

ANÁLISE PALEOBIOCENÓTICA DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS DO CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA DE SERGIPE PELO MÉTODO BRAUN-BLANQUET

PALEOBIOCENOTIC ANALYSIS OF BENTHONIC FORAMINIFERA OF THE UPPER CRETACEOUS OF THE SERGIPE BASIN BY MEANS OF THE BRAUN-BLANQUET METHOD

Eduardo A.M. Koutsoukos¹ e Gerhard Beurlen¹

RESUMO — Apresentam-se os resultados de uma aplicação do método Braun-Blanquet, na adaptação de Hiltermann e Tüxen Jr. (1974), para a análise paleoecológica de associações de foraminíferos bentônicos do Cretáceo Superior recuperadas de quatro seções de poços do Baixo de São Francisco (Membro Calumbi da Formação Piaçabuçu, Bacia de Sergipe, Nordeste do Brasil). Esta análise, realizada dentro de um projeto de pesquisa desenvolvido pelo Setor de Bioestratigrafia e Paleoecologia da Divisão de Exploração do CENPES, permitiu a caracterização de sete "paleobiocenoses". Suas afinidades faunísticas/paleoecológicas as agrupam em três paleobiocenoses maiores, às quais correspondem três grandes domínios paleoambientais: parálico (associações *Daxia* sp. 2 e *Valvulineria* sp. 1), nerítico a transição nerítico/batial (associações *Pararotalia praenaheolensis*, *Siphogenerinoides clavata*, *Præbulimina spinata* e *Gavelinella stelligera*) e batial propriamente dito (associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp. 1). Diferenças e similaridades na composição das associações permitiram a identificação de paleobiótopos particulares dentro de cada um destes grandes domínios paleoambientais, o que tornou possível reconstituir, dentro do contexto bioestratigráfico regional, a evolução paleoambiental do Santoniano ao Maastrichtiano nesta área. Esta evolução sugere que os depósitos podem ser atribuídos a duas seqüências maiores: a seqüência 1, de caráter transgressivo com depósitos de idade santoniana-eocampaniana em ambiente nerítico profundo a batial superior, sobre os quais se acumularam os depósitos regressivos da seqüência 2, em ambientes progressivamente mais rasos, de nerítico profundo a parálico.

(Originais recebidos em 29.10.90).

ABSTRACT — This study presents the results of a successful application of the Braun-Blanquet similarity method, as adapted by Hiltermann & Tüxen Jr. (1974) for the ecological evaluation of foraminiferal assemblages, to a research project carried out at the Research Center (CENPES) of PETROBRÁS, Rio de Janeiro. Seven major benthonic foraminiferal assemblages have been identified in four well sections from the São Francisco low area, Sergipe basin, northeastern Brazil, and these have been used to determine the paleoenvironmental evolution of the area from the Santonian to the Maastrichtian.

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

1 — INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo, realizado pelo Setor de Bioestratigrafia e Paleoecologia da Divisão de Exploração do CENPES, era definir os paleoambientes deposicionais dos depósitos turbidíticos do Membro Calumbi da Formação Piaçabuçu (Santoniano a Maastrichtiano) na porção emersa do Baixo de São Francisco na Bacia de Sergipe, Nordeste do Brasil (figs. 1 e 2). As associações de foraminíferos bentônicos foram analisadas pelo método Braun-Blanquet como adaptado por Hiltermann e Tüxen Jr. (1974).

O referido método foi desenvolvido na primeira metade do século por um grupo de botânicos alemães, para análises fitossociológica de comunidades de plan-

tas. É um método semi-quantitativo baseado na constância com que uma ou mais espécies ocorrem em determinada área (índice de presença). Matematicamente é uma técnica discriminativa de ausência-presença; biologicamente é um método tipicamente comunitário ou sociológico. Com relação a outros métodos, quer qualitativos, quer quantitativos, apresenta a vantagem de visualizar de forma clara, através de sua tabela final, as afinidades sociológicas das diversas biocenoses. Evidencia, desta maneira, as relações ecológicas entre seus respectivos biótopos.

Recentemente, esta técnica foi testada com sucesso para a caracterização e representação de associações de foraminíferos bentônicos recentes (Hiltermann, 1973, 1982, 1985; Hiltermann e Tüxen

1 - Setor de Bioestratigrafia e Paleoecologia (SEBIPE), Divisão de Exploração (DIVEXI), Centro de Pesquisas (CENPES), Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, CEP 21910, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

(Os autores dedicam este trabalho ao Prof. Dr. H. Hiltermann, em homenagem à sua relevante contribuição no campo dos estudos de reconstrução ambiental através de foraminíferos).

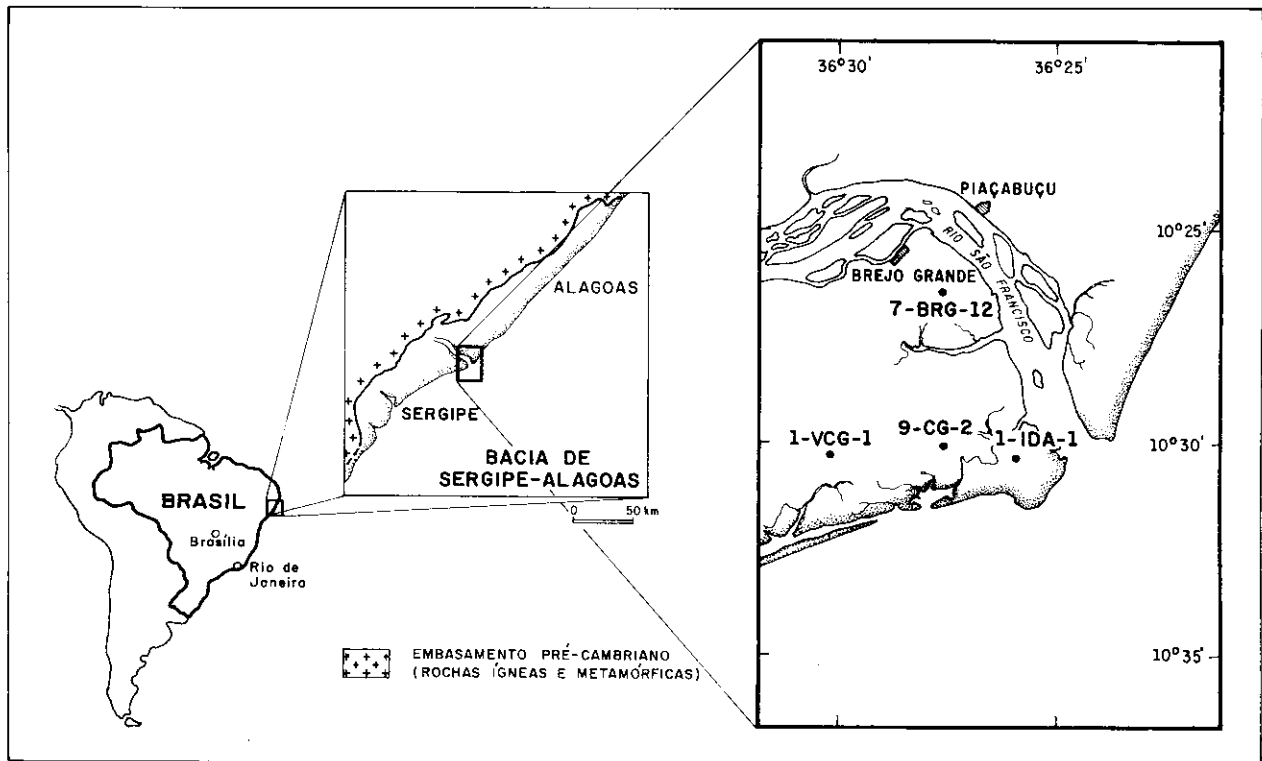


Fig. 1 - Mapa de localização da Bacia de Sergipe-Alagoas e poços estudados.
 Fig. 1 - Location map of the Sergipe Basin showing the studied wells.

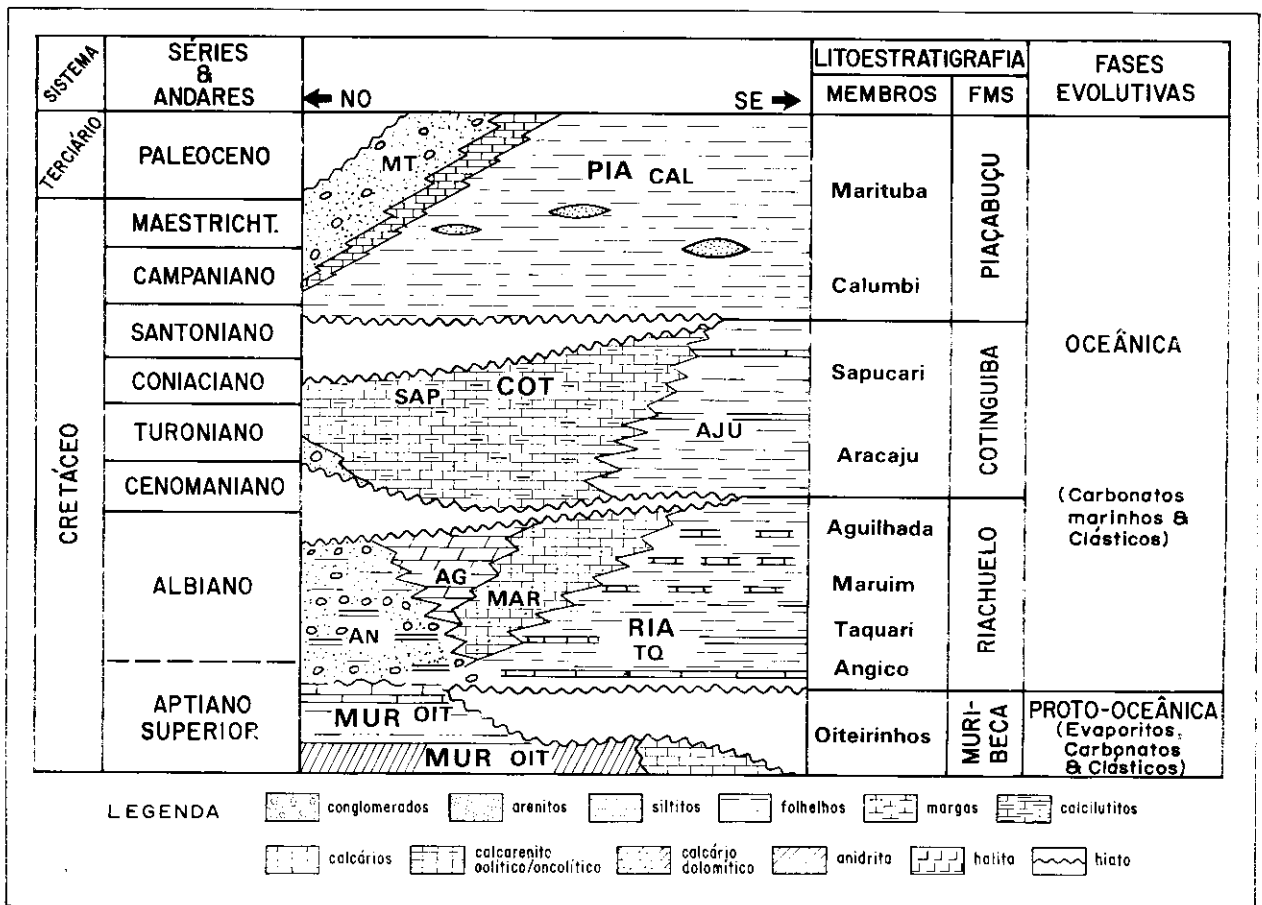


Fig. 2 - Coluna estratigráfica e evolução tectono-sedimentar do Cretáceo marinho da Bacia de Sergipe-Alagoas.
 Fig. 2 - Stratigraphic column and tectonic evolutionary phases (adapted after Ojeda e Fugita, 1976; Bengtson, 1983; Asmur e Baisch, 1983).

Jr., 1974; Hiltermann *et al.* 1981; Beurlen e Hiltermann, 1983). Diante do sucesso alcançado no estudo bio-cenótico de foraminíferos recentes, os autores resol-veram testar o método na análise paleobiocenótica de associações de foraminíferos bentônicos do Cretáceo Superior da Formação Piaçabuçu. Para um completo entendimento das diferentes etapas a serem seguidas até a tabela final (tabela I), que mostra cada uma das

biocenoses com sua caracterização faunística bem com as afinidades biológicas entre elas, recomenda-se a leitura dos trabalhos de Moore (1962) e de Hilter-mann e Hiltermann e Tüxen Jr., acima mencionados. Tanto quanto é do conhecimento dos autores, esta é uma das primeiras aplicações do método a associações fósseis.

O material no qual este estudo é baseado provém

TABELA I / TABLE I

TABELA FINAL SINTÉTICA. ASSOCIAÇÕES DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS DO SANTONIANO-MAASTRICHTIANO NA ÁREA ESTUDADA. LEGENDA PARA OS SÍMBOLOS DE % DE PRESENÇA (PRESENÇA EM CINCO OU MAIS AMOSTRAS): I=1-20%; II=21-40%; III=41-60%; IV=61-80%; V=81-100%. EM GRUPOS COM OCORRÊNCIA EM MENOS DE CINCO AMOSTRAS, A PRESENÇA ABSOLUTA É INDICADA EM NÚMEROS ARÁBICOS. PL: SUBORDEM GLOBIGERININA; AG: SUBORDEM TEXTULARIINA; CH: SUBORDENS LAGENINA, ROBERTININA E ROTALIINA; CP: SUBORDEM MILIOLINA.

EXPLANATION OF TABLE I

Frequency of Presence (5 or more samples per community):

I = presence on a 1 — 20% basis IV = 61 — 80%
 II = 21 — 40% V = 81 — 100%
 III = 41 — 60%

In the case of less than 5 samples per community the absolute presence is indicated.

ASSOCIAÇÃO	DAXIA	VALVUL.	PARAROT.	SIPHOGENER.			PRAEBUL.	GAVELIN.	G. LAEV.	
	SP. 2	SP. 1	PRAENAH.	CLAVATA			SPINATA	STELL.	VERN. SP. 1	
SUB-ASSOCIAÇÃO				GAUDR. SP. 2 B. GYR. AFF. BEISS.	TÍPICA		SIPHOG. CF. BRAMLETTI			
PL: CH: AG: CP RAZÃO	AG	AG)CH)PL)CP	CH)PL)AG	CH)AG)PL	CH)PL)AG	AG	CH)PL)AG	CH)PL)AG)CP	AG)PL)CH	
Nº MÉDIO DE ESPÉCIES	3	18	20	36	24	30	24	11	25	23
Nº DE AMOSTRAS ESPÉCIES	3	4	6	7	3	6	8	4	9	3
DAXIA sp. 2	3	o	o	o	o	o	o	o	o	o
VALVULINERIA sp. 1	o	4	o	o	o	o	o	o	o	o
PARAROTALIA PRAENAHEOLENSIS	o	o	V	o	o	o	o	o	o	o
SIPHOGENERINOIDES CLAVATA	o	o	o	V	3	V	o	o	o	o
GAUDRYINA sp. 2	o	o	o	V	o	o	o	o	o	o
GYROIDINOIDES AFF. G. BEISSELI	o	o	o	V	o	o	o	o	o	o
PRAEBULIMINA SPINATA	o	o	o	o	1	I	V	4	o	o
SIPHOGENERINOIDES CF. S. BRAMLETTI	o	o	II	II	1	I	V	o	III	o
GAVELINELLA STELLIGERA	o	o	o	II	3	o	o	3	V	o
GAUDRYINA LAEVIGATA	o	o	o	o	o	o	o	o	o	3
VERNEUILINA sp. 1	o	o	o	o	o	o	o	o	o	3
BATHYSIPHON AFF. VITTA	2	o	o	o	o	o	o	o	o	o
HAPLOPHRAGMOIDES sp. 1	o	1	o	o	o	o	o	o	o	o
AMMOBACULITES sp. 1	o	1	o	o	o	o	o	o	o	o
BOLIVINA spp.	o	o	V	o	o	o	o	o	o	o
TROCHAMMINOIDES spp.	o	o	III	o	o	o	o	o	o	o
SIGMOILINA spp.	o	o	II	o	o	o	o	o	o	o
ORTHOKARSTENIA CLARKI	o	o	I	V	3	V	II	1	o	o
EPONIDES ARACAJUENSIS	o	o	I	V	3	V	o	o	o	o
GAVELINELLA NACATOCHENSIS	o	o	o	III	o	o	o	o	o	o
SPIROPECTAMMINA LAEVIS	o	o	o	III	o	o	o	o	o	o
GAVELINELLA BECCARIFORMIS	o	o	o	II	o	o	o	o	o	o
NODOSARIA LIMBATA	o	o	o	II	o	o	o	o	o	o
SIPHOGENERINOIDES CRETACEUS	o	o	o	U	o	o	o	o	o	o
TRITAXIA spp.	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
VALVULINERIA sp. 2	o	o	o	o	2	o	o	o	o	o
STILOSTOMELLA spp.	o	o	o	I	o	o	o	o	o	o
SIPHOGENERINA sp. 1	o	o	o	o	o	V	o	o	o	o
MARGINULINOPSIS sp. 1	o	o	o	o	o	II	o	o	o	o
HAPLOPHRAGMOIDES sp. 8	o	o	o	o	o	o	IV	o	o	o
BATHYSIPHON sp. 3	o	o	o	o	o	o	IV	o	o	o
LENTICULINA MUENSTERI	o	o	o	o	o	o	IV	o	o	o
TROCHAMMINA sp. 1	o	o	o	o	o	o	IV	o	o	o
HAPLOPHRAGMOIDES sp. 9	o	o	o	o	o	o	II	o	o	o
VALVULINERIA sp. 3	o	o	o	o	o	o	II	o	o	o
GAVELINELLA MONTERELENIS	o	o	II	I	2	I	o	o	III	o
HOEGLUNDINA SUPRACRETACEA	o	o	IV	V	3	V	V	3	V	o
ALLOMORPHINA CRETACEA	o	o	I	V	2	V	V	3	IV	o
DENTALINA ALTERNATA	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
GLOBOROTALITES MICHELINIANUS	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
GYROIDINOIDES QUADRATUS	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
BULIMINELLA AFF. B. COLONENSIS	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
AMMOBACULITES sp. 3	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
DAXIA sp. 1	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
C O L U N A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

de quatro seções de poços perfurados na área emersa do Baixo de São Francisco, ao norte da Bacia de Sergipe (fig. 1). Compreende amostras de calha e de testemunhos analisados com propósito bioestratigráfico de detalhe através das associações de foraminíferos, ostracodes, nanofósseis calcários e palinóforos. As análises paleoecológicas são baseadas nas associações de foraminíferos. A combinação destas análises com informações sedimentológicas e sismoestratigráficas permitiu uma detalhada reconstrução da evolução paleoambiental do Cretáceo Superior da área (Beurlen *et al.* 1987). A bioestratigrafia que serviu de suporte para delinear a evolução paleoambiental não é discutida neste trabalho; consta de trabalho de circulação interna da Petrobrás (Beurlen *et al.* 1987).

O resultado da análise paleoambiental foi apresentado resumidamente numa seção *poster* durante o Simpósio Benthos'86 (Genebra, 1986; Koutsoukos

e Beurlen, 1988). Não obstante a taxonomia dos foraminíferos ter sido posteriormente revisada pelo primeiro autor (Koutsoukos, 1989), manteve-se aqui a nomenclatura original adotada. Nas pranchas 1 e 2 são apresentadas as ilustrações de algumas das principais espécies de foraminíferos bentônicos do Santoniano-Maastrichtiano da área estudada.

2 — AS PALEOBIOCENOS E SUAS AFINIDADES PALEOECOLÓGICAS

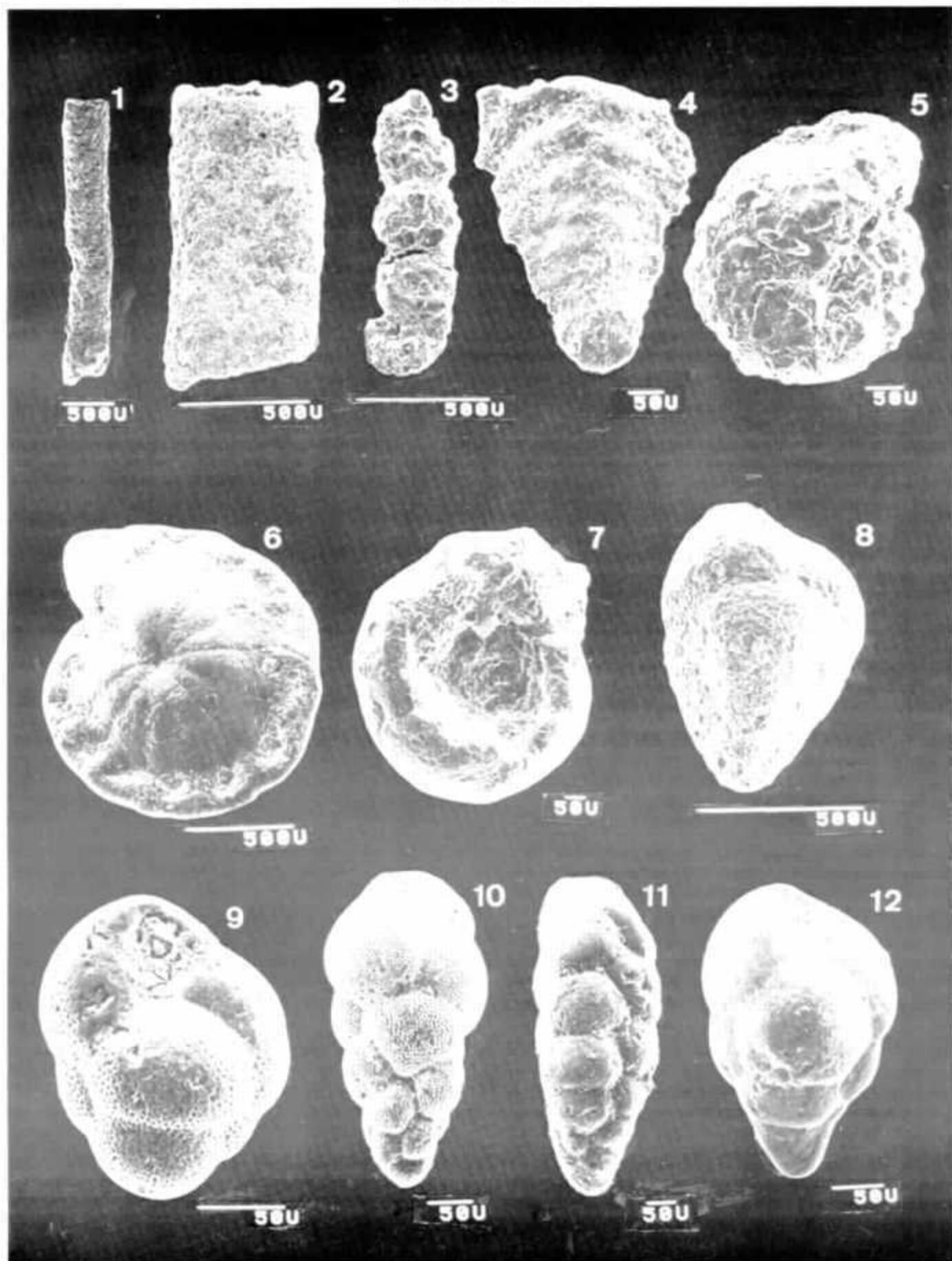
A tabela final da análise paleoecológica segundo o método de Braun-Blanquet mostra que a seção estudada é caracterizada por sete associações maiores de foraminíferos bentônicos, cada uma nomeada pela espécie com maior índice de presença (tabela I). Como presença, entende-se a percentagem do número de amostras/localidades em que as espécies ocorrem em

PRANCHA 1/PLATE 1

TODAS AS FIGURAS SÃO MICROFOTOGRAFIAS EM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA. ESCALAS EM μ M.
ALL FIGURES ARE SCANNING ELECTRON PHOTOMICROGRAPHS. SCALE BARS IN MICRONS.

- Fig. 1 - *Bathysiphon* sp. 1; vista lateral; poço 9-CG-2; 1 710-1 755 m. Associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp. 1; Santoniano inferior.
Fig. 1 - *Bathysiphon* sp. 1; lateral view, from well 9-CG-2; 1 710-1 755 m. *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp. 1. *Assemblage*; lower Santonian.
- Fig. 2 - *Bathysiphon* sp. aff. *B. vitta* NAUSS, vista lateral; poço 1-IDA-1; 1 106-1 116 m. Associação *Daxia* sp. 2; Maastrichtiano inferior.
Fig. 2 - *Bathysiphon* aff. *B. vitta* Nauss; lateral view, from well 1-IDA-1; 1 106-1 116 m. *Daxia* sp. 2. *Assemblage*; lower Maastrichtian.
- Fig. 3 - *Ammobaculites* sp. 2; vista lateral; poço 9-CG-2; 1 575-1 605 m. Associação *Gavelinella stelligera*; Maastrichtiano inferior.
Fig. 3 - *Ammobaculites* sp. 2; lateral view, from well 9-CG-2; 1 575-1 605 m. *Gavelinella stelligera*. *Assemblage*; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 4 - *Spiroplectammina laevis* (ROEMER); vista lateral; poço 1-VCG-1; 1 800-1 830 m. Subassociação *Gaudryina* sp. 2. *Gyroidinoides* sp. aff. *G. beisseli*; Campaniano inferior.
Fig. 4 - *Spiroplectammina laevis* (ROEMER); lateral view, from well 1-VCG-1; 1 800-1 830 m. *Gaudryina* sp. 2/*Gyroidinoides* aff. *G. beisseli* Sub-*assemblage*; lower Campanian.
- Fig. 5 - *Trochammina* sp. 1; vista ventral; poço 1-IDA-1; 1 311-1 326 m. Subassociação *Siphogenerinoides* sp. cf. *S. bramletti*; Maastrichtiano inferior.
Fig. 5 - *Trochammina* sp. 1; ventral view, from well 1-IDA-1; 1 311-1 326 m. *Siphogenerinoides* cf. *S. bramletti* Sub-*assemblage*, lowermost Maastrichtian.
- Fig. 6 - *Daxia* sp. 1; vista lateral; poço 9-CG-2; 1 575-1 605 m. Associação *Gavelinella stelligera*. Maastrichtiano inferior.
Fig. 6 - *Daxia* sp. 1; lateral view, from well 9-CG-2; 1 575-1 605 m. *Gavelinella stelligera* *Assemblage*; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 7 - *Trochamminoides* sp. 2; vista lateral; poço 1-IDA-1; 1 311-1 326 m. Subassociação *Siphogenerinoides* sp. cf. *S. bramletti*; Maastrichtiano inferior.
Fig. 7 - *Trochamminoides* sp. 2; lateral view, from well 1-IDA-1; 1 311-1 326 m. *Siphogenerinoides* cf. *S. bramletti* Sub-*assemblage*; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 8 - *Gaudryina* sp. 2; vista lateral; poço 9-CG-2; 1 695-1 710 m. Associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp. 1; Santoniano inferior.
Fig. 8 - *Gaudryina* sp. 2; lateral view, from well 9-CG-2; 1 695-1 710 m. *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp. 1. *Assemblage*; lower Santonian.
- Fig. 9 - *Buliminella* sp. aff. *B. colonensis* CUSHMAN e HEDBERG; vista lateral, poço 1-VCG-1; 1 680-1 710 m. Subassociação típica *Siphogenerinoides clavata*; Campaniano inferior.
Fig. 9 - *Buliminella* aff. *B. colonensis* CUSHMAN & HEDBERG; lateral view, from well 1-VCG-1; 1 680-1 710 m. *Siphogenerinoides clavata* typical Sub-*assemblage*; lower Campanian.
- Fig. 10 - *Neobulimina canadensis* CUSHMAN e WICKENDEN; vista lateral; poço 1-VCG-1; 1 290-1 320 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
Fig. 10 - *Neobulimina canadensis* CUSHMAN & WICKENDEN; lateral view, from well 1-VCG-1; 1 290-1 320 m. *Pararotalia praenaheolensis* *Assemblage*; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 11 - *Neobulimina subregulares* DE KLASZ, MAGNE e RERAT; vista lateral; poço 1-VCG-1; 990-1 020 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
Fig. 11 - *Neobulimina subregularis* de KLAZ, MAGNE & RERAT; lateral view, from well 1-VCG-1; 990-1 020 m. *Pararotalia praenaheolensis* *Assemblage*; lower Maastrichtian.
- Fig. 12 - *Praebulimina* ex gr. *fang* DE KLASZ, MAGNE e RERAT; vista lateral; poço 1-VCG-1; 990-1 020 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
Fig. 12 - *Praebulimina* ex gr. *fang* de KLAZ, MAGNE & RERAT; lateral view, from well 1-VCG-1; 990-1 020 m. *Pararotalia praenaheolensis* *Assemblage*; lower Maastrichtian.

PRANCHA 1/PLATE 1



PRANCHA 2/PLATE 2

TODAS AS FIGURAS SÃO MICROFOTOGRAFIAS EM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA. ESCALAS EM μM .
ALL FIGURES ARE SCANNING ELECTRON PHOTOMICROGRAPHS. SCALE BARS IN MICRONS.

- Fig. 1 - *Praebulimina* ex gr. *prolixa* (CUSHMAN & PARKER); vista lateral; poço 1-VCG-1: 1 920-1 950 m. Subassociação *Gaudryina* sp. 2/*Gyroidinoides* sp. aff. *G. beisseli*; Campaniano inferior.
- Fig. 1 - *Praebulimina* ex gr. *prolixa* (CUSHMAN & PARKER); lateral view, from well 1-VCG-1: 1 920-1 950 m. *Gaudryina* sp. 2/*Gyroidinoides* aff. *G. beisseli* Sub-assembly; lower Campanian.
- Fig. 2 - *Praebulimina* ex gr. *spinata* (CUSHMAN & CAMPBELL); vista lateral; poço 7-BRG-2: 960-990 m. Subassociação típica *Praebulimina spinata*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 2 - *Praebulimina* ex gr. *spinata* (CUSHMAN & CAMPBELL); lateral view, from well 7-BRG-12: 960-990 m. *Praebulimina spinata* typical Sub-assembly; lower Maastrichtian.
- Fig. 3 - *Pyramidina triangularis* (CUSHMAN & PARKER); vista lateral; poço 1-VCG-1; 990-1 020 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 3 - *Pyramidina triangularis* (CUSHMAN & PARKER); lateral view, from well 1-VCG-1: 990-1 020 m. *Pararotalia praenaheolensis* Assembly; lower Maastrichtian.
- Fig. 4 - *Orthokarstenia clarki* (CUSHMAN & CAMPBELL); vista lateral; poço 1-VCG-1; 1 320-1 350 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 4 - *Orthokarstenia clarki* (CUSHMAN & CAMPBELL); lateral view, from well 1-VCG-1: 1 320-1 350 m. *Pararotalia praenaheolensis* Assembly; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 5 - *Siphogenerinoides* ex gr. *clavata* (CHENOUEAU, DE KLASZ & MEIJER); vista lateral; poço 1-VCG-1: 1 380-1 410 m. Subassociação típica *Siphogenerinoides clavata*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 5 - *Siphogenerinoides* ex gr. *clavata* CHENOUEAU, de KLASZ & MEIJER; lateral view, from well 1-VCG-1: 1 380-1 410 m. *Siphogenerinoides clavata* typical Sub-assembly; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 6 - *Pararotalia praenaheolensis* (OLSSON); vista ventral; poço 1-VCG-1; 1 260-1 290 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 6 - *Pararotalia praenaheolensis* (OLSSON); ventral view, from well 1-VCG-1: 1 260-1 290 m. *Pararotalia praenaheolensis* Assembly; lowermost Maastrichtian.
- Figs. 7 e 8 - *Gavelinella halfeldi* (PETRI); 7, vista equatorial; 8, vista dorsal; poço 9-CG-2; 1 395-1 425 m. Associação *Gavelinella stelligera*; Maastrichtiano inferior.
- Figs. 7 and 8 - *Gavelinella halfeldi* (PETRI); 7, peripheral view; 8, dorsal view; both specimens from well 9-CG-2: 1 395-1 425 m. *Gavelinella stelligera* Assembly; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 9 - *Gavelinella lorneiana* (d'ORBIGNY); vista dorsal; poço 9-CG-2; 1 395-1 425 m. Associação *Gavelinella stelligera*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 9 - *Gavelinella lorneiana* (d'ORBIGNY); dorsal view, from well 9-CG-2: 1 395-1 425 m. *Gavelinella stelligera* Assembly; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 10 - *Gavelinella* ex gr. *schloenbachi* (REUSS); vista ventral; poço 1-VCG-1; 1 230-1 260 m. Associação *Pararotalia praenaheolensis*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 10 - *Gavelinella* ex gr. *schloenbachi* (REUSS); ventral view, from well 1-VCG-1: 1 230-1 260 m. *Pararotalia praenaheolensis* Assembly; lowermost Maastrichtian.
- Fig. 11 - *Gavelinella stelligera* (MARIE); vista ventral; poço 9-CG-2; 1 395-1 425 m. Associação *Gavelinella stelligera*; Maastrichtiano inferior.
- Fig. 11 - *Gavelinella stelligera* (MARIE); ventral view, from well 9-CG-2: 1 395-1 425 m. *Gavelinella stelligera* Assembly; lowermost Maastrichtian.

cada associação. Estas associações são: *Daxia* sp.2, *Valvulineria* sp.1, *Pararotalia praenaheolensis*, *Siphogenerinoides clavata*, *Praebulimina spinata*, *Gavelinella stelligera* e *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1.

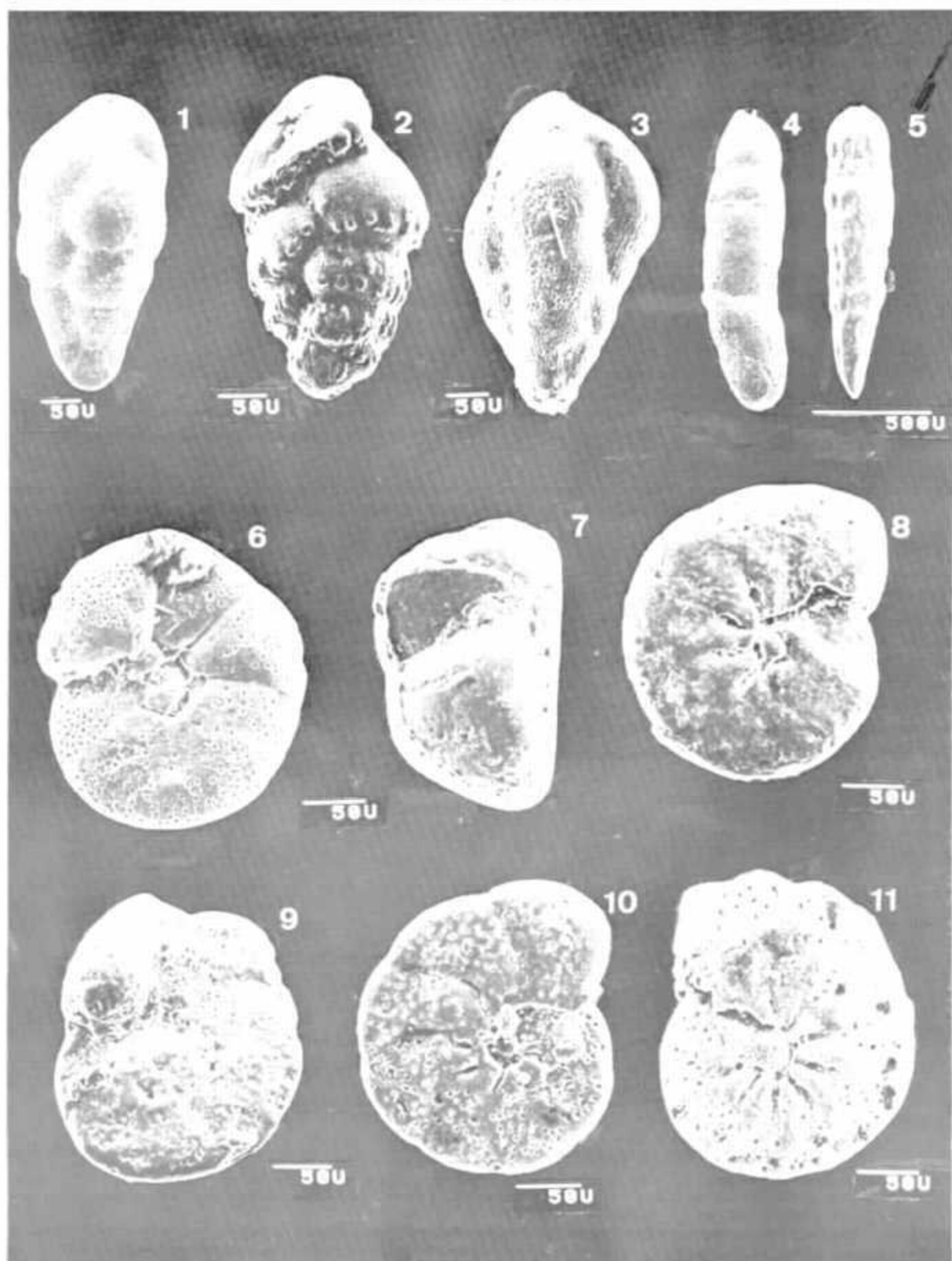
A ocorrência abundante e constante de *Hoeglundina supracretacea*, *Allomorphina cretacea* e predominância de foraminíferos calcários hialinos nas associações *P. praenaheolensis*, *S. clavata*, *P. spinata* e *G. stelligera* indicam fortes afinidades paleoecológicas entre elas (tabela I, colunas III a IX). Outras afinidades faunísticas unem as últimas três destas quatro associações. Assim, *G. stelligera*, que ocorre com presença máxima na associação à qual dá nome, também ocorre nas associações *S. clavata* e *P. spinata*, muito embora mais esporadicamente (tabela I, colunas IX, IV a V e VIII). *P. spinata*, característica da associação de mesmo nome, também ocorre raramente na associação *S. clavata*. *Siphogenerinoides* cf. *S. bramletti*, que caracteriza uma subassociação da associação *P.*

spinata, também ocorre com valores de presença baixa nas associações *G. stelligera*, *S. clavata* e *P. praenaheolensis*.

As afinidades faunísticas entre estas quatro associações sugerem condições ambientais não muito diferentes entre seus respectivos biótopos, e o seu conjunto deve constituir uma unidade paleobiocênótica de ordem superior. Destaca-se desta a associação *P. praenaheolensis*, a qual, devido ao grau de afinidade menor do que o observado entre as outras três associações, deve representar um paleoambiente relativamente extremo do biótopo maior.

Com efeito, as espécies associadas de cada uma das associações e subassociações respectivas (tabela I, colunas III a IX) sugerem ambiente predominantemente nerítico para o conjunto das quatro associações (fig. 3). Assim, as subassociações típicas das associações *S. clavata* (em parte) e *P. spinata* são características de ambiente nerítico médio (tabela I, colunas VI e VIII,

PRANCHA 2/PLATE 2



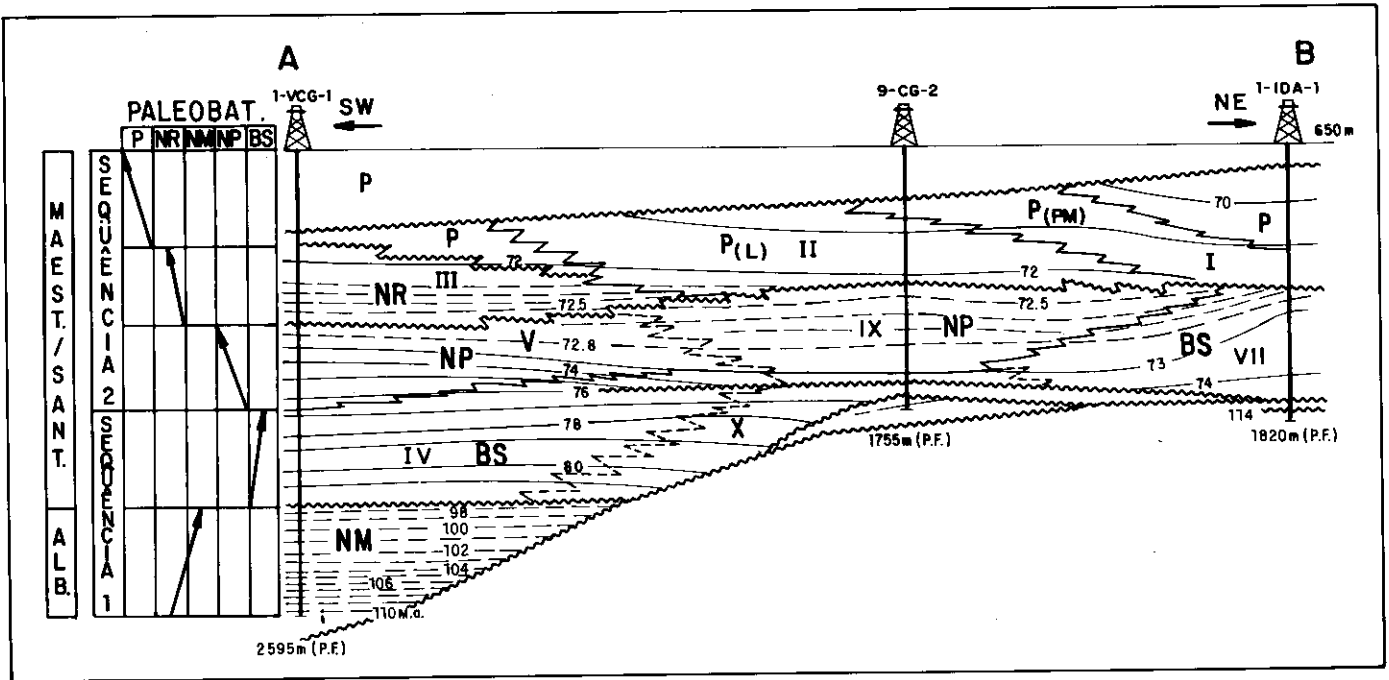


Fig. 3 - Seção isocrônica e paleoambiental A-B dos poços 1-VCG-1, 9-CG-2 e 1-IDA-1. I-IX: colunas de associações (vide tabela I). Legenda para ambientes deposicionais: P(TF): parálico/plâncies de maré; P(L): parálico/costeiro; SN: nerítico raso; MN: nerítico médio; DN: nerítico profundo; UB: batial superior.

Fig. 3 - Isochron and paleoenvironmental cross-section A-B, wells 1-VCG-1, 9-CG-2 and 1-IDA-1. I-IX: associations (see table I). Legend for depositional environments: P(TF): paralic/tida flats; P(L): paralic/littoral; SN: shallow neritic; MN: middle neritic; DN: deep neritic; UB: upper bathyal.

respectivamente; figs. 3 a 5). Parte da subassociação típica da associação *S. clavata* e a associação *G. stelligera* indicam ambiente um pouco mais profundo, nerítico profundo (tabela I, colunas VI e IX, respectivamente; figs. 3 a 5). Palinologicamente, estas associações são caracterizadas por dinoflagelados de parede orgânica de espinhos longos e raros esporângios de *Azolla* e *Salvinea* (Uesugui, In: Beurlen et al. 1987).

As subassociações *Siphogenerinoides* cf. *S. bramletti* e *Gaudryina* sp.2/*Gyroidinoides* aff. *G. beisseli* (associações *P. spinata* e *S. clavata*, respectivamente), se distinguem das anteriores por uma maior frequência de formas aglutinantes, representadas principalmente por espécies de *eggerella*, *Spiroplectamina*, *Bathysiphon*, *Haplophragmoides* e *Trochammina*, além de uma maior frequência de nodosariídeos e maior diversificação específica (tabela I, colunas VII

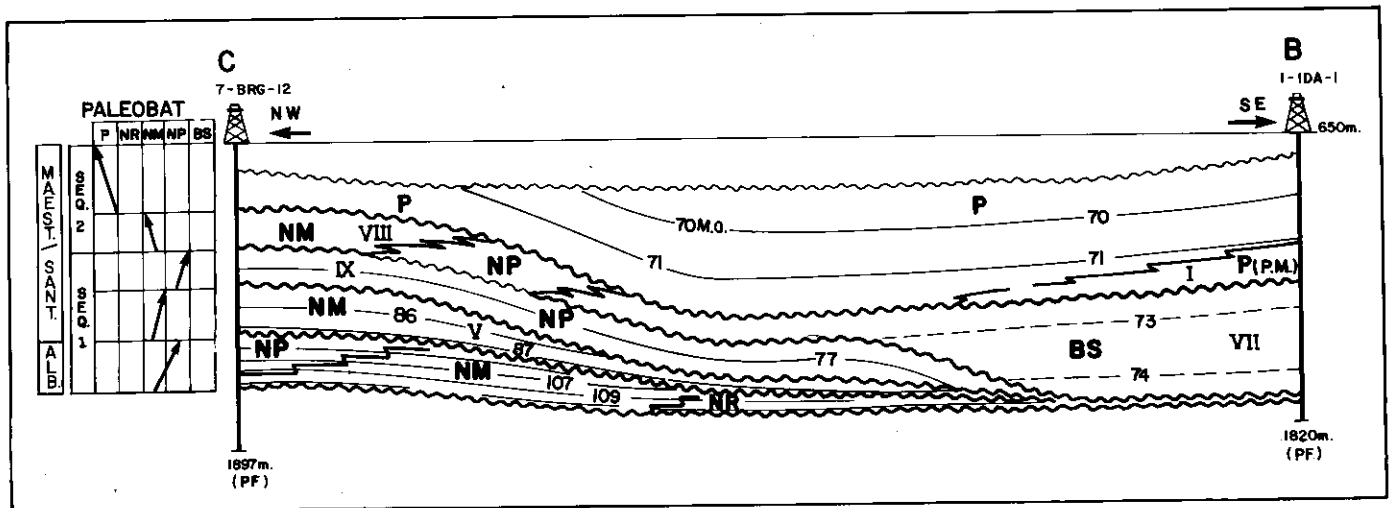


Fig. 4 - Seção isocrônica e paleoambiental C-B dos poços 7-BRG-12 e 1-IDA-1. I-IX: colunas de associações (vide tabela I). Legenda para ambientes deposicionais (vide fig. 3).

Fig. 4 - Isochron and paleoenvironmental cross-section C-B, wells 7-BRG-12 and 1-IDA-1. I-IX: associations (see table I). Legend for depositional environments (see fig. 3).

ASSOCIAÇÕES DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS (REF. TAB.1)		COLUNA (REF. TAB.1)	PALEOAMBIENTES					
ASSOCIAÇÃO	SUB-ASSOCIAÇÃO		PLANÍCIE DE PARÁLICO HIPOSALINO	LITORAL	RASO	MÉDIO	PROF.	BATIAL SUP. N.M.
DAXIA sp.2	_____	I						
VALVULINERIA sp.1	_____	II						
PARAROTALIA PRAENAHEOLENSIS	_____	III						
GAVELINELLA STELLIGERA	_____	IX						
SIPHOGENERINOIDES CLAVATA	TÍPICA	V						
		VI						
	GAUDRYINA sp.2 & GYROIDINOIDES AFF. BEISSELI	IV						
PRAEBULIMINA SPINATA	SIPHOGENERIDES CF.S.BRAMLETTI	VII						
	TÍPICA	VIII						
GAUDRYINA LAEVIGATA & VERNEUILINA sp.1	_____	X						

Fig. 5 - Distribuição paleobatimétrica das associações de foraminíferos bentônicos do Santoniano-Maastrichtiano na área estudada.
Fig. 5 - Paleobathymetric distribution of benthonic foraminifera assemblages from the Santonian-Maastrichtian in the studied area.

a IV, respectivamente; figs. de 3 a 5). O registro palinológico refere abundância de microforaminíferos e raros grãos de pólen (Uesugui, *In*: Beurlen *et al.* 1987). Muito embora ainda mostre afinidades faunísticas com as associações do domínio nerítico, os foraminíferos destas subassociações sugerem um ambiente mais profundo, possivelmente da porção mais superior do batial superior.

Já a associação *P. praenaheolensis*, que é a quarta associação deste conjunto, caracterizado pela ocorrência comum de *Hoeglundina supracretacea* a *Allomorphina cretacea*, se distingue claramente das três associações anteriormente discutidas pelo seu conteúdo faunístico particular (tabela I, coluna III). Este sugere, como já mencionado, um biótopo de características extremas do domínio nerítico. Palinologicamente, é caracterizada pela ocorrência de esporângios

de *Azolla* e *Salvinia*, grãos de pólen de plantas de água doce, algas do gênero *Pediastrum* e cistos de dinoflagelados de parede orgânica e espinhos curtos (Uesugui, *In*: Beurlen *et al.* 1987). Todo este conjunto de dados indica um ambiente costeiro a nerítico raso, ainda sofrendo forte influência de ambientes continentais e de água doce.

A pequena afinidade faunística das três associações restantes, *Daxia* sp.2, *Valvulineria* sp.1 e *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1, tanto entre elas como com as quatro já discutidas, sugere biótopos bem distintos. A associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1 é caracterizada pela ocorrência com presença máxima das espécies nominativas. Ainda restritas a esta associação são as espécies *Dentalina alternata*, *Globorotalites michelinianus*, *Gyroidinoides quadratus*, *Buliminella* aff. *B. colonensis*, *Hoeglundina* sp.3,

Ammobaculites sp.3, *Glomospirella* (?) sp.1, *Trochamminoides* sp.3 e espécies indeterminadas de *Gaudryina* (tabela I, coluna X; fig. 4). O conteúdo faunístico de foraminíferos aglutinantes é mais expressivo do que nas associações *S. clavata*, *P. spinata*, *G. stelligera* e *P. praenaheolensis*. A composição faunística particular desta associação indica, portanto, um biótopo nitidamente distinto do domínio nerítico caracterizado pelas associações mencionadas. Atribui-se ambiente caracteristicamente batial (superior, parte mais profunda) para a associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1.

As associações *Daxia* sp.2 e *Valvulineria* sp.1 se distinguem das outras pela acentuada pobreza de foraminíferos e pelas espécies que delas participam; enquanto que a primeira associação, além da espécie nominativa, ostenta *Bathysiphon* aff. *B. vitta* e restos vegetais, a segunda mostra a ocorrência de raros espécimes de *Haplophragmoides* sp.1 e *Ammobaculites* sp.1 (tabela I, colunas I e II; figs. de 3 a 5). Em ambas as associações ocorrem algas do gênero *Pediastrum* e esporângios de *Azolla* e *Salvinia* com abundância expressivamente mais alta do que na associação *P. praenaheolensis* (Uesugui, In: Beurlen *et al.* 1987). Esta composição sugere um biótopo nitidamente distinto do das outras associações, com características parálico-hipossalinas; sugere-se ambiente de planície de maré para a associação *Daxia* sp.2, e litorâneo para a associação *Valvulineria* sp.1.

3 — EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL

Na seção estratigráfica aqui considerada é possível identificar dois ciclos deposicionais maiores, caracterizados isoladamente por comportamento tectono-sedimentar e paleoambiental distintos: a seqüência 1, envolvendo estratos eosantonianos e eocampanianos depositados em ambientes profundos, desde nerítico profundo a batial superior, e a seqüência 2, de idade Campaniano final a eomaastrichtiano, depositada em ambientes progressivamente mais rasos.

Os depósitos da seqüência 1 provavelmente representam o último registro de uma transgressão nesta área. No Santoniano inferior ocorrem depósitos de água profunda, batial superior, a leste, enquanto que a oeste o ambiente deposicional se torna mais raso, nerítico médio (figs. 3 e 4). A ausência de depósitos neosantonianos-eocampanianos em algumas áreas sugere uma interrupção na sedimentação ou um evento erosivo eocampaniano removendo parcialmente os estratos previamente depositados (Beurlen *et al.* 1987). O registro sedimentar do eocampaniano tardio mostra uma distribuição paleobatimétrica similar ao do eosantoniano, com depósitos batiais superiores a SE e nerítico profundo a NW (fig. 4). Assim, ocorreu um pequeno aumento paleobatimétrico na área entre o eosantoniano e o eocampaniano tardio, cujo pico ocorreu em torno dos 78 a 76 milhões de anos, marcando o

fim desta seqüência (figs. 3 e 4). O padrão das linhas isocrônicas a SW da área sugere uma sedimentação em *onlap* no sentido SW-NE, durante o eocampaniano (fig. 3) (Beurlen *et al.* 1987). Uma descontinuidade em quase toda a área, à exceção de sua porção a SW, parece estar relacionada a este evento e marca o fim desta seqüência; a análise estratigráfica sugere um hiato de aproximadamente 1,5 milhões de anos (Beurlen *et al.* 1987).

O padrão deposicional da seqüência 2 é caracterizado por uma progressiva redução paleobatimétrica em toda a área estudada. O cenário paleobatimétrico estabelecido ao final da seqüência 1 ainda persiste durante a fase inicial da seqüência 2 (neocampaniano final a eomaastrichtiano inicial), muito embora com predomínio de condições neríticas na maior parte da área durante esta fase. Ambiente deposicional mais profundo, batial superior, somente é observado nas partes mais distais, a sudeste da área (figs. 3 e 4). As linhas isocrônicas deste intervalo de tempo sugerem um padrão progradante de SW para SE (fig. 3); Beurlen *et al.* 1987. Uma interrupção de curta duração (inferior a meio milhão de anos) na sedimentação ou, mais provavelmente, uma fase erosiva afetando toda a área, marca o fim do eomaastrichtiano inicial (figs. 3 e 4). É a partir deste evento que o registro regressivo do eomaastrichtiano se torna mais marcante, quando os depósitos batiais e nerítico médios a profundos da fase inicial desta seqüência são cobertos por sedimentos neríticos rasos e parálicos. Neste tempo, o cenário paleobatimétrico na área mostra ambientes deposicionais variando desde o nerítico médio a parálico, com áreas litorâneas e planícies de maré a leste. Esta configuração resultou de um intenso influxo de sedimentos terrígenos durante o eomaastrichtiano final, como evidenciado pela grande abundância de elementos florísticos de origem continental contidos nestes depósitos.

4 — CONCLUSÕES

1. O método de Braun-Blanquet na adaptação de Hiltermann e Tüxen Jr. (1974) se revelou numa útil ferramenta para análises ecológicas e paleoecológicas de comunidades de foraminíferos bentônicos.

2. A aplicação do método ao estudo paleoecológico dos foraminíferos bentônicos santoniano-maastrichtianos do Membro Calumbi (Formação Piaçabuçu), no Baixo do São Francisco (Bacia de Sergipe), permitiu a caracterização de sete associações. As suas afinidades faunísticas/paleoecológicas permitiram identificar três grandes domínios paleoambientais: parálico (associações *Daxia* sp.2 e *Valvulineria* sp.1), nerítico a transição nerítico/batial (associações *Pararotalia praenaheolensis*, *Siphogenerinoides clavata*, *Praeubulimina spinata* e *Gavelinella stelligera*) e batial propriamente dito (associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1.).

3. As diferenças e afinidades entre as associações permitiram a identificação de paleobiótopos particulares dentro de cada um destes grandes domínios paleoambientais. Assim, dentro do domínio parálico foi possível identificar um ambiente de planície de maré e litorâneo (associações *Daxia* sp.2 e *Valvulineria* sp.1, respectivamente); o domínio nerítico pode ser particularizado em termos de nerítico raso (associação *P. praenaheolensis*), nerítico médio (caracterizado pelas subassociações típicas das associações *Siphogenerinoides clavata* e *Praebulimina spinata* (parte)), nerítico profundo (associação *Gavelinella stelligera* e parte da subassociação típica da associação *Praebulimina spinata*), e transição nerítico profundo/batial superior (subassociações *Siphogenerinoides* cf. *S. bramletti* e *Gaudryina* sp.2/*Gyroidinoides* aff. *G. beisseli* das associações *P. spinata* e *S. clavata*, respectivamente); e por fim o domínio batial superior propriamente dito (associação *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1.). As diferenças faunísticas das quatro subassociações que caracterizam os biótopos nerítico médio e profundo certamente refletem diferenças paleoambientais menores em cada um destes biótopos que, entretanto, não foram analisadas neste trabalho.

4. A sucessão vertical e horizontal dentro do contexto bioestratigráfico permitiu o reconhecimento de duas seqüências deposicionais maiores. A seqüência 1, de idade santoniana-eocampaniana, depositada em ambiente batial superior a nerítico profundo, representa a fase final de um ciclo transgressivo maior. A seqüência 2, de idade Campaniano final a eomaastrichtiano e depositada em ambientes progressivamente mais rasos, representa um ciclo regressivo. Próximo do seu final ocorreu uma mudança dramática no regime sedimentar, a qual é evidenciada por depósitos parálicos a nerítico rasos, diretamente sobrepostos a depósitos batiais e neríticos rasos a médios.

AGRADECIMENTOS

À gerência da PETROBRÁS por permitir a publicação deste trabalho. Ao Prof. Dr. M. B. Hart pela leitura crítica do manuscrito e ao Sr. J. Abraham pelo

desenho das ilustrações, ambos do Department of Geological Sciences, Polytechnic South West, Plymouth, Inglaterra. Ao geólogo H. J. F. Sá Brito e Sra. L. F. X. Lucas pelas excelentes fotomicrografias realizadas, ambos do Centro de Pesquisas (CENPES) da PETROBRÁS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASMUS, H. E., BAISCH, P. R. Geological evolution of the Brazilian continental margin. *Episodes*, 4:3-9, 1983.
- BENGTSON, P. The Cenomanian-Coniacian of the Sergipe Basin, Brazil. *Fossils and Strata*, 12:1-78, 1983.
- BEURLEN, G., HILTERMANN, H. As biocenoses do mangue de Guaratiba. *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, v. 26, n. 4, p. 259-267, 1983.
- BEURLEN, G., FREITAS, L.C.S., KOUTSOUKOS, E.A.M., UESUGUI, N. Paleocologia do baixo de São Francisco: I — Área do Brejo Grande-Carapitanga. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES, 1987. (Relatório interno, 789).
- HILTERMANN, H. Zur soziologie von agglutinierender Foraminiferen polarer, skandinavischer und äquatorialer meere. *Geol. Jb.*, A, v. 6, p. 101-120, 1973.
- HILTERMANN, H. Grundsätzliches zur Biosozologie des marinen Benthos. *N. Jahrb. Geol. Palaeont.*, v. 12, p. 708-716, 1978.
- HILTERMANN, H. Meereskundliche und paleoökologische Biozoenotik. *Palaeont. Z.*, v. 56, n. 3/4, p. 153-164, 1982.
- HILTERMANN, H. Zur Methodik, Brackwasser — Sedimente zu erkennen und zu unterscheiden. *Facies*, v. 12, p. 243-252, 1985.
- HILTERMANN, H., BRÖNNIMANN, P., ZANINETTI, L. Neue Biozoenosen in den Sedimenten der Mangrove bei Acupe, Bahia, Brasilien. *Notes Lab. Paleont. Univ. Gen.*, p. 1-6, 1981.
- HILTERMANN, H., TÜXEN JUNIOR, J. Biosociology of Recent benthonic Foraminifera after the Braun-Blanquet method. *Rev. Esp. Micropaleont.*, v. 6, n. 1, p. 75-84, 1974.
- HILTERMANN, H. Die Biozoenosen der Phlegerschen Benthos Faunen vom Mississipi — Sund und Delta. *Palaeont. Z.*, v. 52, n. 1/2, p. 271-279, 1978.
- KOUTSOUKOS, E.A.M. *Mid-to Late Cretaceous Microbiostratigraphy, Palaeo-ecology and Palaeogeography of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. Council for National Academic Awards.* Polytechnic South West, Plymouth: (Tese de doutorado). 886pp., 2 vol.
- KOUTSOUKOS, E.A.M., BEURLEN, G. An example of application of the Braun-Blanquet method. *Rev. Paleobiol.*, Spéc, v. 2, p. 295-296, 1988.
- OJEDA, H.A.O. Bacia Sergipe/Alagoas: Geologia regional e perspectivas petrolíferas. *XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 1976, Porto Alegre. *Anais...*

EXPANDED ABSTRACT

This study presents the results of a successful application of the Braun-Blanquet similarity method, as adapted by Hiltermann & Tüxen Jr. (1974) for the ecological evaluation of foraminiferal assemblages, to a research project carried out at the Research Center (CENPES) of PETROBRÁS, Rio de Janeiro. The research objective was the definition of the depositional paleoenvironments of turbiditic deposits in the Calumbi Member of the Piaçabuçu Formation (Santonian to Maastrichtian), onshore area of the São Francisco low, Sergipe Basin, northeastern Brazil (figs. 1 e 2). As far as the knowledge of the authors is concerned, this is one of

*the first times that such a method has been applied to fossil assemblages of benthonic foraminifera. The final table (table I) shows that the studied section is characterized by seven major assemblages, each named after the species with maximum presence (presence on a 81-100% basis): *Daxia* sp.2, *Valvulineria* sp.1, *Pararotalia praenaheolensis*, *Siphogenerinoides clavata*, *Praebulimina spinata*, *Gavelinella stelligera* and *Gaudryina laevigata/Verneuilina* sp.1. The associated species found in each of the assemblages and subassemblages suggest a shallow neritic environment to the assemblage *P. praenaheolensis*, middle neritic to the typical*

subassemblages of *S. clavata* and *P. spinata* (table I, columns V and VIII, respectively; figs. 3 to 5), and somewhat deeper, deep neritic, to the assemblage *G. stelligera* and typical sub-assemblage *S. clavata*, in part (table I, column VI; figs. 4/5). In the palynological record of shallow neritic environments (cf. Uesugui, In: Beurlen et al. 1987) are commonly found *Azolla* and *Salvinia* "sporangia", spore cases of fresh water aquatic plants, together with *Pediastrum* algae and organic-walled dinoflagellate cysts with short spines. In middle and deep neritic environments *Pediastrum* and *Azolla* become rarer and appear organic-walled dinoflagellate cysts with long spines. The sub-assemblages *Gaudryina sp.2*/*Gyroidinoides sp. aff. G. beisseli* and *Siphogenerinoides sp. cf. S. bramlettei* contain forms from a deeper environment (upper part of the upper bathyal) with species of *Eggerella*, *Spiroplectammina*, *Bathysiphon*, *Haplophragmoides*, *Trochammina*, besides the nominative species; together with these were also found a higher frequency of nodosariids and a greater specific diversification of the microfauna (table I, columns IV and VII; figs. 3 to 5). The assemblage *G. laevigata*/*Verneuilina sp.1* has a microfaunal content particularly rich in agglutinated foraminifera (table I, column X; figs. 3 and 5) and, therefore, characterizes a biotope assigned to the deeper part of the upper bathyal environment. The assemblages *Daxia sp.2* and *Valvulineria sp.1* are characteristic of hyposaline paralic environments, the first probably of tidal flat areas and the second of litoral biotopes. Both assemblages are very poor in foraminifera, occurring, besides the nominative species, *Bathysiphon sp. aff. B. vitta* and vegetal remains, in the first, and *Haplophragmoides sp.1* and *Ammobaculites sp.1*, in the second (table I, columns I-II; figs. 3 to 5). *Pediastrum* algae, *Azolla* and *Salvinia* "sporangia" are also found in high density in the palynological record (Uesugui, op. cit.).

In the stratigraphic section here considered, it is possible to identify two (2) major depositional cycles, characterized, separately, by distinct tectono-sedimentary and paleoenvironmental trends: sequence 1, involving strata from the lower Santonian to lower Campanian, deposited in deep water environments, deep neritic to upper bathyal, and sequence 2, with apparently progradational deposits in progressive shallowing upwards environments, from the upper Campanian to the Maastrichtian. The strata of sequence 1 represent probably the last record of a transgression in this area. Deposits of deep waters, upper bathyal, are recorded in the east; westwards these become shallower with deposits accumulated in middle to deep neritic environments (figs. 4 and 5). From the Santonian to the early Campanian a slight paleobathymetric increase occurred in the area, with a peak somewhat around 78 to 76 M.A. (figs. 3 and 4). The end of this sequence of transgressive character is marked by a discontinuity that may have had its cause in the change of the sedimentary regime occurring between this and the next sequence. The depositional pattern of sequence 2 is characterized by a progressive shallowing of paleobathymetries in the whole area studied. During the late Campanian the paleobathymetric setting established at the end of sequence 1 still persisted, but bathyal deposits are then only recorded in more distal areas, to the east, while most of the sedimentation was taking place under neritic conditions (figs. 3 and 4). In the Maastrichtian the regression caused the superposing of middle to shallow neritic and paralic deposits, eastwards, over middle to deep neritic and bathyal ones. This paleogeographic setting was the result of a strong influx of terrigenous sediments occurring at that time, which is also indicated by the high abundance of floristic elements of continental origin recovered in these strata.