim, pode-se ainda acrescentar que a deriva litorânea é capaz de promover uma migração da desembocadura fluvial, concomitantemente com a progradação, fenômeno constatado nas planícies costeiras associadas aos rios Jequitinhonha e Paraíba do Sul.

Apenas na planície costeira associada à desembocadura do Rio Doce os fenômenos anteriormente mencionados não foram comprovados, devido principalmente às diversas inversões sofridas no sentido preferencial da deriva litorânea,

e ao fato de este rio ter ocupado sua desembocadura atual apenas muito recentemente. Ainda assim pode-se demonstrar que uma porção significativa dos terraços marinhos holocênicos nessa região, como é o caso da primeira geração de cordões holocênicos, recebeu durante sua construção uma importante contribuição dos sedimentos introduzidos pela deriva litorânea.

Agradecimentos Os autores deixam aqui expressos seus agradecimentos, por intermédio do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica da UFBA, às entidades financiadoras CNPq e Finep. Agradecimentos são extensivos à Profa. Zelinda Margarida de Andrade Nery Leão, pelas críticas e sugestões apresentadas.

BIBLIOGRAFIA

- AGI — 1972 — *Glossary of Geology*. M. Gary et al. (eds.), Am. Geol. Inst., Washington, D.C., 805 p.
- ARAÚJO, M.B. e BEURLEN, G. — 1975 — Projeto Rio Paraíba do Sul — Sedimentação deltaica holocênica. Petrobrás/RPBa. Direx n° 1649. Dexpro/Divex, 2 vols., Rio de Janeiro.
- BACOCOLI, G. — 1971 — Os deltas marinhos holocênicos brasileiros: uma tentativa de classificação. *Bol. Tecn. Petrobrás* 14:5-38.
- BANDEIRA Jr., A.N., PETRI, S. e SUGUIO, K. — 1975 — Projeto Rio Doce (relatório final). CENPES/Petrobrás, 203 p.
- BITTENCOURT, A.C.S.P., DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L. e FERREIRA, Y.A. — 1982 — Dados preliminares sobre a evolução do delta do rio São Francisco (SE/AL) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: K. Suguio et al. (eds.), *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil, 1982*, Rio de Janeiro: 49-68.
- BITTENCOURT, A.C.S.P., MARTIN, L., DOMINGUEZ, J.M.L. e FERREIRA, Y.A. — 1983 — Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas. *Rev. Bras. Geoc.* 13(2).
- COUTINHO, P.M. — 1970 — Sedimentation at the mouth of the São Francisco River (Brazil). *Trab. Oceanogr.* 5, Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11:41-50.
- DAVIES, J.L. — 1972 — Geographical variation in coastal development. In: K.M. Clayton (ed.), *Geomorphology Text 4*, Longmann Group Ltd., New York, 204 p.
- DIAS, G.T.M. e GORINI, M.A. — 1980 — A Baixada Campista: estudo morfológico dos ambientes litorâneos. *Anais do XXXI Congr. Bras. Geol.*, Camboriú (SC), 1:588-602.
- DIAS, G.T.M. — 1981 — O complexo deltaico do rio Paraíba. IV Simpósio do Quaternário no Brasil (CTCQ/SBG), Rio de Janeiro, Publ. Esp. n° 2:58-79.
- DOMINGUEZ, J.M.L. — 1982 — Evolução quaternária da planície costeira associada à foz do rio Jequitinhonha (BA): influência das variações do nível do mar e da deriva litorânea de sedimentos. Dissertação de Mestrado, 73 p.
- DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P. e MARTIN, L. — 1981 — Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Rev. Bras. Geoc.* 11(4):227-237.
- DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P., FERREIRA, Y.A. e FLEXOR, J.M. — 1982a — Sobre a validade da utilização do termo delta para designar as planícies costeiras associadas às desembocaduras dos grandes rios da costa brasileira. XXXII Congr. Bras. de Geol., Salvador, Boletim n° 2, *Resumos e Breves Comunicações*, p. 92.
- DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., MARTIN, L., LIMA, R.C.C. e COSTA, I.V.G. — 1982b — Roteiro de excursão geológica à planície costeira do rio Jequitinhonha (BA) e às turfeiras associadas. XXXII Congr. Bras. Geol., Salvador, Boletim n° 3, *Roteiro das Excursões*:201-235.
- DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L. e BITTENCOURT, A.C.S.P. — 1982c — Evolução paleogeográfica do delta do rio Jequitinhonha durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: K. Suguio et al. (eds.), *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil, 1982*, Rio de Janeiro: 69-82.
- KOMAR, P.D. — 1973 — Computer models of delta growth due to sediment input from rivers and longshore transport. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 84:2217-2226.
- KOMAR, P.D. — 1976 — *Beach processes and sedimentation*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 429 p.
- LAMEGO, A.R. — 1940 — Restingas na costa do Brasil. Div. Geol. Min., DNPM, Bol. 96, Rio de Janeiro, 63 p.
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.M., BITTENCOURT, A.C.S.P. e VILAS BOAS, G.S. — 1980 — Le Quaternaire marin Brésilien (Littoral Pauliste, Sud Fluminense et Bahianais). *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Géol.* 11(1):95-124.
- SUGUIO, K., MARTIN, L. e DOMINGUEZ, J.M.L. — 1981 — Evolução do delta do rio Doce (ES), durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: K. Suguio et al. (eds.), *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil, 1982*, Rio de Janeiro, 93-116.
- TANNER, W.F. — 1958 — The equilibrium beach. *Trans. Am. Geophys. Union* 39:889-891.
- UNESCO — 1971 — Discharge of selected rivers of the World. Serie *Studies in Hydrology*. Paris, 2:194 p.
- ZENKOVITCH, V.P. — 1967 — *Processes of coastal development*. Oliver and Boyd, Edimburgo, 738 p.

MANUSCRITO

Recebido em 2 de fevereiro de 1983

Revisão aceita em 24 de agosto de 1983