SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA MARGEM CONTINENTAL NORDESTE BRASILEIRA*

AUGUSTO M. C. FRANÇA**, PAULO N. COUTINHO*** e COLIN P. SUMMERHAYES****

ABSTRACT Sedimentation on the narrow, shallow shelf of NE Brazil reflects source geology, climate, drainage and tectonic setting. Because of the tropical climate and negligible terrigenous sedimentation, biogenic carbonates dominate most of the middle shelf from Maceió to Macau and the entire outer shelf. In contrast with other tropical shelves, corals are virtually absent from the sediments as also are ooids and other precipitated forms of carbonate. Despite the absence of coral, these sediments are very similar to the reef-like sediments from shallow banks on the Yucatán and Sahul shelves. The terrigenous sediments are largely relict, except off the São Francisco and Jaguaribe deltas where modern sedimentation occurs within 10 km of the coast. The composition of the relict sediments suggests that Pleistocene climates were similar to those of the present days. Arkosic sands with an illitic clay fraction occur off the semi-arid northern coast, and were locally supplied to the east coast by the São Francisco, which is the only east coast river to drain the arid hinterland. During low sea level times the east coast climate may have been somewhat less humid than at present, as montmorillonitic rather than kaolinitic clays were deposited on the continental slope during low stands of sea level.

INTRODUÇÃO Neste trabalho são discutidas a mineralogia, a química e a composição dos sedimentos numa das poucas áreas do mundo onde uma plataforma aberta e estável se apresenta quase completamente coberta por carbonatos biogênicos. Se por um lado existem certas similaridades entre esses sedimentos e os de outras plataformas estáveis, como a de Sahul (Van Andel e Veevers, 1967), a plataforma Argeliana (Caulet, 1972) e a do sudeste dos Estados Unidos (Milliman, 1972), por exemplo, a plataforma nordeste brasileira é única em termos da quase total ausência de corais e da total ausência de oóides, ou outras formas precipitantes de carbonato. Os corais florescem em recifes na zona litorânea, porém com muito poucas espécies comuns nas Antilhas (Laborel, 1967), e, como resultado, os recifes mais se assemelham aos bancos algais de outros ambientes tropicais do que propriamente a recifes de corais (Laborel e Kempf, 1967).

Estudos anteriores (Mabesoone e Tinoco, 1967; Coutinho e Moraes, 1970; e Mabesoone e Coutinho, 1970) mostraram que os carbonatos são mais abundantes na plataforma média e externa, entre os Rios Jaguaribe e São Francisco, e somente na plataforma externa ao norte do primeiro e ao sul do segundo desses rios. Os sedimentos da plataforma interna, a menos de 20 m de profundidade, e os da plataforma média ao norte e ao sul da área são predominantemente areias quartzosas. Os carbonatos biogênicos constituem-se de areias e

*Programa de Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira — Projeto REMAC (Convênio PETROBRÁS-DNPM-CPRM-DHN-CNPq)

**Centro de Pesquisas e Desenvolvimento CENPES-PETROBRÁS, Ilha do Fundão, Quadra 7, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ

***Laboratório de Ciências do Mar, Universidade Federal de Pernambuco, Caixa postal 1076, Recife, PE

****Woods Hole Oceanographic Institution, Geology & Geophysics Dept., Woods Hole, Mass. 02543, EUA

cascalhos principalmente compostos por algas coralinas com até 5 % de lama carbonática, aparentemente resultante da desintegração de organismos maiores. Nas depressões e lagoas protegidas pelos recifes se acumularam lamas calcárias e terrígenas ricas em matéria orgânica com abundância do gênero *Halimeda* (Rebouças, 1967; Kempf, 1970; Kempf, Mabeoone e Tinoco 1970).

Foram analisadas 514 amostras, das quais 162 coletadas durante o Cruzeiro Woods Hole—Águas Rasas, constante da segunda etapa da Fase Operacional do Projeto REMAC, e as demais oriundas de diversas instituições nacionais e estrangeiras. A densidade de amostragem varia de 12 amostras/100 km² na foz do Rio São Francisco a 2 amostras/1 000 km² ao largo de Macau e ao sul de Aracaju. Das amostras coletadas em águas a menos de 100 m de profundidade, na plataforma e no talude superior, 85 % o foram entre 10 e 50 m de profundidade.

Morfologia, geologia, clima e oceanografia A plataforma continental (Fig. 1) possui, em média, de 35 a 40 km de largura, com mínimo de 15 km próximo a Salvador e máximo de 75 km em Fortaleza. Em sua maior parte, possui menos de 40 m de profundidade, com valores menores que 20 m a noroeste de Natal. A superfície é em geral ligeiramente irregular e cortada por sistemas de canais bem desenvolvidos, como os situados ao largo de Aracaju e Maceió (França, Milliman e Summerhayes, 1974).

O abrupto talude continental é cortado por dois grandes canyons — São Francisco e Japarutuba —, que avançam sobre a plataforma até 10 km da costa. O talude é ainda interrompido pelos platôs de Pernambuco e do Rio Grande do Norte, ambos com superfícies relativamente suaves de 500 a 2 500 m de profundidade. Somente o primeiro desses platôs foi amostrado no Cruzeiro Woods Hole—Águas Rasas.

Os principais rios abrangidos na área em estudo são o Jaguaribe, com 450 km, e o São Francisco, com 2 700 km de extensão, ambos com deltas em cuspide (Bacoccoli, 1971). Aproximadamente 90 % da carga sedimentar transportada pelo São Francisco são retidas no canal do rio e apenas o restante é lançado na plataforma, entre 5 e 10 km de sua foz. Como resultado, o delta prograda lentamente sobre depósitos lagunares, relíquias que flanqueiam o canyon submarino e, aparentemente, quase nenhuma carga sedimentar em suspensão dos outros rios regionais alcança o mar (Barretto e Summerhayes, 1974).

As rochas da bacia superior de drenagem do São Francisco são metassedimentos paleozóicos que também afloram localmente numa faixa costeira ao sul deste rio. Em contraste, a maior parte da região nordeste emersa encaixa-se em rochas do Escudo Pré-Cambriano. A porção drenada pelos cursos de água que correm para o norte, como o Jaguaribe e o Açu, se caracteriza pelas numerosas manchas intrusivas de plutônicas ácidas. Ao longo da costa, o escudo é moldurado por estreitas bacias preenchidas, na maioria, por sedimentos terciários, embora outros de idade cretácica afluam nas bacias do Recôncavo e Potiguar (Asmus e Ponte, 1973).

Os sistemas montanhosos ao longo da costa se situam entre 500 e 1 000 m de altitude. Entre esses lineamentos e o mar há uma estreita planície costeira com 50 a 60 km de largura próximo a Aracaju e a Fortaleza, e com apenas 15 km entre João Pessoa e Maceió, e entre Aracaju e Salvador. Enquanto as planícies mais largas possuem extensas praias, dunas e lagoas, as mais estreitas são abruptamente escarpadas.

A predominância de ventos leste e sudeste, em contraposição a um sistema montanhoso de altitudes limitadas ao longo da costa leste, concentra aí os valores máximos de chuvas, às vezes excedendo 1 500 mm/ano (Andrade, 1964). A oeste das montanhas está o “polígono das secas” com centenas de milhares de quilômetros quadrados, caracterizado por um clima semi-árido e por uma precipitação que em alguns locais cai a 500 mm/ano.

Figura 1 — Batimetria generalizada da margem continental nordeste do Brasil (França, Milliman e Summerhayes, 1974)

Figura 2 - Textura dos sedimentos baseada principalmente em análises quantitativas. Devido à distribuição complexa dos sedimentos, foram grupadas as classes 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, e 8 e 10. Há muito poucas amostras na classe 6 e nenhuma nas classes 7 e 9. Para maior clareza, foi omitida a isóbata de 200 m entre Maceió e Salvador

A circulação oceânica é dominada pelas duas ramificações da Corrente Sul-Equatorial: a Norte Brasileira, deslocando-se para norte e oeste ao longo da costa com 1 a 2 nós de velocidade, e a ramificação sul — a Corrente Brasileira —, dirigida para o sul com 0,5 nó, excetuando-se o inverno, quando surge uma componente contrária dirigida para o norte.

As águas da plataforma são moderadamente salinas (36% a 37%) com exceção ao largo e ao sul da foz do São Francisco, onde a influência da descarga fluvial é evidente. A temperatura das águas superficiais varia de 27 a 29 °C no verão e de 25 a 27 °C no inverno.

Textura dos sedimentos Os sedimentos da plataforma média e externa são geralmente grosseiros, consistindo em misturas de areia e cascalho (Fig. 2). Os cascalhos predominam na plataforma média entre o São Francisco e o platô do Rio Grande do Norte, bem como no extremo noroeste da área, enquanto as areias são predominantes a oeste de Macau e ao sul do São Francisco. A maior parte da plataforma externa (de 40 a 60 m) é coberta por cascalhos. Em contraste, na plataforma interna (<20 m) predominam as areias com algum cascalho, ambos essencialmente limpos.

O conteúdo em lama dos sedimentos da plataforma interna e em alguns pontos da plataforma média geralmente não atinge 2,5%, chegando a 5-15% na faixa externa e com valores crescentes no talude (Fig. 3). As lamas preenchem, ainda, depressões topográficas da plataforma média, como os ápices dos canyons submarinos do Japarutuba e São Francisco, em outras depressões costeiras, no Canal de Maceió e nos flancos dos recifes na região de Pernambuco. No delta do São Francisco, os sedimentos lamosos mais próximos da desembocadura contêm as menores quantidades de lama. Os sedimentos do talude contêm mais de 40% de lama. Ao sul de Maceió, este parâmetro é suficientemente alto a ponto de formar depósitos areno-lamosos e, localmente, depósitos de lama mais ou menos puros. Ao norte de Maceió, por ser tão baixo, apenas se desenvolvem areias lamosas. Alguns dos depósitos do talude contêm alguns grãos de quartzo leitoso (4 mm), porém, geralmente, as frações arenosas consistem em foraminíferos (Murray e Renard, 1891).

A fração lama dos sedimentos da plataforma tende a ser mais rica em argila que em silte, particularmente a noroeste do Rio Jaguaribe. Por outro lado, os sedimentos do talude são mais ricos em silte, resultado de suas elevadas taxas em microfósseis. No delta do São Francisco, a lama é excepcionalmente rica em silte, em profundidades menores de 40 m e numa faixa até 10 km da foz. Nesta área parece se processar a maior parte da atual sedimentação do rio (Barretto e Summerhayes, 1974).

A fração arenosa terrígena contém abundantes grãos arredondados e subarredondados nas áreas da foz e ao sul do São Francisco, e outros de subarredondados a angulares ao norte e a noroeste do Jaguaribe. Entre esses dois rios, os grãos são predominantemente subangulares.

Composição dos sedimentos **FRAÇÃO CARBONÁTICA** Os sedimentos grosseiros da plataforma externa e média entre Maceió e Macau, estendendo-se até noroeste de Fortaleza, consistem em carbonato biogênico (mais de 75% CaCO_3), com valores maiores na plataforma média (mais de 95% CaCO_3 ; Fig. 4). O limite entre esses sedimentos e as areias terrígenas da plataforma interna é normalmente abrupto. Estas contêm de 5 a 25% CaCO_3 , exceto nas proximidades do São Francisco, onde os valores caem a menos de 5%, e a noroeste de Macau, onde o limite é gradual, e areias moderadamente carbonáticas (25 a 50% CaCO_3) cobrem uma grande área da plataforma média. Os depósitos lamosos não contêm muito carbonato, particularmente os próximos ao São Francisco. No talude,

Figura 3 — Conteúdo em lama dos sedimentos entre Salvador e Fortaleza, baseado em 402 análises quantitativas

Figura 4 — Porcentagem de carbonatos nos sedimentos, baseada em 220 amostras do Cruzeiro Woods Hole—Águas Rasas e outros anteriores e 140 amostras da coleção da Universidade Federal de Pernambuco

o conteúdo carbonático é mínimo nas lamais e nas lamais arenosas ao sul de Maceió, crescendo progressivamente para o norte até valores máximos ao largo de Fortaleza.

Reconhecem-se sete associações faunísticas principais com base na distribuição dos vários organismos nas frações areia e cascalho. Entre Maceió e Fortaleza, os sedimentos carbonáticos são dominados por dois tipos de associações de *maerl* (Jacquotte, 1962; Milliman, 1974), ambos caracterizados por abundantes algas coralinas ramificantes, sendo uma delas dominada pela fácies *Halimeda*, que tende a ser mais prolífica na plataforma externa. Essas associações contêm ainda foraminíferos bentônicos e até 10% de moluscos, enquanto os briozoários são menos comuns. Outra importante associação é uma areia de recife algal que se assemelha à fácies coralígena do Mediterrâneo (Pérès e Picard, 1964) e consiste principalmente em algas coralinas incrustantes. Em pequenas áreas próximas a Aracaju e Fortaleza, onde predominam os sedimentos terrígenos, este mesmo grupo de organismos é dominado por briozoários, formando uma areia recifal típica.

Os sedimentos ricos em carbonato contêm abundantes foraminíferos bentônicos, com dominância do gênero *Archaias angulatus* nos sedimentos mais grosseiros e *Amphistegina radiata*, nos mais finos (Coutinho e Moraes, 1970). No entanto, esses sedimentos não contêm oólitos ou qualquer outra forma de carbonatos quimicamente precipitados. Quanto aos corais são poucos, embora não estejam inteiramente ausentes na plataforma (Mabesoone e Coutinho, 1970).

Alguns sedimentos terrígenos contêm assembléias típicas dominadas por moluscos, com ou sem foraminíferos bentônicos. Esses dois organismos geralmente se misturam com equinóides, algas e, em alguns locais, briozoários. Os foraminíferos planctônicos dominam a fração grosseira dos sedimentos do talude continental, sendo as principais espécies *Globigerinoides rubra*, *G. sacculifera*, *G. globulata* e *Globorotalia menardii* (Mabesoone e Tinoco, 1967). De acordo com Murray e Renard (1891), os sedimentos do talude contêm menos de 5% de foraminíferos bentônicos e menos de 1% de organismos silicosos (principalmente espículas de esponjas).

Em cerca de 80% das amostras na plataforma, as assembléias carbonáticas mostram certo grau de retrabalhamento. Geralmente as contidas em sedimentos terrígenos se apresentam bem retrabalhadas, como algumas da plataforma externa, particularmente as areias de recifes algais. Por outro lado, algumas das assembléias do tipo *maerl* e de areias recifais da plataforma média e externa se apresentam inalteradas, do mesmo modo que as associadas às lamais do delta do São Francisco.

FRAÇÃO NÃO-CARBONÁTICA (125-250 μ)

Minerais leves (p.e. < 2,87)

O quartzo e o feldspato constituem a fração leve predominante enquanto os fragmentos de rocha, mica e glauconita compreendem 0,5% ou menos, embora em algumas amostras a glauconita atinja até 15%; a mica e os fragmentos de rocha são abundantes no delta do São Francisco. A maioria das amostras ao largo da costa norte da área em estudo é arcósica, com uma relação feldspato potássico/plagioclásio em torno de 5; nas amostras subarcósicas da costa leste esta relação decresce a 3.

Minerais pesados (p.e. > 2,87)

O conteúdo de minerais pesados varia de menos de 0,5% a cerca de 7% (ao largo de Natal), com valor médio de 1,5%.

Os minerais translúcidos correspondem a 65% da fração pesada, seguidos em abundância pelos opacos e, por fim, os minerais alterados que formam 5% do total. O prin-

cipal mineral opaco é a ilmenita (FeTiO_3), que predomina nos *placers* de minerais pesados nas praias próximas a Natal (Gillson, 1950). Dentre os translúcidos predominam a hornblenda, epidoto, estauroлита, cianita, turmalina, granada, zircão e andalusita.

Com base nas associações de minerais pesados translúcidos, as amostras estudadas definem cinco províncias geograficamente distintas (cf. Ross, 1970). Do norte para o sul, são elas: as províncias de *cianita* até próximo a foz do Rio Jaguaribe; a de *hornblenda*, restrita às praias e dunas de Fortaleza; a de *andalusita*, estendendo-se até próximo a Natal; a província de *turmalina* até Maceió; e a de *estauroлита*, até o limite sul da área, esta última com locais de concentrações de rutilo.

Manchas de ferro A noroeste de Fortaleza e ao sul do Recife, muitos dos sedimentos terrígenos e biogênicos possuem essas manchas, geralmente mais comuns nos primeiros. Nos sedimentos biogênicos não-manchados, os restos orgânicos apresentam muito fraco retrabalhamento. As manchas dão aos sedimentos uma tonalidade amarronzada enquanto os não-manchados variam entre o amarelo-pálido, laranja, rosa ou cinzento, tanto terrígenos como biogênicos.

Os sedimentos do talude coletados a profundidades menores que 2400 m, durante a expedição do navio oceanográfico "Challenger", foram descritos como *lamas vermelhas* por Murray e Renard (1891), porém mais provavelmente sejam marrom-amarelados, como os coletados no Platô de Pernambuco. O tom avermelhado não resulta da fração arenosa com manchas de ferro, mas sim de detritos terrígenos de grã fina. Na verdade, partículas arenosas manchadas são raras.

Minerais de argila A caulinita constitui de 40 a 70 % da fração argilosa ($< 2 \mu$) na maioria das amostras, com os menores valores ($< 30\%$) a noroeste do Rio Jaguaribe e entre Recife e Aracaju, e os maiores entre Recife e Natal (60 a 80 %).

A illita geralmente compõe de 30 a 50 % da fração argilosa, com maior abundância na plataforma norte da área e na plataforma externa entre o Recife e o Rio São Francisco (até 55 %), com valores muito mais altos nas lamaz da foz deste rio que nas do canyon do Japarutuba. Em relação à caulinita (Fig. 5), a illita é predominante a noroeste do Jaguaribe e entre Maceió e Aracaju, bem como na plataforma externa ao sul desta cidade e entre Maceió e Recife.

A montmorilonita nunca ultrapassa 20 % da fração argilosa, com os maiores valores ao sul de Aracaju e a noroeste de Macau. Comparados aos sedimentos próximos de mar profundo (Biscaye, 1965), os aqui analisados contêm muito mais caulinita. Tanto os de mar profundo como os da margem continental contêm geralmente menos de 5 % de clorita.

Química dos sedimentos **CONTEÚDO ORGÂNICO** A maioria dos sedimentos analisados contém muito pouco nitrogênio orgânico (de 0,02 a 0,06 %). As lamaz terrígenas da foz do São Francisco, aparentemente, encerram as maiores quantidades (até 0,12 % N), embora quantidades muito maiores de matéria orgânica estejam presentes nas lamaz internas dos recifes e das lagoas ao longo da costa (Coutinho, inédito). Níveis relativamente altos de nitrogênio ocorrem também na desembocadura de outros rios, como a do Jaguaribe, onde há uma fonte local de nutrientes (Barretto e Summerhayes, 1974). Os níveis mais baixos, muitas vezes menores que 0,02, ocorrem tipicamente nas areias terrígenas.

Do mesmo modo que em outras áreas (Emery e Uchupi, 1972), a matéria orgânica tende a se concentrar nos sedimentos mais finos, embora esta relação pareça valer apenas para os sedimentos terrígenos, porque os biogênicos grosseiros contêm muito mais tecidos vivos que seus correspondentes terrígenos.

Figura 5 - Razão ilita/caulinita da fração argilosa dos sedimentos

Figura 6 – Razão carbono-nitrogênio em 44 amostras da plataforma continental

A razão carbono-nitrogênio (Fig. 6) varia de 2:1 a 8:1, com média de 5:1. Os maiores valores ocorrem em manchas irregulares por toda a área, sendo mais comuns a noroeste do Rio Jaguaribe e ao sul do São Francisco, enquanto os menores ocorrem na plataforma média a externa e nas lamas da foz do São Francisco.

Se por um lado há uma certa dificuldade em se determinar com precisão o conteúdo em carbono orgânico dos sedimentos ricos em carbonato, devido à dissolução parcial da matéria orgânica através do tratamento ácido (Roberts, Palacas e Frost, 1973), os erros são consistentes em áreas de sedimentação rica e uniforme em carbonato, como a aqui focalizada, e não causariam os padrões irregulares que observamos.

FOSFATO O conteúdo fosfático na maior parte dos sedimentos é menor que 0,15 % de P_2O_5 (Fig. 7) e somente três amostras na plataforma externa à boca do São Francisco contêm quantidades maiores: 0,37 %.

O fosfato tende a aumentar mar afora, porém este padrão não parece estar relacionado com as variações do tipo de sedimento. Há, contudo, uma tendência de as areias terrígenas conterem as menores quantidades de fosfato, de os carbonatos conterem valores intermediários e de as lamas terrígenas serem as mais ricas em fosfato.

O aumento dos teores no sentido plataforma—talude talvez reflita a crescente abundância de alguns organismos contendo quantidades substanciais de fosfato esquelético (Milliman, 1974). Se da absorção de fosfato por óxidos hidratados de ferro pode resultar aumento do conteúdo de fosfato nos sedimentos com manchas de ferro (Berner, 1973), este processo não parece ter sido significativo na sedimentação da margem continental nordeste do Brasil.

Embora o conteúdo em P_2O_5 das amostras selecionadas tenha se limitado a valores menores que 1 %, estes resultados parecem estar mais influenciados pelo método colorimétrico empregado, pois as anomalias encontradas ao sul do Recife e ao largo de Natal e Macau são certamente indicadoras de possíveis concentrações a merecerem melhor avaliação futura (França, 1974).

Províncias sedimentares Os sedimentos da margem continental nordeste brasileira podem ser agrupados em sete províncias distintas (Fig. 8). Os da província carbonática contêm mais de 50 % de $CaCO_3$ e incluem as areias e os cascalhos “modernos” e “antigos” da plataforma, e as lamas do talude. Os sedimentos da província terrígena contêm menos de 50 % de carbonatos e incluem as areias arcóicas do norte, as subarcóicas do sul, as lamas da plataforma e as lamas do talude.

AREIAS E CASCALHOS CARBONÁTICOS As areias carbonáticas biogênicas cobrem toda a plataforma externa e média entre Maceió e Macau. Alguns desses sedimentos consistem exclusivamente em restos orgânicos aparentemente frescos, daí serem considerados como essencialmente modernos, embora possam conter pequenas quantidades de areia quartzosa relíquia. A maioria deles, no entanto, engloba misturas de organismos frescos e retrabalhados, e muitos são parcialmente ferro-coloridos. As algas coralinas e *Halimeda* são os restos mais abundantes nesses sedimentos.

AREIAS TERRÍGENAS Contêm menos de 5 % de lama e 15 % de cascalho, sendo a maioria delas biogênica. Cobrem a maior parte da plataforma interna e média ao sul de Maceió e noroeste de Macau. Exceto na plataforma interna, onde são movimentadas por ondas e correntes, muitas dessas areias são relíquias e contêm uma fração biogênica completamente retrabalhada.

Figura 7 — Distribuição de fósforo (em porcentagem de P_2O_5) nos sedimentos, baseada em 147 amostras do Cruzeiro Woods-Hole e de 114 outras da coleção da Universidade Federal de Pernambuco

Figura 8 – Províncias sedimentares da margem continental nordeste, delineadas pela combinação dos dados texturais e de carbonatos (Figs. 3 e 7), e mineralógicos

Existem muitas diferenças entre os vários depósitos de areia, sendo a mais importante a maturidade mineralógica. Enquanto as areias da província sul são subarcóicas, com tendência ao subarredondamento e com uma assembléia regularmente madura de minerais pesados, onde abundam zircão, turmalina e minerais opacos, além de uma fração argilosa caulínica, as da província norte são arcóicas, mais angulares e com uma assembléia correspondente menos madura, com menores quantidades daqueles minerais, além da fração argilosa ílitica.

LAMAS TERRÍGENAS E ARENOSAS Ocorrem ao sul de Natal em depressões isoladas e protegidas por recifes, ou em canais afogados, bem como no delta do São Francisco e circundando as frentes dos canyons de Japarutuba e São Francisco. Um maior número desses depósitos lamosos contém mais de 75% de silte e argila, com maior abundância da última. As lamas arenosas se confinam nas proximidades do canyon Japarutuba e as siltosas ocorrem no delta do São Francisco a profundidades menores de 40 m. Embora muitas dessas lamas não possam ser diferenciadas, há uma distinção razoavelmente clara entre as do Japarutuba e as do São Francisco, as primeiras mais ricas em caulinita e as últimas, em ílita.

SEDIMENTOS DO TALUDE CONTINENTAL Entre as lamas terrígenas, que cobrem a faixa sul, e as carbonáticas, da faixa norte, há uma zona de transição gradual onde apenas pequenas diferenças em textura e conteúdo carbonático podem diferenciá-las, através de variações nas proporções de material terrígeno fino e de foraminíferos plânctônicos de grã arenosa. Desse modo, ao sul de Maceió, temos lamas terrígenas puras, enquanto bem mais ao norte estão as areias lamosas ricas em carbonato. Ambas são predominantemente marrom-amareladas e bem diferentes das lamas da plataforma de cor oliva.

Em uma amostra do talude, examinada em detalhe, a fração areia contém muito mais feldspato que as da plataforma, enquanto a fração argilosa possui mais montmorilonita e menos caulinita. É provável que outras amostras do talude possuam composições similares.

Processos sedimentares SEDIMENTAÇÃO CARBONÁTICA Os sedimentos carbonáticos são mais desenvolvidos entre Macau e Maceió e na plataforma externa, onde a taxa de sedimentação terrígena é e tem sido muito baixa. Embora o índice pluviométrico seja elevado ao longo da costa entre Maceió e Macau, o desenvolvimento de uma densa vegetação tropical impede a erosão do solo espessamente intemperizado e, desse modo, muito pouco detrito terrígeno alcança o mar (Barretto e Summerhayes, 1974). Em consequência, há suficiente e adequado substrato para o florescimento de organismos epifaunais produtores de carbonato em toda a plataforma, com exceção de sua parte mais interna, onde a alta energia de onda (Coleman e Wright, 1973) obstrui este crescimento orgânico.

Os organismos mais comuns entre Maceió e Macau são as algas coralinas ramificantes e as *Halimeda*, sendo que estas são mais abundantes na plataforma externa, embora não se possa afirmar que este padrão reflita uma biocenose. Por exemplo, as *Halimeda* podem se desenvolver tão prolificamente na plataforma média quanto na externa, porém a maior energia de onda na plataforma média pode provocar uma destruição preferencial de suas placas mais frágeis.

A energia de onda relativamente mais baixa na plataforma externa é sugerida pela acumulação de lama carbonática, a qual, aparentemente, deriva da degradação biológica dos organismos. A presença de lama tende a ser desfavorável ao crescimento de certos

tipos de epifauna e poderia concorrer para o decréscimo das algas ramificantes, em comparação às *Halimeda*. Serão necessários, no entanto, estudos biológicos detalhados para uma perfeita compreensão dos controles ecológicos desses diferentes organismos.

Os limites entre as zonas biogênicas na plataforma não são estáticos e têm variado em função da transgressão holocênica. Isso se torna mais evidente no limite entre as fácies terrígena e carbonática, onde as algas já iniciaram a ocupação de depósitos regressivos de areia quartzosa compacta. O fenômeno está bem estudado ao largo do Recife (Kempf, Mabesoone e Tinoco, 1970; Kempf, 1970) bem como ao norte de Macau e ao sul de Maceió.

Restos abundantes de algas coralinas encrustantes na plataforma externa, e a maioria dos espécimes vivos localizados na plataforma média, sugerem uma transgressão em condições favoráveis a seu crescimento. Esse padrão talvez reflita uma razão maior de deposição de lama carbonática na plataforma externa com a elevação do nível do mar no Holoceno.

Em síntese, esses sedimentos são muito semelhantes aos dos bancos rasos encontrados nas partes mais externas das plataformas Sahul (Van Andel e Veevers, 1967) e Yucatán (Logan *et al.*, 1969), onde os corais são comuns, ao contrário do que ocorre no Brasil. Por outro lado, os sedimentos da margem continental nordeste brasileira também se distinguem dos encontrados em outras plataformas tropicais pela ausência de oóides. Isso indica que durante os períodos regressivos não ocorreram ali as condições favoráveis à precipitação de carbonato orgânico.

SEDIMENTAÇÃO TERRÍGENA A maior parte dos sedimentos fluviais do nordeste brasileiro fica retida nos níveis mais inferiores dos rios, e somente nas porções costeiras dos deltas do São Francisco e do Japarutuba há evidências de uma acumulação atual de terrígenos de grã fina (Mabesoone e Coutinho, 1970; Barretto e Summerhayes, 1974). A erosão não desempenha papel importante no processo sedimentar ao longo da escarpada costa leste, pois esta é protegida pela formação de recifes litorâneos de areias quartzosas com cimento carbonático (Mabesoone, 1964). Na seção norte da costa, entre Macau e Fortaleza, predominam processos deposicionais, com destaque nas amplas coberturas de dunas de areia. A única movimentação sedimentar em ambiente marinho é a das areias terrígenas do litoral, disseminadas por ondas e correntes de alta energia. Como resultado, supomos serem elas em grande parte relíquias, assim como as lamas terrígenas acumuladas em depressões topográficas durante a transgressão holocênica.

A mineralogia dos sedimentos reflete a interação de vários fatores, tais como geologia, relevo, clima e intemperismo, além da história deposicional dos sedimentos. Por exemplo, o elevado teor de feldspato potássico nas areias da plataforma norte provém das plutônicas ácidas existentes na faixa drenada pelos rios que correm para a costa. A geologia também se reflete nos minerais pesados, típicos da associação de rochas ígneas ácidas mistas e outras metamórficas de alto grau do escudo nordeste brasileiro.

O caráter imaturo a submaturo das frações leves e pesadas indica um intemperismo relativamente breve ou de baixa intensidade. O intemperismo químico intenso se restringe à zona costeira úmida ao sul de Natal. Nesta mesma faixa, porém, a topografia jovem contribuiu no encurtamento do período de exposição. Disso resulta que, durante os períodos de nível de mar baixo, os rios da costa leste carreavam areias arcóscas sobre o Platô de Pernambuco e, presumivelmente, sobre o resto do talude. No entanto, durante as sucessões de transgressão e regressão, as areias depositadas na plataforma se tornavam subarcóscas em ambiente de planície costeira úmida. Este mesmo processo propiciou aumentos nos minerais pesados estáveis, como o zircão, turmalina e os opacos. Os sedimentos arcóscos derivados de regiões áridas são preservados na plataforma ao largo do

São Francisco, porque a razão de suprimento de sedimentos terrígenos é suficientemente alta para compensar os efeitos do intemperismo químico durante as variações do nível do mar.

O elevado teor de feldspato das areias arcóicas, que se estendem de Macau até o limite oeste da área em estudo, e daí por mais 150 km, reflete o clima semi-árido do nordeste. Esta ampla área de ocorrência indica ainda a uniformidade do clima árido durante os períodos de rebaixamento do nível do mar. Além disso, a presença dessas areias por mais 200 km ao longo da costa a oeste de Fortaleza, onde existe hoje um cinturão pluvial costeiro, sugere o baixo índice pluviométrico durante os períodos de regressão.

O clima controla também a mineralogia das argilas. Ao longo da costa úmida entre Maceió e Macau, o intemperismo químico parece ter sido suficientemente intenso para a remoção completa da montmorilonita com produção subsequente de sedimentos ricos em caulinita. O grau de intemperismo decresce tanto para o norte como para o sul, resultando em maiores proporções de montmorilonita e illita nos sedimentos nessas direções. O intemperismo químico de menor intensidade ocorre na faixa semi-árida norte, onde as argilas são essencialmente ilíticas. Os sedimentos do São Francisco também derivam desse *hinterland* semi-árido e são mais ilíticos que os adjacentes da costa leste.

O São Francisco, destacadamente o maior rio da área em foco, serviu de fonte para a maior parte da lama terrígena relíquia depositada no talude continental ao sul de Maceió, embora também os rios menores tenham contribuído durante as fases regressivas. A cor marrom das lamas do talude sugere um menor desenvolvimento da vegetação nesta época, quando então eram dissecados os solos tropicais ricos em ferro com subsequente e ampla deposição de lama ferruginosa.

Durante os períodos de rebaixamento do nível do mar, houve predominância de um clima menos úmido na costa, como sugere o menor teor em caulinita das lamas encontradas no Platô de Pernambuco, comparado ao das lamas da plataforma. No entanto, os elevados teores de montmorilonita e de feldspato caulinizado das lamas deste platô nos levam à conclusão da inexistência de um clima costeiro árido durante sua deposição.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, G. O. — 1964 — “Os climas”, in Azevedo, A., Brasil, a terra e o homem, 1 — As bases físicas. Companhia Editora Nacional, São Paulo: 397-457
- ASMUS, H. E. e PONTE, F. C. — 1973 — “The Brazilian marginal basins”. In A. E. M. Nairn e F. G. Stehli (eds.), The Ocean Basins and Margins, The South Atlantic, Plenum Press, New York-London: 87-133
- BACOCOLI, G. — 1971 — Os deltas marinhos holocênicos brasileiros, uma tentativa de classificação. Bol. Tec. Petrobrás, RJ 14 (1/2): 5-38
- BARRETTO, H. T. e SUMMERHAYES, C. P. — 1974 — Oceanography and suspended matter off northeastern Brazil, J. Mar. Res. (no prelo)
- BERNER, R. H. — 1973 — Phosphate removal from seawater by adsorption on volcanogenic ferric oxides. Earth Plan. Sci. Let. 18: 77-86
- BISCAYE, P. E. — 1965 — Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. Bull. Geol. Soc. Amer. 76: 803-832
- CAULET, J. P. — 1972 — Recent biogenic calcareous sedimentation on the Algerian continental shelf. In D. J. Stanley, The Mediterranean Sea: a natural sedimentation laboratory, Dowden, Hutchinson & Ross: 261-278
- COLEMAN, J. M. e WRIGHT, L. D. — 1973 — Delta morphology in relation to the discharge/wave-power climate. Soc. Bras. Geol. Anais XXVI Cong. Bras. Geol., 2: 145-156
- COUTINHO, P. N. — 1970 — Sedimentation at the mouth of the São Francisco river (Brazil). Trab. Oc., Univ. Fed. PE 9/11: 41-50

- COUTINHO, P. N. e MORAIS, J. O. — 1970 — Distribución de los sedimentos en la plataforma continental norte-noreste del Brasil. *Arq. Ciên. Mar.*, Univ. Fed. CE **10**(1): 79-90
- EMERY, K. O. e UCHUPI, E. — 1972 — Western North Atlantic ocean: topography, rocks, structure, water, life and sediments. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, Memoir **17**, Tulsa, Oklahoma, 523 pp.
- FRANÇA, A. M. C. — 1974 — Atividades da segunda etapa da fase operacional do Projeto REMAC na Woods Hole Oceanographic Institution (USA), *Relat. Int. Petrobrás-GENPES*, 40 pp.
- FRANÇA, A. M. C., MILLIMAN, J. D. e SUMMERHAYES, C. P. — 1974 — Atlas of bathymetry, shallow structure and magnetics on the Brazilian continental shelf and upper slope (inédito)
- GILLSON, J. L. — 1950 — Deposits of heavy minerals on the Brazilian coast. *Trans. A.I.M.E.* **187**: 685-693
- JACQUOTTE, R. — 1962 — Étude des fonds de maerl en Méditerranée. *Bull. Rec. Travaux Sta. Mar. d'Endoume* **26**: 141-230
- KEMPF, M. — 1970 — Nota preliminar sobre os fundos costeiros da região de Itamaracá, PE, Brasil. *Trab. Oc.*, Univ. Fed. PE **9/11**: 95-110
- KEMPF, M., MABESOONE, J. M. e TINOCO, I. M. — 1970 — Estudo da plataforma continental da área do Recife; I — Generalidades sobre o fundo. *Trab. Oc.*, Univ. Fed. PE **9/11**: 125-148
- LABOREL, J. L. — 1967 — A revised list of Brazilian scleractinian corals and description of a new species. *Postilla, Peabody Mus. Nat. Hist.*, Yale Univ. **107**: 14 pp.
- LABOREL, J. L. e KEMPF, M. — 1967 — Formações de vermetos e algas calcárias nas costas do Brasil. *Trab. Oc.*, Univ. Fed. PE **7/8**: 33-50
- LOGAN, B. W., HARDING, J. L. AHR, W. M., WILLIAMS, J. D. e SNEAD, R. G. — 1969 — Carbonate sediments and reefs in Yucatán shelf, Mexico. *Am. Assoc. Pet. Geol. Memoir* **11**: 1-198
- MABESOONE, J. M. — 1964 — Origin and age of the sandstone reefs off Pernambuco, Brasil. *Jour. Sed. Petrology* **34**: 715-726
- MABESOONE, J. M. e TINOCO, I. M. — 1967 — Shelf off Alagoas and Sergipe. *Trab. Oc.*, Univ. Fed. PE **7/8**: 151-186
- MABESOONE, J. M. e COUTINHO, P. N. — 1970 — Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. *Trab. Oc.*, Univ. Fed. PE **12**: 1-214
- MILLIMAN, J. D. — 1972 — Atlantic continental shelf and slope of the United States: petrology of the sand fraction, northern New Jersey to southern Florida. *USGS Prof. Paper* **529J**: 40 pp.
- MILLIMAN, J. D. — 1974 — Marine carbonates, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin: 375 pp.
- MURRAY, J. e RENARD, A. F. — 1891 — Deep-sea deposits. In Thompson, C. W., Report on the Scient. results of the voyage of H.M.S. Challenger, 5. Eyre and Spottiswood, Londres: 525 pp.
- PÉRÈS, J. M. e PICARD, J. — 1964 — Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Travaux Sta. Mar. d'Endoume* **31**: 5-137
- REBOUÇAS, A. C. — 1967 — Sedimentos da Baía de Tamandaré (PE). *Trab. Oc.*, Univ. Fed. PE **7/8**: 187-206
- ROBERTS, A. A., PALACAS, J. A. e FROST, I. C. — 1973 — Determination of organic carbon in modern carbonate sediments. *Jour. Sed. Petrology* **43**: 1157-1159
- ROSS, D. A. — 1970 — Atlantic continental shelf and slope of the United States: heavy minerals of the continental margin from southern Nova Scotia to northern New Jersey. *USGS Prof. Paper* **529G**: 40 pp.
- VAN ANDEL, Tj. e VEEVERS, J. J. — 1967 — Morphology and sediments of the Timor Sea. *Austral. Bur. Min. Res. Geol. Geophys. Bull.* **83**: 173 pp.