



## **Análises de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ em sedimentos ricos em foraminíferos da margem continental do Nordeste brasileiro, entre os estados do Ceará e Pernambuco**

**Wanessa S. Marques<sup>a</sup>, J. C. Silva, Alcides N. Sial, E. A. Menor & Valdir A. V. Manso**

*Recebido em 30 de Junho de 2003 / Aceito em 15 de março de 2004*

### **Resumo**

Análises de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  de oito amostras de sedimentos carbonáticos ricos em foraminíferos da margem continental do Nordeste brasileiro, entre Ceará e Pernambuco, foram feitas para investigar uma possível estratificação isotópica de C e O no oceano e mudanças na temperatura da água do mar com a profundidade. Os resultados mostram que existe uma dependência entre a composição isotópica dos sedimentos e a profundidade. Existe uma tendência de aumento dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de 1,5‰<sub>PDB</sub> a 3,4‰<sub>PDB</sub>, entre 10 m e 31 m, e um aumento dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de -0,9‰<sub>PDB</sub> a -0,6‰<sub>PDB</sub>, entre profundidades de 10 a 980 m na margem do estado do Ceará, onde predominam as espécies bentônicas (*Miliolidae*, *Miliolina coilling*, *Anphistegina* e *Lamarckina*); e a partir dos 65 m, as espécies planctônicas (*Globigerina praebuloides* e *Orbulina universa*). As temperaturas calculadas para a água do mar nesta área diminuem de 21° para 19°C, com o aumento da profundidade. Na margem continental dos estados do Rio Grande do Norte e Pernambuco, há um aumento de  $\delta^{13}\text{C}$  (1,7‰<sub>PDB</sub> a 2,5‰<sub>PDB</sub>) entre as profundidades de 13 e 610 m; e uma diminuição para 1,6‰<sub>PDB</sub> até os 1145 m. Por outro lado, observou-se um aumento dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (-1,3‰<sub>PDB</sub> a -0,7‰<sub>PDB</sub>), chegando até -0,4‰<sub>PDB</sub> aos 1145 m, onde predominam as espécies planctônicas *Globigerina praebuloides*, *Orbulina universa* e, em menor proporção, as espécies bentônicas *Lamarckina*, *Robulus*, *Anphistegina*. As temperaturas nesta área variam de 22° a 18°C, com o aumento da profundidade. Pode-se concluir que, em termos gerais, com o aumento da profundidade, e da razão P/B (porcentagem de planctônicos sobre bentônicos), há um aumento dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e uma diminuição nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , além de uma diminuição na temperatura da água do mar.

**Palavras-Chaves:** Isótopos de carbono e oxigênio, foraminíferos, margem continental, temperatura da água do mar

### **Abstract**

*$\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  analyses were performed in eight marine carbonatic rich foraminifera sediment samples collected in the continental margin between Ceará and Pernambuco States, Northeastern Brazil. The results show a clear dependence of the sediments  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values with depth, indicating a C- and O- isotopic ocean water stratification. The results also show a dependence of the seawater temperature, calculated from sediments  $\delta^{18}\text{O}$ , with depth; accounting for the hypothesis of a stratified ocean. In the Ceará continental platform, increasing tendencies for both, the  $\delta^{13}\text{C}$  (from 1.5‰ to 3.4‰<sub>PDB</sub>) and  $\delta^{18}\text{O}$  (-1.03‰ to -0.6‰<sub>PDB</sub>), were identified for depths between 10 and 980 m. For the same depth interval, a predominance of benthonic foraminifera (*Miliolidae*, *Miliolina coilling*, *Anphistegina* e *Lamarckina*) was identified, as well as clear increase in the planktonic foraminifera*

(*Globigerina praebuloides* e *Orbulina universa*) after the 65m of depth. Calculated seawater temperatures decrease from 21 to 19°C with increasing depth. In the Rio Grande do Norte – Pernambuco continental margin, an increase in the  $\delta^{13}\text{C}$ , from 1.7‰ to 2.5‰<sub>PDB</sub>, occurs between the 13 – 630 m depth interval. This increase is interrupted by a sharp  $\delta^{13}\text{C}$  shift, towards more a negative values (1.6‰<sub>PDB</sub>) at a depth of 1145 m. On the other hand,  $\delta^{18}\text{O}$  values increase, from -1.3‰ to 0.7‰<sub>PDB</sub>, between the 13 – 160 m of depth; and then, shift towards more negative values (0.4‰<sub>PDB</sub>) at a depth of 1145 m. As in the Ceará continental platform, benthonic foraminifera species dominate the shallow marine waters, as planctonic (*Globigerina praebuloides*, *Orbulina universa*) and benthonic species (*Lamarckina*, *Robulus*, *Anphistegina*) dominate deeper environments. Calculated seawater temperatures decrease from 22 to 19°C with increasing depth. It can be concluded, that in general, there is an increasing and posterior decreasing tendency in the sediments  $\delta^{13}\text{C}$  and an increasing in the  $\delta^{18}\text{O}$  values with depth. These tendencies correlate with an increasing tendency in the P/B (planctonic foraminifera/benthonic foraminifera) ratios and decreases of calculated ocean water temperatures.

**Keywords:** Carbono and Oxigen isotopes, foraminifera, continental margin, seawater temperature

<sup>3</sup>Departamento de Geologia - NEG-LABISE, Cidade Univesitária - Recife (PE), Tel.: (81) 212-68243  
E-mail: wsmarq@yahoo.com.br, juancst@ufpe.br, ans@ufpe.br, menor@terra.com.br

## 1. Introdução

Foraminíferos são usados como ferramentas para observações oceanográficas e interpretações ambientais e paleoambientais por causa de sua extensiva ocorrência geográfica e geológica, pelo fato de habitarem, em média, entre os 5 e os 5000 m de profundidade nas margens continentais, pela sua relativa abundância e diversidade, e pela sua sensibilidade às condições ambientais, em especial à temperatura. Adicionalmente, tem sido identificado que foraminíferos reagem sensivelmente a fatores como trocas em níveis de oxigenação, luminosidade e disponibilidade de nutrientes e a processos oceanográficos e climáticos tais como condições de correntes de ascensão (*upwelling*), mudanças na profundidade da termoclina, glaciações, entre outros (Hemleben & Bijma, 1994, Mackensen *et al.*, 1992, Hale & Pflaumann, 1999).

Baseados nestes fatos, sedimentos ricos em foraminíferos da margem continental do Nordeste brasileiro foram analisados quanto à composição isotópica do carbono e oxigênio, com a finalidade de obter-se observações quanto a estratificação das águas oceânicas nesse trecho da margem continental, possíveis alterações na produtividade e mudanças na temperatura da água do mar com

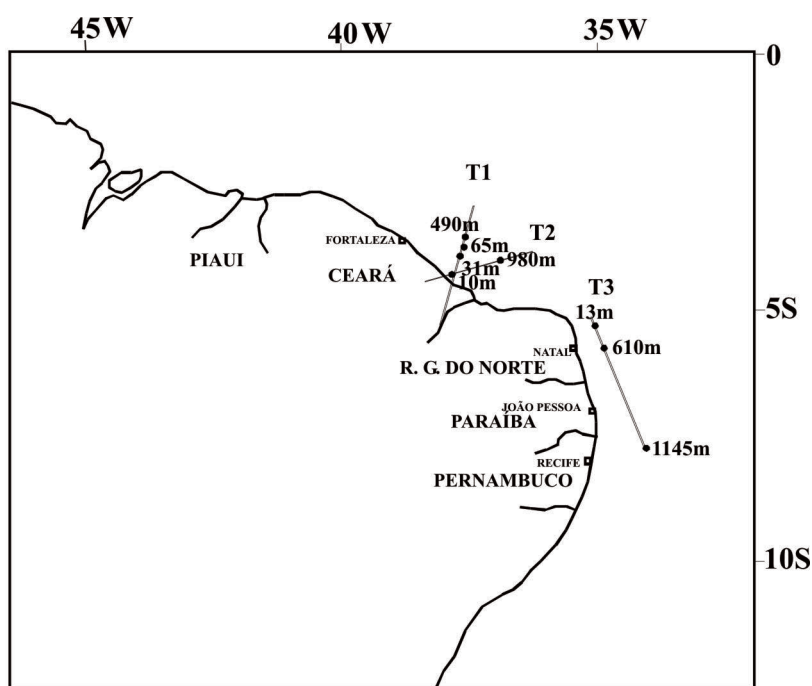
a profundidade. As amostras de sedimentos marinhos carbonáticos estudadas fazem parte de um conjunto de amostragem realizado entre 1990 e 1991, como parte do programa de cooperação de pesquisas marinhas entre Brasil e Alemanha, com o navio de pesquisa Vitor Hensen. A amostragem distribui-se entre 10 e 1045 m de profundidade, indo desde a margem continental do Ceará, até a margem continental de Pernambuco (Fig. 1). Amostras pertencentes à margem continental do Ceará, com profundidades de 10, 31, 65, 490 e 980 m, estão localizadas numa área onde há influência direta da corrente oceânica norte brasileira, com direção NE. As duas amostras da margem continental do estado do Rio Grande do Norte foram coletadas a 13 e 610 m de profundidade e a amostra da margem continental de Pernambuco foi coletada a 1145 m de profundidade. Estas duas ultimas áreas têm a influência da corrente Atlântica Sul Equatorial, com direção Oeste.

## 2. Generalidades sobre a margem continental do Nordeste brasileiro

A margem continental do Nordeste brasileiro é caracterizada por ter uma plataforma estreita e comumente rasa, variando de 40 a 80 m de

profundidade e largura variando entre 60 a 80 m em média. O regime de marés (mesomaré) e os ventos fortes característicos da região Nordeste tornam sua frente plataformal um ambiente de alta energia, onde altas temperaturas e salinidade (36 a 37‰) (Mont'Alverne, 1982; Freire, 1985; Testa & Bosence, 1998) tornam essa parte da margem continental do Brasil um lugar especial para estudos da biota marinha. A propriedade da plataforma continental do nordeste de ser estreita tem sido atribuída, entre outras causas, à própria configuração estrutural desta faixa do bloco sul-americano, ao caráter tropical das bacias de drenagens da faixa continental adjacente, e das reduzidas taxas de erosão terrestre. A linha de

quebra (o termo quebra da plataforma foi originalmente proposto por Dietz & Menard, 1958 – França, Proj. REMAC) passa em geral nas isóbatas de 60 a 80 m. Os sedimentos nessa feição da margem continental são compostos principalmente por fragmentos carbonáticos biodetríticos, com o tamanho variando de acordo com o tipo de organismo e energia do ambiente e variando em composição, podendo ocorrer puros ou misturados com sedimentos terrígenos. Neste trabalho, três pontos de amostragens situam-se na plataforma continental, nas profundidades de 10, 13 e 31 m, e um ponto, na linha de quebra, a 65 m de profundidade.



**Fig. 1.** Localização dos pontos e profundidades em metros nas linhas transversais e linha paralela à costa. Escala aproximada: 1: 35.000.000.

O talude continental possui largura média entre 85 e 105 km. Essa feição morfológica é recortada em toda sua extensão por canhões submarinos, com profundidades de até 1210 m, e que, no geral, não se relacionam com os sistemas de drenagem costeiros atuais. Todos os outros pontos de amostragem localizam-se no talude continental.

Com base em análise em lupa binocular, os sedimentos são mais terrígenos na parte interna

da margem continental, apresentando pouco material biogênico. Já na parte externa, são ricos em bioclastos. Em termos gerais, até a profundidade de 65 m, predominam foraminíferos bentônicos. A partir daí, as espécies planctônicas passam a predominar, inclusive no estado de Pernambuco, dado que se conta com apenas uma amostra na profundidade de 1145 m. A grande maioria das espécies de foraminíferos identificados nas amostras são calcíticas, e apenas uma

espécie identificada (*Lamarckina*) é aragonítica. Na Figura 1, observa-se a disposição dos pontos de amostragem e das linhas paralela e transversais consideradas para a interpretação dos resultados.

### 3. Métodos

As amostras de sedimentos carbonáticos foram analisadas em lupa binocular para uma separação da biota marinha, separando-se os moluscos, briozoários, ostracodes, algas, etc., e escolhendo-se os foraminíferos. Assim, os foraminíferos coletados foram pulverizados em moinho de disco orbital e o pó, separado e guardado em recipiente de vidro para análise posterior.

As análises de isótopos estáveis de carbono e oxigênio foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Cada amostra em pó foi colocada para reagir com ácido ortofosfórico a 100%, a 25°C de temperatura, durante 12 horas. O  $\text{CO}_2$  liberado durante a reação foi extraído em uma linha de alto vácuo, empregando purificação criogênica, seguindo o método proposto por Craig (1957). Para a determinação de isótopos de carbono e oxigênio, o  $\text{CO}_2$  extraído de cada amostra foi analisado em

um espectrômetro de massa de fonte gasosa (SIRA II), o qual possui dupla admissão para comparação de razões isotópicas de amostras-gás de referência, além de estar equipado com um colector triplo. Para as análises, empregou-se o gás de referência Borborema *Skarn Calcite* (BSC), o qual foi calibrado com relação aos padrões NBS-18, NBS-19 e NBS-20, que têm  $\delta^{18}\text{O} = -1,28 \pm 0,004\text{‰}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{13}\text{C} = -8,58 \pm 0,02\text{‰}_{\text{PDB}}$ . Os resultados obtidos para as amostras são reportados em notação internacional  $\delta\text{‰}$  (*permil*) em relação à escala PDB.

### 4. Resultados

Para facilitar a interpretação dos resultados, as amostras foram distribuídas em três linhas, duas dispostas de maneira perpendicular e uma paralela à costa (Fig. 1). Encontrou-se que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  variam de acordo com a profundidade, observando-se uma maior variabilidade nas linhas transversais da margem continental do Ceará (T1 e T2) do que aquela dos estados do Rio Grande do Norte e Pernambuco (T3).

A Tabela 1 mostra cada região estudada de acordo com cada linha transversal e seus respectivos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ .

**Tab. 1.** Resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  nas amostras de acordo com as seções transversais estudadas em cada região.

Transecto	Região	Prof (m)	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ (PDB)
T1	Ceará	10	1,5	-0,9
	Ceará	31	3,4	-1,03
	Ceará	65	2,9	-0,6
	Ceará	490	1,8	-0,8
T2	Ceará	10	1,5	-0,9
	Ceará	980	2,4	-0,6
T3	R. G. do Norte	13	1,7	-1,3
	R. G. do Norte	610	2,5	-0,7
	Pernambuco	1145	1,6	-0,4

#### 4.1 Margem continental do estado do Ceará

Na margem continental do estado do Ceará (T1), o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  para 10 m de profundidade é de  $1,5\text{‰}_{\text{PDB}}$ . Com o aumento da profundidade, esse valor aumenta para  $3,3\text{‰}_{\text{PDB}}$  a 31m, e daí para  $2,9\text{‰}_{\text{PDB}}$  a 65 m de profundidade, para depois diminuir até  $1,8\text{‰}$  na profundidade de 490 m (Fig. 2A). Essa diminuição também é visualizada na seção transversal T2, na qual os valores vão de  $1,5\text{‰}$  a uma profundidade de 10 m a  $2,4\text{‰}$

a 980 m de profundidade (Fig. 2C).

Quanto ao  $\delta^{18}\text{O}$ , em T1, os valores mais altos são observados no ponto de amostragem com 10 m de profundidade ( $-0,9\text{‰}_{\text{PDB}}$ ). Este diminui para valores de  $-1,03\text{‰}_{\text{PDB}}$  aos 31 m de profundidade. A partir daí, os valores aumentam até  $-0,6\text{‰}$  aos 65 m e finalmente diminuem até  $-0,8\text{‰}_{\text{PDB}}$  aos 490 m (Fig. 2B). Essa lenta diminuição é vista ainda aos 980 m ( $-0,6\text{‰}_{\text{PDB}}$ ), na seção transversal T2.

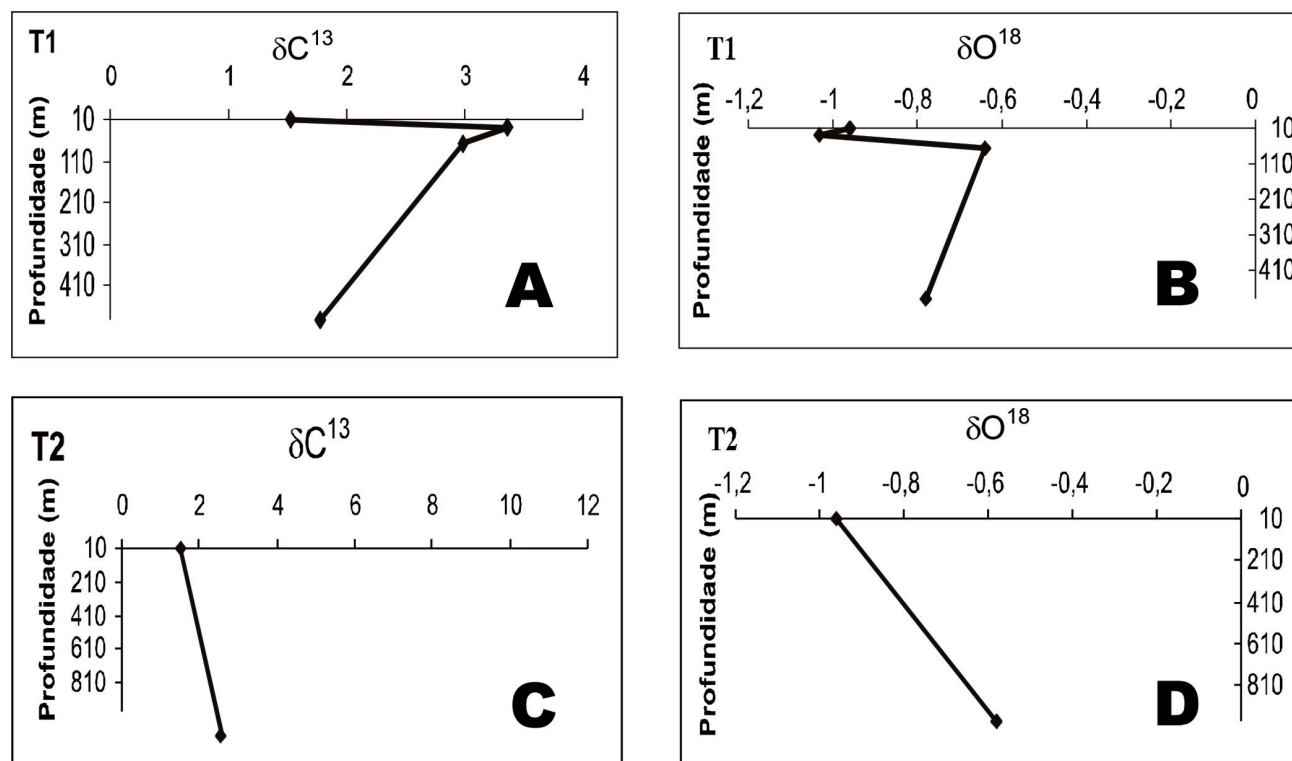


Fig. 2. Comportamento de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  nas transversais T1 e T2.

#### 4.2 Margem continental do Rio Grande do Norte e Pernambuco

No Rio Grande do Norte (T3), o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $1,7\text{‰}_{\text{PDB}}$  é encontrado a uma profundidade de 13 m. A partir daí, o valor aumenta para  $2,5\text{‰}$  na profundidade de 610 m, para depois, tornar a cair para  $1,6\text{‰}_{\text{PDB}}$  na profundidade de 1145 m (Fig. 3A). Quanto ao valor de  $\delta^{18}\text{O}$ , um valor de  $-1,3\text{‰}_{\text{PDB}}$  foi determinado para a profundidade de 13 m. A partir daí, seus valores aumentam para  $-0,7\text{‰}_{\text{PDB}}$  aos 610 m, e até  $-0,4\text{‰}_{\text{PDB}}$  a

uma profundidade de 1145 m (Fig. 3B).

#### 5. Implicações Ambientais

Como foi mencionado anteriormente, o uso de isótopos de oxigênio e carbono em amostras de foraminíferos tem servido para determinar características ambientais como produtividade primária, trocas no ciclo do carbono, mudanças climáticas locais e globais, determinação de ressurgência oceânica, temperatura da água do mar, entre outros (Kroopnick, 1985, Heinze, 1994).



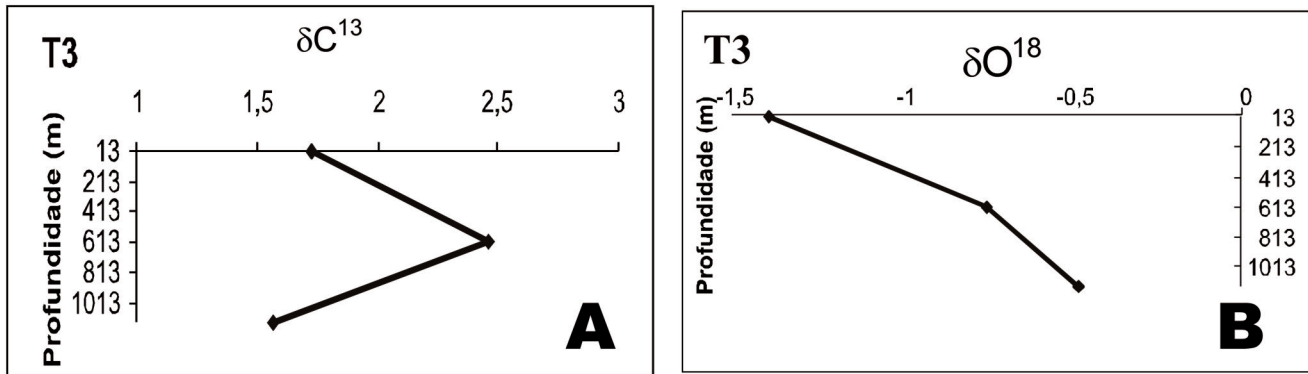


Fig. 3. Comportamento  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  na linha paralela à costa T3

Na costa do Ceará (T1 e T2), a 10 m de profundidade, a espécie identificada mais representativa é *Penepolis* (bentônica). Nessa profundidade,  $\delta^{13}\text{C}$  tem valor de  $1,53\text{‰}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}$   $-0,96\text{‰}_{\text{PDB}}$ . Nas profundidades de 31 e 65 m, a quase totalidade dos foraminíferos é bentônica, sendo que a *Quinqueloculina*, *Lamarckina*, *Anphistegina*, *Miliolina coiling* e *Miliolids*, *Ammonia* são as principais espécies e os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  diminuem de  $3,4$  a  $2,9\text{‰}_{\text{PDB}}$ , enquanto que os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  sobem de  $-1,0$  a  $-0,6\text{‰}_{\text{PDB}}$ . Na profundidade de 490 m, onde 80% das espécies identificadas são planctônicas, sendo a *Globigerina praebuloides* e *Orbulina universa* as principais, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  caem para  $1,78\text{‰}_{\text{PDB}}$  e os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  continuam no mesmo nível ( $-0,8\text{‰}_{\text{PDB}}$ ). Na profundidade de 980 m, as razões de  $\delta^{13}\text{C}$  voltam a aumentar para  $2,4\text{‰}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  sobe consideravelmente para  $-0,6\text{‰}_{\text{PDB}}$ . Nesta profundidade, predominam as espécies planctônicas *Globigerina pachiderma* e *Globigerina praebuloides*.

A Figura 4 mostra a relação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  com a porcentagem de espécies planctônicas e bentônicas e a profundidade, mostrando que, onde existem mais espécies planctônicas, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tendem a ser maiores, talvez por causa da alta produtividade do meio, fazendo com que o ambiente se torne pobre em  $^{12}\text{C}$ , pois este é consumido pelas espécies durante seu desenvolvimento, e valores de  $\delta^{18}\text{O}$  tendem a diminuir.

No Rio Grande do Norte (T3), aos 13 m de profundidade, observam-se mais espécies de foraminíferos bentônicos em comparação com a profundidade de 10 m na costa do Ceará, dentre

as quais destacam-se *Anphistegina* e *Miliolids*. As razões de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $1,7\text{‰}_{\text{PDB}}$ ) continuam parecidas com as razões em T1 e T2 e  $\delta^{18}\text{O}$  possui razões um pouco menores ( $-1,3\text{‰}_{\text{PDB}}$ ), que aquelas aos 10 m de profundidade em T2. A 610 m de profundidade, onde predomina a espécie *Globigerina praebuloides*, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  volta a subir ( $2,5\text{‰}_{\text{PDB}}$ ). Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  tornam-se mais altos ( $-0,7\text{‰}_{\text{PDB}}$ ). Na costa de Pernambuco (1145 m – T3), a grande maioria das espécies é planctônica, predominando *Globigerina praebuloides* e *Globigerina pachiderma*. Em menor porcentagem, encontram-se as espécies bentônicas (*Lamarckina* e *Robulus*). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  continuam diminuindo para  $1,6\text{‰}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  alcança o máximo de  $-0,4\text{‰}_{\text{PDB}}$  (Fig. 5 A e B).

A Figura 6 mostra a comparação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  para todos os pontos de amostragem, observando-se o comportamento entre as razões isotópicas do Carbono e do Oxigênio de acordo com a profundidade. Para amostras ricas em foraminíferos bentônicos (profundidades entre 10 e 65 m), observa-se duas tendências nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e valores similares de  $\delta^{18}\text{O}$ . Para as espécies planctônicas, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  são mais altos em comparação com as espécies bentônicas e  $\delta^{13}\text{C}$  apresenta aumento com a profundidade da amostra coletada. A amostra mais profunda, coletada na região de Pernambuco, não segue nenhum padrão específico talvez por ter sido coletada em uma área geográfica mais distante.

## 6. Cálculo de temperaturas

Segundo Faure (1986), a determinação da

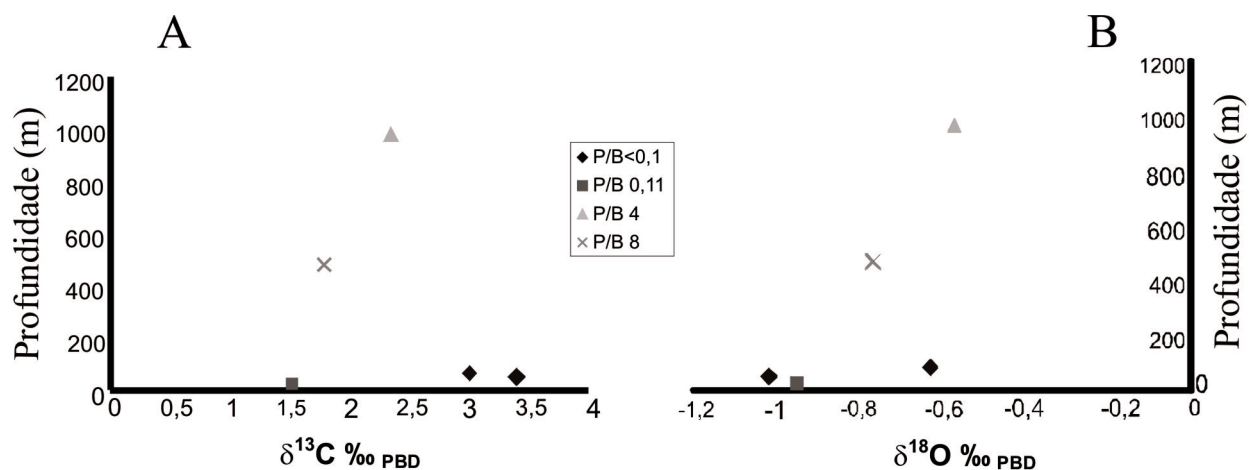


Fig. 4. Relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  com a profundidade e P/B na margem continental do estado do Ceará (P/B é a razão de planctônicos sobre bentônicos).

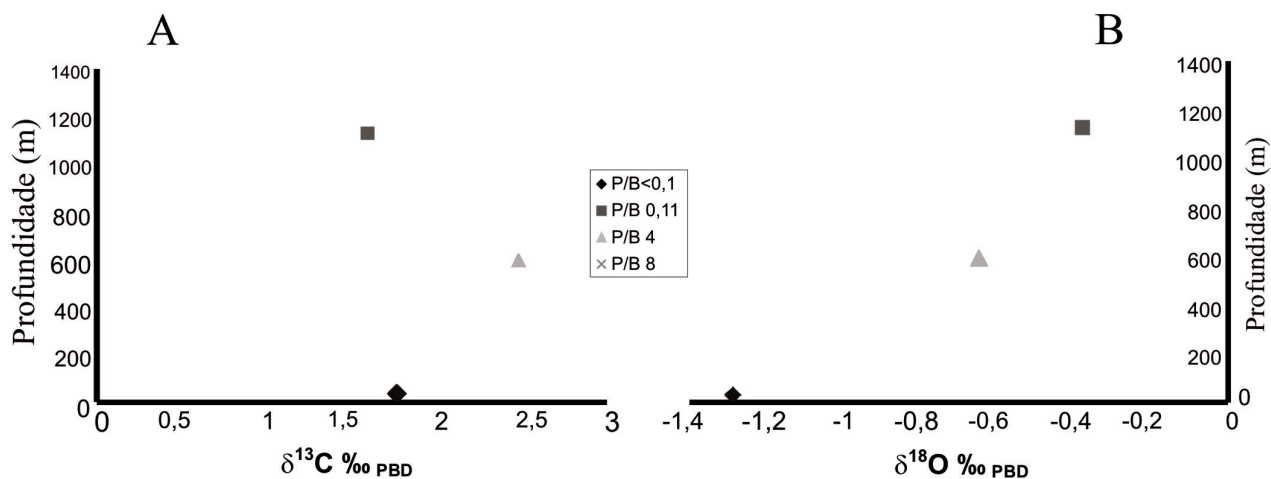


Fig. 5. Relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  com a profundidade e razão planctônicos sobre bentônicos na margem continental entre os estados de Rio Grande do Norte e Pernambuco.

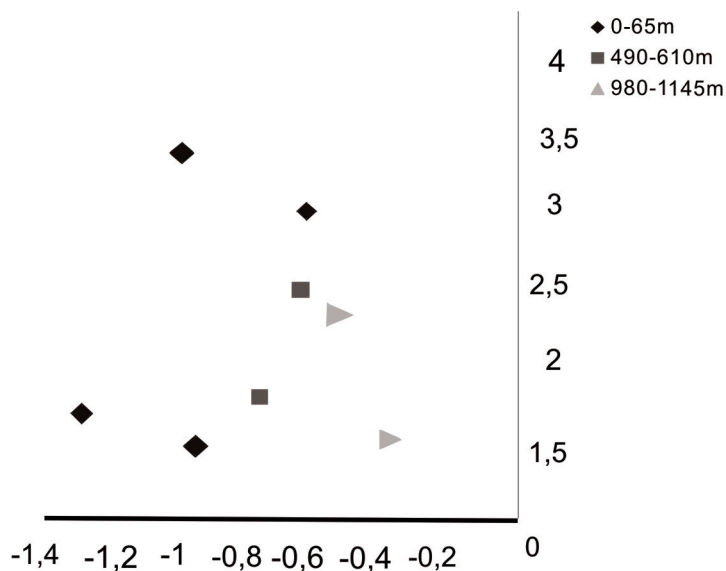


Fig. 6. Comparação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  entre todos os pontos de amostragem.

temperatura a partir de isótopos de oxigênio é baseada no fato de que a composição isotópica do oxigênio no carbonato de cálcio ( $^{18}O/^{16}O$ )<sub>C</sub> (calcita ou aragonita) difere da água do mar ( $^{18}O/^{16}O$ )<sub>w</sub>, a partir da qual precipitou, sob condições de equilíbrio. Isto resulta numa troca isotópica entre o carbonato e a água do mar, onde a composição isotópica do carbonato ( $\delta^{18}O$ )<sub>C</sub> é dependente da temperatura de formação do mesmo. O mesmo autor afirma que a dependência do  $\delta^{18}O$  com a temperatura foi determinada experimentalmente por Epstein *et al.* (1953). O cálculo pode ser feito através da equação de Craig (1965) para materiais calcíticos,

$$T^{\circ}C = 16,9 - 4,2 (\delta_c - \delta_w) + (\delta_c - \delta_w)^2.$$

Ainda segundo Faure (1986), Craig (1965) determinou que nos presentes oceanos, o valor médio de  $\delta^{18}O$  da água é de  $-0,08\text{‰}$ .

O cálculo das temperaturas da água do mar a partir da composição isotópica do oxigênio das carapaças de foraminíferos, especificadas na Tabela 2, foi feito com base na equação de Craig (1965). Para a costa do Ceará, nas profundidades entre 10 e 980 m, onde se verificou a presença das espécies *Penepolis*, *Miliolina coiling*, *Anphis-tegina*, *Ammonia*, *Miliolids*, *Lamarckina*, *Globi-gerina praebulloides*, *Hoegludina*, *Orbulina universa*, *Triloculinella*, a temperatura variou de  $21^{\circ}$  a  $19^{\circ}C$ , sendo menores as temperaturas calculadas para

amostras coletadas em maior profundidade. No Rio Grande do Norte, para as profundidades entre 13 e 610 m, onde as espécies identificadas foram *Anphistegina*, *Globigerina praebulloides*, *Robulus*, a temperatura variou entre  $22^{\circ}$  a  $19^{\circ}C$ , observando-se a mesma diminuição com o aumento da profundidade. Para a amostra coletada em Pernambuco, na profundidade de 1145 m, onde as espécies identificadas foram *Globigerina praebulloides*, *Globigerina pachiderma*, *Gaudryina*, *Subbotina frondosa*, *Lamarckina*, *Robulus*, a temperatura calculada foi de  $18^{\circ}C$ .

Observa-se então que com o aumento da profundidade da amostra coletada, as temperaturas calculadas tendem a ser mais baixas. Adicionalmente, esta diminuição da temperatura coincide com o aumento na relação das espécies planctônicas sobre as bentônicas (Tab. 2).

## 7. Conclusões

As análises de isótopos estáveis de C e O em foraminíferos da margem continental do Nordeste brasileiro mostram que  $\delta^{13}C$  sofre um aumento progressivo de 10 m até 31 m de profundidade, com seus valores passando de 1,6 a  $3,4\text{‰}_{PDB}$ , podendo haver uma grande produtividade das espécies nesta área. A partir daí, sofre uma progressiva diminuição, com pequenos aumentos

Tabela 2- Temperaturas calculadas a partir da composição isotópica do oxigênio em T1, T2 e T3.

Área	Transecto	Prof.(m)	Planct/Bent	$\delta O^{18}$	T°C
Ceará	T1	10	0,11	-0,9	21
Ceará		31	0,034	-1,03	21
Ceará		65	0,029	-0,7	19
Ceará		490	8	-0,8	20
Ceará	T2	10	0,11	-0,9	21
Ceará		980	4	-0,6	19
Rio Grande do Norte	T3	13	0,25	-1,3	22
Rio Grande do Norte		610	24	-0,7	19
Pernambuco		1145	4	-0,4	18



nas profundidades de 610 e 980 m no Ceará, voltando a diminuir até a profundidade de 1145 m, na costa de Pernambuco.

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  se comportam de maneira inversa aos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , onde na profundidade de 10 a 31 m os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  diminuem de -0,9 para  $-1,03\text{‰}_{\text{PDB}}$ , depois aumentando progressivamente, com pequenas variações nas profundidades de 490 e 610 m, mas voltando a aumentar para  $-0,4\text{‰}_{\text{PDB}}$  na profundidade de 1145 m na costa de Pernambuco.

O aumento nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  até a profundidade de 65 m (1,5 a 2,9) coincide com a diminuição na relação P/B. Isto pode indicar uma alta produtividade primária de espécies bentônicas neste intervalo. Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  diminuem até os 31 m ( $-0,9$  a  $-1,03\text{‰}_{\text{PDB}}$ ), para depois aumentarem até os 65 m ( $-0,6\text{‰}_{\text{PDB}}$ ). Isso coincide com uma diminuição regular na temperatura calculada a partir do isótopo de oxigênio (21 a  $19^{\circ}\text{C}$ ).

Para as profundidades entre 490 e 980 m, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentam (1,8 a  $2,4\text{‰}_{\text{PDB}}$ ). Isto coincide com um aumento nas razões de P/B de 4 para 24, podendo caracterizar alta produtividade primária de espécies plancônicas. A partir daí, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  aumentam para  $-0,6\text{‰}_{\text{PDB}}$ , que coincide com uma diminuição na temperatura de 20 para  $19^{\circ}\text{C}$ . Para a profundidade de 1145 m, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$   $1,6\text{‰}_{\text{PDB}}$ , a razão P/B é igual a 4, o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  é  $-0,4\text{‰}_{\text{PDB}}$  e a temperatura é igual a  $18^{\circ}\text{C}$ . Pode-se concluir que em termos gerais, com o aumento da profundidade, e da razão P/B, há um aumento dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e uma diminuição nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , mas que para profundidades acerca de 65 m,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  são mais altos, coincidindo com uma zona de baixo P/B.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao pessoal técnico do LABISE (Gilsa M. Santos e Wilma S. Bejine) pelas análises isotópicas. Wanessa S. Marques gostaria de agradecer ao professor Satander Sá Freire por ceder as amostras para análise e em especial ao professor Valdir Vaz Manso, por dar todo o apoio na edição deste trabalho, e a CAPES pela bolsa de estudos.

### Referências

- Bilau, U.H. & Boersma A., 1998, Introduction to Marine Micropaleontology. Elsevier. Netherlands. 376p.
- Faure, G., 1986, Principles of isotope geology. Second edition. John Wiley & Sons, 562p.
- Freire, G.S.S., 1985, Geologia marinha da plataforma continental do estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, 132 p.
- França, A.M.C., 1979, Geomorfologia da margem continental leste brasileira da bacia oceânica adjacente. In: PROJETO REMAC, 1979, vol 7, Petrobrás/Cenpes/Dintep, Rio de Janeiro, 177p.
- Huang, B., Jian, Z., Cheng, X. & Wang, P., 2002, Foraminiferal responses to upwelling variations in the South China Sea over the last 220.000 years, Marine Micropaleontology, **47**: 1-15.
- Heize, C., 1994, Glacial ocean carbon cycle modeling. In: Rainer Zahn *et al.*, Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change. Springer Verlag, 580p.
- Hale, W. & Pflaumann U., 1999, Sea-surface temperature estimations using a modern analog technique with foraminiferal assemblages from Western Atlantic quaternary sediments. In: Fisher, G. & Wefer, G., Use of Proxies in Paleoceanography, examples from the South Atlantic. Springer-Verlag., 69-90.
- Hemleben, C. & Bijma, J., 1994, Foraminiferal population dynamics and stable carbon isotopes. In: Rainer Zahn *et al.*, Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change. Springer Verlag, 580p.
- Kroopnick, P.M., 1985, The distribution of  $^{13}\text{C}$  of  $\text{CO}_2$  in the world oceans. Deep Sea Research, Pergamon Press, **32** (1): 57-84.
- Mont'Alverne, A.A.F., 1982, Estudo dos calcários na plataforma continental de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, 196 p.
- Mackensen, A., Hubberten H. & Kuhn G., 1994, Benthic foraminiferal assemblages and the  $\delta\text{C}^{13}$ - signal in the Atlantic sector of the Southern Ocean: glacial-to-interglacial contrasts. In: Rainer Zahn *et al.*, Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change. Springer Verlag, 580p.
- Testa, V. & Bosence, D. W. J., 1998, Carbonate siliciclastic sedimentation on a high-energy, ocean-facing, tropical ramp, NE Brazil. In: Wright, V.P. & Burchette, T.P. Carbonate Ramps. The Geological Society, London, **149**: 55-72.