

O INÍCIO DA LIVRE CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS DO OCEANO ATLÂNTICO

THE BEGINNING OF FREE CIRCULATION OF ATLANTIC OCEAN WATERS

Flávio Juarez Feijó¹

RESUMO - A abertura final do Oceano Atlântico é datada com razoável precisão a partir da análise sedimentológica e paleontológica de testemunhos contínuos obtidos nas formações Muribeca e Riachuelo, depositadas nas fases transicional e marinha da Bacia de Sergipe. O último traço de união entre América e África, na região da Paraíba, rompeu-se, provavelmente, no Neoptiano, permitindo, desde então, o início da livre circulação das águas do Oceano Atlântico. Esta interpretação é corroborada pela presença de formas plantônicas tetianas nas rochas sedimentares neoptianas da Bacia de Sergipe.

(Originais recebidos em 09.02.94.)

ABSTRACT - The final opening of the Atlantic Ocean was dated with reasonable precision using continuously cored sedimentological and paleontological sections from Muribeca and Riachuelo formations, deposited during the transitional and marine phases of the Sergipe Basin. The last link between America and Africa, in the Paraíba region, was probably broken during the Neoptian, and since then the free circulation of the Atlantic Ocean waters was possible. This interpretation is corroborated by the presence of planktonic Tethian fauna.

(Expanded abstract available at the end of the paper.)

1 - INTRODUÇÃO

Objetiva-se, aqui, contribuir para o posicionamento no tempo geológico do momento em que a abertura do rift atlântico permitiu o estabelecimento de um corpo de água oceânico contínuo.

A interpretação baseia-se em análise macroscópica e microscópica (Feijó, 1980) dos testemunhos contínuos dos poços 5-CPB-1A-SE e 7-CP-252-SE, situados, respectivamente, nas chamadas áreas Central e do Embasamento do Campo de Carmópolis, na Bacia de Sergipe (fig. 1).

2 - LITOESTRATIGRAFIA

A seção testemunhada (figs. 2 e 3) abrange a parte inferior da Formação Riachuelo, Membro Taquari, e boa parte da Formação Muribeca, membros Oiteirinhos e

Ibura (fig. 4). A transição de sedimentação continental para marinha na Bacia de Sergipe teve início com a deposição em planície de *sabkha* dos evaporitos e carbonatos laminados ou estromatolíticos do Membro Ibura. Este estágio se encerrou com a precipitação da chamada Anidrita Principal, com espessura em torno de 15 m, que marca o topo do Membro Ibura. As planícies de *sabkha* se caracterizam pela deposição de sedimentos finos, normalmente calcilutitos laminados e argilosos e esteiras algais. A intensa evaporação, conseqüente do clima muito árido, se traduz na precipitação de evaporitos nos poros e capilares do sedimentos inconsolidados. Estes evaporitos formam, então, nódulos que podem, finalmente, obliterar totalmente a estrutura de seus hospedeiros.

O clima árido que se instalou na Bacia de Sergipe no Aptiano é evidenciado pelas centenas de metros de anidrita, halita, carnalita, silvinita e taquidrita componentes do Membro Ibura, preenchendo sub-

1 - Serviço de Recursos Humanos (SEREC), Centro de Treinamento do Sul e Sudeste (CEN-SUD), Área de Geologia, Rua General Canabarro, 500, 20271-900, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

bacias mais ou menos isoladas, como a de Taquari-Vassouras, situada no flanco noroeste do Campo de Carmópolis (Szatmari *et al.* 1979).

O ciclo evaporítico aptiano praticamente encerrou-se com a precipitação da Anidrita Principal (fig. 2, intervalo 590-604 m), na forma de nódulos em um hospedeiro micrítico, com ampla distribuição no Alto de Aracaju. A ela sobrepõem-se folhelhos e calcilutitos laminados, estes, por vezes, ricos em nódulos de anidrita (fig. 2, intervalo 560-590 m), conhecidos como "Dois Picos". A seguir, depositaram-se siltitos e calcilutitos laminados, compondo, por vezes, ciclos de *shoaling upward* (fig. 2, intervalo 510 m-560 m; fotos 1 e 2).

Os primeiros sedimentos inequivocamente marinhos da seção amostrada são calcilutitos maciços com ocasionais algas cianofíceas, que ocorrem nos testemunhos do poço 7-CP-252 acima dos 510 m (fotos 3 e 4). Exceção feita a algas, estromatolitos e a poucos ostracodes (foto 5), é rara a presença de fósseis em quase toda a Formação Muribeca. Esta característica sofre marcante mudança no topo do Membro Oiteirinhos (fig. 2, 500 m): repentinamente, o sedimento passa a ostentar forte bioturbação (foto 6) e ocorre notável incremento na quantidade de foraminíferos plantônicos observáveis em lâmina delgada (fotos de 7 a 9). Tal caráter fossilífero e bioturbado prossegue nos calcilutitos e folhelhos cinzentos do Membro Taquari, acima.

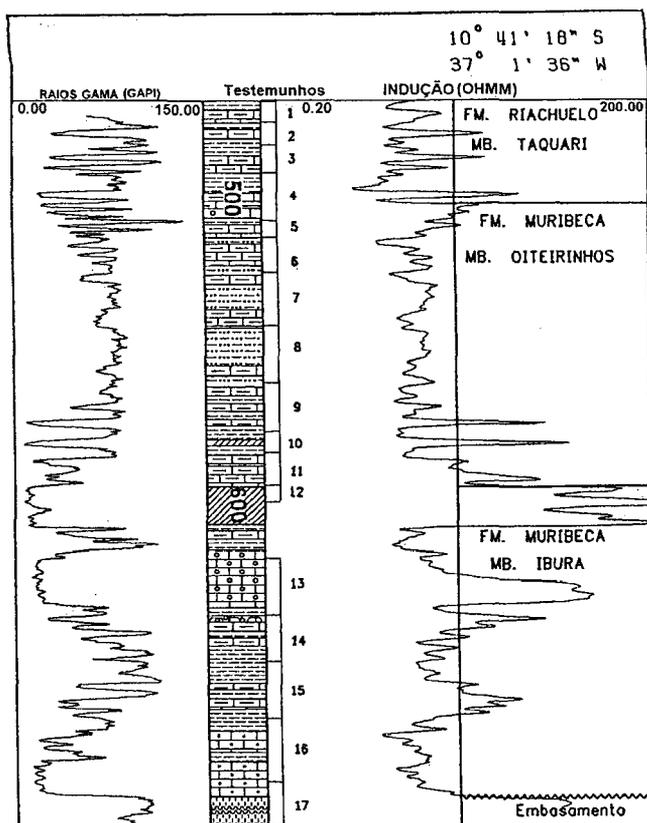


Fig. 2 - Perfil do poço CP-252.
Fig. 2 - Log, Well CP-252.

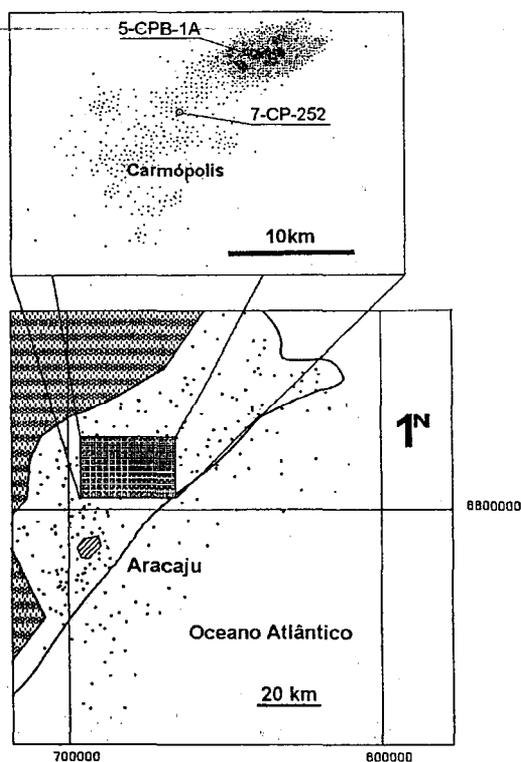


Fig. 1 - Mapa-base da Bacia de Sergipe destacando o Campo de Carmópolis.
Fig. 1 - Base map, Sergipe Basin, showing the Carmópolis Field.

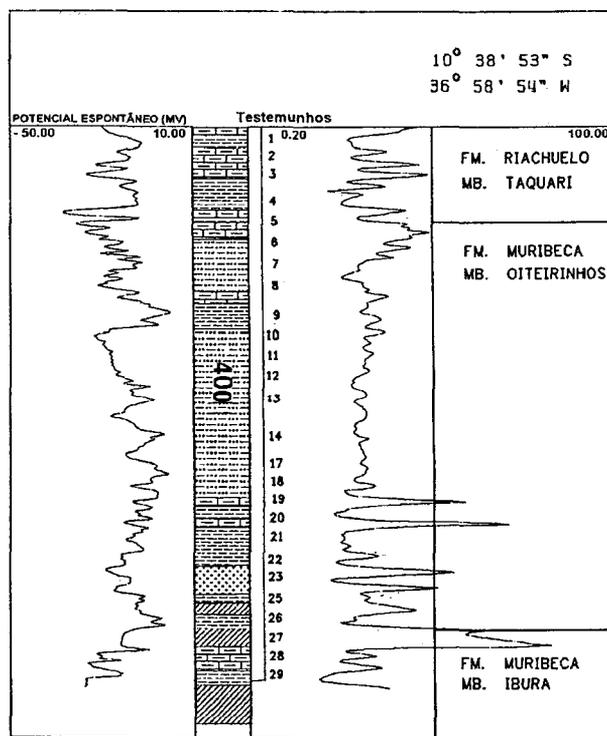


Fig. 3 - Perfil do poço CPB-1A.
Fig. 3 - Log, Well CPB-1A.

3 - BIOCronoestratigrafia

As rochas sedimentares das formações Muribeca e Riachuelo, como todas as unidades estratigráficas da Bacia de Sergipe, têm sido alvo de análises biocronoestratigráficas rotineiras. Há considerável grau de incerteza na correlação entre as idades locais, baseadas em ostracodes e palinórfos, e a coluna cronoestratigráfica internacional, construída a partir de amonóides e foraminíferos plantônicos. A correspondência entre as duas geocronologias foi tentada por alguns autores, utilizando palinórfos como elemento de ligação. Regali e Viana (1988) escolheram a extinção de *Sergipea variverrucata* e o surgimento de *Elateropollenites jardinei* e *Cretaceiporites polygonalis* para marcar o fim da Idade Alagoas, que, em parte, coincidiria com o início do Albiano. Arai *et al.* (1989) definiram esta parte eoalbianiana da Idade Alagoas com base na presença do palinórfio *Caytonipollenites sp.*, que caracteriza a zona P-280. Até recentemente, tal definição baseava-se na extinção do palinórfio *Exesipollenites tumulus Balme*, mas Uesugui e Dino (1989) mostraram a impropriedade deste procedimento, pois este fóssil apresenta amplitude de ocorrência muito longa, do Neocomiano ao Campaniano, nas bacias da costa leste brasileira.

Mesmo considerando-se as incertezas nas correlações das idades, diversas determinações bioestratigráficas efetuadas no âmbito da PETROBRAS conferem idade neoaptiana (P-270) para as rochas dos membros Oiteirinhos e Ibura. Esta datação foi refinada por Koutsoukos (1989) e Koutsoukos *et al.* (1989), que relataram a presença de foraminíferos plantônicos do subgênero *Favusella*, de idade neoaptiana, nas rochas do Membro Oiteirinhos e da base do Membro Taquari.

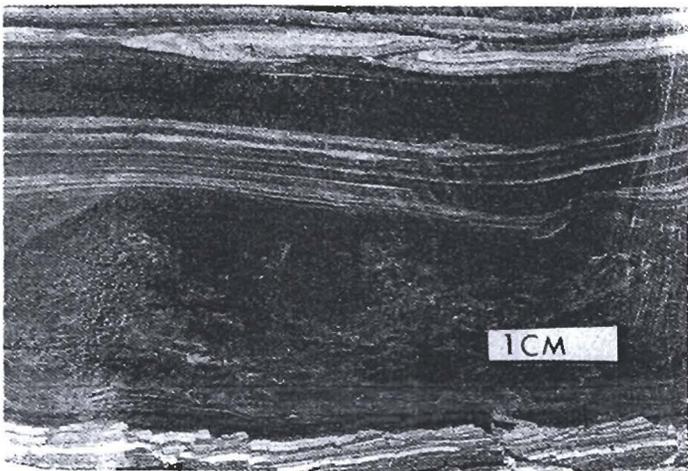


Foto 1 - 7-CP-252-SE #6 517,1 m. Calcilutito laminado e microfaiado, típico da Formação Muribeca.
Photo 1 - 7-CP-252-SE #6 517.1 m. Laminated and microfaulted calcilutite, typical of Muribeca Formation.

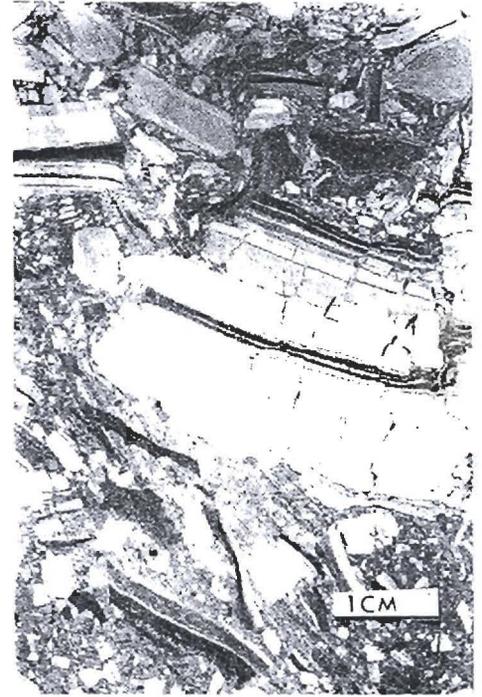


Foto 2 - 7-CP-252-SE #5 510,6 m. Formação Muribeca, Membro Oiteirinhos. Calcilutito laminado intensamente brechado, talvez em consequência de halocinese.

Photo 2 - 7-CP-252-SE #5 510.6 m. Muribeca Formation, Oiteirinhos Member. Intensely brecciated laminated calcilutite, perhaps a consequence of halokinesis (salt tectonics).

4 - INTERPRETAÇÃO

Os membros Ibura e Oiteirinhos retratam a crescente ingressão marinha na Bacia de Sergipe, na forma de decrescente presença de evaporitos. Entretanto, a quase total ausência de fósseis aponta para um ambiente ainda hostil e inadequado à vida marinha, provavelmente com salinidade acima do aceitável para a maioria das espécies.

Interpreta-se esta situação como consequência de três fatores:

1. morfologia do oceano nascente, muito longo (3 000 km) e estreito;
2. presença de restrições topográficas em seu extremo sul, como a Cadeia Walvis, que impediam o livre acesso de águas oceânicas;
3. posição da Bacia de Sergipe, no extremo norte deste sistema de *riffs*.

Subitamente, ao findar a deposição das rochas da Formação Muribeca, houve forte incremento quantitativo e qualitativo na biota. A marcante instantaneidade deste episódio pode ser explicada pela implantação de uma ligação permanente entre os oceanos Atlântico Sul e Equatorial, permitindo a circulação de água e o estabelecimento de um ambiente favorável à reprodução de foraminíferos plantônicos e de metazoários bentônicos que remobilizam o sedimento do fundo.



Foto 3 - 7-CP-252-SE #5 508,1 m. Formação Muribeca, Membro Oiteirinhos.
 Calcirrudito a oncolitos de cianofíceas.
 Photo 3 - 7-CP-252-SE #5 508,1 m. Muribeca Formation, Oiteirinhos Member.
 Calcirudite to cyanophyceae oncoliths.



Foto 4 - 7-CP-252-SE #5 505,6 m. Formação Muribeca, Membro Oiteirinhos.
 Calcirrudito a oncolitos de cianofíceas.
 Photo 4 - 7-CP-252-SE #5 505,6 m. Muribeca Formation, Oiteirinhos Member.
 Calcirudite to cyanophyceae oncoliths.

O evento registrado na porção superior da Formação Muribeca significa uma passagem brusca (por diastema?) de ambiente parálico para nerítico raso/médio, marcado pela presença abundante de foraminíferos do subgênero *Favusella*, inclusive com espécies tetianas, formando associações originárias do Oceano Atlântico Equatorial (Koutsoukos, 1989).

A evolução do *rift* sul-atlântico deu-se em duas frentes: em sua porção meridional, a abertura ocorreu de sul para norte, ao longo do Neocomiano/Barremiano/Aptiano, e em sua porção equatorial a abertura comportou-se como um sistema cisalhante dextral, a partir do Aptiano (Castro Jr., 1987; Conceição *et al.* 1988). O posicionamento do último elo entre os continentes americano e africano tem sido bastante discutido na literatura recente. A maioria dos trabalhos utiliza critérios paleontológicos e sedimentológicos para concluir pela situação deste elo na região da Paraíba (Rand e Mabesoone, 1982; Dias-Brito, 1987; Mabesoone e Alheiros, 1988). Das evidências aqui discutidas, deduz-se que a ruptura final e a livre circulação das águas do Oceano Atlântico ocorreram no Neoptiano.

Dias-Brito (1987), buscando solucionar esta mesma questão, inicialmente mencionou 24 trabalhos publicados entre 1961 e 1984, que datavam a conexão do Atlântico Sul com o Atlântico Equatorial entre o Aptiano e o pós-Maastrichtiano. A seguir, comparou faunas de foraminíferos encontradas nas bacias costeiras brasileiras, para concluir por uma livre circulação das águas oceânicas a partir do Eo-Mesoalbio. A mesma conclusão foi alcançada por comparação entre calciferulídeos provenientes das bacias de Campos e Potiguar (Dias-Brito, 1987). Françaolin e Szatmari (1987) estudaram a evolução do *rift* atlântico equatorial e posicionaram a separação final dos continentes africano

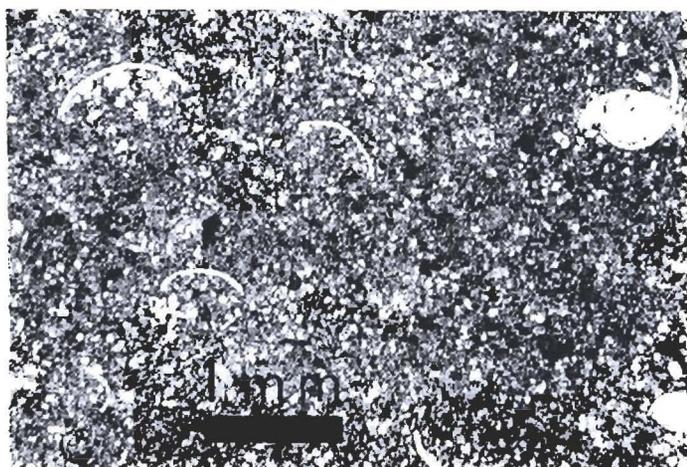


Foto 5 - 7-CP-252-SE #6 513,2 m. Formação Muribeca, Membro Oiteirinhos.
 Calcilitite a ostracodes.
 Photo 5 - 7-CP-252-SE #6 513,2 m. Muribeca Formation, Oiteirinhos Member.
 Calcilitite to ostracodes.

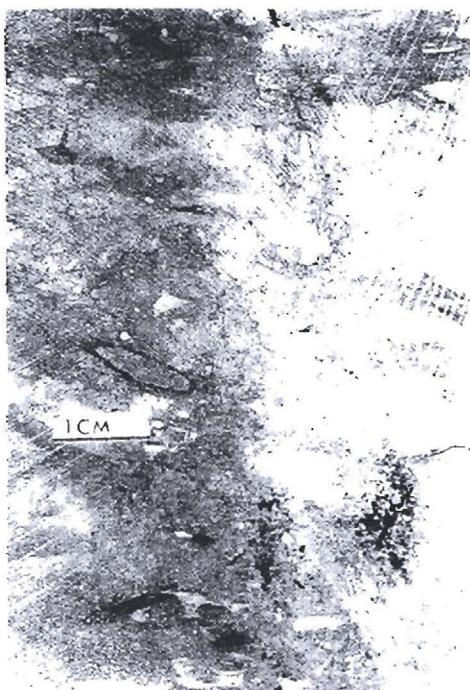


Foto 6 - 7-CP-252-SE #4 499,4 m. Formação Muribeca, Membro Oiteirinhos. Calcilutito maciço fortemente bioturbado.
 Photo 6 - 7-CP-252-SE #4 499,4 m. Muribeca Formation, Oiteirinhos Member. Massive calcilutite strongly bioturbated.

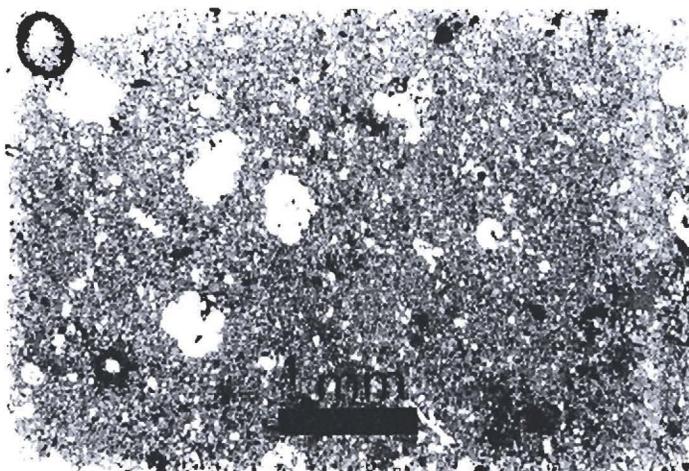


Foto 8 - 5-CPB-1A-SE #3 354,8 m. Formação Riachuelo, Membro Taquari. Calcilutito a foraminíferos plântônicos.
 Photo 8 - 5-CPB-1A-SE #3 354,8 m. Riachuelo Formation, Taquari Member. Calcilutite to planktonic foraminifera.

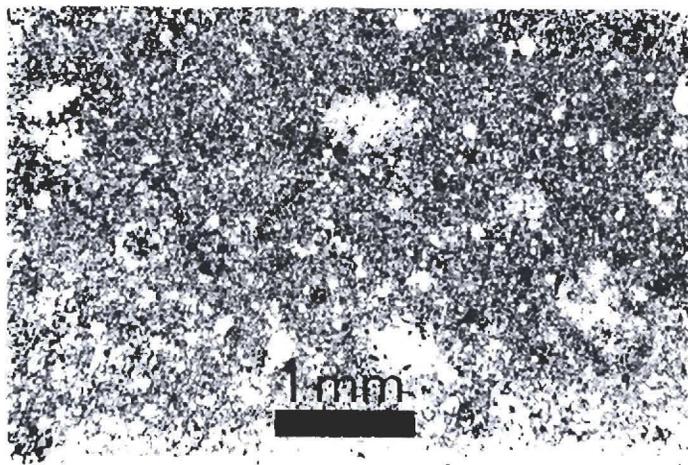


Foto 7 - 5-CPB-1A-SE #5 361,5 m. Formação Muribeca, Membro Oiteirinhos. Calcilutito argiloso com a primeira fauna plântônica observada na seção estudada.
 Photo 7 - 5-CPB-1A-SE #5 361,5 m. Muribeca Formation, Oiteirinhos Member. Argillaceous calcilutite presenting the first planktonic fauna seen in the studied section.

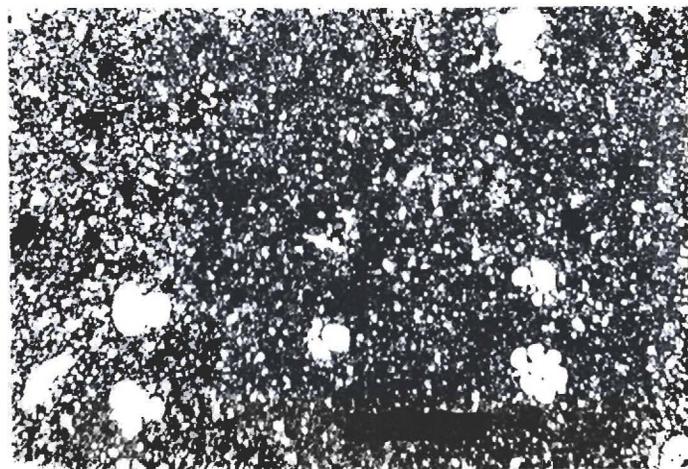


Foto 9 - 7-CP-252-SE #4 493,7 m. Formação Riachuelo, Membro Taquari. Calcilutito a foraminíferos plântônicos.
 Photo 9 - 7-CP-252-SE #4 493,7 m. Riachuelo Formation, Taquari Member. Calcilutite to planktonic foraminifera.

e sul-americano no Eoalbio, com o último elo, também, na região da Paraíba. Dias-Brito (1987) ainda levantou a hipótese de uma ligação atlântica definitiva a partir do Aptiano Terminal, com base em espécies tetianas como *Nanoconus truitti* e *Favusella washitenses*, encontradas na Bacia de Sergipe.

Obs.: Os testemunhos e lâminas delgadas aqui utilizados estão arquivados no E&P-SEAL/GEXP/GELAB, em Aracaju, Sergipe.

5 - CONCLUSÕES

1. O conjunto sedimentar Ibura-Oiteirinhos-Taquari retrata uma transição continental-marinha em ambiente decrescentemente salino.
2. Em análise faciológica e paleontológica de testemunhos contínuos de dois poços do Campo de Carmópolis, em Sergipe, observou-se súbito crescimento nas faunas plantônica e bentônica no topo da Formação Muribeca.
3. Este episódio pode ser datado com base em palinóforos e foraminíferos plantônicos como Neoptiano, ou em torno de 114 M.a.
4. Este evento estaria ligado à ruptura final dos continentes sul-americano e africano, na Paraíba.
5. A partir do fim do Aptiano, ter-se-ia estabelecido, de forma definitiva, a livre circulação das águas do Oceano Atlântico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, M. HASHIMOTO, A. T. , UESUGUI, W. Significado cronoestratigráfico da associação microflorística do Cretáceo Inferior do Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1/2, p. 87-103, 1989.
- CASTRO JR., A. C. M. The Northeastern Brazil and Gabon Basins: a double rifting system associated with multiple crustal detachment surfaces. *Tectonics*, Washington, v. 6, n.6, p. 727-738, 1987.
- CONCEIÇÃO, J. C. J. , ZALAN, P. V. , WOLFF, S. Mecanismo, evolução e cronologia do rift sul-atlântico. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2/4, p. 255-265, 1988.
- DIAS-BRITO, D. A Bacia de Campos no mesocretáceo: uma contribuição à paleoceanografia do Atlântico Sul primitivo. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 162-167, 1987.
- FEIJÓ, F. J. Estudo dos carbonatos Muribeca e Riachuelo no Alto de Aracaju - Bacia Sergipe-Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31.,1980, Camboriú. *Anais...* Florianópolis : Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. v. 1, p. 320-332.
- FRANÇOLIN, J. B. L. , SZATMARI, P. Mecanismo de rifting da porção oriental da margem norte brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17 , n. 2 , p. 196-207, 1987.
- HARLAND, W. B., ARMSTRONG, R. L., COX, A. V., CRAIG, L. E., SMITH, A. G. , SMITH, D. G. *A geologic time scale*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 263 p.
- KOUTSOUKOS, E. A. M. *Mid to Late Cretaceous microbiostratigraphy, palaeoecology and palaeogeography of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil*. [s.l.] : Council for National Academic Awards, 1989. 2v. Tese (Doutorado).
- KOUTSOUKOS, E. A. M. , LEARY, P. N. , HART, M. B. Favusella Michael (1972): evidence of ecophenotypic adaptation of a planktonic foraminifer to shallow-water carbonate environments during the mid-cretaceous. *Journal of Foraminiferal Research*, Washington, v. 19, n. 4, p. 324-336, 1989.
- MABESOONE, J. M. , ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 476-482, 1988.
- RAND, H. M., MABESOONE, J. M. Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, v. 38, n. 34, p. 163-183, 1982.
- REGALI, M. S. P. , VIANA, C. F. *Sedimentos do Neojurássico-Eocretáceo de Brasil* : idade e correlação com a escala internacional. Rio de Janeiro : PETROBRAS. SEDES. DITED. SEIND, 1988. 68 p.
- SZATMARI, P. , CARVALHO, R. S., SIMÕES, I. A. A comparison of evaporite facies in the late paleozoic Amazon and the Middle Cretaceous South Atlantic salt basins. *Economic Geology*, Lancaster, v. 74, n. 2, p. 432-447, 1979.
- UESUGUI, N. , DINO, R. Amplitude vertical de *exesipollenites tumulus Balme* nos sedimentos cretácicos do Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1/2, p. 123-124, 1989.

EXPANDED ABSTRACT

The sedimentary and paleontological contents of a continuously cored Lower Cretaceous sedimentary section from two wells in the Sergipe Basin, Brazil, was studied. These rocks were deposited in a transitional environment, from continental alluvial to neritic. They comprise fine clastics and carbonates, and a vanishing upward suite of evaporites. The lower part of the marine strata is usually evaporite-free, but it is very seldom fossiliferous - only a few algae and ostracoda were observed. The dominant rock is laminated calcareous mudstone, with some shale and siltstone. The marine upper strata, however, hold bioturbated massive calcareous wackestone, rich in planktonic foraminifera, interbedded with fossiliferous shale in a metric scale. The boundary between the two groups of rock is quite sharp, testifying an instantaneous event or a diastem.

The unfossiliferous marine rocks are likely to have been deposited in a very harsh environment, with saline waters that were not able to hold many life forms. This situation is due to (1) the extremely long (3,000km) and narrow shape of the rift, (2) topographic constraints in its southern tip, like the Walvis Ridge, and (3) the northernmost position of the Sergipe Basin in the rifts system. The sudden

increase in faunal content and diversity could be a consequence of free circulation of the oceanic waters, resulting from a permanent link between equatorial and southern Atlantic oceans. An alternative interpretation calls for a negative movement of the Walvis Ridge, which kept the rift system from invasion by normal sea water from the south. However, the interpretation stated in this paper is supported by planktonic Tethian fauna found in Upper Aptian sedimentary rocks from the Sergipe Basin.

The event above described can be dated by biochronostratigraphic methods as Late Aptian, about 114 million years before the present. At that time, the last link between South America and Africa, 600km northward from the Sergipe Basin, was broken and the Atlantic ocean waters were left free to circulate. This conclusion corroborates those stated by other writers in recent literature.

Note: Core and thin sections used during this study are stored in the Laboratory of E&P-SEAL/GEXP/GELAB, in Aracaju, State of Sergipe.