

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS "BEACH-ROCKS" DO NORDESTE DO BRASIL

JADER ONOFRE DE MORAIS (1)

ABSTRACT

This work studies the beach-rocks of Ceará, their litology, origin, chemical and morphological contents, stressing specially their analysis in microscopical slides.

In this area two types of facies were considered, macroscopically distinct, in which are represented the sandstones cemented by carbonate of calcium (marine) and the ferruginous sandstones of continental origin.

These have been divided in three microfacies:

1 — Ferruginous sandstones, whose cimentation is caused exclusively by limonita;

2 — Conglomeratic iron-sandstones;

3 — Ferruginous sandstones with marine interference, where it can be noted the presence, of spots of calcita (secondary) dispersed in the iron oxide. In this case there has been a substitution of limonita by micro-crystalline calcita, not representing, however, any transmission in which there could have been the participation of siderita.

Some interrelations have been made with the several occurrences of beach-rocks from the northeastern litoral, from what a division into other micro-facies was inferred to show its biological contents.

INTRODUÇÃO

Ao longo da praia de Meireles em Fortaleza (CE), ocorrem arrecifes ferruginosos, assim como arenitos calcíferos de praia.

Este trabalho, realizado nos Laboratórios de Geologia do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernam-

(1) Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará

bucu, trata do aspecto desses arenitos em lâminas petrográficas, sua correlação com as diversas ocorrências na Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, baseando-se no caráter geomorfológico e litológico dos mesmos.

Agradecimentos são devidos ao Prof. Paulo da Nóbrega Coutinho, pela orientação e crítica do trabalho; à estagiária Eva Caldas pela cooperação constante na estruturação do mesmo e à direção do Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará por proporcionar esta oportunidade.

Localização, material e métodos de estudo

A área de estudos situa-se na praia de Meireles, em Fortaleza (CE), próximo à enseada do Mucuripe. O aspecto geral da costa é uma contínua sucessão de dunas de areia, na direção comum SE, exposta ao ventos de NE e SE.

As rochas estendem-se pela praia em recifes "tipo franja", de superfície irregular, erodidas e enrugadas, ou em cordões paralelos à praia, constituindo verdadeiras barreiras.

Estudou-se também o material procedente do R. G. do Norte, Paraíba e Pernambuco, para correlação e identificação litológica.

Nessas localidades a costa é baixa, bordejada para o interior por formações tabulares argilosas, de idade terciária, chamadas Formações Barreiras. De erosão fácil, elas são entalhadas nas planícies de erosão sedimentares, antigas bacias marinhas entulhadas e percorridas por um ou mais cursos d'água de fraca descarga.

Os sedimentos costeiros consistem principalmente em depósitos fluviais e lacustres, areias de dunas e praia.

Dezoito lâminas foram estudadas segundo os métodos de Carozzi (1960) e Folk (1959).

A determinação do mineral de ferro foi feita através da D.T.A. e as análises químicas se processaram em laboratórios da SUDENE.

PRINCIPAIS TIPOS DE MICROFÁCIES

Independente da posição geográfica e estratigráfica, todas as microfácies encontradas podem ser agrupadas em seis principais. Para cada uma delas é dada uma descrição detalhada e interpretação segundo Carozzi (1960) e Folk (1959).

Rochas calcíferas

Neste grupo distinguem-se os seguintes tipos de microfácies:

1. *Arenito puramente calcífero*. — O aspecto macroscópico é de um beach-rock típico. Trata-se de um arenito de granulação variável, cores cinza escura até amarelada, dispostos em cordões mais ou menos paralelos à praia, com estratificação horizontal e em alguns lugares apresentando laminação cruzada. Nas regiões de Recife e Natal ocorrem em cordões repetidos e paralelos à praia, com aspecto típico de um beach-rock, ao passo que em Fortaleza, são recifes do tipo franja com granulação fina, até grosseira, talvez devido a um maior mergulho local. No seio das rochas ocorrem conchas diversas e fragmentos de algas do tipo *Halimeda*. Quanto aos grãos de quartzo, distinguiram-se dois tipos: arredondados e subangulosos, cujos índices de arredondamento e esfericidade indicaram procedências diferentes. Na praia de Meireles apresentam o caráter de rochas listradas, marcando deste modo os diversos estágios de cimentação.

O estudo em lâminas mostra tratar-se de um arenito quartoso calcífero, mal selecionado, com grão de quartzo predominantemente subangulosos e localmente grãos mais arredondados, alguns apresentando inclusões de rutilo disseminados dentro de um cimento de calcita microcristalina. Raros feldspatos encontram-se também disseminados nesta matriz.

2. *Microsparito*. — Macroscopicamente é um calcarenito de cor bege, de granulação média. A amostra estudada provém da praia de Carne de Vaca (Goiana-PE).

O exame microscópico revelou ser um microsparito no sentido de Folk. Os raros grãos de quartzo presentes são bem selecionados e subarredondados. A cristalização não parece ter sido homogênea em toda microfácies. Localmente ela foi mais forte, levando à formação de cristais transparentes, não deixando nenhum traço de cimento pré-existente. Em outros lugares, entretanto, a recristalização não foi tão intensa e o cimento permaneceu com o aspecto da calcita microcristalina original, de coloração mais escura. O cimento calcítico espárico, não é um precipitado original, mas um produto de recristalização da calcita microcristalina.

3. *Alga-biomicro*. — Macroscopicamente é um calcário de granulação muito fina e coloração cinza claro, com estruturas de algas visíveis.

Em lâmina, é um biomicro. Os elementos detríticos representados por pequenos grãos de quartzo, são muito raros ou ausentes. O cimento é constituído de calcita criptocristalina,

de coloração amarelo-escuro. Os grãos são de 1-4 micra de diâmetro, geralmente subtranslúcidos. É considerado como formado por uma precipitação química ou bioquímica rápida na água do mar, depositando-se no fundo, e às vezes deslocando-se com as correntes fracas. Dos componentes orgânicos, os mais abundantes são as algas, seguidas por conchas de moluscos, principalmente lamelibrânquios, que apresentam uma certa recristalização e ainda algumas conchas de ostracodes. Uma tal microfácies parece ter sido formada em um meio pouco agitado, de pouca profundidade, numa zona submarina oxigenada, permitindo precipitação química e bioquímica dos carbonatos.

O depósito inicial pode ter sido de aragonita, posteriormente, transformada em calcita, ou de calcita primária. A acumulação de algas e demais organismos confirmam a existência de ambiente de precipitação pouco profundo, desprovido de correntes violentas.

O termo alga-biomicroto empregado, é justificado pela predominância absoluta de algas.

Rochas ferruginosas

Essas rochas ocorrem na praia desde a parte coberta pela preamar até a zona de alta praia sem obedecer a nenhuma disposição característica.

Possuem extrema variação na granulometria de fino até conglomerático. Sua coloração varia de vermelho claro a bem escuro, de acordo com o maior ou menor teor em ferro. Apresentam as vezes concreções ferruginosas ou consistem de arenito fino e siltito bem litificado com estrutura concrecionar.

Os de Fortaleza, na maioria, mostram estruturas pisolíticas e alveolar. Nunca se apresentam na praia na disposição paralela dos beach-rocks propriamente ditos. Nas praias onde aflora a Formação Barreiras estes arenitos ocorrem dentro da própria formação.

Quanto a sua nomenclatura, pode-se dizer o seguinte: a laterização acarreta a remoção da sílica e conseqüente empobrecimento dos solos e rochas em sílica e alumínio. Da análise química nestas rochas notou-se na fácies conglomerática uma grande percentagem de ferro, ao passo que de alumínio é diminuta. Então, no caso dos arenitos de praia o termo laterito não teria um emprego adequado, principalmente porque eles apresentam apenas camadas consolidadas da Formação Barreiras.

Esses arenitos ferruginosos de praia foram divididos em três microfácies descritas a seguir:

1. *Arenitos puramente ferruginosos.* — Essa microfácies é formada pelas rochas essencialmente ferruginosas, cuja estrutura macroscópica varia: as vezes mostram-se com granulação média, outras vezes como verdadeiros siltitos, bem litificados, com superfície enrugada. Macroscopicamente é constituído por grãos de quartzo mal selecionados subangulosos e subarredondados, disseminados em um cimento constituído na totalidade pelo óxido de ferro. Feldspatos e calcita não foram encontrados. As figs. 1-A e 2-A mostram o aspecto macro e microscópico respectivamente. O cimento limonítico, às vezes picota o quartzo, penetrando através das fraturas.

2. *Arenitos ferruginosos calcíferos.* — Macroscopicamente (veja fig. 1-A) essas rochas confundem-se com as da microfácies anterior, podendo apresentar as mesmas estruturas e disposição.

Em lâminas (fig. 2-B) apresentam grãos de quartzo bem selecionados subarredondados e subangulosos, alguns feldspatos e calcita microcristalina. Nota-se perfeitamente o papel secundário da calcita que nunca ataca os grãos de quartzo. Estes são atacados pela limonita, em cujo seio estão dispersos as manchas de calcita.

Conclui-se então que é uma rocha originalmente continental, mas que na sua fase inicial, ainda ao sofrer os processos de consolidação, foi atacado pelo cálcio proveniente da água do mar. Vez por outra, a estrutura macroscópica dessas rochas mostra-se aparentemente ferruginosa. Quebrando-se a rocha pode-se verificar que é na realidade um arenito calcífero com uma espessa capa ou crosta ferruginosa. Houve uma mistura de material de ambientes diferentes.

3. *Microfácies conglomerática.* — O aspecto macroscópico que se pode verificar na figura 1-C é um verdadeiro conglomerado. Os seixos de quartzo achatados, arredondados e com certa orientação têm tamanho máximo de 3,5 cm aproximadamente.

Em lâminas (fig. 2-C) observa-se a presença de seixos de quartzo mal selecionados, cuja cor varia desde translúcido até cinza claro. São predominantemente fraturados, com ataque e infiltração do óxido de ferro em suas fraturas, embora localmente, deixem de apresentar esta infiltração.

A análise química de 4 amostras da praia de Meireles apresentou o seguinte resultado:

ROCHAS	FERRUGINOSAS			CALCÍFERAS
	1	2	3	
MICROFÁCIES				1
Sílica (SiO ₂)	65,97%	53,98%	74,50%	65,64%
Ferro (Fe ₂ O ₃)	27,60%	25,40%	18,80%	0,80%
Cálcio (CaCO ₃)	0,20%	8,05%	0,20%	24,35%
Magnésio (MgO)	0,49%	0,57%	0,30%	3,01%
Potássio (K ₂ O)	0,07%	0,66%	0,06%	0,48%
Sódio (Na ₂ O)	0,12%	0,36%	0,08%	0,58%

As conclusões do D.T.A. foram:

- O mineral de ferro presente é a goetita.
- O mineral de argila presente é a haloizita, ocorrendo em quantidade relativamente grande, embora não se possa excluir também a presença de illita.

DISCUSSÕES

Os arenitos de praia (beach-rock) que se formam em clima tropical têm levado os diversos autores a numerosas polêmicas sobre sua origem. Branner, (1904), formulou algumas teorias para a origem do cimento calcífero, que considerou como sendo depositado da água do mar, através do CO₂.

Essa teoria é bastante clara, pois o dióxido de carbono escapa quando da rebentação da água sobre a praia. Com efeito o arrebentamento das ondas pode precipitar tanto o CaCO₃ como o óxido de ferro, que vêm em solução na forma de bicarbonato e carbonato de ferro respectivamente.

Outra hipótese seria o carbonato de origem continental, pois as águas correndo sobre a superfície calcária estariam necessariamente carregadas de cálcio. Se estas correntes entram

no mar sem nenhuma diluição, sua tendência é depositar seu conteúdo de cálcio imediatamente à entrada do mar.

A hipótese de um depósito físico-químico de CaCO₃, provocado pela evaporação das águas de impregnação das areias à maré baixa, reuniu o maior número de pesquisadores, (Kuenen, 1953; Emery & Fosler, 1948, Coireshery 1953) se bem que o mecanismo proposto varie de um a outro. Cloud (1952) pensa numa imobilização das areias pelos filmes de algas verdes e azuis. Daily (1954) pensou numa decomposição bacteriana da matéria orgânica. Esta idéia é também formulada por Nesteroff (1956) que num exame de beach-rock na binocular notou encrostamento de todos os grãos por um filme calcário que depois da descalcificação mostrava traços contendo numerosas bactérias.

Ottman (1961) considerando ocorrências de areias ricas em material calcário, abaixo da linha de baixamar, na praia de Piedade, no Recife, presumiu que os recifes de arenito são formados "in offshore". Entretanto, pode-se notar que esta ocorrência não é restrita apenas à zona citada, pois em outros lugares da costa de Pernambuco ocorrem também "in foreshore area". Ainda Ottmann, é de opinião contrária à hipótese de que as rochas de praia tratam-se de dunas consolidadas. Ao contrário, trata-se da parte submarina da praia, muito rica em calcário que pelas diversas etapas de regressão marinha se consolidou. As dunas que acompanharam estas diversas regressões não se consolidaram e permaneceram móveis. Russel (1962) considerou os recifes de arenito como sendo areias de praia cimentadas. Estes beach-rocks se formariam na vizinhança do lençol freático, a temperaturas suficientemente altas para permitir a precipitação do carbonato de cálcio como cimento. Delaney, (1965) confirma esta teoria, procurando explicar a formação dos beach-rocks do Rio Grande do Sul. Diz que a água passa pela linhita durante a maré baixa e fica carregada de dióxido de carbono. Enquanto isto, o metano é liberado das camadas de linhita pela decomposição da matéria orgânica. A água carregada de CO₂ reage com o carbonato de cálcio das conchas para formar íons de cálcio e bicarbonato, que são precipitados no lençol freático.

Quanto aos arenitos ferruginosos, Branner, (1904) pensava que o cimento de ferro teria se originado do carbonato de ferro em suspensão na água do mar, o qual se depositaria, então, com despreendimento do dióxido de carbono.

Hoje, ao se fazer uma correlação com a morfologia litoral, pode-se chegar a outras conclusões sobre a origem deste cimento ferruginoso.

Já se pensou que os arenitos ferruginosos teriam sua origem no carbonato de ferro, em suspensão na água do mar, depositando-se como óxido de ferro. Entretanto, pode-se encontrar uma melhor solução para explicar estes arenitos, nos sedimentos da formação Riacho Mórno, parte mais superior do Grupo Barreiras, que bordam toda costa nordestina.

Os depósitos que constituem os sedimentos desta formação foram originados por ocasião da troca climática do úmido para o semi-árido. Nessa ocasião, o regolito formado em clima úmido foi removido para as depressões do terreno como lençóis, e torrentes de lama.

As planícies litorais devem ter sido afogadas pelo mar, formando bacias mais profundas, limitadas por falésias vivas, esculpadas na formação Barreiras.

Ao curso de consequente regressão, a plataforma continental do Nordeste brasileiro deveria estar emergida na sua totalidade. Produziu-se então, uma forte erosão com dissecação de falésias e depósitos de materiais destacados sob forma de "pic-mont" sobre a plataforma ravinada.

Com as oscilações eustáticas do nível oceânico, formaram-se os terraços e no curso dos mais recentes deles determinou-se a formação dos arenitos ferruginosos, ligados deste modo à formação Riacho Mórno. Existem dúvidas quanto ao óxido de ferro que cimenta estes arenitos; se chegou aí por via direta, ou se houve transição. Nas lâminas estudadas procurou-se minuciosamente identificar a siderita (carbonato de ferro), que seria então o termo de transição, não se tendo no entanto encontrado.

Os recifes de arenitos calcíferos, têm estreita relação com a ocorrência de lençóis freáticos na sua proximidade. O contacto da água doce e salgada, pela diferença de saturação faz precipitar o carbonato de cálcio.

Idade

Tricart, (1959) atribui a idade dos beach-rocks ao Dunkerquiano, quando o nível do mar seria 1/2 a 1 m acima do atual. Baseou-se num conglomerado ferruginoso no rio Vermelho, em Salvador, que teria se formado sob outras condições climáticas caracterizadas por uma estação seca pronunciada, e que está situado a 1/2 m acima do nível atual da linha de costa. Acontece que o conglomerado cobre o beach-rock com o mesmo mergulho, não sendo, portanto, representativo de um nível de mar mais alto que o atual. A cimentação dos beach-rock ocorre também em condições climáticas atuais e não é necessariamente devida a um outro clima com

estações secas. Finalmente, corais vivos são frequentemente encontrados nesta área e também novos beach-rocks estão em formação. Não existe evidência para um mais alto nível do mar, durante o Dunkerquiano (Sheppard, 1960). Ottman, (1960) atribui os recifes à fase regressiva no quaternário, baseado no argumento de que durante a perfuração de um poço no I. O. encontrou-se recifes de arenito numa profundidade de até 3 m, coincidindo com o nível de mar atual e o nível dos recifes expostos na praia de Piedade. A presença de recifes de arenito abaixo do I. O., e um lençol freático de água relativamente fresca, neste nível, prova a exatidão da interpretação de Russell (1962), de que os beach-rocks formam-se perto do lençol subterrâneo ou ainda à certa distância da linha de costa. Andrade (1965), sem considerar exatamente a idade dos beach-rocks, atribui apenas a uma série de interrupções temporárias, durante um período geral de transgressões. Os recifes de arenito da praia do Meireles são muito jovens, pois existem amostras que contém fragmentos em formações incrustadas nos arenitos friáveis. O conteúdo orgânico mostrou também recentes espécimens de organismos vivos. Os recifes podem ser atribuídos assim à última subida oceânica durante o Holoceno. Recentes estudos na Europa e outras partes do mundo (Curry, 1961; Jelgersma 1961; Sheppard, 1963) mostram evidências de continuas elevações do nível do mar durante o Holoceno, com períodos de maiores e menores intensidades, tais como: avanço e recuo glacial, frequentes tempestades, e alteração de camadas marinhas mais salgadas no nível da costa.

Van-Andel fez a datação absoluta através do C-14 dos beach-rocks de Piedade e apresentou um resultado de 6.000 anos.

CONCLUSÕES

O exame microscópico revelou nos arenitos ferruginosos uma cimentação total pelo óxido de ferro, atacando diretamente os grãos detriticos. Não se distinguiu em nenhuma lâmina a presença de siderita, o que leva a crer que não houve transição pelo carbonato de ferro. Pela semelhança litológica e textural e ainda pela correlação geomorfológica principalmente no que concerne à morfologia litoral conclui-se que esses arenitos são ligados ao grupo Barreiras.

Nos arenitos calcíferos, (Beach-rocks) a estratificação consecutiva, representa, sem dúvida, o ponto de parada na subida do nível do mar, mas sua preservação é devida às circunstâncias locais favoráveis, tais como proteção de corais, rápida acumulação de areia ou cimentação grosseira.

Na área investigada, tôdas as rochas de praia podem ser chamadas de recifes na definição náutica da palavra. Observaram-se três tipos principais:

- 1 — *Beach-rocks* — arenitos cimentados pela calcita microcristalina, cryptocristalina ou espárica. Estão geralmente associados a um nível de lençol freático. Datam principalmente de tempo recente.
- 2 — *Arenitos ferruginosos* — de origem continental, ligados à Formação Riacho Mórno, de idade pliopleistocênica. O desenvolvimento paleogeográfico até consequente formação dos arenitos está explicado na parte de paleogeografia.
- 3 — *Calcários* — são sedimentos calcários pertencentes principalmente à Formação Maria Farinha ou à Formação Gramame do Maestrichtiano.

Em Fortaleza e Natal existe a transição da fácies continental à marinha representada pela "microfácies 2" nas rochas ferruginosas. Notam-se na praia rochas aparentemente ferruginosas, mas que em verdade são arenitos calcíferos encobertos por uma verdadeira crosta ferruginosa, se bem que a maioria desta localidade seja essencialmente ferruginosa, e se enquadre na "microfácies 1" das rochas ferruginosas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. O. 1955. *Itamaracá. Contribuição para o estudo morfológico da costa pernambucana, Recife*. Tese de Concurso, 84 p.
- BRANNER, J. C., 1904. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations with a chapter on the coral reefs. *Mus. Comp. Zool. Bul., Harvard College, Cambridge*, 44: (7).
- CAROZZI, A. V., 1960. *Microscope sedimentary petrography*. John Wiley and sons, Inc. N. Y. and London, 485 p.
- COUTINHO, P. N., 1961. *Estudo das condições de sedimentação do Porto do Recife*. Univ. do Recife, Escola de Geol. Tese de Graduação (manus) 29 p.
- , 1963. *Contribution à l'étude pétrographique et lithostigraphique des calcaires oligocène de la Gironde*. Univ. Bordeaux. Diplôme d'étude supérieures de Sciences Naturelles, 31 p.
- DELANEY, P. V. S., 1965. Reef Rock on the coastal platform southern Brazil and Uruguai: *Proc. Internat. Assoc. Physical Oceanography XIII. Assembly, Berkeley, California*.

MAHESSOONE, J. M., 1964. Origin and age of the sandstone Reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil). *Journ. Sedim. Petrology*, 34: 715-726.

———, 1965. Composition and origin of "Pedra Canga" and related ironstones in northeastern Brazil. *Geologie en Milbo W*, 44: 231-241.

MORAIS, J. O., 1966. *Geologia e aspectos hidrogeológicos da região W de Igarassú*. Univ. Fed. Pernambuco, Escola de Geol., Tese de Graduação, (manus.), 51 p.

NESTERROF, W. D., 1959. Le substratum organique dans le dépôts calcaires. *Soc. Geol. de France. 6ème série*.

OTTMANN, F., 1960. — Une hypothèse sur l'origine des "arrecifes" du Nordest Brésilien: *Soc. Geol. France, Compt. rendus somm.* 175-176.

SHEPPARD, F. P. and Young, R. 1961. Distinguishing between beach and dune sands. *Journ. Sedim. Petrology* 31: 196-214.

TRICART, J. 1959. Problemes Geomorphologiques du litoral ocidental du Brésil: *Cahiers Océanogr.*, 11: 276-308.

TRICHET ET BLOCK, 1966. Un exemple de grès de plage. *Marine Geol.* 5: 373-377.

VON ANDEL, T. H., AND LABOREL, J., 1964. Recent high relative sea level near Recife, Brazil. *Science*, 145: 580-581.



Fig. 1 — Aspecto macroscópico das rochas ferruginosas.
A — Rocha de granulação fina essencialmente ferruginosa

Macroscopical aspect of the iron sandstones.
A — Rock of fine ferruginous granulation.



B — Rocha de granulação média com mistura de ambiente continental e marinho.

B — Rock of medium granulation with a mixture of continental and marine environments.



C — Fácies conglomerática.

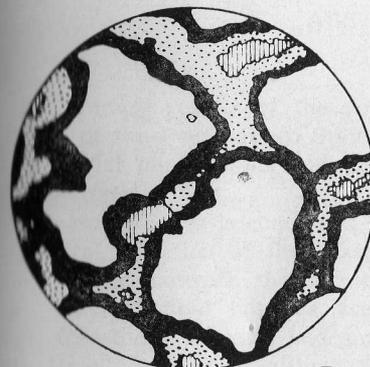
C — Conglomeratic facies.



A

Fig. 2 — Aspecto microscópico das rochas ferruginosas.

A — A parte branca corresponde ao quartzo picotado pelo óxido de ferro, representado pela hachuriado.



B

B — O óxido de ferro (opaco) contorna os grãos de quartzo (branco) e engloba o carbonato de cálcio (pontilhado).

C — Fácies conglomerática. Hachuriado = óxido de ferro, a parte branca representa o fraturamento do quartzo.



C

Microscopical slides on the iron sandstone. Line drawings of some thin section.

A-C — White = detrital quartz
hatched = ironoxide

B — White = quartz
Stippled = Criptocristalline calcite
Dark = opac iron oxide
hatched = transparent iron oxide.