



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

ANÁLISE DE RADIOLÁRIOS E FORAMINÍFEROS DO CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA PARÁ-MARANHÃO, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

Cristiane Pakulski da Silva ¹, Vladimir de Souza ² e Valesca Brasil Lemos ³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

² Universidade Federal de Roraima (UFRR), Br 174, s/ nº, Campus do Paricarama, Bairro Jardim Floresta, Roraima, Brasil

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo – A análise integrada de Radiolários e Foraminíferos torna-se uma importante ferramenta para contribuição ao refinamento bioestratigráfico dos depósitos sedimentares encontrados na área de estudo, possibilitando o reconhecimento de bioeventos globais que possam ser correlacionados com a bacia estudada. Deste modo, a presente pesquisa teve como objetivo analisar microfósseis silicosos (radiolários) e carbonáticos (foraminíferos), suas relações de diversidade e abundância nos sedimentos do intervalo Campaniano-Maastrichtiano, da Bacia Pará-Maranhão, bem como identificar processos tafonômicos que atuaram sobre tais microfósseis, obtendo dados que levaram a interpretações paleoecológicas e paleoceanográficas.

Para a realização deste projeto foi feita a triagem de amostras sedimentares de calha de um poço, CP-1, compreendendo um intervalo de aproximadamente 525m de profundidade, com um total de 35 amostras analisadas no Laboratório de Microfósseis do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências-UFRGS.

Durante a preparação do material, este passou por processos mecânicos e químicos. Após estes processos o material foi analisado em microscópio estereoscópico binocular, no qual foram triados os espécimes, e identificados através de fotomicrografias com a utilização do microscópio óptico e MEV.

Palavras chave da pesquisa: Cretáceo médio, Foraminíferos, Radiolários, Paleontologia, Micropaleontologia;

Abstract – The integrated analysis of Radiolarians and Foraminiferans become an important tool for contribution to the biostratigraphic refinement of sediments deposits found in the study area, making possible the recognition of global bioevents that can be correlated with the studied basin. In this manner, the present research aims to analyze siliceous microfossils (radiolarians) and carbonatics (foraminiferans), its relations of diversity and abundance in the sediments of the Campanian-Maastrichtian interval, of the Pará-Maranhão Basin, as well as identify taphonomic processes that had acted on such microfossils, for palaeoecologic and palaeoceanographic interpretations.

In addition to this project, the selection of sedimentary samples of a well was made, CP-1, comprising an interval of approximately 525m depth, with a total of 35 samples analyzed in the Laboratory of Microfossils of the Department of Paleontology and Stratigraphy of the Institute of Geosciences-UFRGS.

During the preparation of the material, this was pass for mechanical processes and chemical. After these procedures the material was analyzed in binoculars microscope, in which the specimens was picked, and identficated through fotomicrographic with the use of optic microscope and SEM.

Keywords: Mid-Cretaceous, Foraminiferans, Radiolarians, Paleontology, Micropaleontology;

1. Introdução

A carência de estudos paleontológicos na área de trabalho determinou a necessidade de conhecimento de microfósseis que possam ampliar o entendimento da gênese e evolução das seqüências deposicionais das bacias da Margem Equatorial Brasileira.

Radiolários são organismos protistas, planctônicos marinhos, que secretam um esqueleto de sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – Opala A). Seu esqueleto varia de tamanho podendo alcançar de 5-200 μm , em média. Estes microfósseis possuem uma distribuição estratigráfica do Cambriano ao Holoceno, o que os torna um importante grupo em pesquisas de cunho estratigráfico. Também possuem grande diversidade taxonômica sendo encontrados no ambiente marinho, da superfície a grandes profundidades e em todos os oceanos.

A ocorrência e formação de depósitos silicosos não é um fato comum, pois as águas oceânicas são subsaturadas em sílica, assim sua deposição resulta da conjugação de fatores paleoceanográficos e paleoecológicos os quais podem estar relacionados a ressurgências e áreas de grande produtividade orgânica.

Já os Foraminíferos são protozoários marinhos, de habito planctônico ou bentônico, que secretam um esqueleto composto de carbonato de cálcio (CaCO_3). Estes ocupam quase todos os ambientes marinhos, sendo menos abundantes nas zonas de maior profundidade devido a CCD, o que limita sua distribuição em ambientes marinhos mais profundos, nos quais são encontradas apenas formas aglutinadas. Os foraminíferos surgiram no Ordoviciano, se distribuindo até o Recente.

Tais considerações mostram que estes microfósseis são de extrema importância para a identificação dos eventos paleoceanográficos e paleoecológicos que possam ter ocorrido na Bacia Pará-Maranhão.

2. Bacia Para-Maranhão

2.1. Localização

A Bacia Pará-Maranhão, localizada na margem Equatorial Brasileira, encontra-se entre os meridianos 47° e 44° oeste, constituindo uma área submersa total de 48.000km², a localização do poço estudado pode ser observada na Figura 1. Existem divergências quanto à área total da bacia, Zanotto & Szatmari (1987) comentam que a bacia é limitada a NE pela cota batimétrica de 200m e a SE pela Bacia de Barreirinhas, a NW pela Bacia da Foz do Amazonas e a SW pelo embasamento raso da plataforma do Pará-Maranhão, cobrindo uma área de 25000 km² totalmente submersa. Cainelli (1985), por sua vez, argumenta que a Bacia Pará-Maranhão abrangeria uma área total de 80.000km², sendo 54.000km² de plataforma de embasamento raso e 26.000km² de área prospectável, se for incluída a porção do embasamento raso. Já Brandão & Feijó (1994) indicam uma área de 48.000km².

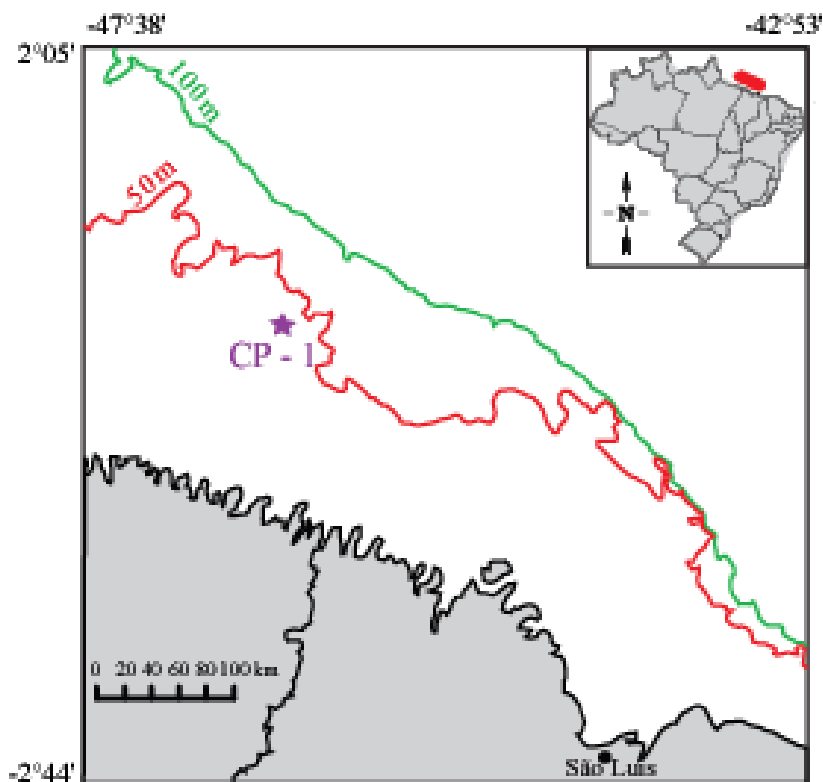


Figura 1: Mapa de localização do poço estudado

2.2. Evolução Tectônica

O início das bacias da Margem Equatorial Brasileira, segundo Françolin & Szatmari (1987) está na separação dos continentes Sul-americano e Africano com uma tendência de movimento divergente Leste-Oeste, cujas primeiras manifestações ocorreram no Jurássico superior. Segundo Szatmari *et al.* (1987) o surgimento da plataforma Pará-Maranhão se dá através do rifiteamento gerado a partir do processo de separação do continente Sul-americano. Zanotto & Szatmari (1987) relacionam vários estágios para explicar a evolução geotectônica da Bacia Pará-Maranhão, a qual encontrava-se próxima à parte ocidental da África, durante o período Jurássico. Durante o Cretáceo inferior (neocomiano) ocorreram os esforços compressoriais que geraram amplos e suaves altos ENE-WSW. A causa destes esforços compressoriais tem sua origem na abertura do Atlântico Sul devido à rotação horária da Placa Sul-americana em relação à África. No Cretáceo inferior (andar Alagoas) os esforços extensionais estão relacionados ao prosseguimento da abertura do Atlântico Sul. Neste período teriam ocorrido os primeiros registros sedimentares da bacia, com rápida deposição de clásticos terrígenos, observados no preenchimento de grábens e semigrábens.

Do Albiano Superior ao Cenomaniano, prossegue a separação dos continentes num sistema “pull-apart”, ocasionando a deposição de carbonatos de plataforma e, por fim, do Cretáceo Superior ao Terciário ocorre a separação total dos continentes.

2.3. Estratigrafia

A coluna estratigráfica foi inicialmente definida por Pamplona (1969) e posteriormente modificada por Figueiredo *et al.* (1982 apud Brandão & Feijó, 1994).

O Grupo Canárias é composto por um arenito cinza-claro, fino a grosso, siltico cinza a castanho-avermelhado e folhelho cinza-médio a esverdeado. Brandão & Feijó (1994) relacionam a deposição desse grupo a leques deltaicos em ambiente marinho. Cainelli (1985) caracteriza este grupo como uma mega-seqüência constituída por clásticos grosseiros de leques aluviais de um sistema deltaico que, de acordo com o autor, mostra influência marinha na porção superior. Este grupo na Bacia Pará-Maranhão se encontra indiviso, não possuindo formações. Brandão & Feijó (1994), baseados nos trabalhos de Figueiredo *et al.* (1982), mencionam que o Grupo Caju é formado por arenitos quartzoso médio a grosso com a presença de folhelhos escuros e localmente calcarenitos biocásticos e oncolíticos em ambiente nerítico de alta e baixa energia. Regali *et al.* (1985), com base em palinologia e foraminíferos planctônicos, colocam este grupo como de idade nealbian.

O Grupo Humberto de Campos é representado na Bacia Pará-Maranhão por sedimentos de idade Cenomaniano até o recente e constitui-se nas porções proximais, de arenitos quartzosos, sendo subdividido em três formações: Formação Areinhas, segundo Brandão & Feijó (1994), é composta por camadas de arenitos quartzosos brancos grosseiros. A sua distribuição estratigráfica ocorre praticamente em todo o Grupo Humberto de Campos, ou seja, do Cenomaniano ao Recente. Brandão & Feijó (1994) incluem esta formação na estratigrafia de seqüências como uma seqüência de margem passiva; Formação Ilha de Santana possui um extenso pacote carbonático com uma grande variedade de biocalcarenítos e biocalcirruditos, na área de plataforma rasa, já na porção mais externa da bacia foram depositados calcarenitos finos e calcilutitos. No ambiente de talude ocorrem margas, folhelhos e lamitos e concomitantemente turbiditos, estando relacionados a uma seqüência de margem passiva. Tem sua distribuição estratigráfica do Maastrichtiano ao recente, conforme carta estratigráfica de Figueiredo *et al.* (1982 apud Brandão & Feijó, 1994); A Formação Travosas segundo Figueiredo *et al.* (1982 apud Brandão & Feijó, 1994), representa um sistema costeiro-plataforma-talude da bacia, composto por deposições de folhelhos cinzentos e siltitos. Estes sedimentos possuem eventuais intercalações de arenitos quartzosos finos. Sua distribuição estratigráfica abrange desde o Cenomaniano Superior até o Mioceno Médio. A formação esta inserida nos conceitos da estratigrafia de seqüências como seqüência de margem passiva, representando um ambiente que varia de batial a abissal.

As unidades bioestratigráficas destas três formações são baseadas em foraminíferos, nanomorfos, palinomorfos e ostracodes.

3. Metodologia

Para a realização desta pesquisa, foi escolhido um poço, denominado de CP-1, localizado na Bacia Pará-Maranhão, onde foram coletadas 35 amostras sedimentares de calha, possuindo um intervalo de amostragem de 15m. A escolha destas amostras apoiou-se em alguns princípios tais como: o controle cronoestratigráfico da bacia, compreendendo os intervalos do Campaniano-Maastrichtiano, além de um controle litológico (carbonatos e folhelhos) para posterior procedimentos de laboratório. Em cada horizonte amostrado foi recolhido em torno de 100 a 150g de material sedimentar, das quais foram separadas 20g para serem analisadas e o restante foi armazenado. Em volumes inferiores a 50g de material foram separadas apenas 10g para a análise.

As etapas de trabalho que se seguiram foram: processamento mecânico das amostras englobando trituração, pesagem, quarteamento, lavagem, triagem, seleção e confecção de lâminas associativas; processamento químico no qual são utilizados reagentes químicos (H₂O₂, 30V) para desagregação do material. Posteriormente o material processado foi peneirado nas malhas de 0,044mm e 0,063mm, quarteado e analisado em lupa ocorrendo à triagem dos elementos

biogênicos desejados nas diferentes frações, separação de 300 espécimes, montagem de “stubs” com os principais morfotipos de cada grupo que serão fotomicrofotografados no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV);

4. Processos Tafonômicos Associados a Diagênese dos Microfósseis na Bacia Pará-Maranhão

Os diferentes processos diagenéticos que podem ocorrer com os organismos silicosos, bem como os organismos carbonáticos, dependem de muitos fatores como temperatura, pressão e pH da água. Deste modo as diferentes substituições que podem ocorrer possibilitam a geração de diferentes graus de composição química e preservação.

As principais substituições que podem ocorrer com os radiolários e foraminífero são: substituição por calcita (CaCO_3), citada em estudos por Thurow *et al.* (1986), Kotzian & Eilert (1987), Gursky (1990), Koutsoukos & Hart (1990), Souza (1995) e Strohschoen Jr. (1995) e Souza (1995:2005). Este tipo de substituição ocorre normalmente em forma de moldes e contramoldes, não havendo preservação dos detalhes morfológicos; Substituição por calcita ferrosa (FeCO_3), ocorre devido à substituição do Ca por Fe^{+3} , conforme estudos realizados por Richter & Fuchtbauer (1978), esta substituição é possível devido a aumento da concentração de F^{+2} nos fluídos intersticiais durante a diagênese, fato condicionado a ambientes redutores; Substituição por dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), e pirita é favorecida por condições anóxicas. A substituição por pirita é o melhor tipo de substituição pois preserva os mais delicados detalhes e está diretamente associada a ambientes redutores.

Os radiolários encontrados neste poço encontram-se substituídos principalmente por pirita o que sugere que o ambiente de deposição possui condições muito favoráveis de anoxidade, tendo em vista que o processo de substituição por pirita tem início durante a queda dos esqueletos na parte superior da coluna d'água; Já com a fauna de foraminíferos desta localidade observa-se uma grande quantidade de organismos substituídos por dolomita e raramente por pirita, porém há uma grande abundância de fósseis com pequenas concreções de sulfeto de ferro.

5. Eventos Paleocenoográficos

As formações de grandes depósitos silicosos e carbonáticos são resultantes da união de vários fatores oceanográficos como fortes ressurgências oceânicas, que resultam diretamente em áreas com alta fertilidade, bem como zonas de expansão de mínimo de oxigênio, conforme podem ser observados nas pesquisas de Berger & Von Rad (1970), Kling (1976), Schallinger & Jenkyns (1976), Molina-Cruz (1977) e Casey & McMillen (1977). Os estudos paleocenoográficos são muito utilizados para analisar as grandes mudanças oceanográficas ocorridas durante todo o tempo geológico. A utilização de organismos como radiolários e foraminíferos tem importância fundamental, pois sua distribuição ocorre em todas as profundidades.

A concentração de depósitos silicosos nos sedimentos pode estar diretamente associadas à alta produção de organismos silicosos nas porções superiores da coluna d'água, podendo esta analogia ser aplicada a outros tipos de depósitos biogênicos, conforme Seibold & Berger (1996).

Grandes eventos disóxico-anóxicos oceânicos registrados no limite Cenomaniano-Turoniano e no Cretáceo Superior, o qual pode ser inserido o intervalo aqui analisado o Campaniano-Maastrichtiano, são relacionados aos depósitos silicosos e carbonáticos através de dados estratigráficos, litológicos, geoquímicos e paleontológicos, na área estudada estes eventos podem ser claramente observados pelos picos de abundância dos organismos conforme demonstra a Figura 2.

Durante os períodos de máxima elevação do mar encontram-se associados os maiores depósitos, devido ao fato de a transgressão gerar um aumento na área de plataforma, ocasionando uma elevação da CCD, aumentando por sua vez a taxa de dissolução dos carbonatos. No entanto nos níveis disóxicos-anóxicos são associados a grandes concentrações de foraminíferos planctônicos e radiolários, o qual levam a interpretação de um favorecimento ambiental para a proliferação destes dois grupos.

As camadas anóxicas podem ser relacionadas com os fenômenos de ressurgência aliadas a fatores climáticos e geológicos, nos quais um aumento na quantidade de nutrientes acarretaria em um aumento da atividade biológica. Logo, os picos de abundância de radiolários e foraminíferos devem ser considerados importantes marcos para estes eventos.

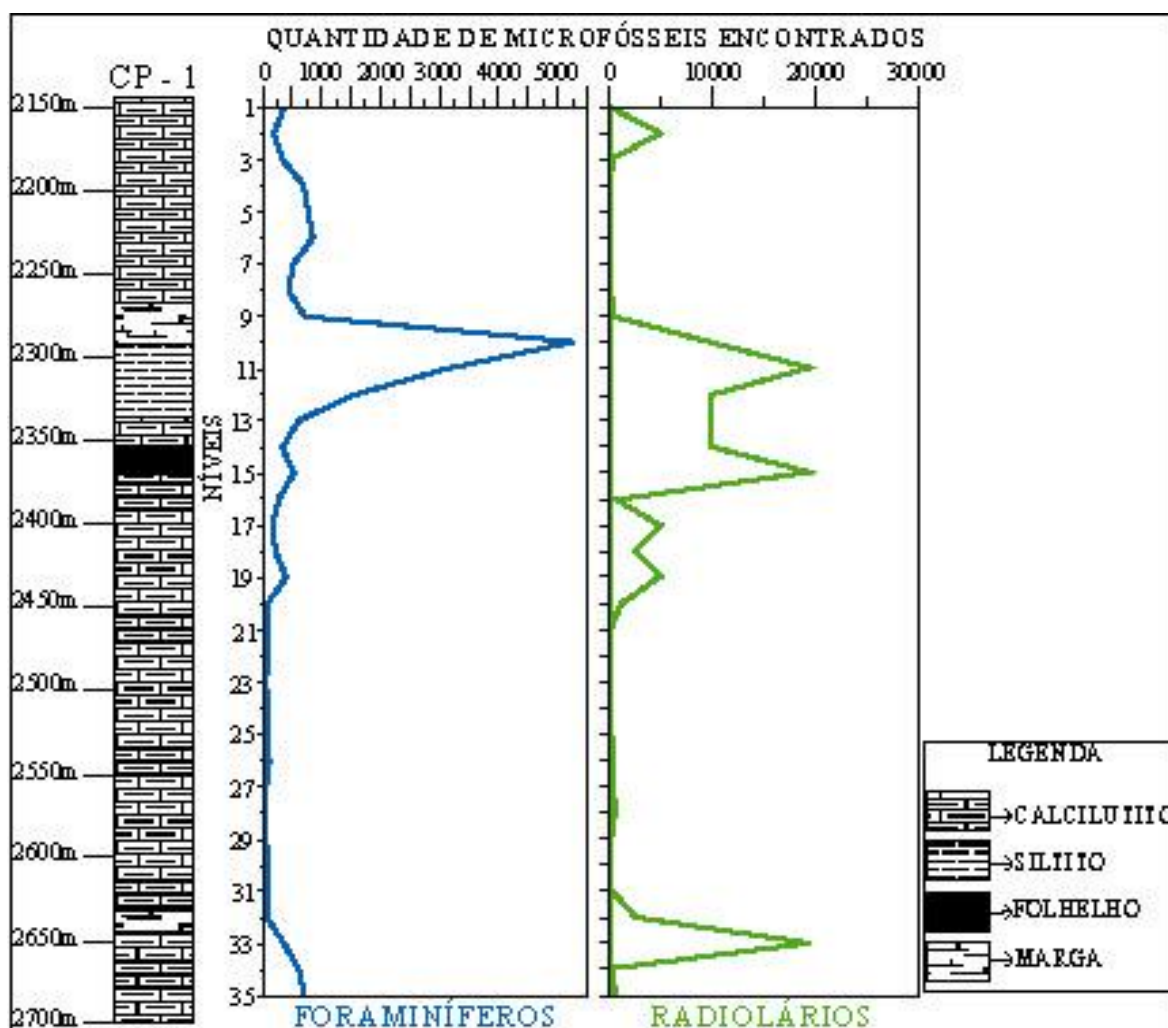


Figura 2. Representação esquemática na qual podem ser observados os picos de abundância de Foraminíferos e Radiolários encontrados no poço CP-1, bem como a profundidade e a litologia em que estes se encontram, na Bacia Pará-Maranhão

6. Considerações Finais

No material analisado foi possível confirmar a presença de Radiolários e Foraminíferos no intervalo Campaniano-Maastrichtiano, da bacia em questão, com grande abundância e excelente preservação.

A partir do estudo dos picos de abundância de Radiolários e Foraminíferos encontrados, foi constatada a ocorrência de eventos paleoceanográficos e paleoecológicos, na Bacia Pará-Maranhão, no referido intervalo, podendo-se observar que nos pontos onde a abundância destes organismos é intensa ocorrem condições muito favoráveis à formação de zonas disóxicas-anóxicas.

Radiolários e Foraminíferos podem e devem ser usados como importantes marcadores de eventos de ressurgência, níveis de máxima elevação do nível no mar e, de acordo com as substituições encontradas, podem ser usados como indicadores para camadas geradoras de petróleo, uma vez que substituições como a da pirita e calcita ferrosa ocorrem somente sob condições redutoras, geralmente associados com altos níveis de carbono orgânico.

Os estudos científicos dos foraminíferos e radiolários fósseis permitem ainda determinar a idade relativa dos sedimentos que os contêm e estimar a profundidade, temperatura e salinidade das águas dos mares em que viveram. São um grupo-chave para o conhecimento das alterações oceanográficas e climáticas registradas no nosso planeta.

7. Referências

- BERGER, W. H. & VON RAD, U. 1970. Mineralogy of silica modifications. In: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 14; 850-886.
- BRANDÃO, J. A. S. L. & FEIJO, F. J. 1994. Bacia do Pará-Maranhão. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 8(1); 101-102.
- CAINELLI, C. 1985. Bacia da Plataforma do Pará-Maranhão. Rio de Janeiro. Relatório interno.

- CASEY, R. E. & MCMILLEN, K. J. 1977. Cenozoic radiolarians of the Atlantic basin and margins. *Developments in Paleontology and Stratigraphy*, 6; 521-544.
- FIGUEIREDO, A. M. F.; CARMINATTI, M. FILHO, J.A.P. & TEIXEIRA, F. 1982. Barreiras Basin, an Equatorial Atlantic Transform Basin. In: A.A.P.G. 67 (3) Convention Issue. p.449.
- FRANÇOLIN, J. B. L. & SZATMARI, P. 1987. Mecanismo de rifteamento da Porção Oriental da Margem Norte Brasileira. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 17 (2); 196-207.
- GURSKY, H J. 1990. Radiolarian petrographic preservation types in Jurassic to lower Tertiary cherts of Costa Rica. *Marine Micropaleontology*, 15; 249-263.
- KLING, S. A. 1976. Relation of radiolarian distributions to subsurface hydrography in the North Pacific. *Deep Sea Research*, Pergamon Press, Great Britain, 23; 1043-1058.
- KOTZIAN, S. C. B. & EILERT, V. P. 1987. Radiolários do Cretáceo médio na Bacia de Campos-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro, SBG, *Anais*, p. 783-796.
- KOUTSOUKOS, E. A. M. & HART, M. B. 1990. Radiolarians and diatoms from the mid-Cretaceous successions of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. *Journal of Micropaleontology*, 9 (1); 45-64.
- MOLINA-CRUZ, A. 1977. The relation of the Southern trade winds of upwelling processes during the last 75000 years. *Quaternary research*, 8 (3); 324-338.
- PAMPLONA, H. R. P. 1969. Litoestratigrafia da Bacia Cretácea de Barreirinhas. *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, 12 (3); 261-290.
- REGALI, M. S. P.; UESUGUI, N. & LIMA, E., E. C. 1985. Palinoestratigrafia e paleoambiente da Bacia de Barreirinhas Maranhão-Brasil. In: Coletânea de trabalhos paleontológicos, DNPM; Rio de Janeiro, 461-470.
- RICHTER, D. K. & FÜCHTBAUER, H. 1978. Ferroan calcite replacement indicates former magnesian calcite skeletons. *Sedimentology*, 25; 843-860.
- SCHLANGER, S. O. & JENKYN, H. C. 1976. Cretaceous oceanic anoxic events, causes and consequences. *Geologie en Mijnbouw*, 55 (3-4); 179-184.
- SEIBOLD, E. & BERGER, W. H. 1996. *The sea floor and introduction to marine geology*. 3ed. Springer Germany. 356p.
- SOUZA, V. 1995. *Radiolários do Cretáceo médio da Margem Equatorial Brasileira, Bacia do Ceará (Súb-bacias Acaraú e Mundaú) como indicadores de possíveis eventos paleoceanográficos e paleoecológicos*. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 226p.
- SOUZA, V. 2005. *Radiolários do Cretáceo médio das Bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas, Margem Equatorial Brasileira*. Tese de Doutorado Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Não publicado).
- STROHSCHOEN Jr., O 1995. Vulcanismo e a ocorrência de radiolários no Santoniano da Bacia de Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 14, Rio de Janeiro, *Anais*, p. 130-131.
- SZATMARI, P.; FRANCOLIN, J. B. L.; ZANOTO, O. & WOLFF, S. 1987. Evolução tectônica da Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(2); 180-188.
- THUROW, J. & KUHN, W. 1986. Mid-Cretaceous of the Gibraltar Arc area. In: SUMMERHAYES, C. P. & SCHACKLETON, N. J. (eds). *North Atlantic Palaeoceanography*, Spec. Publi. Geol. Soc. London, 22; 423-445.
- ZANOTO, O.; SZATMARI, P. 1987. Mecanismo de rifteamento da porção ocidental da Margem Norte Brasileira, Bacia do Pará-Maranhão. *Revista Brasileira de Geociências*, 17, (2); 189-195.