

# ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO EM FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS: CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS AMOSTRAS DO HOLOCENO E DO ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAL

Felipe A. L. Toledo<sup>1</sup>; Karen B. Costa<sup>1</sup>; Edmundo Camillo Jr.<sup>2</sup>; Juliana P. de Quadros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Depto.Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto Oceanográfico-IOUSP([felipe.toledo@io.usp.br](mailto:felipe.toledo@io.usp.br));

<sup>2</sup>Curso de Pós-Graduação, Instituto Oceanográfico-IOUSP

---

**Abstract.** Stable isotopes data from benthic foraminifera *Cibicidoides* in three western South Atlantic cores are presented. The stratigraphy of the cores is mainly based on radiocarbon AMS dating of monospecific planktonic foraminiferal samples. Once bioturbation processes can blurs sedimentary records, we address this problem by making isotopic measurements on individual shells and by identifying glacial and Holocene foraminifera on the basis of their extreme  $\delta^{18}\text{O}$  values. This assumption is validated in four independent ways: first, the maximum  $\delta^{18}\text{O}$  amplitude representing the glacial to Holocene  $\delta^{18}\text{O}$  changes should be at least the global ice volume signal between Last Glacial Maximum (LGM) and the Holocene; second, Holocene  $\delta^{18}\text{O}$  should compare favorably with the expected  $\delta^{18}\text{O}$  of calcite formed under equilibrium with seawater; third,  $\delta^{18}\text{O}$  for each time slice should be similar to global averages, since benthic foraminiferal  $\delta^{18}\text{O}$  is believed to be dominated by global ice volume signal; and fourth, Holocene  $\delta^{13}\text{C}$  should compare favorably with appropriate GEOSECS seawater  $\delta^{13}\text{C}$  data. We verified that the samples selected to represent the Holocene and the LGM are not affected by bioturbation.

---

**Palavras-chave:** [isótopos de oxigênio, Holoceno, Último Máximo Glacial]

## 1. Introdução

Os isótopos de oxigênio apresentam-se como uma das mais eficientes ferramentas estratigráficas para a correlação de sedimentos marinhos profundos do Pleistoceno. As variações cíclicas dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em foraminíferos bentônicos através do tempo possibilitam a determinação de uma escala de tempo absoluta de alta resolução, a partir da qual é possível correlacionar os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  de *Cibicidoides* entre testemunhos. Os estágios isotópicos marinhos são frequentemente utilizados para definir os intervalos glaciais (altos valores de  $\delta^{18}\text{O}$ ) e interglaciais (altos valores de  $\delta^{18}\text{O}$ ).

A bioturbação em sedimentos com lentas taxas de sedimentação pode perturbar

o registro climático, particularmente quando as medidas isotópicas são efetuadas em grupos de diversos foraminíferos. Este problema é contornado efetuando medidas isotópicas em testas individuais de foraminíferos e identificando foraminíferos glaciais e holocênicos com base em seus valores extremos de  $\delta^{18}\text{O}$ .

Os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  medidos nos foraminíferos bentônicos do gênero *Cibicidoides* ao longo de testemunhos serão apresentados neste trabalho. Com base nas datações de radiocarbono, juntamente com os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides*, será estabelecido um arcabouço cronoestratigráfico para os testemunhos, com o intuito de definir os estágios

isotópicos marinhos e a precisa localização dos intervalos do Holoceno e do Último Máximo Glacial (UMG).

É de fundamental importância estabelecer com precisão quais são as amostras representativas do Holoceno e do UMG, pois os dados geoquímicos ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\text{Cd}/\text{Ca}$ ) destas amostras comumente são utilizados para comparação das condições extremas entre os períodos glacial e interglacial.

A seguir, serão utilizados alguns métodos para verificar se as amostras pertencentes a estes intervalos estão bioturbadas, o que poderia influenciar no sinal dos isótopos de oxigênio.

## 2. Métodos e Técnicas

Neste estudo foram utilizados 3 testemunhos coletados na Margem Continental Brasileira em profundidades que variam entre 965 e 1995m (Figura 1).

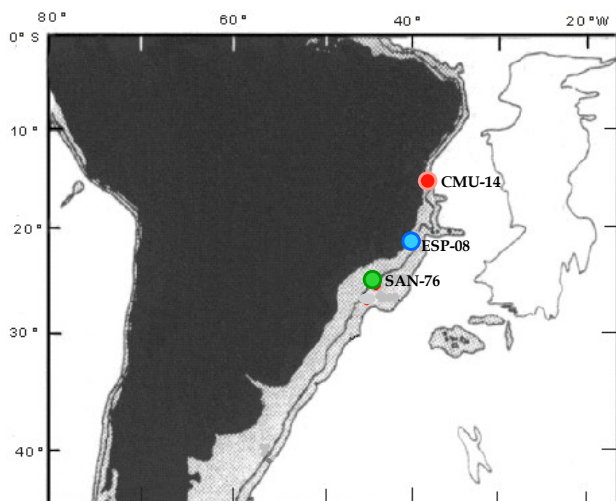


Fig. 1: Localização dos testemunhos analisados.

Neste estudo foi empregada a cronologia de mais alta resolução do SPECMAP (Martinson et al., 1987). As idades foram calculadas para valores individuais de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* em cada testemunho a partir de uma escala de idade comum (SPECMAP), refinada no Holoceno

e no UMG por datações de radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) em foraminíferos plantônicos. Os erros na escala de tempo utilizada são em média  $\pm 3,5$  mil anos.

As espécies de foraminíferos bentônicos utilizadas ao longo dos testemunhos são todas pertencentes ao gênero *Cibicidoides* (*C.wuellerstorfi* no SAN-76 e no ESP-08, e *C.pachyderma* e *C.kullenbergi* no CMU-14).

As análises de isótopos de oxigênio nos testemunhos foram feitas usando Finnigan MAT 252 com um dispositivo automatizado KIEL no laboratório do Woods Hole Oceanographic Institution. Segundo o National Bureau of Standards (NBS), o desvio padrão dos valores isotópicos do carbonato padrão NBS-19 é  $\pm 0,08\%$ . Os valores isotópicos de NBS-19 foram calibrados de acordo com o Pee Dee Belemnite ( $\delta^{18}\text{O} = -2,2$  Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB)).

## 3. Resultados e Discussão

Observa-se que a variabilidade dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  medidos em *Cibicidoides* da parte superior do estágio 1 é geralmente  $\pm 0,1\%$ . Em contraste, a variabilidade das amostras da parte inferior do estágio 1 e do estágio 2 é, pelo menos,  $0,2\%$ . Pode ser possível que os foraminíferos com valores de  $\delta^{18}\text{O}$  relativamente baixos possam ter sido misturados, dentro do intervalo do UMG, com aqueles provenientes dos sedimentos do intervalo deglacial e Holoceno que o recobrem. Isto aumentaria a variabilidade isotópica entre os foraminíferos dos níveis do UMG, reduzindo assim sua composição isotópica média.

As bioturbações constituem uma possível explicação para a mistura de foraminíferos de diferentes idades, em sedimentos com baixas taxas de sedimentação. Esta situação foi observada nas amostras do UMG dos testemunhos

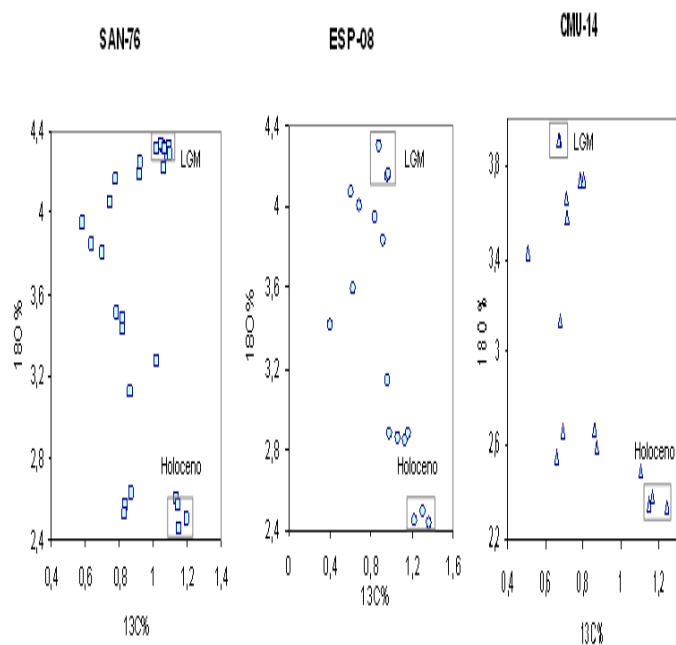
ESP-08, onde apesar da posição estratigráfica das amostras pertencerem ao UMG, a oscilação dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre suas amostras é maior que 0,5 ‰. No SAN-76, uma amostra (181cm, 17.200 anos) encontrada em níveis do UMG, apresenta valores de  $\delta^{18}\text{O}$  tão baixos (2,57‰), que se aproximam dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no Holoceno superior (2,5‰).

Uma estratégia para lidar com a possibilidade de mistura entre amostras do Holoceno, da deglaciação, do UMG e da porção superior do estágio 3, é plotar os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de *Cibicidoides* em função de seus valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (Figura 2).

Espera-se dos dados  $\delta^{18}\text{O}$  que tenham uma relação inversa com os dados de  $\delta^{13}\text{C}$ : do UMG para o Holoceno os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  do oceano global variaram associados com a transferência do isótopo de carbono mais leve ( $^{12}\text{C}$ ) do oceano para a biosfera terrestre e o isótopo de oxigênio mais leve ( $^{16}\text{O}$ ) do gelo continental para o oceano (Matsumoto e Lynch-Stieglitz, 1999).

Independente da exata profundidade (ou idade) onde eles são encontrados no testemunho, os foraminíferos bentônicos do UMG, não afetados por transporte, devem ter os mais altos valores de  $\delta^{18}\text{O}$ . Os foraminíferos bentônicos do UMG foram identificados, em cada testemunho, como aqueles indivíduos com os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  mais elevados dentro do intervalo glacial, eliminando assim, indivíduos provenientes tanto do estágio 3 quanto do Holoceno.

As amostras com a média dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* mais elevados e mais baixos foram utilizadas para estimar a composição isotópica do UMG e do Holoceno respectivamente.



**Fig. 2:** Dados de isótopos de carbono e oxigênio em *Cibicidoides*. As amostras assinaladas foram selecionadas para representar os intervalos do Holoceno e do UMG.

A seguir são apresentadas algumas técnicas adicionais para avaliar se as amostras selecionadas anteriormente, entre os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  dos estágios 1 e 2, são realmente representativas do Holoceno e do UMG, respectivamente. Os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* obtidos por Curry e Lohman (1982) e Oppo e Horowitz (2000), em áreas próximas a de estudo, também serão avaliados.

**(a)** A máxima amplitude dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides*, representando as variações entre os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  do UMG e do Holoceno, deve ser pelo menos igual e compatível com a variação do volume de gelo entre o UMG e o Holoceno. Assim, qualquer amplitude de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* menor do que 1,0‰ (Schragg *et al.*, 1996) deve ser rejeitada e amplitudes menores que 1,3‰ (Fairbanks, 1989) são suspeitas.

As diferenças dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* entre o UMG e o Holoceno nos testemunhos estudados, assim como nos

testemunhos adicionais utilizados, excedem 1,0‰ de volume de gelo (Tabela 1). Somente os testemunhos CHN115-70PC, CHN115-91PC e AII60-13APC de Curry e Lohman (1982), com diferenças entre o UMG e o Holoceno inferiores a 1,0 ‰ (CHN115-70PC e CHN115-91PC) e menores que 1,3‰ (AII60-13APC) podem não ter capturado a amplitude inteira do  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* entre estes períodos. Curry e Lohman (1982) discutem a possibilidade da perda de sedimentos do Holoceno em seus testemunhos. Conseqüentemente, estes testemunhos não serão incluídos nas interpretações regionais. Porém, decidiu-se apresentar estes dados aqui para mostrar que nem sempre os menores valores de  $\delta^{18}\text{O}$ , dentro do estágio 1 representam idades mais recentes.

**(b)** Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* do Holoceno devem ser similares aos valores previstos para o  $\delta^{18}\text{O}$  da calcita precipitada em equilíbrio isotópico ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{eq}}$ ) com água do mar atual.

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* do Holoceno mostraram uma boa correlação com o perfil estimado de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{eq}}$  para as estações 54, 56 e 57 do GEOSECS, utilizando a equação de Kim e O'Neil (1997) (Costa, 2000). Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* do Holoceno de outros testemunhos próximos à área de estudo (Curry e Lohman, 1982; Oppo e Horowitz, 2000), também mostraram uma boa correlação com o  $\delta^{18}\text{O}_{\text{eq}}$  atual. Porém, novamente os testemunhos CHN115-70PC e CHN115-91PC de Curry e Lohman (*op.cit.*) apresentaram valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* mais elevados que os valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{eq}}$  previstos, indicando que deve ter ocorrido mistura de espécimes de idade glacial ou perda do intervalo do Holoceno nestes testemunhos.

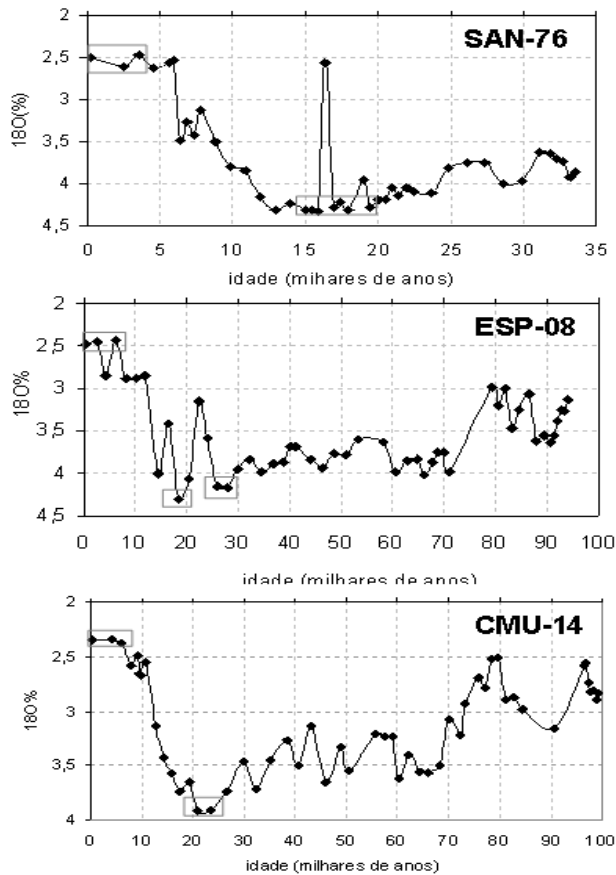
**(c)** Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* medidos para o Holoceno e o UMG devem ser semelhantes às médias globais destes valores para estes períodos, uma vez que acredita-se que os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  dos foraminíferos bentônicos são dominados pelo sinal do volume de gelo global.

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides*, obtidos neste estudo (Tabela 1), foram comparados com os dados isotópicos de testemunhos de profundidades semelhantes (1000-2600m) e em diferentes oceanos. A média global dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no Holoceno é  $2,46 \pm 0,22\text{‰}$  e no UMG é  $4,03 \pm 0,33\text{‰}$ . Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides* no Holoceno e no UMG, nos 3 testemunhos estudados, situam-se dentro do desvio padrão das médias globais (2,48‰ e 4,18‰ respectivamente).

**(d)** Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em *Cibicidoides* do Holoceno devem ser análogos aos dados de  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\Sigma\text{CO}_2$  da água do mar atual obtidos pelo GEOSECS.

De acordo com Costa (2000), existe um desvio de aproximadamente 0,4‰ entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em *Cibicidoides* e os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da coluna d'água na porção oeste do Atlântico Sul. Assim, um valor constante de 0,4‰ foi subtraído dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em *Cibicidoides* do Holoceno e do UGM.

Utilizando as técnicas discutidas acima, verifica-se que as amostras inicialmente selecionadas para representar o UMG e o Holoceno (assinaladas na figura 3) são realmente pertencentes a estes períodos



**Fig. 3:** Dados de isótopos de oxigênio em *Cibicidoides* ao longo dos testemunhos, as amostras assinaladas representam os intervalos do Holoceno e do UMG.

#### 4. Conclusões

Os intervalos do Holoceno e do UMG foram identificados com base nos seus valores extremos de  $\delta^{18}\text{O}$  (valores mais baixos de  $\delta^{18}\text{O}$  correspondem ao Holoceno e os mais altos ao UMG).

Foram empregados métodos independentes para validar a afirmação acima e excluir a possibilidade de analisar amostras transportadas para os intervalos do Holoceno e UMG por processos de bioturbação: amplitude máxima dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides*,  $\delta^{18}\text{O}$  da calcita precipitada em equilíbrio isotópico com a água do mar, média global dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicidoides*,  $\delta^{13}\text{C}$  da água do mar atual e datações de radiocarbono.

As amostras selecionadas para representar o Holoceno e o UMG parecem registrar com confiança as características oceânicas destes intervalos.

#### 5. Agradecimentos

À Petrobrás, pela doação dos testemunhos utilizados neste estudo. Esta é a contribuição número 02 do Laboratório de Paleoceanografia do Atlântico Sul (LaPAS) do IO-USP.

#### 6. Referências

- COSTA, K.B. 2000. Variações Paleoceanográficas na Porção Oeste do Atlântico Sul entre o Último Máximo Glacial e o Holoceno: Isótopos Estáveis do Oxigênio e Carbono e a razão Cd/Ca em Foraminíferos Bentônicos. Tese do Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.250p.
- CURRY, W.B. E LOHMAN, G.P. 1982. Carbon isotopic changes in the benthic foraminifera from the Western South Atlantic: Reconstruction of glacial abyssal circulation patterns. *Quat. Res.*, 18, 218 - 235.
- FAIRBANKS, R.G. 1989. A 17000-year glacio-eustatic sea level record 0-17,000 years: influence of glacial melting rates on Younger Dryas event and deep ocean circulation. *Nature*, 342(6250), 637-642.
- KIM, S.-T. E O'NEIL, J.R. 1997. Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 3461-3475.

- MARTINSON, D.G., PISIAS, N.G., HAYS, J.D., IMBRIE, J., T. C. MOORE, J. E SHACKLETON, N.J. 1987. Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages: Development of a High-Resolution 0 to 300,000-Year Chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- MATSUMOTO, K.A., LYNCH-STIEGLITZ, J. 1999. Similar glacial and Holocene deep water circulation inferred from southeast Pacific benthic foraminiferal carbon isotope composition. *Paleoceanography*, 14(2), 149-163.
- OPPO, D.W. E HOROWITZ, M. 2000. Glacial deep water geometry: South Atlantic benthic foraminiferal Cd/Ca and d13C evidence. *Paleoceanography*, 15, 147-160.
- SCHRAGG, D.P., HAMPT, G. E MURRAY, D.W. 1996. Pore fluid constraints on the temperature and isotopic composition of the glacial ocean. *Science*, 272, 1930-1932.

**Tabela 1.** Amplitude dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre o LGM e o Holoceno.  $\Delta$  representa a diferença entre os valores do LGM e do Holoceno.

Testemunhos	Profundidade (m)	$^{18}\text{O}$ Holoceno (‰)	$^{18}\text{O}$ LGM (‰)	$\Delta$ (‰)
CMU-14	965	2,36	3,9	1,54
SAN-76	1682	2,52	4,3	1,78
ESP-08	1995	2,56	4,34	1,78
RC16-119	1567	2,29	4,04	1,75
V24-253	2069	2,39	4,25	1,86
RC16-84	2438	2,50	4,36	1,86
KNR159-5-36	1268	2,40	4,1	1,70
CHN115-70PC	2340	3,09	4,08	0,99
CHN115-91PC	3576	2,99	3,6	0,61
CHN115-88PC	2941	2,62	4,17	1,55
AII60-13APC	2739	2,63	3,76	1,13