

**INSTITUTO DE QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - GEOQUÍMICA**

**BRUNA BORBA DIAS**

**PALEOPRODUTIVIDADE DO SISTEMA DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO  
(SE, BRASIL) E IMPLICAÇÕES PALEOCEANOGRÁFICAS E  
PALEOCLIMÁTICAS MILENARES**

**NITERÓI**  
**2015**

BRUNA BORBA DIAS

**PALEOPRODUTIVIDADE DO SISTEMA DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO  
(SE, BRASIL) E IMPLICAÇÕES PALEOCEANOGRÁFICAS E  
PALEOCLIMÁTICAS MILENARES**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação  
em Geociências da Universidade Federal  
Fluminense, como requisito parcial à obtenção  
do **Grau de Doutora**. Área de Concentração:  
**Geoquímica Ambiental**.

Orientadora  
Profa. Dra. **CÁTIA FERNANDES BARBOSA**

**NITERÓI  
2015**

D541 Dias, Bruna Borba.

Paleoprodutividade do sistema de ressurgência de Cabo Frio (SE, Brasil) e implicações paleoceanográficas e paleoclimáticas milenares / Bruna Borba Dias. – Niterói : [s.n.], 2015.

157 f. : il. ; 30 cm.

Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, 2015. Orientadora: Profª Drª Cátia Fernandes Barbosa.

1. Foraminífero bentônico. 2. Ressurgência. 3. Holoceno. 4. Paleoclima. 5. Cabo Frio (RJ). 6. Produção intelectual. I. Título.

CDD 593.12


BRUNA BORBA DIAS

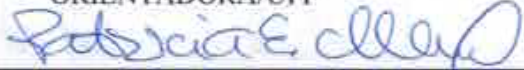
**PALEOPRODUTIVIDADE DO SISTEMA DE  
RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO (SE, BRASIL) E  
IMPLICAÇÕES PALEOCEANOGRÁFICAS E  
PALEOCLIMÁTICAS MILENARES**


Tese apresentada ao Curso de Pós - Graduação  
em Geociências da Universidade Federal Fluminense,  
como requisito parcial para a obtenção do **Grau  
de Doutor**. Área de Concentração: **Geoquímica  
Ambiental**.

Aprovada em fevereiro de 2015.

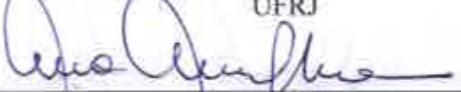
**BANCA EXAMINADORA**

  
PROFA. DRA. CATIA FERNANDES BARBOSA  
ORIENTADORA/UFF

  
PROFA. DRA. PATRICIA PINHEIRO BECK EICHLER  
UNISUL

  
PROF. DR. DÉCIO LUIS SEMENSATTO JUNIOR  
UNIFESP

  
PROF. DR. JOSÉ CARLOS SÍCOLI SEOANE  
UFRJ

  
PROFA. DRA. ANA LUIZA SPADANO ALBUQUERQUE  
UFF

  
PROF. DR. ABDEL FETTAH SIFEDDINE  
IRD-FRANÇA/UFF

NITERÓI  
2015



*Aos meus amados pais Hercio e Cleci,  
que dedicaram suas vidas para a  
realização de todas minhas conquistas.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Fluminense e ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica pelo apoio no desenvolvimento do projeto de doutorado.

Aos órgãos de financiamento CNPq, FAPERJ e Capes pela concessão das bolsas de estudos.

À profa. Dra. Cátia Barbosa, por ter me recebido carinhosamente, pela orientação e pelo apoio durante os quatro anos de doutoramento.

À Petrobras, ao Projeto Ressurgência, à profa. Dra. Ana Luiza Albuquerque e toda equipe, pelo financiamento das análises, apoio e auxílio na melhoria do presente trabalho.

Aos professores do Departamento de Geoquímica da UFF, por todo conhecimento transferido. Também aos funcionários do Departamento e da Biblioteca da Geoquímica pela prestativa ajuda nos trâmites burocráticos, especialmente aos queridos Nivaldo Camacho e Meiber Nunes.

Aos professores Dr. Renato Campello, Dr. José Carlos Seoane, Dra. Cátia Barbosa, Dra. Carla Bonetti e Dr. Jarbas Bonetti pelo desenvolvimento do trabalho de campo no projeto de paleoambientes da Lagoa da Conceição. Também aos professores da pré-banca e banca de defesa de tese, Dr. Abdelfettah Sifeddine, Dra. Ana Luiza Albuquerque, Dr. Décio Semensatto Jr., Dr. José Carlos Seoane, Dra. Patrícia Eichler e Dra. Cátia Barbosa, pelas contribuições na melhoria do manuscrito.

Ao prof. Dr. Alex Piotrowski e a sua equipe do *Earth Sciences Department* da *University of Cambridge* pela recepção, financiamento e treinamento em laboratório de análises geoquímicas elementares e isotópicas de foraminíferos durante o período de estágio sanduíche. Também à equipe do *Godwin Laboratory*, especialmente à Dra. Jo Clegg, Dr. Jason Day e Dr. Mervyn Greaves.

Aos estudantes de iniciação científica Nathalia Costa, Leandro Galliza e Grace Alves, pela ajuda no processo de lavagem, triagem das espécies para análises isotópicas e biometria.

Mais uma vez ao prof. Dr. José Carlos Seoane pela confecção do mapa da área de estudo. E ao colega Igor Venâncio pelo auxílio nas análises espectrais no programa *Spectrum*.

À todos os queridos amigos da Geoquímica que sempre estiveram presentes, apoiando de forma pessoal ou profissional o trabalho, especialmente Ana Lidia Bertoldi, Anna Paula Cruz, Carine Almeida, Gabriel Martins, Nilva Brandini, Renata Alvim. Aos queridos amigos Rut Díaz e Manuel Moreira pela amizade e pelo transporte das amostras à Londres.

Agradeço também as pessoas mais importantes da minha vida e que sempre fizeram o melhor para que todos os meus sonhos fossem alcançados: meus pais Hercio e Cleci Dias e minha irmã Amanda Dias. Ao meu amigo, companheiro e amor Rodrigo Milek, meus sinceros agradecimentos pelo seu carinho, apoio e incansável luta ao meu lado.

Por fim, agradeço à Deus e aos mentores que estiveram sempre iluminando minha trajetória e me dando forças para que as mais diversas dificuldades fossem vencidas.

*“Sei que meu trabalho é uma gota no oceano,  
mas sem ele, o oceano seria menor.”*

Madre Teresa de Calcutá

## RESUMO

O Sistema de Ressurgência de Cabo Frio (SRCF) é uma região de destaque na costa brasileira devido a alta produtividade primária oriunda do processo de ressurgência costeira e intrusão da água de fundo na zona fótica nas plataformas continentais média e externa. Estes processos estão diretamente relacionados à intensidade dos ventos e a dinâmica da Corrente do Brasil (CB) na margem brasileira, alterando a composição de material orgânico nos sedimentos. Deste modo, a paleoecologia e isótopos estáveis de foraminíferos bentônicos, sedimentologia e geoquímica dos sedimentos da plataforma externa (testemunho KCF10-01B) e média (testemunho KCF10-09A) de Cabo Frio foram analisados a fim de reconstruir a dinâmica paleoceanográfica das águas de fundo do SRCF durante o Holoceno. Tanto a plataforma externa quanto a média apresentaram a dominância da espécie indicadora de fitodetritos *Globocassidulina subglobosa*, espécie responsável pela variabilidade representada pelo índice de produtividade *Benthic Foraminifera Accumulation Rate* (BFAR). Na plataforma externa, uma tendência de aumento dos índices de produtividade e fluxo de espécies de foraminíferos indicadores de produtividade é observada ao longo do tempo, contrapondo a tendência de diminuição dos índices indicadores de oxigenação de fundo *Benthic Foraminifera Oxygenation Index* (BFOI) e razão imperfurados/perfurados (IM/PE). *Proxies* geoquímicos, sedimentológicos, assembleias de foraminíferos bentônicos e índice BFAR mostraram alta velocidade das correntes de fundo e um maior aporte continental entre 11,4ka e 7,0ka AP como resposta ao baixo nível relativo do mar. Após 7,0ka AP é observado um aumento da produtividade primária indicada pelos índices de paleoprodutividade e pelo maior aporte de material orgânico fitoplanctônico indicado pelos *proxies* geoquímicos  $\delta^{13}\text{C}$  e razão C/N, indicando eventos mais frequentes de intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na zona fótica. Já na plataforma média, as assembleias de foraminíferos responderam não só à produtividade, mas também à baixa oxigenação das águas de fundo e à dominância da espécie *G. subglobosa* sob as demais espécies, alterando o sinal dos índices BFAR, BFOI e reduzindo a diversidade de espécies. Uma tendência de maior aporte fitodetrítico é observado após 3,0ka AP pelo índice *Infaunal Calcareous*

*Benthic Foraminifera* (ICBF) e pelos indicadores geoquímicos nas plataformas externa e média. Ao contrário das suposições feitas em trabalhos anteriormente publicados, os resultados isotópicos desta tese mostraram a presença constante da ACAS no fundo da plataforma durante todo o Holoceno, sendo possível confirmar que o processo de aumento da produtividade primária está relacionado à intrusão da ACAS na zona fótica na região da plataforma média e externa de Cabo Frio. A variabilidade do índice de paleoprodutividade BFAR apresentou uma periodicidade milenar e o  $\delta^{18}\text{O}$  em *Cibicides kullenbergi* uma periodicidade centenária da série de dados dos últimos 6 mil anos, indicando que produtividade primária depositada no fundo da plataforma externa é diretamente relacionado à dinâmica da *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC), uma vez que a ACAS é empilhada na zona fótica pela intensificação da CB, que distribuiu o calor acumulado da Corrente Sul Equatorial (CSE) para regiões mais ao sul. Mudanças abruptas no índice BFAR e  $\delta^{18}\text{O}$  são coincidentes com os eventos climáticos Bond de degelo das calotas polares no Atlântico Norte. Destacam-se os eventos abruptos de produtividade em 8,3ka AP (evento Bond 5) e entre 6–5ka AP (evento Bond 4) indicado pelos *proxies* BFAR,  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  em *C. kullenbergi*, eventos que confirmam a relação da variabilidade da produtividade e da dinâmica paleoceanográfica das correntes da plataforma externa de Cabo Frio com os processos paleoclimáticos globais.

**Palavras-chave:** Cabo Frio. Paleoprodutividade. Paleoclima. Foraminíferos bentônicos. Holoceno.

## ABSTRACT

Cabo Frio Upwelling System is a distinguished region in the Brazilian coast due to high primary productivity coming from coastal upwelling and bottom waters intrusion to the photic zone in the middle and outer continental shelves. These processes are directly related to the wind stress and Brazil Current (BC) dynamics, changing the sedimentary organic matter composition. Thus the paleoecology, benthic foraminifera stable isotopes, sedimentology and geochemistry of the outer (KCF10-01B core) and middle continental shelf (KCF10-09A core) from Cabo Frio were analyzed in order to reconstruct the bottom waters dynamics during the Holocene. Both outer and middle shelves showed a dominance of a phytodetritus specie indicator *Globocassidulina subglobosa* that is responsible for the BFAR index variability. High bottom waters velocity and continental organic matter contribution are seen between 11.4kyr and 7.0kyr BP in response to the low sea level. After 7.0kyr AP an increase in the primary productivity is noticed by the paleoproductivity indexes and geochemical proxies  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratio, indicating frequent events of South Atlantic Central Water (SACW) intrusion to photic zone. Foraminiferal assemblages and paleoecological indexes in the middle shelf were affected to the low oxygen contends and the *G. subglobosa* dominance, affecting the Benthic Foraminifera Accumulation Rate (BFAR), Benthic Foraminifera Oxygenation Index (BFOI) and reducing the diversity indexes. Infaunal Calcareous Benthic Foraminifera index (ICBF) showed towards trend of productivity increase after 3,0kyr BP in the outer and middle shelves. Unlike the previously assumptions made in some papers, the stable isotopes results revealed a constant presence of SACW on the bottom throughout the Holocene, also confirming the primary productivity by SACW intrusion to the photic zone in the middle and outer shelves of Cabo Frio upwelling system. The BFAR index indicate a millennial-scale variability and  $\delta^{18}\text{O}$  of *Cibicides kullenbergi* a centennial frequency in the last 6kyr, point out a relation between SACW and BC with the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), since the BC distributes the accumulated heat of South Equatorial Current (SEC) to southern regions. Abrupt changes in BFAR,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  coincide with the North Atlantic ice rafting paleoclimate Bond events, specially the 8.3kyr productivity increase (related to Bond 5 event) and the variability between 6.0 kyr and 5.0kyr BP (Bond 4 event). Together with the periodic variabilities, these

events may confirm the relationship between the productivity variability and currents dynamics with the global paleoclimate processes.

**Keywords:** Cabo Frio. Paleoproductivity. Paleoclimate. Benthic Foraminifera. Holocene.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Representação da composição das testas de foraminíferos e as respectivas subordens..... 28
- Figura 2** – Representação dos tipos de posição de vida dos foraminíferos bentônicos, sendo epifaunal sob o sedimento e infaunal no sedimento.....29
- Figura 3** – Modelo Trox representando os limites de profundidade de microhabitat de foraminíferos bentônicos pela combinação da penetração de oxigênio e disponibilidade de oxigênio no sedimento.....32
- Figura 4** – Representação esquemática do processo de fracionamento isotópico do oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) no oceano durante períodos quentes (interglaciais) (A) e frios (glaciais) (B).....35
- Figura 5** – Representação esquemática do fracionamento isotópico do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) em diferentes ambientes.....36
- Figura 6** – Curvas de nível relativo do mar descritas por Martin et al. (2003); Angulo e Lessa (1997); Corrêa (1996); Fairbanks (1990).....40
- Figura 7** – Esquema representativo da circulação normal da AMOC no Atlântico....41
- Figura 8** – Esquema representativo da circulação enfraquecida da AMOC no Atlântico.....42
- Figura 9** – Representação da circulação superficial do Atlântico Sul.....46
- Figura 10** – Modelo conceitual perpendicular à batimetria da plataforma de Cabo Frio, representando os processos oceanográficos da plataforma interna (A), plataforma média (B), plataforma externa (C) e as massas d'água Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Setas indicam os diferentes processos oceanográficos de soerguimento das águas de fundo na zona fótica. Retângulos

amarelos representando os testemunhos estudados na plataforma média (KCF10-09A) e externa (KCF10-01B).....47

**Figura 11** – Mapa da área de estudo com a localização dos testemunhos abordados neste trabalho.....49

**Figura 12** – Modelo cronológico criado para o testemunho KCF10-01B, onde o eixo X indica a profundidade (em cm) e o eixo Y a datação calibrada (em anos). Os pontos indicam a idade convencional e das barras o intervalo de confiança. A linha preta indica a melhor idade indicada pelo modelo e a área em cinza o erro de interpolação das idades. A área do modelo delimitada pela caixa vermelha indica a presença de inversões no pacote sedimentar.....59

**Figura 13** – Taxa de sedimentação (preto) e profundidade (vermelho) observada ao longo do testemunho marinho KCF10-01B. A área do modelo delimitada pela caixa vermelha indica a presença de inversões no pacote sedimentar.....60

**Figura 14** – Teores de areia (preto), silte (cinza) e carbono orgânico total (vermelho) ao longo do testemunho sedimentar KCF10-01B.....61

**Figura 15** – Valores de SS% (preto), razão C/N (verde), fluxo de carbono (azul), COT (cinza) e  $\delta^{13}\text{C}$  (vermelho) do testemunho marinho KCF10-01B.....62

**Figura 16** – Densidade total de foraminíferos bentônicos (azul) e taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR) (preto) ao longo do testemunho KCF10-01B.....63

**Figura 17** – Variação da riqueza (preto) e da diversidade (verde) de Shannon ao longo do testemunho KCF10-01B.....64

**Figura 18** – Fluxo de indivíduos das espécies de maior representatividade do Holoceno da plataforma continental externa de Cabo Frio, RJ.....68

**Figura 19** – Análise de agrupamento por similaridade UPGA das principais espécies de ocorrência no testemunho KCF10-01B. A cor marrom representa a assembleia

*Nonion commune* e a cor verde representa a assembleia *Uvigerina peregrina*.....69

**Figura 20** – Distribuição do total de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-01B por tipo de textura da carapaça em cada amostra, sendo (A) aglutinantes, (H) calcários hialinos e (P) calcários porcelanáceos. Pontos vermelhos representando amostras do Holoceno Superior, azuis representando amostras do Holoceno Médio e verdes representando amostras do Holoceno Inferior.....70

**Figura 21** – Biometria das espécies *Globocassidulina subglobosa* (cinza) e *Uvigerina peregrina* (preto) ao longo do testemunho KCF10-01B, e representação bloxplot dos valores médios (vermelho), medianas, 1º e 3º Quartis e desvio padrão das espécies estudadas.....71

**Figura 22** – Variação dos índices de paleoprodutividade BFAR (preto), ICBF (verde), razão IN/EP (azul) e paleoxigenação razão IM/PE (cinza), BFOI (vermelho) do testemunho KCF10-01B.....74

**Figura 23** – Gráfico da relação entre os dados isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) das espécies *Cibicides kullenbergi* (círculos) e *Uvigerina peregrina* (quadrados) no testemunho KCF10-01B. Pontos verdes representando amostras do Holoceno Superior, azuis representando Holoceno Médio e vermelhos representando amostras do Holoceno Inferior.....75

**Figura 24** – Variação isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das espécies *Cibicides kullenbergi* e *Uvigerina peregrina* ao longo do testemunho KCF10-01B (Cib= *C. kullenbergi*; Uv= *U. peregrina*) .....77

**Figura 25** – Relação entre o fluxo de Corg (eixo X) e índice BFAR (eixo Y) e ao longo do testemunho KCF10-01B. Cor vermelha representa amostras do Holoceno Inferior, cor verde representa amostras do Holoceno Médio e cor azul representa amostras do Holoceno Superior.....80

**Figura 26** – Análise de Componente Principal das variáveis isotópica, sedimentológicas e paleoecológicas representativas de 72,28% da variabilidade do testemunho KCF10-01B, na plataforma externa de Cabo Frio.....85

**Figura 27** – Modelo cronológico criado para o testemunho KCF10-09B, onde o eixo X indica a idade calibrada (em anos) e o eixo Y representa a profundidade (em cm). Os pontos indicam a idade convencional e as barras o intervalo de confiança. A linha é a melhor idade indicada pelo modelo e a área em cinza o erro de interpolação das idades.....87

**Figura 28** – Taxa de sedimentação (preto) e profundidade (vermelho) observada ao longo do testemunho KCF10-09A.....88

**Figura 29** – Teores de areia (preto), silte (cinza) e carbono orgânico total (vermelho) ao longo do testemunho sedimentar KCF10-09A.....89

**Figura 30** – Valores de SS% (preto), razão C/N (verde), fluxo de carbono (azul), COT (cinza) e  $\delta^{13}\text{C}$  (vermelho) do testemunho marinho KCF10-09A.....90

**Figura 31** – Abundância total de foraminíferos bentônicos (azul) e taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR) (preto) ao longo do testemunho KCF10-09A...91

**Figura 32** – Variação da riqueza (preto) e da diversidade (verde) de Shannon ao longo do testemunho KCF10-09A.....92

**Figura 33** – Fluxo de indivíduos das espécies de maior representatividade do Holoceno da plataforma continental média de Cabo Frio, RJ.....93

**Figura 34** – Análise de agrupamento por similaridade UPGA das principais espécies de ocorrência no testemunho KCF10-09A. Cor marrom representa a assembleia *Uvigerina peregrina* e a cor verde representa a assembleia *Alabaminella weddelensis*.....95

**Figura 35** – Distribuição do total de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-09A por tipo de textura da carapaça em cada amostra, sendo (A) aglutinantes, (H) calcários hialinos e (P) calcários porcelanáceos.....96

<b>Figura 36</b> – Variação dos índices paleoecológicos de paleoprodutividade BFAR (preto), ICBF (azul), razão IN/EP (verde) e paleoxigenação razão IM/PE (cinza), BFOI (vermelho) do testemunho KCF10-09A.....	97
<b>Figura 37</b> – Variação isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (verde) e $\delta^{13}\text{C}$ (azul) da espécie <i>Uvigerina peregrina</i> ao longo do testemunho KCF10-09A.....	99
<b>Figura 38</b> – Relação entre o fluxo de Corg (eixo X) e índice BFAR (eixo Y) e ao longo do testemunho KCF10-09A.....	100
<b>Figura 39</b> – Análise de Componente Principal das variáveis isotópica, sedimentológicas e paleoecológicas representativas de 66,80% da variabilidade do testemunho KCF10-09A, na plataforma média de Cabo Frio.....	103
<b>Figura 40</b> – Variabilidade do fluxo da espécie <i>Globocassidulina subglobosa</i> (azul) e índice BFAR (preto) no testemunho KCF10-01B (acima) e KCF10-09A (abaixo)...	106
<b>Figura 41</b> – Modelo comparativo da paleoprodutividade, paleoxigenação e velocidade de correntes de fundo dos últimos 11,4ka AP nas plataformas externa e média do SRCF. As setas verticais verdes representam o fluxo de carbono orgânico (maior fluxo representado pela seta maior e vice-versa), as setas horizontais azuis representam a velocidade das correntes de fundo (maior velocidade representada pela seta maior e vice-versa), a cor do sedimento representa a oxigenação (maior oxigenação representada pela cor clara e vice-versa) e os pontos brancos representam o índice BFAR (mais número de pontos brancos representando um maior índice BFAR).....	108
<b>Figura 42</b> – Análise espectral Redfit e espectral cruzada da série de dados dos últimos 6ka do índice BFAR e $\delta^{18}\text{O}$ em <i>C. kullenbergi</i> do testemunho KCF10-01B. Linha cinza representando <i>white noise</i> de 95% de significância e linha pontilhada representando <i>white noise</i> de 90% de significância.....	110

**Figura 43** – Registros comparativo da variabilidade do índice BFAR do testemunho KCF10-01B (este trabalho), *hematite stained grain* (HSG%) da combinação dos testemunhos MC52–V29-191 no Atlântico Norte (BOND et al., 2001), dos isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em *C. kullenbergi* do testemunho KCF10-01B (este trabalho) e variação relativa do nível do mar (CORRÊA, 1996). As bandas verticais em cinza marcam os eventos Bond.....113

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Relação do índice BFOI com condições ambientais indicadas por foraminíferos bentônicos, de acordo com Kaiho (1999).....	33
<b>Tabela 2</b> – Localização e descrição dos testemunhos sedimentares marinhos estudados nesta tese de doutorado.....	48
<b>Tabela 3</b> – Datações por $^{14}\text{C}$ do testemunho KCF10-01B, incluindo profundidade das amostras, código do laboratório, material datado, idade convencional e idades calibradas obtidas com o modelo cronológico criado.....	58
<b>Tabela 4</b> – Teste não-paramétrico de Mann-Whitney (U) e significância (p) para comparação do sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ das espécies de epifauna <i>Cibicides kullenbergi</i> e infauna <i>Uvigerina peregrina</i> do testemunho KCF10-01B.....	75
<b>Tabela 5</b> – Correlação de Spearman das variáveis sedimentológicas, geoquímicas, paleoecológicas e isotópicas de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-01B (dados significativos em negrito, $p < 0,05$ ).....	81
<b>Tabela 6</b> – Datações por $^{14}\text{C}$ do testemunho KCF10-09A, incluindo profundidade das amostras, código do laboratório, material datado, idade convencional e idades calibradas obtidas com o modelo cronológico criado.....	86
<b>Tabela 7</b> – Correlação de Spearman das variáveis sedimentológicas, geoquímicas, paleoecológicas e isotópicas de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-09A (dados significativos em negrito, $p < 0,05$ ).....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária Antártica
AMOC	do inglês, <i>Atlantic Meridional Overturning Circulation</i>
AP	Anos Pretéritos
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
ASAP	Água Sub-Antártica de Plataforma
ASAS	Água Subtropical do Atlântico Sul
AT	Água Tropical
BFAR	do inglês, <i>Benthic Foraminifera Accumulation Rate</i>
BFHP	do inglês, <i>Benthic Foraminifera High Productivity</i>
BFOI	do inglês, <i>Benthic Foraminifera Dissolved-Oxygen Index</i>
CB	Corrente do Brasil
CF	Cabo Frio
C/N	razão carbono/nitrogênio
Corg	carbono orgânico
COT	Carbono Orgânico Total
CSE	Corrente Sul Equatorial
$\delta^{13}\text{C}$	razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$
$\delta^{18}\text{O}$	razão isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$
E	Leste
ENOS	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
fS	fração silte
fST	fração silte total
H'	Diversidade de Shannon
ICBF	do inglês, <i>Infaunal Calcareous Benthic Foraminifera</i>
ICP-MS	do inglês, <i>Inductively coupled plasma mass spectrometry</i>
ICP-AES	do inglês, <i>Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy</i>
IM/PE	razão de foraminíferos Imperfurados/Perfurados
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MO	Matéria Orgânica



NE	Nordeste
S	Sul
S	Riqueza de espécies
SE	Sudeste
SIRMS	do inglês, <i>Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer</i>
SW	Sudoeste
SRCF	Sistema de Ressurgência de Cabo Frio
SS%	Porcentagem de <i>Sortable Silt</i>
TS	Taxa de Sedimentação
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
U	teste de Mann-Whitney
UPGA	<i>Unweighted Pair-Group Average</i>
VPDB	<i>Vienna Pee Dee Belemnite</i>
W	Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>17</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>18</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
1.1 TEMÁTICA DA PROPOSTA.....	22
1.2 OBJETIVOS.....	25
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
2.1 FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS E ECOLOGIA.....	27
2.2 ISÓTOPOS ESTÁVEIS EM FORAMINÍFEROS.....	33
<b>2.2.1 Isótopos estáveis de oxigênio (<math>\delta^{18}\text{O}</math>).....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.2 Isótopos estáveis de carbono (<math>\delta^{13}\text{C}</math>).....</b>	<b>35</b>
2.3 VARIAÇÃO DO NÍVEL RELATIVO DO MAR DURANTE O HOLOCENO.....	37
2.4 AMOC.....	40
2.5 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.....	43
<b>3 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>45</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>48</b>
4.1 COLETA E AMOSTRAGEM.....	48
4.2 SEDIMENTOLOGIA E CRONOLOGIA.....	50
<b>4.2.1 Granulometria.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2 Geoquímica do Sedimento.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.3 Cronologia.....</b>	<b>51</b>
4.3 MICROPALEONTOLOGIA.....	51
<b>4.3.1 Técnica de amostragem e identificação.....</b>	<b>51</b>
<b>4.3.2 Paleoecologia.....</b>	<b>52</b>
4.4 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DE FORAMINÍFEROS.....	55
4.5 INTEGRAÇÃO DE DADOS.....	56
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
5.1 DO TESTEMUNHO KCF10-01B.....	58
<b>5.1.1 Modelo Cronológico.....</b>	<b>58</b>
<b>5.1.2 Sedimentologia e geoquímica do sedimento.....</b>	<b>60</b>

<b>5.1.3 Paleoecologia .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1.4 Isótopos estáveis .....</b>	<b>74</b>
<b>5.1.5 Integração das variáveis paleoceanográficas .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2 DO TESTEMUNHO KCF10-09A .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2.1 Modelo Cronológico.....</b>	<b>85</b>
<b>5.2.2 Sedimentologia e geoquímica do sedimento .....</b>	<b>88</b>
<b>5.2.3 Paleoecologia .....</b>	<b>91</b>
<b>5.2.4 Isótopos estáveis .....</b>	<b>98</b>
<b>5.2.5 Integração das variáveis paleoceanográficas .....</b>	<b>99</b>
<b>5.3 ACOPLAMENTO DOS COMPARTIMENTOS OCEANOGRÁFICOS .....</b>	<b>104</b>
<b>5.4 PALEOCLIMA E AS ÁGUAS DE FUNDO DO SRCF.....</b>	<b>108</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>115</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>117</b>
<b>8 APÊNDICES .....</b>	<b>137</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMÁTICA DA PROPOSTA

Os últimos 12.000 anos AP foram marcados por uma instabilidade climática sugerindo a presença constante de ciclos de 1.500 anos (DARBY et al., 2012; EVANGELISTA et al., 2014). Oscilações em escala milenar são observadas ao longo do Holoceno como consequência da intrusão de águas frias do degelo no Atlântico Norte (BOND et al., 1997). De acordo com modelos de Vellinga e Wood (2002) e Dahl et al. (2005), o aumento do degelo torna o Atlântico Sul aquecido e modifica o regime de precipitação na América do Sul e África. O consequente dipolo entre a temperatura de superfície do mar (TSM) dos dois hemisférios é resultado do enfraquecimento do transporte de calor pela *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC). Quando em condições normais de circulação, a AMOC transporta sal e calor pelas correntes superficiais do hemisfério sul para o norte e, uma vez nas altas latitudes, retorna como águas profundas para as baixas latitudes. As variações nesta circulação podem apresentar periodicidade ou mudanças abruptas decorrentes do derretimento das calotas polares. No Holoceno, estas mudanças abruptas são chamadas de eventos Bond, caracterizados pelo incremento de grandes volumes de água de degelo no Atlântico Norte, tornando as águas superficiais daquela região mais frias durante rápidos períodos de tempo (BOND et al., 1997). Estas mudanças abruptas em altas latitudes podem alterar significativamente o clima nos trópicos e também as condições paleoceanográficas no Sistema de Ressurgência da plataforma continental de Cabo Frio (SRCF) (GYLLENCREUTZ et al., 2010; SOUTO et al., 2011).

É conhecida a elevada produtividade na margem leste dos oceanos causada por ressurgências costeiras. Os ventos alísios que sopram de NE para SW no Hemisfério Norte e SE para NW no Hemisfério Sul promovem, pelo efeito de Ekman, o deslocamento das massas superficiais de água perpendicularmente à linha de costa favorecendo o soerguimento até a superfície de água frias e nutritivas de ambientes profundos (ATKINSON, 2010). Quando alcançam a zona fótica, estas águas propiciam o aumento da produtividade primária (HÖLL; MÜCKE, 2000). Já à oeste das bacias oceânicas, de maneira geral, há influência de correntes fortes que formam os giros oceânicos e tornam as águas oligotróficas. A plataforma continental

da região de Cabo Frio (CF) é considerada um ambiente distinto por apresentar diferentes condições oceanográficas, geomorfológicas e climáticas. Mesmo sob forte influência de corrente de borda oeste, CF apresenta o processo de ressurgência de águas nutritivas profundas na zona fótica, que alteram o fluxo de carbono e nutrientes da região pelos processos de Ekman (costa) e intrusão da ACAS na zona fótica (plataforma continental). Assim como outros locais de ressurgência em bordas oeste (SHETYE et al., 1991), CF tem os ventos como um dos principais agentes no processo de soerguimento das águas profundas, tornando esta uma região destacada diante de toda costa brasileira.

As variações climáticas e oceanográficas ocorridas em determinadas regiões, como por exemplo a variação de produtividade e a variação na intensidade de correntes, podem ser recuperadas por meio de *proxies* geoquímicos e organismos potencialmente fossilizáveis, como os foraminíferos (SMART et al., 2010; WANG et al., 2014; YASUMARA et al., 2014). Estes organismos são protozoários, unicelulares que podem apresentar formas planctônicas (quando habitam a coluna d'água nos oceanos) ou bentônicas (presentes no sedimento de ambientes marinhos e de transição).

A distribuição da fauna de foraminíferos tem sido utilizada em reconstruções das condições oceanográficas recentes e paleoceanográficas (GOODAY et al., 2010; EICHLER et al., 2012; LESSA et al., 2014). Essa técnica tem sido empregada com muito sucesso em foraminíferos bentônicos, devido à vários fatores ambientais que influenciam a distribuição de diferentes espécies. Além disso, estes organismos carbonáticos inserem sinais isotópicos e elementares da água marinha em suas testas durante seu crescimento e gravam esta informação ao longo do tempo, tornando possível a reconstrução exata da dinâmica paleoambiental (ARMSTRONG; BRASIER, 2005; KATZ et al., 2010). Condições de produtividade (NAGAI et al., 2009), temperatura (LESSA et al., 2014; CHIESSI et al., 2014), correntes (CHIESSI et al., 2013), condições redox (ROBERTS et al., 2012), e aporte terrígeno (PIOTROWSKI et al., 2012) podem ser recuperadas por meio de *proxies* isotópicos e elementares em foraminíferos.

Alguns estudos ecológicos, paleoecológicos, elementares e isotópicos de foraminíferos já foram realizados no talude e plataformas sul e sudeste brasileiras, como a caracterização recente e sub-recente (CHIESSI et al., 2007; EICHLER et al., 2008; SOUTO et al., 2011; BURONE et al., 2011) e condições oceanográficas e

climáticas do Holoceno (TOLEDO et al., 2007; NAGAI et al., 2009, 2010; CHIESSI et al., 2014; EVANGELISTA et al., 2014; LESSA et al., 2014). No entanto, poucas são as informações em alta resolução a respeito das águas de fundo que prevaleceram durante o Holoceno, variação de produtividade e oxigenação, e as relações com eventos climáticos de impacto local e global.

O estudo em alta resolução dos processos oceanográficos, como variação das correntes de fundo, produtividade, oxigenação e outras questões relacionadas à dinâmica biológica de organismos de fundo e geoquímica do sedimento, e relações paleoclimáticas ainda não foram completamente elucidados na plataforma sudeste brasileira e isso motiva o desenvolvimento desta pesquisa. Diante destas lacunas existentes a respeito da plataforma continental de Cabo Frio, algumas perguntas foram levantadas neste trabalho, tais como:

- 1) Como foi a dinâmica paleoceanográfica das águas de fundo na região da plataforma de Cabo Frio durante o Holoceno?
- 2) Como foi a variabilidade da produtividade, oxigenação e velocidade das águas de fundo na plataforma continental de Cabo Frio nos últimos 11,4 mil anos?
- 3) A variação do nível do mar teve influência nas assembleias de foraminíferos bentônicos da plataforma média e externa?
- 4) Os processos oceanográficos e climáticos globais, como a variação na intensidade da *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC), poderiam afetar as águas de fundo da plataforma sudeste brasileira?
- 5) Os eventos abruptos, como os eventos Bond, teriam efeito nas águas de fundo da plataforma externa de Cabo Frio?

A fim de auxiliar no entendimento destas questões, as hipóteses que norteiam este trabalho são de que:

*H1) A variabilidade da produtividade na plataforma externa de Cabo Frio durante o Holoceno é indicada por índices paleoecológicos, fluxo de espécies de foraminíferos bentônicos e isótopos estáveis, além de estar relacionada às variações do nível do mar durante o Holoceno Inferior e à intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na zona fótica.*

*H2) A variabilidade da produtividade primária de fundo, traçada pelos*

*foraminíferos bentônicos, responde às oscilações de intensidade da CB está relacionada às oscilações da AMOC, resultando em variações periódicas dos índices paleoecológicos, fluxo de espécies de foraminíferos bentônicos e isótopos estáveis.*

*H3) Os processos paleoceanográficos locais na plataforma média, como por exemplo a velocidade das correntes de fundo e oxigenação, sobrepõem o sinal das variações relativas de nível do mar e da dinâmica da CB nas assembleias e paleoecologia de foraminíferos.*

Dividida em quatro sessões (Introdução, Metodologia, Resultados e Conclusões) e em cinco partes ((A) Temas e Fundamentos Teóricos, (B) Do Testemunho KCF10-01B, (C) Do Testemunho KCF10-09A, (D) Integração dos Compartimentos Oceanográficos e (E) Paleoclima), essa tese abordará em alta resolução (análises em 2 e 5 cm de resolução) os processos paleoceanográficos, geoquímicos e paleoclimáticos relacionados à dinâmica da produtividade do SRCF com base na resposta de foraminíferos bentônicos. A abordagem *multiproxy* (da paleoecologia, composição isotópica de foraminíferos bentônicos e geoquímica do sedimento) permitirá a compreensão da dinâmica paleoceanográfica da plataforma de Cabo Frio e dos processos paleoclimáticos da costa sudeste brasileira ao longo do Holoceno Inferior (11,5–7,0 ka), Médio (7,0–5,0 ka) e Superior (5,0–0,0 ka).

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é reconstituir a dinâmica paleoceanográfica das águas de fundo do SRCF durante o Holoceno, a fim de compreender a variabilidade da produtividade, oxigenação e velocidade das correntes de fundo, bem como as relações paleoclimáticas utilizando análises geoquímicas, sedimentológicas, micropaleontológicas e isotópicas de foraminíferos bentônicos.

Como objetivos específicos, procurar-se-á:

- identificar a paleoecologia de foraminíferos bentônicos das diferentes fácies sedimentares em dois testemunhos (KCF10-01B e KCF10-09A);
- utilizar os isótopos estáveis  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  em foraminíferos bentônicos como *proxies* de circulação e produtividade das águas de fundo da plataforma nos dois testemunhos de Cabo Frio (KCF10-01B e KCF10-09A);
- aferir a variação da produtividade e oxigenação das águas de fundo por meio de índices ecológicos, sedimentologia e geoquímica;

- resgatar os registros das variações no nível relativo do mar ocorridos na região costeira do Rio de Janeiro por meio do registro das variações da assembleia de foraminíferos e da composição sedimentar;

- identificar a variabilidade do índice de produtividade BFAR e do isótopo de  $\delta^{18}\text{O}$  em *C. kullenbergi* a fim de relacionar com variabilidades paleoclimáticas periódicas e eventos abruptos do Atlântico Norte;

- recuperar os sinais dos eventos climáticos Bond, principalmente o evento Bond 5 em 8,2 ka, por meio das análises paleoecológicas de foraminíferos bentônicos nos sedimentos da plataforma continental externa de Cabo Frio.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

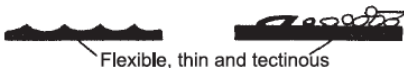

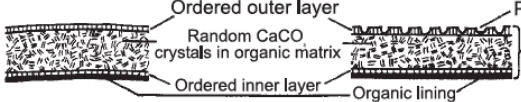
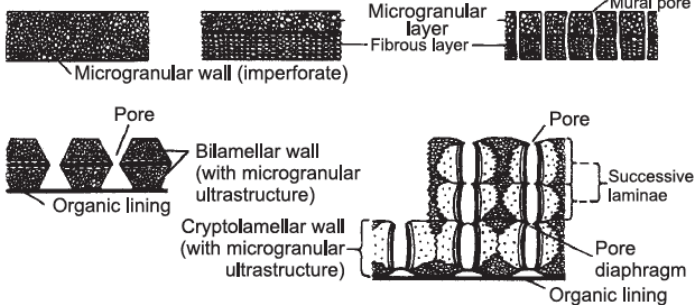
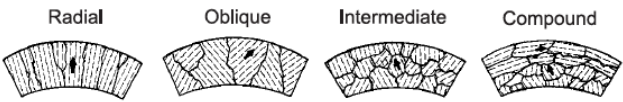
### 2.1 FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS E ECOLOGIA

No Reino Protozoa, um grupo de protozoários da ordem Foraminiferida é conhecido por ter o citoplasma fechado em uma testa de uma ou mais câmaras interconectadas (MURRAY, 2006), podendo apresentar formas planctônicas ou bentônicas. Estes organismos passíveis de fossilização são chamados de foraminíferos, surgiram no período Cambriano (bentônicos) e são encontrados no Recente, em ambientes marinhos. São unicelulares dotados de um protoplasma que ocupa todas as câmaras internas devido a existência de um orifício interno chamado forâmen. A abertura (que pode ser única ou múltiplas) e os poros permitem a saída de pseudópodos reticulados e filiformes, que auxiliam no deslocamento, alimentação, respiração, construção da testa e reprodução (SEN GUPTA, 2003). A reprodução destes organismos é por metagênese (alternância de gerações), onde na fase haploide há a formação gametas que, quando se fundem, produzem o indivíduo diploide multinucleado chamado esquizonte. A divisão por mitose separa o citoplasma ao redor de cada núcleo, formando indivíduos haploides uninucleados que irão formar mais gametas e continuar o ciclo (MURRAY, 2006), podendo viver por 15 dias até pouco mais de 1 ano (BELLIER et al., 2010).

Os foraminíferos apresentam a carapaça em diferentes composições, sendo a maioria construída com  $\text{CaCO}_3$ . A composição da testa é importante para a classificação dos grupos de foraminíferos, assim como descrito por Armstrong e Brasier (2005) (Figura 1):

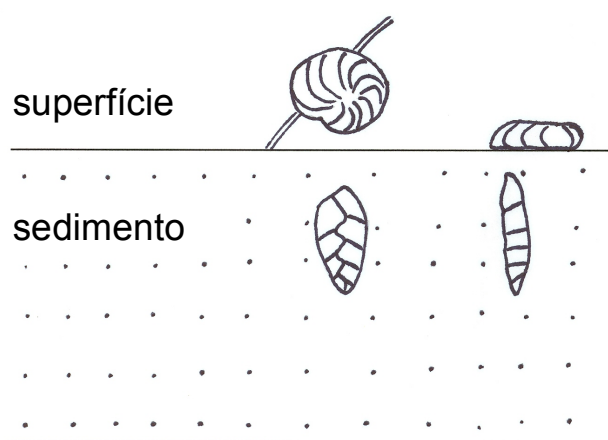
- (A) Tectinosas: as testas tectinosas são formadas por fina e não rígida testa de material proteico e pseudoquitinoso, geralmente chamado tectina. Espécies que apresentam esta composição de testa pertencem à Subordem Allogromiina.
- (B) Aglutinantes: as testas são compostas de material orgânico e mineral do sedimento misturados com um cimento orgânico, calcário ou de óxido ferroso. Os grãos são selecionados pelo tamanho, textura ou composição. Espécies que apresentam esta composição de testa pertencem à Subordem Textulariina.

- (C) Calcários porcelanáceos: possuem esse nome pela aparência semelhante à porcelana. A carapaça imperfurada é composta por pequenas agulhas de calcita magnesiana dispostas aleatoriamente, mas nas paredes internas e externas são laminadas com uma camada de agulhas horizontalmente arranjadas. Espécies que apresentam esta composição de testa pertencem à Subordem Miliolina.
- (D) Microgranulares: a testa é composta de microgrânulos aleatoriamente agrupados ou alinhados à superfície da testa, inter espaçados por poros, dando uma aparência fibrosa à testa. As camadas granulares e fibrosas de calcita microgranular podem ser combinadas em estrutura única ou multilaminada. Espécies que apresentam esta composição de testa pertencem à extinta Subordem Fusulinina (ocorrência somente no Paleozóico).
- (E) Calcários hialinos: são carapaças perfuradas de aparência vítrea. Espécies que apresentam esta composição de testa podem pertencer à diferentes Subordens: Globigerinina (única ordem planctônica), Rotaliina, Spirillina (com pouca ou muita calcita magnesiana), Involutinina ou Robertinina (aragonita).

	Wall Structure	Suborder
Tectinuous	 Loosely attached grains Flexible, thin and tectinuous	Allogromiina
Agglutinated	 Alveoli (labyrinthic wall) Agglutinated wall Organic lining	Textulariina
Porcelaneous	 Pseudopunctae Ordered outer layer Random CaCO <sub>3</sub> crystals in organic matrix Ordered inner layer Organic lining	Miliolina
Microgranular + Microgranular compound	 Mural pore Microgranular layer Fibrous layer Microgranular wall (imperforate) Pore Organic lining Bilamellar wall (with microgranular ultrastructure) Cryptolamellar wall (with microgranular ultrastructure) Successive laminae Pore diaphragm	Fusulinina Globigerinina Spirillina Involutinina (arag) Robertinina (arag)
Hyaline	 Radial Oblique Intermediate Compound	Rotaliina

**Figura 1** – Representação da composição das testas de foraminíferos e as respectivas subordens.  
Fonte: ARMSTRONG; BRASIER, 2005.

Os foraminíferos bentônicos podem apresentar diferentes hábitos de vida (Figura 2). Espécies epifaunais são aquelas que exigem uma maior concentração de oxigênio e assim seu hábito de vida é na superfície de sedimentos marinhos, em contato exclusivo com as massas d'água de fundo. Em geral o formato da carapaça é plano-convexo, o que facilita o estabelecimento das espécies sob a superfície do sedimento. Já as espécies infaunais utilizam as condições ambientais internas do sedimento para hábito de vida. Podem habitar camadas superficiais do sedimento (espécies de infauna rasa), intermediárias (espécies de infauna intermediárias) e profundas (espécies de infauna profunda). Há ainda espécies de hábito duplo epifaunal e infaunal. Essas espécies possuem uma maior capacidade de se adaptar às mudanças do ambiente e podem ser representativas das condições da água intersticial e da água de fundo. Apesar da distinção dos hábitos de vida entre as espécies, Murray (2006) salienta que posição de vida é controlada pelas condições do ambiente e que os termos infauna e epifauna podem ser perdidos em algumas circunstâncias.



**Figura 2** – Representação dos tipos de posição de vida dos foraminíferos bentônicos, sendo epifaunal sobre o sedimento e infaunal no sedimento.

A classificação do hábito de vida de certas espécies ainda é controverso. Condições específicas do ambiente local interferem no hábito de vida da espécie. Assim, certas espécies podem ser descritas com hábitos diferenciados por diferentes autores. A classificação adotada nesta tese foi baseada na identificação descrita por Burone et al. (2011) para espécies bentônicas recentes da plataforma continental sudeste brasileira. Os gêneros/espécies vivos que apresentaram uma profundidade de vida máxima de 0,5cm em todos os testemunhos analisados pelos

autores foram consideradas de epifauna. Já as espécies vivas encontradas por Burone et al. (2011) em profundidades superiores à 0,5cm foram consideradas infaunais.

É conhecida a relação entre a dinâmica dos foraminíferos bentônicos e as variações geoquímicas nas águas de fundo e dos sedimentos, modificando a composição das assembleias e, conseqüentemente, a resposta dos índices paleoecológicos. Fatores como produtividade, oxigenação, temperatura, velocidade de correntes de fundo podem alterar a capacidade de tolerância de determinadas espécies e induzir a dominância de outras. Assim, a utilização de *proxies* baseados em foraminíferos bentônicos podem auxiliar na interpretação das mudanças paleoceanográficas em determinada região.

A disponibilidade de material orgânico nos sedimentos é um dos principais parâmetros de assentamento de foraminíferos, que participam ativamente na ciclagem de carbono orgânico nos oceanos. Quanto em condições de salinidade, temperatura, oxigenação e substratos adequados para o estabelecimentos das espécies, a maior disponibilidade de nutrientes acarreta em aumento do número foraminíferos bentônicos. Neste sentido, o índice de acúmulo de foraminíferos bentônicos BFAR (do inglês *Benthic Foraminifera Accumulation Rate*) vem sendo utilizado como indicador de produtividade. A boa relação entre o fluxo de Corg e o índice BFAR é confirmada por vários trabalhos (GUICHARD et al., 1997; HAYWARD et al., 2004; SCHMIEDL; LEUSCHNER, 2005), indicando a maior resposta do índice ao fluxo de material orgânico lábil sobre o material refratário (SCHMIEDL; MACKENSEN, 1997; GUICHARD, 1997; 1999; MARTINEZ et al., 1999).

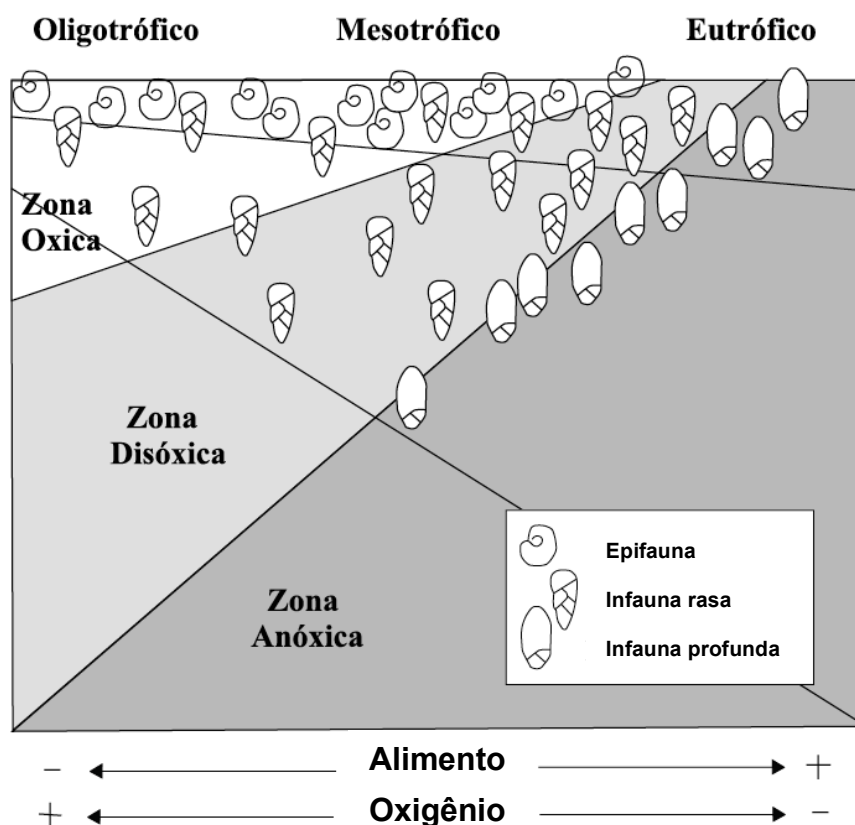
Outro índice paleoecológico indicador de produtividade oceânica é o índice de foraminíferos bentônicos calcários infaunais ICBF (do inglês, *Infaunal Calcareous Benthic Foraminifera*), que atribui as espécies calcários de infauna como os melhores indicadores de produtividade, devido a relação positiva entre as espécies calcárias hialinas e o fluxo de matéria orgânica (ZHANG et al., 2007).

Estudando a distribuição de foraminíferos bentônicos vivos, Burone et al. (2011) encontraram um maior número de indivíduos de infauna em testemunhos curtos localizados em zona de alta produtividade e relacionaram uma maior porcentagem de epifaunais à condições predominantemente oligotróficas na costa sudeste brasileira. Outros autores também observaram a mesma relação hábito/produtividade em outras regiões, como Schmiedl e Leuschner (2005) no oeste

do mar Árábico, Martínez et al. (2006) na costa noroeste africana e por Huang et al. (2002) no mar do sul da China. Além da resposta às variações de produtividade, Burone et al. (2011) também afirmam que a velocidade das águas de fundo, o tipo de substrato e profundidade da coluna d'água devem afetar a distribuição das assembleias de foraminíferos em plataformas continentais costeiras.

A biometria das carapaças dos foraminíferos também pode ser utilizada como indicador de aumento de aporte orgânico. Em tais condições, espécies oportunistas r-estrategistas tendem ao aumento da reprodução assexuada, gerando indivíduos menores e de ciclo de vida curto em uma taxa mais elevada (MURRAY, 2006).

No entanto, Corliss e Emerson (1990) interligaram não somente a produtividade, mas a disponibilidade de oxigênio como os principais controles na microdistribuição das espécies de foraminíferos bentônicos. Jorissen et al. (1995) propuseram um modelo de explicação da distribuição vertical de foraminíferos bentônicos no sedimento chamado modelo Trox (Figura 3). Em sistemas eutróficos, o nível crítico de oxigênio determina a profundidade que a maioria das espécies podem viver no sedimento, já em ecossistemas oligotróficos, a vida é limitada pela disponibilidade de alimento no sedimento. O esquema do modelo Trox de Jorissen et al. (*op. cit.*) foi adaptado por alguns autores, entre eles Van der Zwaan et al. (1999), inserindo informações sobre o padrão de distribuição geral dos foraminíferos bentônicos no sedimento em condições variáveis de alimento e oxigenação.



**Figura 3** – Modelo Trox representando os limites de profundidade de microhabitat de foraminíferos bentônicos pela combinação da penetração de oxigênio e disponibilidade de oxigênio no sedimento. Fonte: VAN DER ZWAAN et al., 1999.

Algumas espécies de foraminíferos bentônicos são consideradas indicativas de diferentes condições de oxigenação atreladas à produtividade das águas de fundo e podem ser usadas como índice semi-quantitativo de oxigenação de águas fundo, como por exemplo o índice de foraminíferos bentônicos de oxigenação BFOI (do inglês, *Benthic Foraminifera Oxygen Index*). Segundo Kaiho (1999) a subdivisão dos táxons de foraminíferos em cinco categorias (indicadores altamente óxicos, pouco óxicos, subóxicos, disóxicos e anóxicos) é feita baseada na morfologia das testas (Tabela 1). A principal divisão é baseada no tamanho das testas de indivíduos adultos, onde os maiores que 350µm são considerados como indicadores óxicos, enquanto os indivíduos menores que 350µm são considerados indicadores subóxicos. Em condições de disoxia na interface água-sedimento, táxons menos resistentes desaparecem e os indicadores disóxicos se tornam dominantes.

**Tabela 1 – Relação do índice BFOI com condições ambientais indicadas por foraminíferos bentônicos, de acordo com Kaiho (1999)**

<b>Condição de Oxigenação</b>	<b>Oxigênio (ml.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>BFOI</b>	<b>Foraminíferos indicadores</b>
<b>Altamente óxico</b>	3,0–6,0+	50 a 100	Disóxicos, subóxicos e alta taxa de óxicos
<b>Pouco óxico</b>	1,5–3,0	0 a 50	Disóxicos, subóxicos e baixa taxa de óxicos
<b>Subóxico</b>	0,3–1,5	-40 a 0	Disóxicos e alta taxa de subóxicos
<b>Disóxico</b>	0,1–0,3	-50 a -40	Disóxicos e baixa taxa/ausência de subóxicos
<b>Anóxico</b>	0,0–0,1	-55	Ausência de formas calcárias

A presença de poros nos foraminíferos serve como condução do oxigênio dissolvido e dióxido de carbono entre o interior e exterior da testa. Segundo Diester-Haass (1985), foraminíferos perfurados (calcários hialinos) são mais tolerantes à diminuição da oxigenação, ao contrário de imperfurados (calcários porcelanáceos), que estão ausentes em áreas de baixa oxigenação. Assim, a razão imperfurados/perfurados (IM/PE) pode ser utilizada como indicador da diponibilidade de oxigênio nos sedimentos marinhos.

## 2.2 ISÓTOPOS ESTÁVEIS EM FORAMINÍFEROS

Como já descrito anteriormente, análises geoquímicas em foraminíferos têm um importante papel na reconstrução paleoceanográfica dos oceanos quanto à determinação da composição isotópica para reconstrução de paleotemperaturas, paleosalinidade, paleocirculação, paleoprodutividade, paleoclima, entre outros. As principais razões isotópicas analisados em foraminíferos são  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  e  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , expressos como  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ . O sinal do delta ( $\delta$ ) representa o desvio do padrão da razão dos isótopos pela razão mensurada nas testas de  $\text{CaCO}_3$ , seguindo as seguintes fórmulas (KATZ et al., 2010):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{amostra}} = 1000 \cdot [({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_{\text{amostra}} - ({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_{\text{padrão}}] / ({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_{\text{padrão}}$$

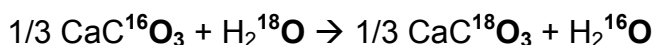
$$\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}} = 1000 \cdot [({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{padrão}}] / ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{padrão}}$$

A calibração das análises de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  em carbonatos é feita com o padrão VPDB (*Vienna Pee Dee Belemnite*), baseado em fósseis de belemnita (*Belemnitella americana*) do Cretáceo (RAVELO; HILLAIRES-MARCEL, 2007) e os valores são expressos por mil (‰).

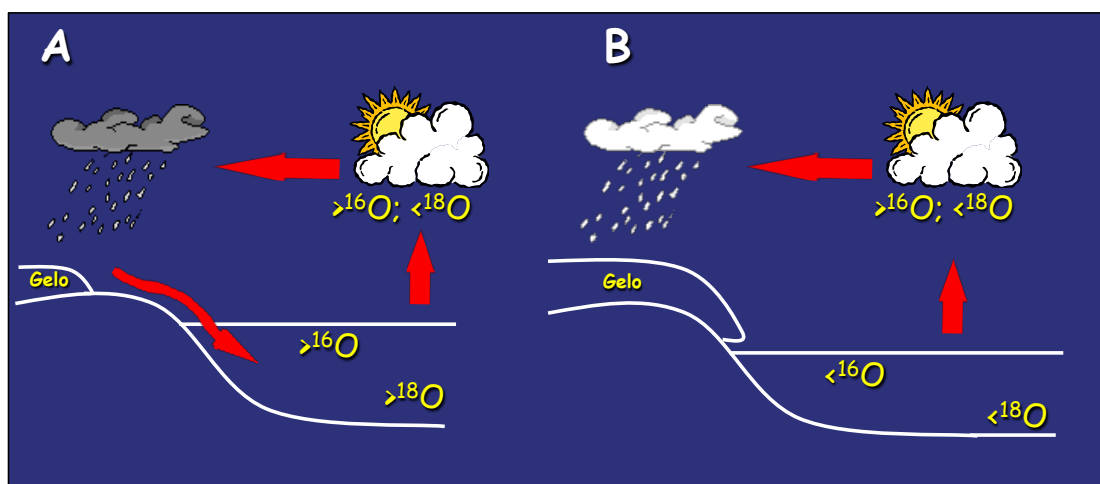
### 2.2.1 Isótopos estáveis de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ )

Os isótopos estáveis de oxigênio presentes no ambiente são  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$ , com abundâncias de 99,76%, 0,04% e 0,2%, respectivamente (RAVELO; HILLAIRES-MARCEL, 2007). A variação da razão  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  é chamada também de fracionamento isotópico, onde as reações de troca isotópica são dependentes da temperatura e efeitos cinéticos geram mudanças no equilíbrio em decorrência da taxa de reação das variadas espécies isotópicas (ROHLING; COOKE, 1999).

O  $\delta^{18}\text{O}$  da água pode variar temporalmente com o estoque de gelo nas calotas que influenciam o  $\delta^{18}\text{O}$  dos oceanos em escala milenar. O  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  que evapora mais rapidamente que o  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e torna os oceanos enriquecidos com o isótopo pesado, o  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ . O vapor d'água dos oceanos rico em  $^{18}\text{O}$  é transportado na atmosfera e, quando em períodos frios de formação de calotas polares, o  $^{18}\text{O}$  precipita e fica aprisionado nas geleiras. Os foraminíferos bentônicos, uma vez em contato com o águas de fundo, apresentam um fracionamento isotópico dependente das variações de volume de gelo globais e um  $\delta^{18}\text{O}$  mais pobre. Com o aumento da temperatura em períodos mais quentes, o derretimento das geleiras propicia o retorno do  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  aos oceanos, enriquecendo o  $\delta^{18}\text{O}$  das águas de fundo e dos foraminíferos (Figura 4). O fracionamento isotópico entre a calcita e a água, quando em equilíbrio, é representado pela equação (RAVELO; HILLAIRES-MARCEL, 2007):





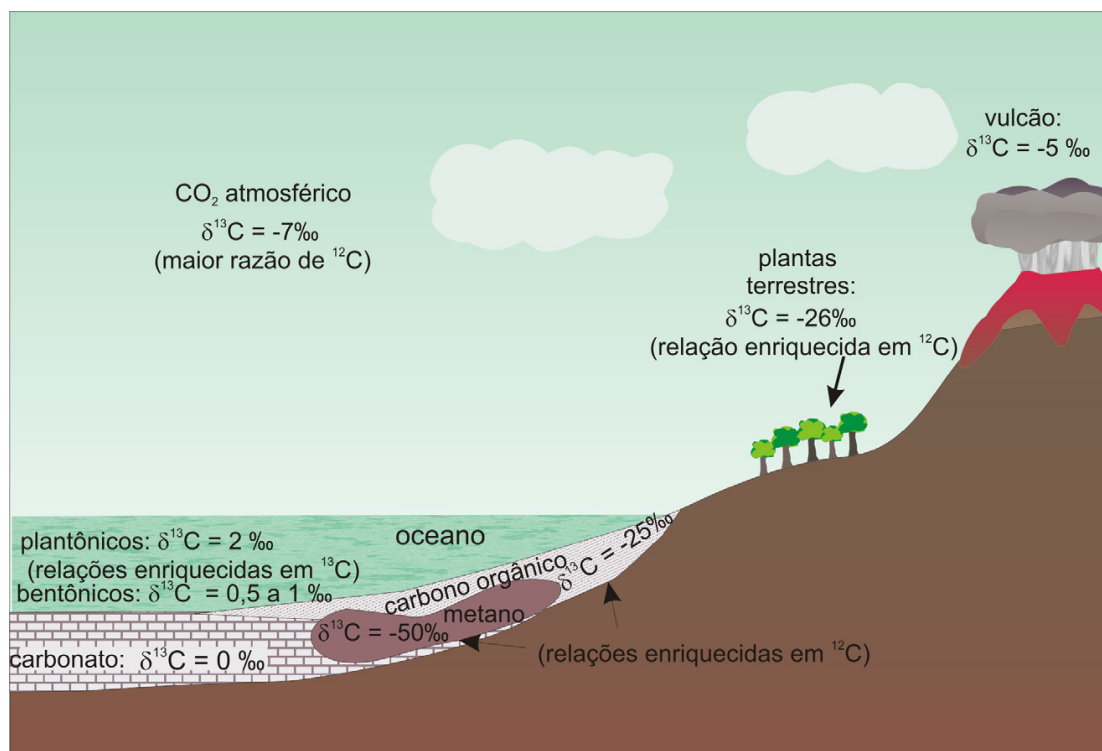


**Figura 4** – Representação esquemática do processo de fracionamento isotópico do oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) no oceano durante períodos quentes (A) e frios (B).

### 2.2.2 Isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Os isótopos estáveis de carbono presentes no ambiente são  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ , com abundâncias de 98,89% e 1,11%, respectivamente (RAVELO; HILLAIRE-MARCEL, 2007). As fontes de carbono no oceano são de origem hidrotermais/vulcânicas e de intemperismo químico de rochas continentais, enquanto o carbono é removido do oceano por deposição carbonática e carbono orgânico nos sedimentos marinhos (KATZ et al., 2010) (Figura 5).

O fracionamento isotópico do  $\delta^{13}\text{C}$  nos foraminíferos é dependente do fracionamento do  $\delta^{13}\text{C}$  do carbono inorgânico dissolvido (CID) das massas d'água marinha, que por sua vez, é dependente da produtividade primária e do efeito reservatório em ambientes profundos. O  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$  é variável ao longo do tempo e o fracionamento pode responder às mudanças no padrão de circulação das águas profundas ou às variações na produtividade e  $^{12}\text{C}$  exportado da superfície para o assoalho marinho. Os organismos fitoplactônicos assimilam o  $^{12}\text{C}$  da superfície oceânica e, ao serem depositados no sedimento, o processo de oxidação do material orgânico elimina nutrientes e  $\text{CO}_2$  com baixo  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$  nas águas de fundo (KATZ et al., 2010).



**Figura 5** – Representação esquemática do fracionamento isotópico do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) em diferentes ambientes.

Fonte: RODRIGUES; FAUTH, 2013.

A diferença isotópica entre foraminíferos bentônicos é atribuída a diferença de habitat (testas crescendo em ambientes geoquimicamente distintos), presença de simbiontes e efeito vital. A química da água intersticial difere da água de fundo em decorrência do processo de decomposição do MO, que altera a composição química das águas intersticiais. Isótopos de carbono são especialmente sensíveis à oxidação da matéria orgânica nos sedimentos, diminuindo o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$  da água intersticial. Assim, o perfil do  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$  da água intersticial tende a diminuir com o aumento da profundidade do assoalho. Espécies epifaunais, como *Cibicides kullenbergi*, tentem a aproximar da água de fundo, enquanto espécies infaunais, como a *Uvigerina peregrina*, são influenciadas por águas intersticiais. O decaimento da matéria orgânica no sedimento enriquece a água intersticial em  $^{12}\text{C}$ , que pode ser incorporado nas testas dos foraminíferos de infauna quando em processo de calcificação. Assim a diferença entre epifauna e infauna pode refletir o grau de preservação do material orgânico nos sedimentos, caso o material orgânico tenha sido oxidado antes de ser consumido nos sedimentos. Quando a diferença entre foraminíferos de epifauna e infauna aproxima de 0‰ e o  $\delta^{13}\text{C}$  de ambos são baixos, indica maior aporte orgânico na superfície e no sedimento. Já altos valores de  $\delta^{13}\text{C}$

indicam baixo suprimento orgânico, e assim, uma menor paleoprodutividade (MCCORKLE et al., 1990; KATZ et al., 2010).

### 2.3 VARIAÇÃO DO NÍVEL RELATIVO DO MAR DURANTE O HOLOCENO

Durante os últimos 12 mil anos, a costa brasileira sofreu modificações com as elevações e quedas do nível relativo do mar em relação ao atual, e, com base em indicadores geológicos e biológicos, várias curvas de níveis foram elaboradas. De acordo com Suguio et al. (2003), o controle das variações dos paleoníveis é realizados por três diferentes processos:

- (A) Tectono-eustasia: flutuações nos volumes das bacias oceânicas em consequência da tectônica de placas;
- (B) Glacio-eustasia: flutuações nos volumes das águas das bacias oceânicas pelos fenômenos de glaciação e deglaciação;
- (C) Geoido-eustasia: deformações das superfícies oceânicas de fundo por causas gravitacionais.

Desta forma, as variações dos volumes das bacias oceânicas e as variações dos volumes das águas exercem os seus efeitos em escala mundial. Já as mudanças nas superfícies dos geóides e continentes atuam em escalas regional ou local (SUGUIO et al., 2003). Na plataforma continental brasileira, vários trabalhos abordam as evidências de antigos níveis marinhos alto durante o Holoceno utilizando diferentes indicadores:

- (A) Indicadores geológicos: como os depósitos sedimentares arenosos acima do nível do mar e os *beachrocks*, que são arenitos ou conglomerados de paleopraias cimentados com carbonato de cálcio e com fragmentos de conchas. Exemplos da utilização deste marcador são os trabalhos de Dias et al. (2014a) na costa de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, reconstituindo os paleoambientes costeiros da região em modelos 3D desde o Pleistoceno Superior utilizando *beachrocks* como indicadores de nível de

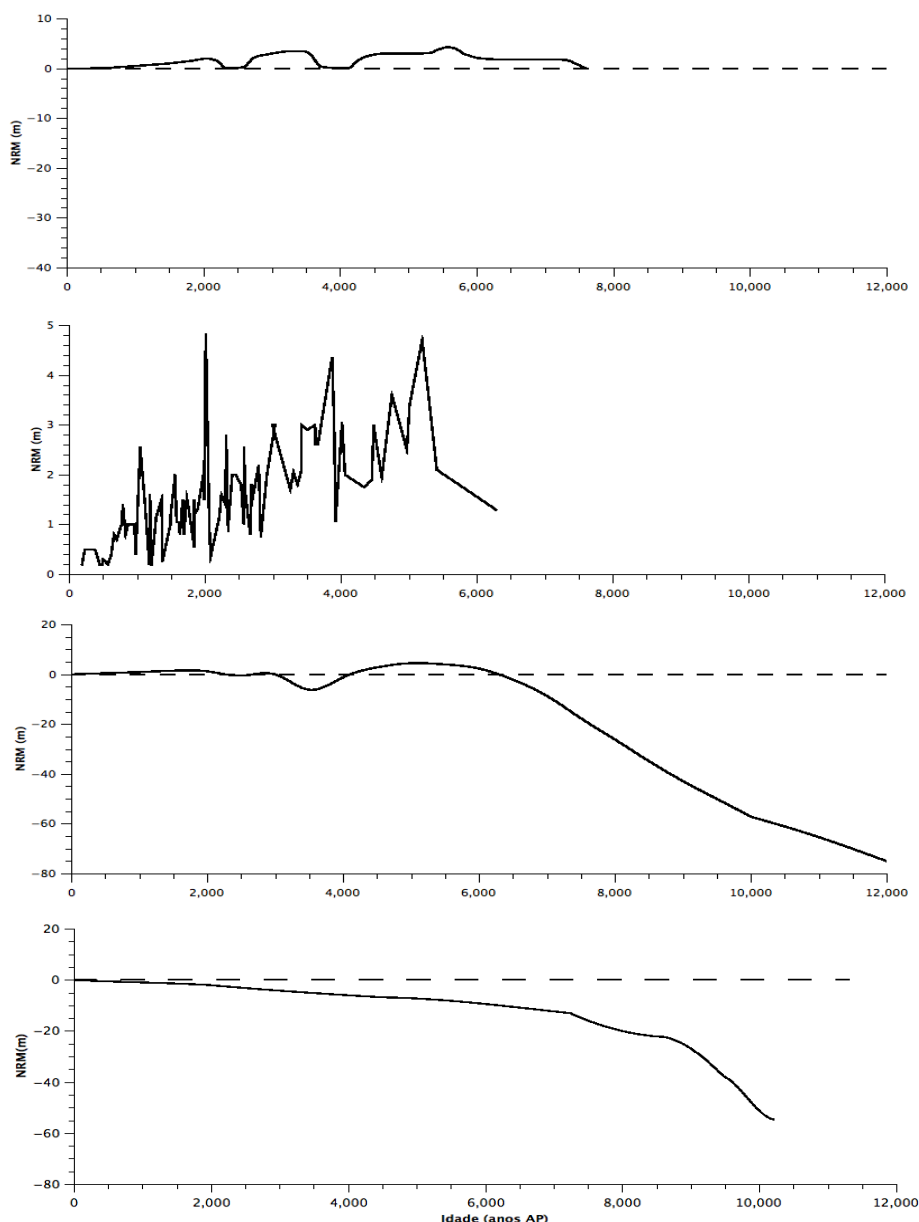
mar e Castro et al. (2014), com *beachrocks* e datações por radiocarbono na costa do Rio de Janeiro

- (B) Indicadores biológicos: representantes fósseis ou restos biogênicos de animais ou vegetais marinhos encontrados nas proximidades do nível do mar atual. Os mais utilizados são incrustações de vermetídeos e moluscos, que indicam variações no nível do mar quando encontrados acima da zona de vida destes organismos e ainda servem como material para datação por radiocarbono. Exemplos da utilização deste indicador são os trabalhos de Angulo e Lessa (1997) realizando datações por radiocarbono em vermetídeos no litoral do Paraná e São Paulo, Suguio et al. (1985) realizando datações por radiocarbono em incrustações de vermetídeos e conchas no litoral brasileiro, Angulo et al. (1999, 2002) com datações no litoral do Paraná e Santa Catarina e Dias et al. (2014a) datando por radiocarbono moluscos presentes em *beachrocks* em Arraial do Cabo, RJ.
- (C) Indicadores arqueológicos: como os sambaquis, depósitos de material orgânico e calcário provenientes dos primeiros povoados da costa brasileira. Exemplo da utilização deste indicador é o trabalho de Martin et al. (2003) que incluiu a datação por radiocarbono de vários sambaquis da região costeira da Bahia, São Paulo, Paraná na elaboração de curvas de nível relativo do mar.

Dentre os trabalhos desenvolvidos, a melhor representação das variações relativas de nível do mar durante o Pleistoceno Superior e Holoceno Tardio na costa brasileira foi realizada por Corrêa (1996) na plataforma continental do Rio Grande do Sul, que, mesmo apresentando um menor detalhamento de dados, apresenta registros de variações abaixo do nível atual do mar. A curva proposta segue a mesma tendência da curva de nível relativo do mar proposta por Fairbanks (1990) para Barbados (Figura 6). Segundo Corrêa (1996), um processo transgressivo ocorreu entre 11,0ka–6,5ka, sugerindo o depósito de sedimentos finos de zonas profundas sob as areias da plataforma continental média e externa. Três períodos de estabilizações foram observados durante o processo transgressivo: (1) quando o nível do mar esteve à -60m e -70m em 11,0ka, (2) entre -32m e -45m em 9ka, e (3) entre -20m -25m em 8ka AP (Figura 6).

Para o Holoceno Médio e Superior, Angulo e Lessa (1997) sugerem uma curva de paleonível baseada em datações por radiocarbono de vermetídeos ao longo da costa brasileira. Apesar do grande número de datações indicando um processo regressivo constante desde o máximo da transgressão em cerca de 5,3 ka AP, as oscilações não confirmaram a existência de oscilações secundárias (Figura 6). Martin et al. (2003) contestaram com veemência a curva exibida por Angulo e Lessa (1997) baseada somente em incrustações de vermetídeos e fizeram a proposição da curva de nível relativo do mar de Salvador como representante da porção central da costa brasileira, devido o alto detalhamento e da utilização de múltiplos indicadores de nível de mar (Figura 6).

Segundo o retratado na curva de Salvador proposta por Martin et al. (2003), após 6,5ka AP o nível continuou em transgressão até o máximo em 5,6ka AP, onde o nível do mar atingiu cerca de  $4,6 \pm 0,4$ m acima do nível atual. Após o máximo transgressivo, uma fase regressiva ocorreu até 4,2ka AP e o nível relativo do mar esteve novamente abaixo do atual. Posteriormente, em 3,7ka AP ocorreu uma rápida transgressão e em 3,5ka AP o nível relativo do mar alcançou o segundo máximo de  $3,5 \pm 0,5$ m acima do nível atual. Um segundo evento regressivo é observado entre 3,5ka e 2,6ka AP, onde o nível relativo do mar provavelmente esteve abaixo do atual pela terceira vez durante o Holoceno. Uma nova transgressão é observada após 2,3ka AP, onde o mar apresentou um terceiro nível máximo de  $2,5 \pm 0,5$ m acima do atual em cerca de 2,1ka AP. A partir daí, finalmente, o nível relativo do mar apresentou uma regularidade no processo regressivo até a atual posição (Figura 6).

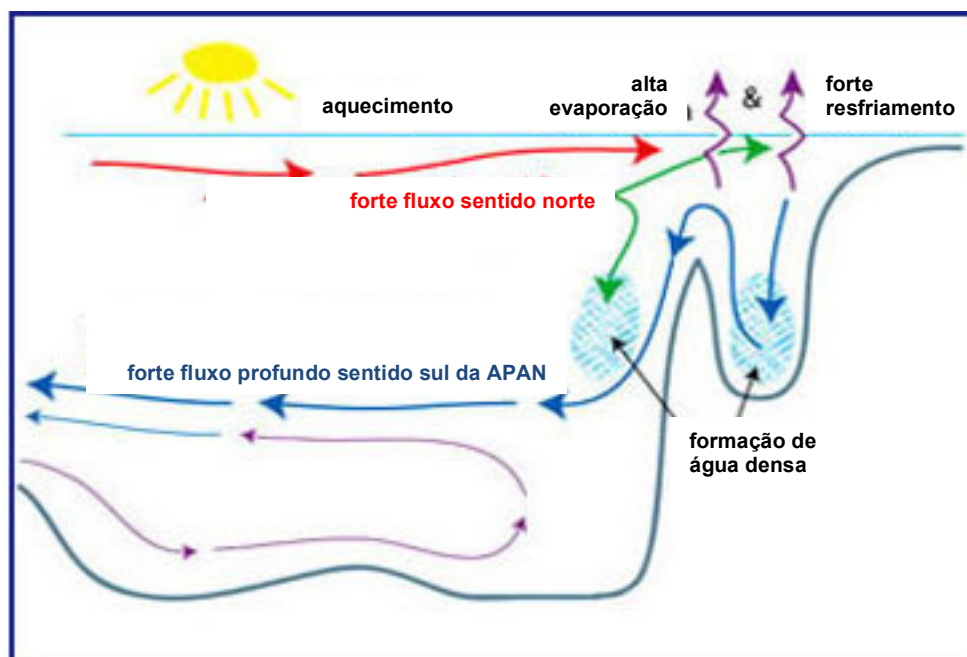


**Figura 6** – Curvas de nível relativo do mar descritas por Martin et al. (2003); Angulo e Lessa (1997); Corrêa (1996); Fairbanks (1990).

## 2.4 AMOC

Variações no conteúdo de calor nos oceanos produzem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, alterando a geometria entre as massas d'água e consequentemente os padrões de circulação oceânica. A circulação termohalina, também conhecida como *Meridional Overturning Circulation* - MOC (do inglês, Célula de Revolvimento Meridional), cuja a porção atlântica é chamada de AMOC (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*) representa a transferência de calor entre os dois hemisférios.

A principal condutora superficial do fluxo da AMOC, a Corrente Sul Equatorial (CSE), se bifurca em Corrente Norte do Brasil (CNB) e Corrente do Brasil (CB), onde a mudança do posicionamento a norte e sul desta bifurcação gera mudança na intensidade de ambas correntes superficiais. Sazonalmente, a bifurcação da CSE se move a sul (norte) e a CB enfraquece (intensifica) e a CNB fortalece (enfraquece) (RODRIGUES et al., 2007), permitindo assim a CNB transferir o calor do Atlântico Sul para o Atlântico Norte, se incorporando à Corrente do Golfo. Nas altas latitudes do Atlântico Norte a transferência de calor pelas correntes superficiais cessam devido ao afundamento dessas águas formando a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) que retorna em direção ao hemisfério sul até ser incorporada à Corrente Circumpolar Antártica (Figura 7) (OPPO; CURRY, 2012).

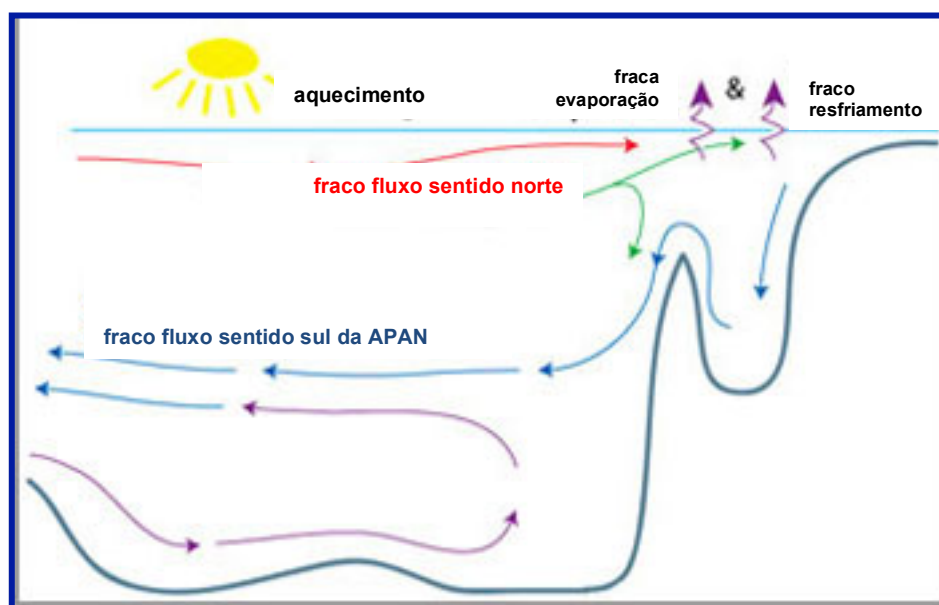


**Figura 7** – Esquema representativo da circulação normal da AMOC no Atlântico.

Fonte: Adaptado de *University of Southampton* (<http://www.noc.soton.ac.uk/>)

Uma vez que a temperatura da superfície do mar (TSM) é alterada, os processos de transporte de calor e as taxas de afundamento e produção de águas profundas também se alteram, modificando a intensidade da AMOC e assim, o padrão de circulação do Atlântico (MARCHITTO; BROECKER, 2006). Por meio da formação de Água Profunda do Atlântico Norte e pelo intercâmbio de águas superficiais entre os Oceanos Atlântico e Índico (por exemplo, o vazamento da Corrente das Agulhas), tanto as altas latitudes do hemisfério norte, como as latitudes

médias do hemisfério sul do Oceano Atlântico, respectivamente, tiveram participações fundamentais nas mudanças abruptas (MCMANUS et al., 2004; DE DECKKER et al., 2012). Com o enfraquecimento das correntes superficiais e o aporte de água doce proveniente do degelo de calotas polares, o transporte de calor do Atlântico Sul para o Atlântico Norte diminui (Figura 8), gerando o processo conhecido como gangorra bipolar (STOCKER; JOHNSEN, 2003). Assim, o oceano Atlântico nos dois hemisférios apresentam temperaturas inversas durante mudanças abruptas causadas pelo enfraquecimento da AMOC.



**Figura 8** – Esquema representativo da circulação enfraquecida da AMOC no Atlântico.  
Fonte: Adaptado de *University of Southampton* (<http://www.noc.soton.ac.uk/>)

No Holoceno, as variações paleoceanográficas periódicas e abruptas são visualizadas pela ocorrência de ciclos climáticos Bond de  $\sim 1.470 \pm 500$  anos no Atlântico Norte (BOND et al., 1997) destacando-se o evento Bond 5 em 8,2 ka AP, de maior intensidade. Com as causas ainda muito discutidas, vários modelos tentam abordar a dinâmica da AMOC ao longo do tempo e muitos outros estudos retratam os efeitos da AMOC no Atlântico Norte (LIU et al., 2014; LYNCH-STIEGLITZ et al., 2007; ZHU et al., 2014). Estes eventos possivelmente resultantes da forçante solar foram identificados no Atlântico Sul, como o trabalho de Santos et al. (2013) reconstruindo a TSM das águas superficiais sob influência da CNB e a variabilidade da TSM na plataforma continental de Cabo Frio relatada por Evangelista et al. (2014).

A confirmação de que outras mudanças abruptas em altas latitudes modificam



o clima nos trópicos foi obtida por diversos estudos na margem SW do Atlântico. Souto et al. (2011) identificaram relação entre anomalias negativas na TSM do Atlântico Norte durante a Pequena Idade do Gelo (PIG) com a variação da alta produtividade na plataforma continental de Cabo Frio no mesmo período. Gyllencreutz et al. (2010) identificaram a variabilidade em escala milenar na deposição de sedimentos na plataforma de Cabo Frio. Já Chiessi et al. (2013) também observaram variações na intensidade da CB negativamente relacionadas com os períodos enfraquecimento da CNB e anomalias negativas da TSM no Atlântico Norte. Mesmo com a confirmação dos trabalhos a respeito do efeito das mudanças abruptas ocorridas no Atlântico Norte na costa brasileira, o evento Bond de maior impacto em 8,2ka, ainda não foi descrito no oeste do Atlântico Sul, motivando a execução de novos trabalhos em alta resolução para a determinação deste sinal e os efeitos nesta região.

## 2.5 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

Os oceanos atuam como moduladores do clima da Terra devido a sua elevada capacidade térmica, suas propriedades de distribuição de calor pela circulação. O acoplamento oceano-atmosfera controla as trocas de calor e CO<sub>2</sub> entre esses compartimentos sendo decisivo para a determinação da variabilidade do clima terrestre. Variações no conteúdo de calor nos oceanos produzem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, alterando a geometria entre as massas d'água e consequentemente os padrões de circulação oceânica. Os oceanos tropicais apresentam uma alta capacidade de retenção de calor, que é transportado para as altas latitudes e liberado aquecendo a atmosfera. Este processo é parcialmente regulado pelo deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que migra a 10°N durante o inverno austral e 5°S durante o verão austral em decorrência da insolação de verão aumentando a temperatura de superfície dos oceanos. A convergência de ventos alísios em áreas de baixa pressão atmosférica garante a transferência de vapor d'água à grandes altitudes e, com ação dos ventos alísios, deslocam a umidade para o continente.

A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) também tem o deslocamento dependente da insolação durante o verão austral. Os ventos alísios promovidos pela

ASAS transportam umidade para a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), zona de nebulosidade localizada entre o sul da Amazônia e Atlântico Sul-Central durante o verão austral (CARVALHO et al., 2004).

A associação da ZCAS com a intensa atividade convectiva da região Amazônica origina os processos de monções sul-americanas, sendo então um dos principais responsáveis pelos eventos de fortes chuvas na região sudeste brasileira (CARVALHO et al., op. cit.). A aproximação da ZCAS ao continente faz com que os ventos nordeste sejam fortalecidos, e, na região de Cabo Frio, propicia a ocorrência da ressurgência costeira na plataforma interna e a intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na zona fótica da plataforma externa, devido a intensificação da Corrente do Brasil (CB) (CAMPOS et al., 2000).

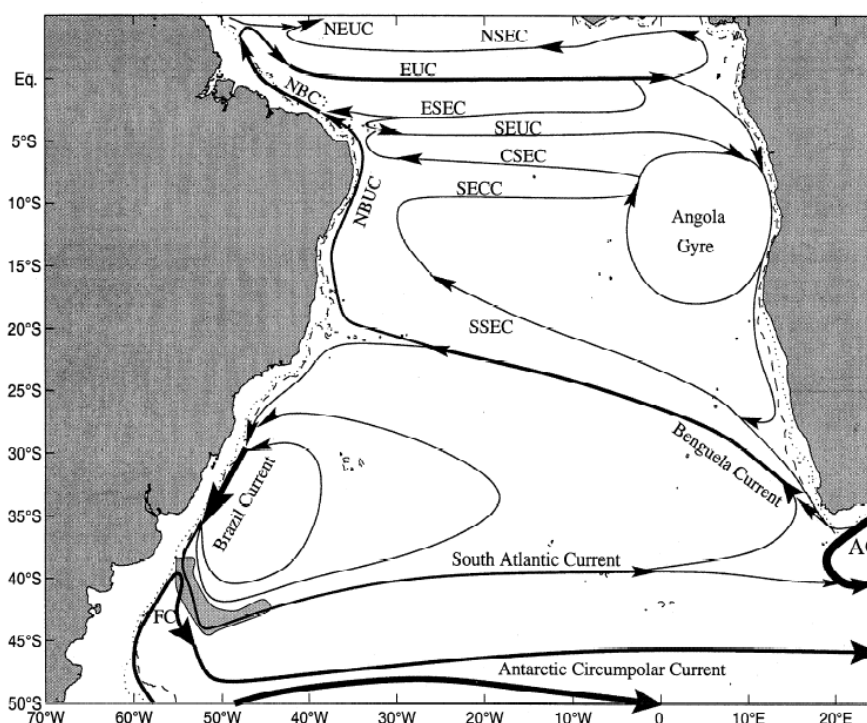
Segundo Strikis et al. (2011), eventos frios no Hemisfério Norte estão conectados com as condições úmidas do sistema de monção sul-americano, uma vez que este processo é dependente da temperatura de superfície do oceano Atlântico e, conseqüentemente, às oscilações da AMOC.

No Pacífico são originadas as frentes frias que passam pela Argentina e chegam na costa brasileira trazendo ventos sul-sudeste. Esses sistemas podem chegar ao sudeste brasileiro e interromper a passagem dos ventos NE na região de Cabo Frio, especialmente durante outono e inverno, causando a interrupção da ascensão da ACAS na zona fótica (RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001; ALBUQUERQUE et al., 2014). Assim, a permanência na ZCAS na região sudeste do Brasil pode definir a ocorrência ou não de eventos de ressurgência costeira e intrusão da ACAS na zona fótica, devido a inibição ou intensificação dos ventos NE pelo bloqueio ou não das frentes frias.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

Cabo Frio está localizada na costa sudeste do Brasil na divisa das Bacias de Campos (à Norte) e Santos (à Sul), e é considerada uma região peculiar da costa brasileira por apresentar um processo sazonal de ressurgência de águas frias e nutritivas do fundo oceânico para a superfície na plataforma (CAMPOS et al., 2006). Esse processo torna o clima da região semi-árido devido a presença de uma zona de alta pressão formada pelas baixas temperaturas da superfície oceânica. Os ventos predominantes são provenientes de NE, mas durante o outono e inverno, os ventos que sopram no sentido NE e são perturbados pela entrada dos ventos S, SE e SW que trazem as frente frias (TURQ et al., 1999).

A corrente predominante da região é a Corrente do Brasil (CB), que corresponde a uma corrente de contorno oeste e movimenta a Água Tropical (AT) na superfície (temperatura entre 18-27°C e salinidade de 36-37,3; Silveira et al., 2000) compondo o Giro Subtropical do Atlântico Sul (Figura 9). A CB é formada pela bifurcação sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) e flui em sentido Sul acompanhando a borda sul-americana até a região de Confluência Brasil-Malvinas, onde se encontra com a Corrente das Malvinas e se separa da costa (SILVEIRA et al., 2000). Este encontro das duas correntes promove a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), massa de água subtropical fria e rica em nutrientes, com temperaturas entre 6-18°C e salinidade entre 34,5-36,0 (GORDON, 1981; MEMERY et al., 2000; SILVEIRA et al., 2000). Devido a diferença de densidade, a ACAS afunda e flui em sentido inverso abaixo da Corrente do Brasil por influência da Água Intermediária Antártica (AIA). Na região de Cabo Frio, ela ocupa regiões profundas na plataforma (BELÉM et al., 2013). A mistura entre as águas tropicais e subtropicais (AT e ACAS) origina a Água Costeira (AC), massa d'água que na região de Cabo Frio está sob influência de águas continentais provenientes especialmente do rio Paraíba do Sul e Baía de Guanabara.



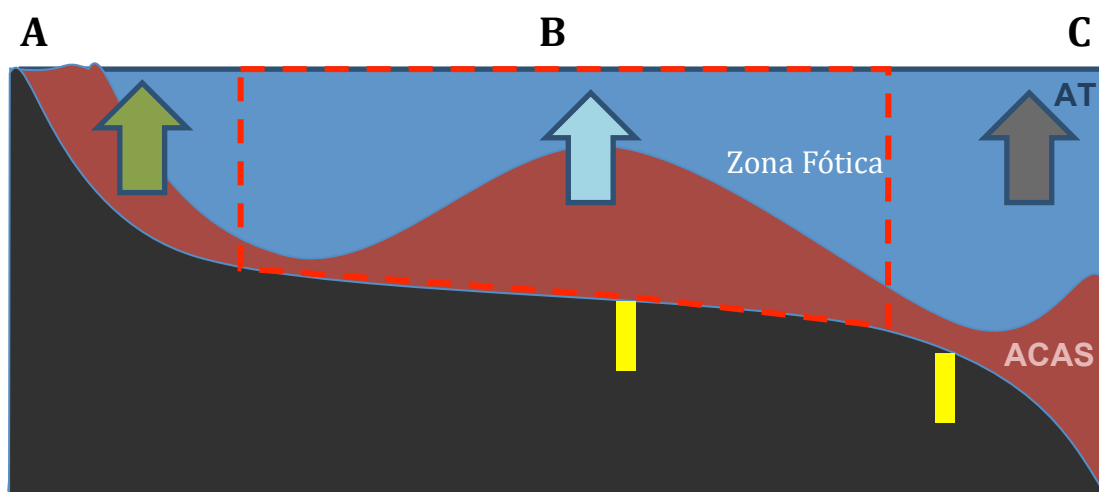
**Figura 9** – Representação da circulação superficial do Atlântico Sul.  
 Fonte: STRAMMA; ENGLAND, 1999.

O afloramento das águas frias e nutritivas da ACAS gera um aumento da produtividade primária da região, definindo então o processo de ressurgência costeira. No entanto, além da obrigatoriedade da ocorrência de ventos NE, outros fatores são de suma importância para o processo, tais como: (1) abrupta mudança da linha de costa de NE-SW a E-W, resultante da ruptura entre África e América do Sul que ocorreu no Cretáceo (MOHRIAK; BARROS, 1990), exibindo na topografia de fundo, isóbatas que seguem a linha de costa (CARBONEL, 2003); (2) plataforma estreita, onde a Corrente do Brasil, ao se aproximar de Cabo Frio, é ciclonicamente girada para as proximidades da quebra de plataforma, originando assim os meandros (SILVEIRA et al., 2000). Quando em condições de ventos NE intensos, os meandros reforçam o efeito da ressurgência costeira, devido à instabilidade baroclínica gerada pelo contato da CB com águas ressurgidas (CALADO et al., 2010).

O Sistema de Ressurgência de Cabo Frio (SRCF), segundo Belém et al. (2013), é formado por três compartimentos de diferentes características oceanográficas (Figura 10):

- Plataforma Interna – compartimento dominado pelo transporte de Ekman que produz ressurgência costeira.

- Plataforma média – compartimento relacionado aos processos de divergente dos ventos, ocasionando a intrusão intermitente da ACAS na zona fótica.
- Plataforma externa – compartimento dominado pelo deslocamento da frente interna da Corrente do Brasil, onde uma vez *offshore* gera a ascensão esporádica da ACAS na zona fótica e a indução da ressurgência de quebra de plataforma.



**Figura 10** – Modelo conceitual perpendicular à batimetria da plataforma de Cabo Frio, representando os processos oceanográficos da plataforma interna (A), plataforma média (B), plataforma externa (C) e as massas d'água Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Setas indicam os diferentes processos oceanográficos de soerguimento das águas de fundo na zona fótica. Retângulos amarelos representando os testemunhos estudados na plataforma média (KCF10-09A) e externa (KCF10-01B).

Além dos aspectos oceanográficos físicos e climáticos citados, a plataforma de Cabo Frio esteve sob forte influência das variações Quaternárias do nível do mar. Eventos transgressivos e regressivos influenciaram o processo evolutivo e paleoceanográfico da região costeira do Rio de Janeiro durante o Holoceno e Pleistoceno, assim como o retratam Turcq et al. (1999); Martin et al. (2003); Castro et al. (2014).

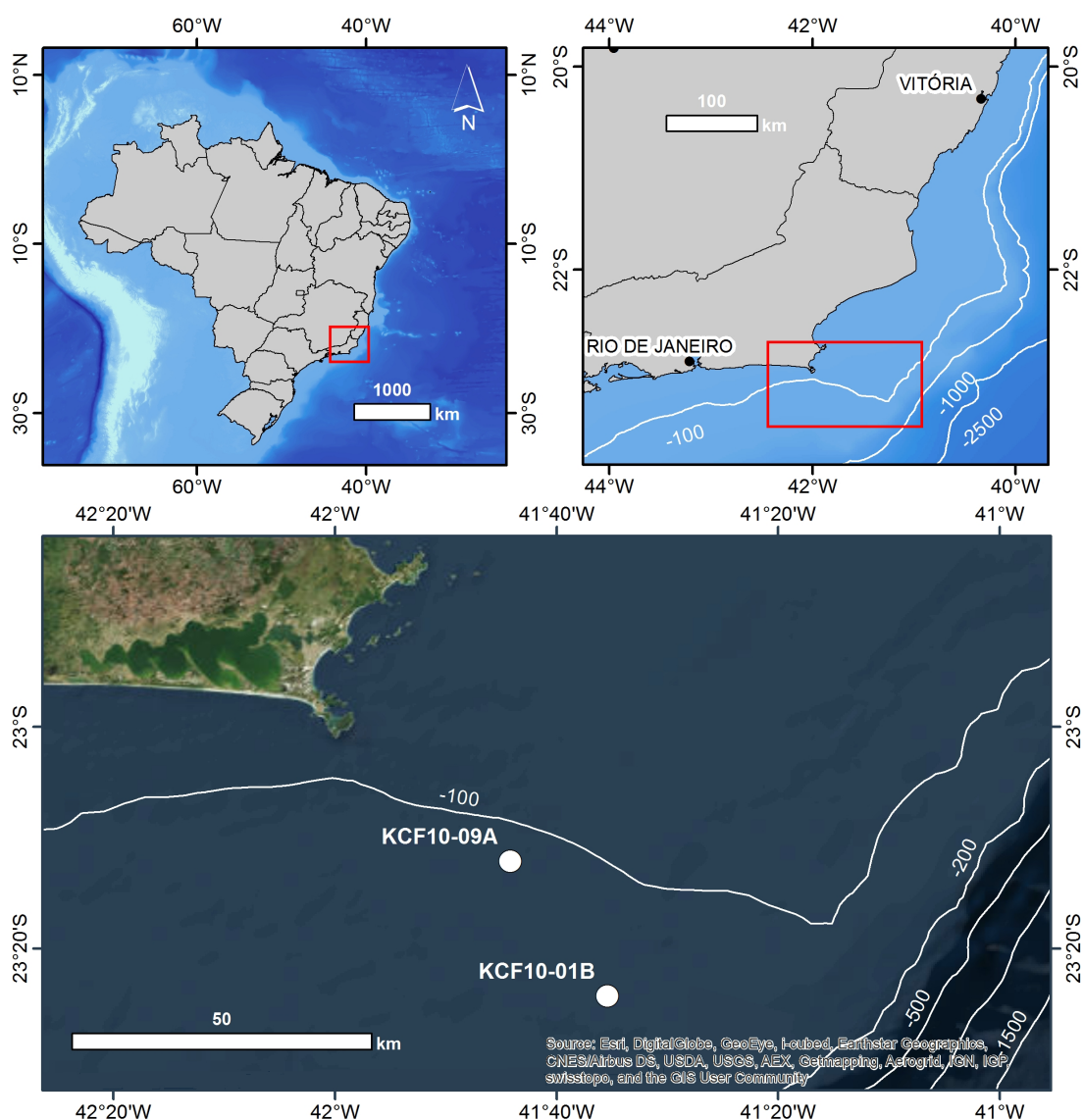
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 COLETA E AMOSTRAGEM

Durante o cruzeiro no navio *Ocean Surveyor* realizado em Janeiro de 2010, foram coletados testemunhos longos do tipo *Kullenberg* na Bacia de Campos. Foram estudados dois dos testemunhos longos nomeados KCF10-01B e KCF10-09A, coletados em diferentes profundidades (128m e 117m, respectivamente) e recuperados em diferentes tamanhos, de acordo como mostra a Tabela 2 e Figura 11.

**Tabela 2 – Localização e descrição dos testemunhos sedimentares marinhos estudados nesta tese de doutorado**

Testemunho	Plataforma	Lat–Long	Profundidade (m)	Recuperação (cm)
KCF10-01B	Externa	23°24'14"S 41°35'27"W	128	383
KCF10-09A	Média	23°12'05"S 41°44'13"W	117	402



**Figura 11** – Mapa da área de estudo com a localização dos testemunhos abordados neste trabalho.

Após a coleta, os testemunhos foram abertos e descritos visualmente (quanto à cor, tamanho de grão e demais feições presentes) no Laboratório de Oceanografia Observacional e Paleoceanografia da Universidade Federal Fluminense. Os testemunhos foram amostrados a cada centímetro e as amostras armazenadas em câmara refrigerada na própria universidade.

## 4.2 SEDIMENTOLOGIA E CRONOLOGIA

### 4.2.1 Granulometria

Para as análises sedimentológicas de tamanho de grão, a resolução empregada foi de 5cm. Em cada amostra de sedimento de 15g, 50ml de ácido clorídrico (HCl) 1N foram adicionados. Após a etapa de descarbonatação, 15ml de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foram adicionados à 2g da amostra descarbonatada para que ocorresse a decomposição do material orgânico na fração. Quando a efervescência foi completa, a amostra foi lavada e foram adicionados 30ml de solução hexametáfosfato de sódio 4% e, após agitadas por 24 horas, as amostras foram lidas no aparelho CILAS 1064 para a separação do sedimento em diferentes frações de tamanho e os resultados obtidos organizados no *software* Gradistat e representados em porcentagem.

Para auxiliar no entendimento da dinâmica da corrente de fundo, o *proxy* de porcentagem de *Sortable Silt* foi aplicado nesta tese. A fração *sortable silt* (fração de silte entre 10–63µm) é considerada um *proxy* de intensidade de paleocorrentes devido os grãos dessa fração serem transportados em correntes de velocidade entre 5–10cm/s. Grãos menores que 10µm são tão coesivos quanto argilas, não sendo bons indicadores de paleocorrentes (MANGHETTI; MCCAVE 1995; MCCAVE et al., 1995). Adaptado de McCave et al. (2008), a equação leva em consideração a porcentagem da fração de grãos com tamanho entre 8–63 µm e menores que 8µm:

$$SS\% = \sum fS \times fST^{-1},$$

Onde SS% é o *proxy sortable silt* expresso em porcentagem, fS a porcentagem da fração entre 8–63µm e fST a porcentagem da fração menor que 63µm, a fração silte total.

Os valores de densidade sedimentar dos testemunhos foram obtidos por meio de perfilagem dos testemunhos fechados em *GEOTEK Multi-Sensor Core Logger* (MSCL) a cada 0,5cm, permitindo a aquisição de dados geofísicos sem a alteração do testemunho.



### 4.2.2 Geoquímica do Sedimento

Os teores de carbono orgânico total (COT), razão carbono/nitrogênio (C/N) e  $\delta^{13}\text{C}$  foram mensurados em 0,01g de amostras de sedimento descarbonatadas e maceradas em graal de ágata. As amostras foram encaminhadas em cápsulas de estanho para o Laboratório de Isótopos Estáveis da Universidade de Davis (EUA), sendo mensuradas em analisador elementar PDZ Europa ANCA-GSL acoplado a espectrômetro de massa de razão isotópica 20-20 PDZ Europa (SERCON Ltd., Cheshire UK).

O fluxo de carbono orgânico (Corg) foi mensurado por meio da equação abaixo, onde TS é a taxa de sedimentação e DE é a densidade:

$$\text{Fluxo Corg (mg.cm}^{-2}\text{.ano}^{-1}) = \text{TS (cm.ano}^{-1}) \times \text{DE (g.cm}^{-3}) \times \text{COT (mg.g}^{-1})$$

### 4.2.3 Cronologia

Modelos cronológicos dos dois testemunhos estudados foram elaborados por meio de datação de amostras de material orgânico. Um total de 20 amostras do testemunho KCF10-01B e 13 amostras do testemunho KCF10-09A representativas do início e fim das diferentes deposições sedimentológicas observadas visualmente ao longo dos testemunhos foram analisadas ao longo de cada perfil sedimentar e as taxas de sedimentação foram inferidas para cada centímetro dos testemunhos. Um efeito reservatório de  $8 \pm 17$   $^{14}\text{C}$  anos (ANGULO et al., 2005) foi considerado na calibração das amostras (curva *Marine 09*) e modelos cronológicos criados no pacote *Clam* (BLAAUW, 2010) do *software R*. Os modelos cronológicos criados serão mostrados nesta tese no início das partes B (referente ao testemunho KCF10-01B) e C (testemunho KCF10-09A).

## 4.3 MICROPALAEONTOLOGIA

### 4.3.1 Técnica de amostragem e identificação

Um volume de  $10 \text{ cm}^3$  de sedimento de cada amostra foi lavado em peneira de abertura de malha  $63\mu\text{m}$  e, sempre que necessário, uma solução defloculante de

hexametáfosfato (35,4g/l) e sódio carbonato anidro (7,94g/l) – Calgon – foi adicionada ao procedimento. Posteriormente as amostras foram secas em estufa à 40°C, para que o processo de triagem em estereomicroscópio fosse efetuado. Para facilitar o processo de triagem dos organismos as amostras foram quarteadas em 5 ou 6 partes iguais. As sub-amostras foram dispersas em uma placa quadriculada e identificados os primeiros 300 foraminíferos bentônicos encontrados. Segundo (SCHRÖDER et al., 1987), este número pode ser considerado estatisticamente representativo da riqueza da amostra. Frações de foraminíferos maiores que 63µm foram consideradas nas análises para que não houvesse perda de espécimes importantes (SCHRÖDER et al., op. cit.).

A classificação taxonômica das espécies foi baseada em Jones (1994), Loeblich e Tappan (1988) e também em outras publicações de referência (TINOCO, 1955; HOLBOURN et al., 2013). Após a identificação, a abundância de cada uma das espécies da sub-amostra foi estimada para a amostra total.

As espécies mais representativas foram selecionadas para a obtenção de imagens em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), ilustrando-se assim a classificação utilizada para os principais organismos que estão representados no Apêndice 2.

#### 4.3.2 Paleoecologia

Posteriormente à identificação de espécies e estimativas para a amostra total, índices ecológicos foram aplicados a fim de auxiliar na caracterização paleoambiental da plataforma de Cabo Frio. Vários índices e *proxies* foram aplicados a fim de avaliar a dinâmica do ambiente e comparar a robustez dos parâmetros.

O número total de indivíduos de cada espécie (abundância) foi calculado por meio da estimativa de espécies contadas da fração quarteada para o volume total (10cm<sup>3</sup>) de sedimento, de acordo como mostra a equação abaixo:

$$A = N \times Q / V ,$$

onde A representa a abundância de espécies, N o número de foraminíferos na fração quarteada, Q a fração de quarteamento e V o volume de sedimento

lavado. A fim de comparação dos resultados obtidos com outros trabalhos, a abundância total foi estimada para 10cm<sup>3</sup> de volume de sedimento.

A representação das populações de foraminíferos foi preferencialmente realizada por meio do fluxo de espécies, removendo-se assim o efeito de diluição causado pela variação da taxa de sedimentação (ANDERSON; PRELL, 1993) e a influência da abundância relativa de uma espécie em relação a outra (NAIDU; MALMGREN, 1995; NAIDU, 2007). Além disso, foi calculada a riqueza ( $S$ = número total de espécies) e a diversidade Shannon-Wiener ( $H' = -\sum(p_i \cdot \ln p_i)$ ); onde  $\ln$  é o logaritmo neperiano e  $p_i$  é a probabilidade do indivíduo pertencer a espécie  $i$  ( $i$  variando de 1 a  $S$ )) (SHANNON, 1948).

Outros índices paleoecológicos específicos para foraminíferos bentônicos foram utilizados para determinação da variação de produtividade e oxigenação. Entre eles:

1) *Benthic Foraminifera Accumulation Rate* (BFAR): a taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos é baseada na equação de Guichard et al. (1997), que indica a variação da paleoprodutividade local:

$$BFAR = T_x \times TS$$

onde  $T_x$  é o número total foraminíferos e  $TS$  a taxa de sedimentação da amostra. O resultado é expresso em ind.cm<sup>-2</sup>.kyr<sup>-1</sup>.

2) *Infaunal Calcareous Benthic Foraminifera* (ICBF): o índice de foraminíferos bentônicos calcários infaunais estabelece uma relação entre a produtividade e os diferentes tipos de carapaça de foraminíferos. Devido a abundância de testas hialinas estar positivamente relacionada ao fluxo de material orgânico, a somatória da porcentagem das espécies calcárias de infauna foi inferida como parâmetro de comparação a demais índices de produtividade. Segundo Zhang et al. (2007), a utilização de indivíduos calcários se justifica pela fácil decomposição do cimento orgânico das carapaças aglutinantes em ambientes oxigenados, mostrando assim um pobre potencial de preservação.

3) *Benthic Foraminifera Dissolved-Oxygen Index* (BFOI): o índice de oxigênio dissolvido de foraminíferos bentônicos, segundo Kaiho (1999) utiliza espécies descritas em literatura como indicadoras de diferentes condições de oxigenação na equação:

$$\text{BFOI} = [\text{O}/(\text{O}+\text{D})] \times 100 ,$$

onde O representa a somatória de espécies indicadoras de ambientes óxicos e D, a somatória das espécies indicadoras de ambientes disóxicos.

Em condições de que O é menor do que 0 (ausência de espécies óxicas), a equação pode ser adaptada a:

$$\text{BFOI} = \{[\text{S}/(\text{S}+\text{D})]-1\} \times 50 ,$$

onde S representa a somatória de espécies subóxicas e D, a somatória das espécies indicadoras de ambientes disóxicos.

Segundo Kaiho (1999), as seguintes espécies podem ser consideradas indicadoras de três condições de oxigenação ao longo do Holoceno:

- Óxicas: espécies maiores que 350µm, parede grossa e epifaunais em condições de água de fundo oxigenada: *Cibicides* spp., *Cibicidoides kullenbergi*, *Globocassidulina subglobosa*, *Quinqueloculina* spp., *Triloculina* spp.

- Subóxicas A: espécies do grupo óxico, mas com tamanho menor que 350µm.

- Subóxicas B: incluem as espécies *Alabaminella* spp., *Dentalia* spp., *Fissurina* spp., *Lagena* spp., *Lenticulina* spp., *Melonis* spp., *Nonion* spp., *Oridorsalis* spp., *Pullenia* spp., *Trifarina* spp., *Uvigerina* spp.

- Disóxicas: organismos de parede fina, alongadas, achatadas e infaunais em condições de água de fundo oxigenadas: *Bolivina* spp., *Fursenkoina complanata*.

4) Razão imperfurados/perfurados (IM/PE): em ambientes sem maiores dissoluções de carbonato, a razão de indivíduos sem poros e com poros também pode ser utilizada na reconstrução da paleoxigenação, considerando a baixa taxa de

estabelecimento de espécies sem poros (calcários porcelanáceos) em condições de baixa oxigenação de águas de fundo (DIESTER-HAASS, 1985).

5) Razão infauna/epifauna (IN/EP): assim como sugerido por Schmiedl e Leuschner (2005), a razão infauna/epifauna (IN/EP) foi aplicada neste trabalho como indicativo da produtividade e oxigenação de ambientes profundos. Para a elaboração da razão IN/EP, a razão da somatória das espécies classificadas como infaunais (profundidade de vida no sedimento maior que 0,5cm) e das espécies epifaunais (profundidade menor que 0,5cm) foram consideradas, seguindo o trabalho de Burone et al. (2011). Algumas espécies foram descartadas da classificação devido à ausência de informações ecológicas.

A biometria de indivíduos da epifauna e infauna do testemunho KCF10-01B foi realizada como parâmetro de intensidade/duração dos eventos de produtividade na plataforma (NAIDU, 2007). As espécies *Globocassidulina subglobosa* (espécie indicadora de fitodetritos) e *Uvigerina peregrina* (espécie indicadora de produtividade) foram empregadas. Para tal, as medidas de tamanho do maior e menor eixo de 30 testas de cada uma das espécies foram mensuradas para cálculo de área das testas.

#### 4.4 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DE FORAMINÍFEROS

Para as análises isotópicas de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ , foram amostrados no mínimo 15 testas de foraminíferos bentônicos maiores que 150 $\mu\text{m}$ . As espécies selecionadas para análise foram baseadas na abundância ao longo do testemunho, sendo *Cibicides kullenbergi* e *Uvigerina peregrina* no testemunho KCF10-01B e *U. peregrina* no testemunho KCF10-09A.

No laboratório LOOP/UFF, foi realizada a limpeza das amostras em metanol e processamento em ultrassom por 30 segundos. O sobrenadante foi retirado para remoção de partículas. Após a secagem, as amostras foram encaminhadas para UC Davis Stable Isotope Laboratory, na Universidade da Califórnia, para análises em SIRMS. Com precisão de 0,03 e 0,07% para o  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  respectivamente, os dados foram calculados a Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) utilizando o padrão de calcita NBS-19.

#### 4.5 INTEGRAÇÃO DE DADOS

A integração paleoecológica, sedimentológica, isotópica e geoquímica dos dados obtidos nos testemunhos KCF10-01B e KCF10-09A foi realizada por meio de análises estatísticas univariadas e multivariadas.

Para a comparação dos grupos amostrais isotópicos relativos à distinção de habitat das espécies *Cibicides kullenbergii* e *Uvigerina peregrina* do testemunho KCF10-01B, utilizou-se análise univariada não-paramétrica, uma vez que a não normalidade dos dados foi constatada pelo teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,694$ ;  $p < 0,0001$ ). O teste de Mann-Whitney foi aplicado para comparar a ausência ( $H_0$ ) ou a presença ( $H_1$ ) da diferença isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  entre as espécies de epifauna e infauna.

No auxílio da integração das variáveis obtidas em cada testemunho, o teste de Correlação não-paramétrico de Spearman foi utilizando, possibilitando o cálculo do coeficiente de correlação em matriz de dados, auxiliado na identificação da relação entre os pares de variáveis analisados.

Buscou-se também analisar múltiplas variáveis simultaneamente, para a identificação de padrões de interdependência entre a esfera biológica, geoquímica e sedimentológica.

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada para a transformação do conjunto de variáveis, e, para tal, a padronização pelo coeficiente de Pearson (transformação à valores de  $z$ ) foi realizada. As variáveis de maior correlação de cada compartimento estudado foram selecionadas para compor a matriz de dados da ACP. A seleção dos autovalores significativos foram realizados pela regra de Kaiser, escolhendo-se os vetores de maior peso ou significância.

Já a Análise de Agrupamento foi aplicada para o agrupamento de descritores ecológicos (modo R) por meio de coeficiente de associação por similaridade. As espécies de maior importância de cada testemunho estudado foram agrupadas pelo método *Unweighted Pair-Group Average* (UPGMA), que calcula a similaridade média entre a espécie que pretende-se incluir em um grupo e cada espécie já pertencente ao grupo. Assim, as espécies pertencentes ao mesmo grupo possuem as maiores similaridades médias entre elas.

Para a identificação das variabilidades temporais e níveis de significância, as variáveis paleoecológica e isotópica BFAR e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Cib}}$  foram analisados pelo método

de análise espectral Redfit e análise de espectro cruzado. As análises espectrais possibilitam a identificação de periodicidades, onde a tendência dos dados é eliminada e a variabilidade é analisada por meio de um algoritmo do periodograma de Lomb para série de dados espaçados. A análise espectral Redfit inclui ainda um método de sobreposição de segmentos da série temporal chamado de modelo *red noise* (AR1) que substitui a interpolação de dados, reduzindo os pontos de baixa frequência que podem aumentar o tamanho do espectro estimado por meio de análises Monte Carlo (1000 repetições) (SCHULZ; MUDELSEE, 2002). Por fim, as séries escolhidas foram confrontadas pela análise espectral cruzada, método que propicia a comparação das periodicidades em comum entre as duas séries temporais, onde as periodicidades superiores ao *white noise* de 95% são consideradas significativas.

As análises estatísticas univariadas e multivariadas expostas neste trabalho foram realizadas no *software* XLStat. Já a análise espectral Redfit e de espectro cruzado foram realizadas nos *softwares* Past (HAMMER et al., 2001) e Spectrum (SCHULZ; STATTEGGER, 1997).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DO TESTEMUNHO KCF10-01B (Plataforma Continental Externa)

#### 5.1.1 Modelo Cronológico

Os resultados da datação por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) do material orgânico no testemunho KCF10-01B estão representados na Tabela 3.

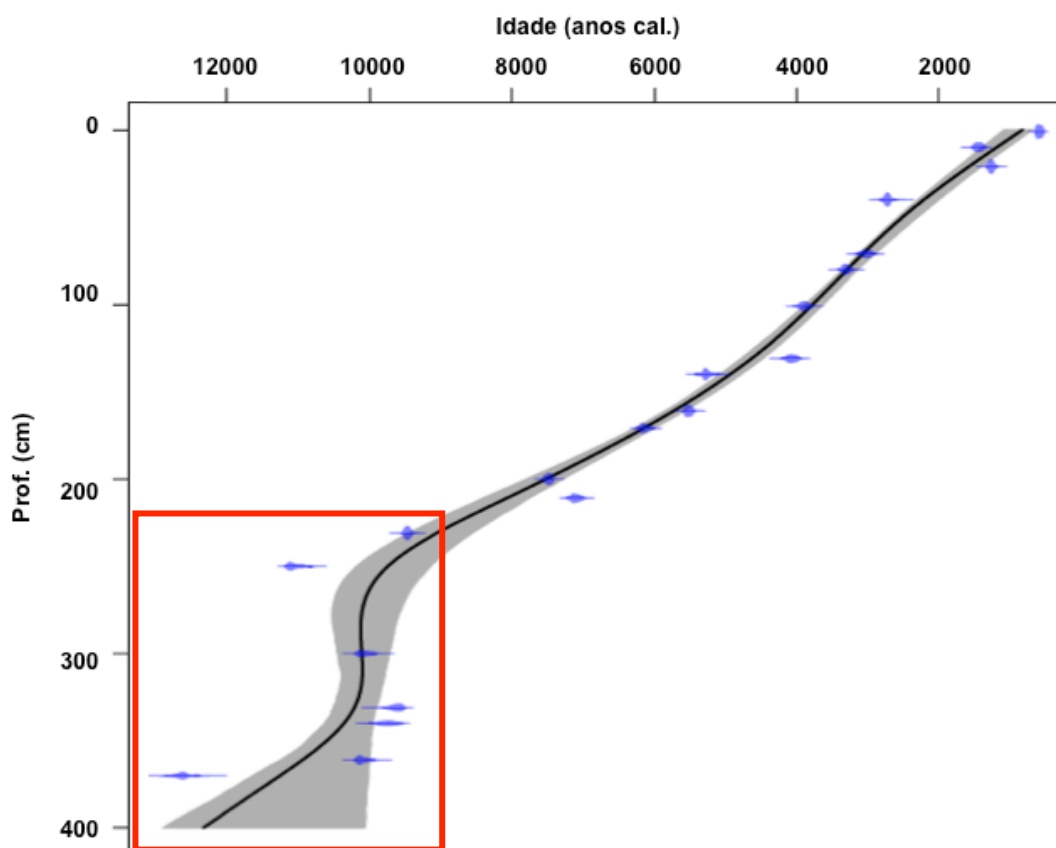
**Tabela 3 – Datações por  $^{14}\text{C}$  do testemunho KCF10-01B, incluindo profundidade das amostras, código do laboratório, material datado, idade convencional e idades calibradas obtidas com o modelo cronológico criado**

Prof. (cm)	Material analisado	Código do laboratório	Idade convencional $^{14}\text{C}$ (anos)	Erro (anos)	Idade Mín. Cal. (anos)	Idade Máx. Cal. (anos)	Intervalo de Confiança (%)
<b>1</b>	MO	AA93441	1030	36	532	655	95
<b>10</b>	MO	AA90740	1910	39	1345	1540	95
<b>21</b>	MO	AA93442	1723	38	1181	1340	95
<b>40</b>	MO	AA89728	2955	48	2606	2841	95
<b>71</b>	MO	AA93443	3218	37	2894	3152	95
<b>80</b>	MO	AA90736	3441	41	3202	3409	95
<b>101</b>	MO	AA93444	3924	38	3780	3783	0,3
					3791	4041	94,7
<b>131</b>	MO	AA93445	4055	39	3952	4212	95
<b>140</b>	MO	AA90738	4941	44	5084	5093	0,9
					5113	5426	94,1
<b>161</b>	MO	AA93446	5156	40	5431	5593	95
<b>171</b>	MO	AA93447	5731	41	6007	6248	95
<b>200</b>	MO	AA90734	6991	48	7408	7565	95
<b>211</b>	MO	AA93448	6592	43	6986	7223	95
<b>231</b>	MO	AA93449	8804	48	9376	9540	95
<b>250</b>	MO	AA89729	10067	59	10804	10859	4,1
					10878	11190	90,9
<b>300</b>	MO	AA90735	9256	56	9896	10203	95
<b>331</b>	MO	AA93450	8963	58	9491	9813	95
<b>340</b>	MO	AA90739	9051	67	9534	9965	93,4
					9973	10000	1,6
<b>361</b>	MO	AA93451	9273	50	9922	10207	95
<b>370</b>	MO	AA89730	11130	110	12376	12878	95

\*MO= Matéria Orgânica

Um modelo cronológico foi criado a partir das datações obtidas, utilizando-se o pacote *Clam* do software *R* (BLAAUW, 2010) (Figura 12).

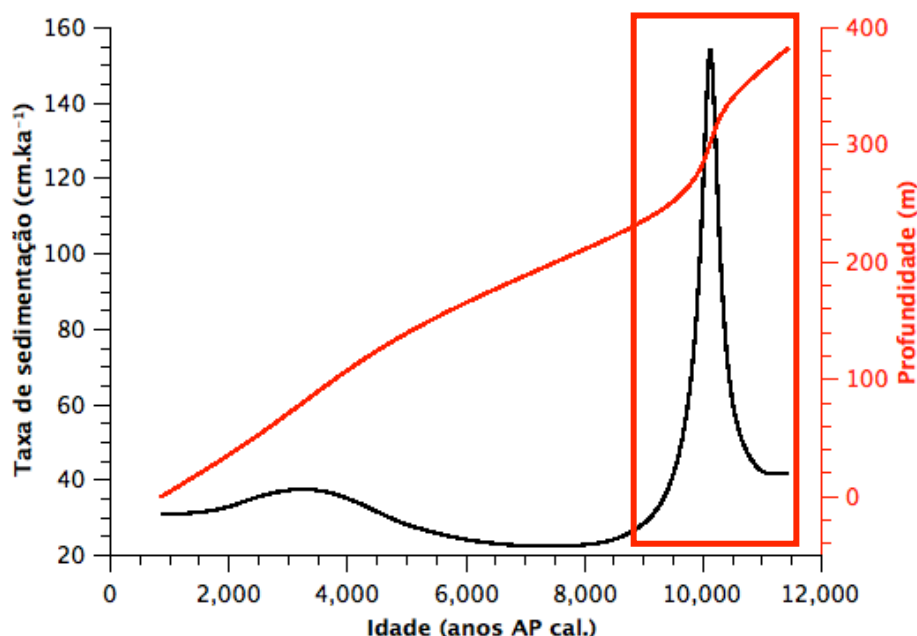




**Figura 12** – Modelo cronológico criado para o testemunho KCF10-01B, onde o eixo X indica a profundidade (em cm) e o eixo Y a datação calibrada (em anos). Os pontos indicam a idade convencional e das barras o intervalo de confiança. A linha preta indica a melhor idade indicada pelo modelo e a área em cinza o erro de interpolação das idades. A área do modelo delimitada pela caixa vermelha indica a presença de inversões no pacote sedimentar.

As taxas de sedimentação variaram entre  $30\text{--}40\text{cm.k}^{-1}$  nos primeiros 130cm do testemunho, entre as profundidades 131–230cm a sedimentação foi de  $22\text{--}29\text{cm.k}^{-1}$ , uma sedimentação de  $26\text{--}39\text{cm.k}^{-1}$  foi observada entre 230–250cm e por fim, na base do testemunho apresentou as maiores variações, onde pode ser encontrada uma taxa de sedimentação variando entre  $40\text{--}153\text{cm.k}^{-1}$  entre 251–382cm (Figura 13). A presença de inversões na datação, desde a base do testemunho até a profundidade 231cm, pode ter ocasionado a superestimação da taxa de sedimentação, gerando assim, incertezas nesta profundidade do modelo criado. Esse fato pode ter ocorrido em resposta às variações do nível do mar no Holoceno Inferior, que esteve entre 60–70m abaixo do nível do mar atual em 11 mil anos AP e entre 32–45m abaixo do nível do mar atual em 8 mil anos AP (CORRÊA, 1996). O término da fase de transgressiva foi entre 5,5–4,5ka anos AP, período da

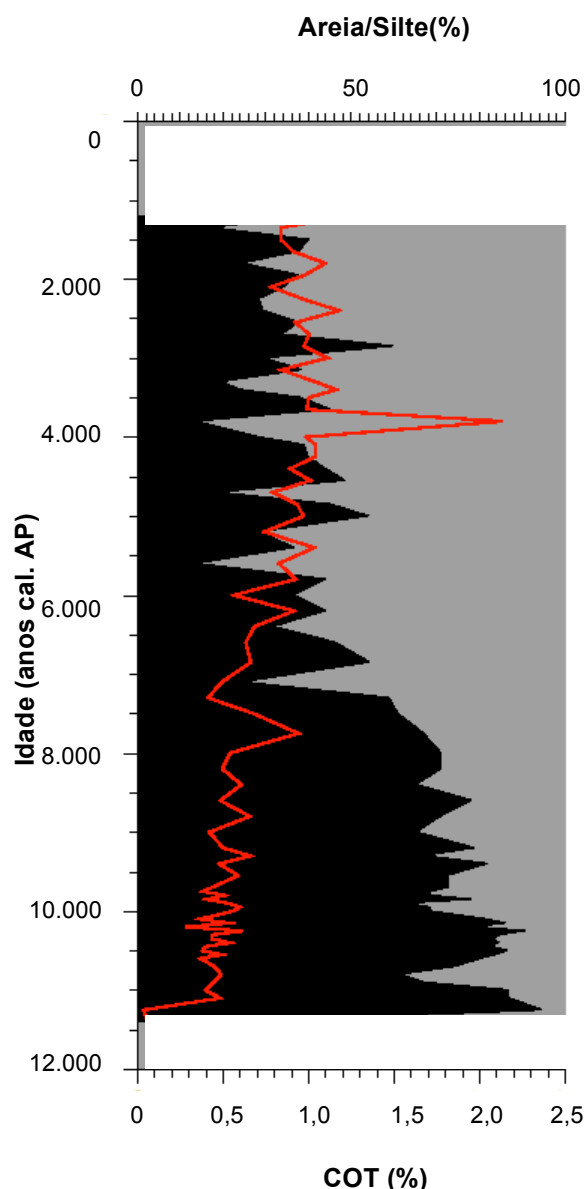
máxima transgressão holocênica, com um nível do mar 2,5m acima do nível atual na região de Cabo Frio (CASTRO et al., 2014).



**Figura 13** – Taxa de sedimentação (preto) e profundidade (vermelho) observada ao longo do testemunho marinho KCF10-01B. A área do modelo delimitada pela caixa vermelha indica a presença de inversões no pacote sedimentar.

### 5.1.2 Sedimentologia e geoquímica do sedimento

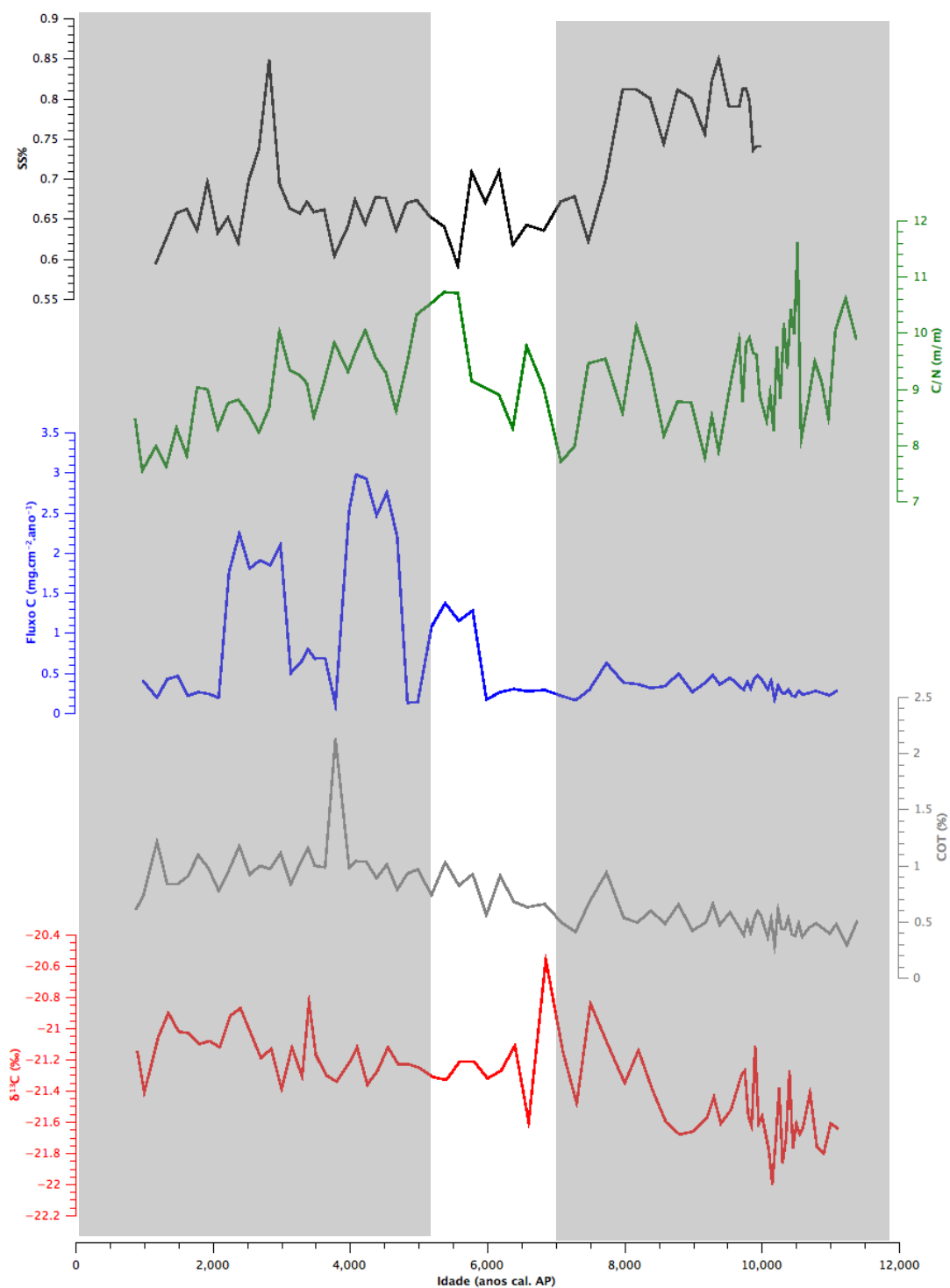
As análises granulométricas do testemunho KCF10-01B mostraram uma composição de areia e silte na plataforma continental externa. As porcentagens de areia variaram entre 13,3–94,32%, mostrando uma média de  $54,71 \pm 22,69\%$  e a composição de silte variou entre 9,73–86,67% e apresentou uma média de  $45,07 \pm 22,19\%$  (Figura 14, Apêndice 8). Um gradual aumento das porcentagens de silte com uma consecutiva diminuição das porcentagens de areia foram observados entre 8–6ka AP, processo relatado por Mendoza et al. (2014) como uma resposta às variações de nível do mar. Segundo esses autores, a areia de origem terrígena é transportada para a plataforma e os sedimentos finos provenientes da Baía de Guanabara e Paraíba do Sul são transportados até a plataforma de Cabo Frio.



**Figura 14** – Teores de areia (preto), silte (cinza) e carbono orgânico total (vermelho) ao longo do testemunho sedimentar KCF10-01B.

Os resultados de SS% mostraram uma tendência de diminuição desde os últimos 10ka AP. Altas porcentagens de SS% (em torno de 0,80%) indicam um ambiente com correntes de fundo mais intensas entre 10–8,0ka AP, período coincidente o baixo de nível do mar. Após 7ka AP, valores menores foram observados (~0,65%), indicando a presença de correntes de menor intensidade neste período. No entanto, um aumento da SS% é observado em 2,7ka AP (0,85%), podendo indicar uma abrupta mudança da velocidade das correntes de fundo pelo aumento do aporte de sedimentos continentais provenientes do rio Paraíba do Sul e da Baía de Guanabara à plataforma de Cabo Frio, mas sem intensidade suficiente a ponto de afetar a comunidade biológica (Figura 15, Apêndice 8). No entanto, um

aumento na resolução granulométrica é necessária para a confirmação desta amostra como um evento abrupto nas massas de fundo.



**Figura 15** – Valores de SS% (preto), razão C/N (verde), fluxo de carbono (azul), COT (cinza) e  $\delta^{13}\text{C}$  (vermelho) do testemunho marinho KCF10-01B.

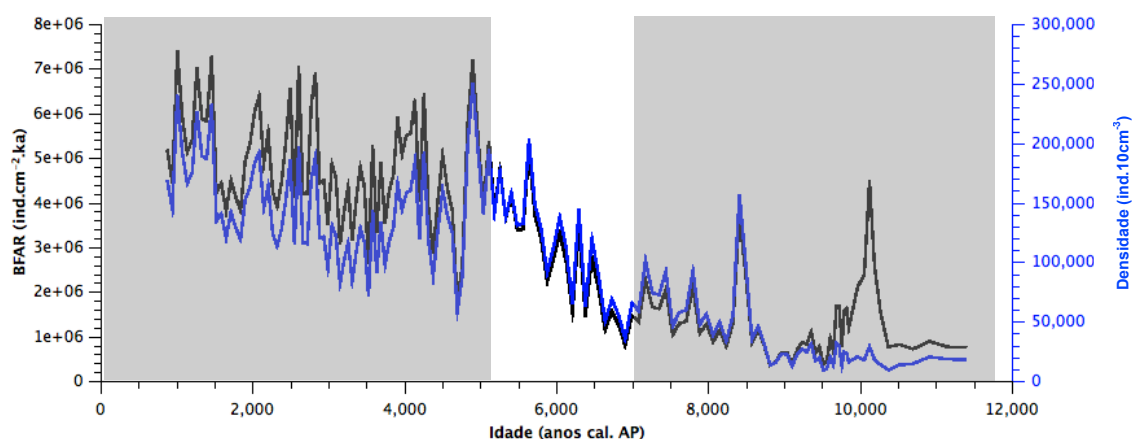
O fluxo de carbono apresentou valores entre  $0,107\text{--}2,979\text{mg.cm}^{-2}\text{.ano}^{-1}$  (Figura 15, Apêndice 8). Dois picos de alto fluxo são observados, um entre 5,0–

4,0ka AP e outro entre 3,0–2,0ka AP. Um outro pico de médio fluxo é observado entre 6,0–5,0ka AP e um baixo fluxo de carbono foi observado em outros períodos. Já o teor de COT apresentou valores entre 0,3–2,13%, com média de  $0,70 \pm 0,31\%$  ao longo de todo testemunho (Figura 15, Apêndice 8). A tendência de aumento do COT segue a porcentagem de acúmulo de silte, uma vez que há a alta afinidade com sedimentos finos. Resultados coincidentes foram encontrados por Barbosa e Suguio (1999) e Dias et al. (2014b), que relacionaram o maior acúmulo de COT a sedimentos mais finos com a baixa hidrodinâmica em ambientes mais confinados como os estuários.

As razões molares C/N mostraram-se entre 7,55–11,61 com média de  $9,13 \pm 0,84$  (Figura 15, Apêndice 8). Uma diminuição da razão é vista nos últimos 3ka AP, indicando um aumento na produtividade fitoplanctônica na plataforma. Esse sinal é confirmado pelo  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica (valores entre  $-22,00\text{‰}$  e  $-20,56\text{‰}$ ), que além de mostrar um gradual aumento do sinal isotópico, mostra um valor isotópico mais próximo do sinal fitoplanctônico marinho nos últimos 2,7ka AP.

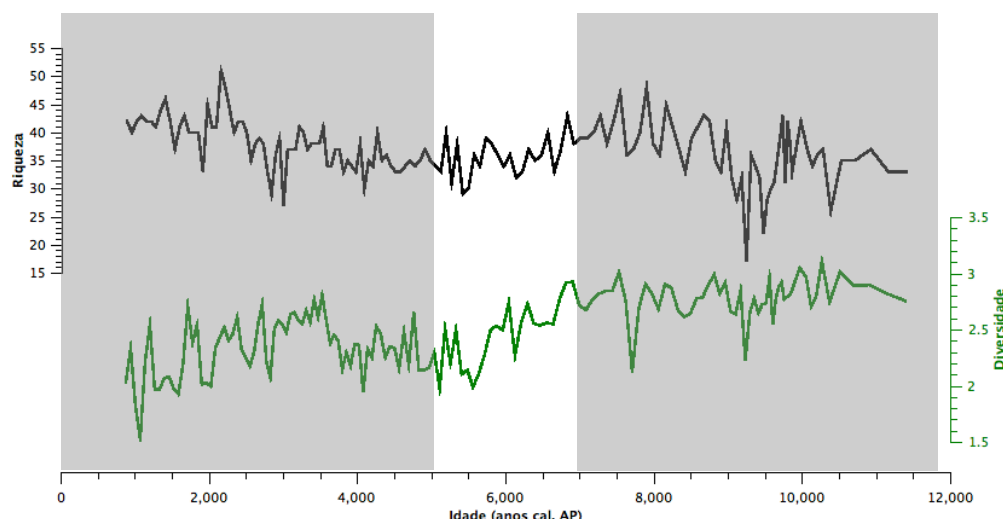
### 5.1.3 Paleoecologia

A densidade total de foraminíferos bentônicos no testemunho KCF10-01B apresentou uma variação entre 9.200 e 251.100 indivíduos por  $10\text{cm}^3$  (Figura 16), apresentando a menor densidade entre o trecho de 11,4ka–6ka AP e a maior densidade entre 6,0ka–0,8ka AP.



**Figura 16** – Densidade total de foraminíferos bentônicos (azul) e taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR) (preto) ao longo do testemunho KCF10-01B.

Foi encontrada riqueza total de 56 gêneros e 105 espécies (Apêndices 1 e 2), e uma riqueza média de 37 espécies de foraminíferos bentônicos por amostra ao longo do testemunho KCF10-01B (Figura 17). Entre as espécies mais representativas estão: *Alabaminella weddellensis*, *Bolivina translucens*, *Bolivina ordinaria*, *Bolivina striatula*, *Bulimina marginata*, *Cibicides kullenbergi*, *Discorbinella bertheloti*, *Discorbis* sp., *Evolvocassidulina bradyi*, *Gavelinopsis* spp., *Globocassidulina subglobosa*, *Islandiella australis*, *Neoeponidis alberii*, *Nonion commune* e *Uvigerina peregrina*. Todos os fluxos destas espécies estão representados na Figura 18 e Apêndice 3. Em conjunto, estas espécies representam um valor médio de 82% do total de espécies em cada amostra do testemunho. Dentre as espécies citadas, as maiores dominância foram obtidas com *G.subglobosa*, *U. peregrina*, *Bulimina marginata* e *Islandiella australis*.



**Figura 17** – Variação da riqueza (preto) e da diversidade (verde) de Shannon ao longo do testemunho KCF10-01B.

A espécie *Globocassidulina subglobosa*, espécie infaunal de pequeno tamanho, fitodetrítica e de ocorrência em sedimentos finos (MURRAY, 2006), apresentou os maiores fluxos em todo o testemunho. Com variação de 12.965,96-4.587.619,34 ind.cm<sup>-2</sup>.ka<sup>-1</sup>, *G. subglobosa* apresentou um fluxo crescente nos últimos 11,4ka e os maiores fluxos a partir de 6ka AP até o topo do testemunho KCF10-01B (Figura 18, Apêndice 3), indicando um maior aporte fitodetrítico neste período. Burone et al. (2011) encontram esta espécie em altas densidades na primeira camada superficial do sedimento da plataforma sudeste brasileira,

indicando também a relação da espécie com episódios de deposição de fitodetritos e rápido consumo do material orgânico na superfície do sedimento. Já Eichler et al. (2008) sugere uma relação da dominância de *G. subglobosa* e o fluxo de águas tropicais, como a massa d'água AT. A dominância desta espécie na plataforma continental também foi constatada no trabalho de Mello e Sousa et al. (2006). No entanto, *G. subglobosa* foi agrupada não somente com outras espécies indicativas de sedimentos arenosos, alto conteúdo de carbono orgânico e valores de fosfato, mas também com ambientes caracterizados pelo baixo fluxo de material orgânico e alta oxigenação, sugerindo uma adaptação da espécie ao baixo conteúdo orgânico, como consequência da ressuspensão do sedimento gerado pelo incremento da velocidade das correntes de fundo. Essa adaptação da *G. subglobosa* a diferentes ambientes não foi constatada por Jian et al. (1999) no mar do sul da China, onde os autores encontraram uma relação independente entre a espécie e o aumento do conteúdo orgânico durante o último glacial. Os presentes resultados sugerem que a oxigenação de águas de fundo pode influenciar no estabelecimento da *G. subglobosa*, indicada nos trabalhos de Nagai et al. (2009); McGann (2011) como espécie indicadora de ambientes subóxicos.

A *Uvigerina peregrina*, espécie de ampla distribuição, hábito detritívoro e ocorrência em sedimentos finos (MURRAY, 2006), é a espécie indicadora global de águas com alto teor de nutrientes. Com variação de 6.672,23 e 724.269,38 ind.cm<sup>-2</sup>.ka<sup>-1</sup>, a espécie mostra a mesma tendência de fluxo de *G. subglobosa*, apresentando um gradual aumento do fluxo de indivíduos entre 8-6ka AP e uma estabilização com fluxo médio de 360.198,17 ind.cm<sup>-2</sup>.ka<sup>-1</sup> de 6-0,8ka AP (Figura 18, Apêndice 3), sugerindo um aumento da composição de orgânicos na plataforma externa. Na literatura, a espécie de ocorrência mundial é descrita como táxon de alta afinidade com o fluxo de carbono orgânico em várias partes do globo, como Mar do sul da China (JIAN et al., 2001; HUANG et al., 2002), Mar Árabe (RAD et al., 1999; SCHMIEDL; LEUSCHNER, 2005), talude sudoeste africano (SCHMIEDL; MACKENSEN, 1997) e plataforma costeira brasileira (NAGAI et al., 2010; VIEIRA et al., 2014). Além disso, é relatada como indicadora de eventos de ressurgência (EICHLER et al., 2008; NAGAI et al., 2009), massas d'água fria, como a ACAS (EICHLER et al., 2014) e depleção de oxigênio nas águas de fundo, mas em concentrações suficientes para a manutenção da comunidade de epifauna e infauna (MURDMAA et al., 2010).

*Bulimina marginata*, espécie de infauna, hábito detritívoro e ocorrência em sedimentos finos e areia fina (MURRAY, 2006), é uma espécie de baixo fluxo entre 11,4-8,8ka AP e fluxo constante (fluxo médio de  $255.418,33 \text{ ind.cm}^{-2}.\text{ka}^{-1}$ ) entre 8-0,8ka AP (Figura 18, Apêndice 3). A presença de *B. marginata* quase sempre é relacionada à baixa diversidade (EICHLER et al., 2008), mas a resposta da espécie à produtividade e oxigenação é conflitante. Nagai et al. (2010); Burone et al. (2011) relacionam a abundância a ocorrência de pulsos de fitodetrítos, todavia, Rad et al. (1999) consideram *B. marginata* como indicadora de baixo fluxo de COT e alta diversidade. Com relação à oxigenação, diferenças interpretativas também ocorrem, onde pode ser descrita como tolerante a baixos níveis de oxigenação (GUICHARD et al., 1997; NAGAI et al., 2009) ou também como indicadora de alta oxigenação de fundo (RAD et al., 1999). Em Cabo Frio, *B. marginata* é tolerante às variações paleoceanográficas das condições de fundo, podendo estar indicando mistura de diferentes tipos de massas d'água.

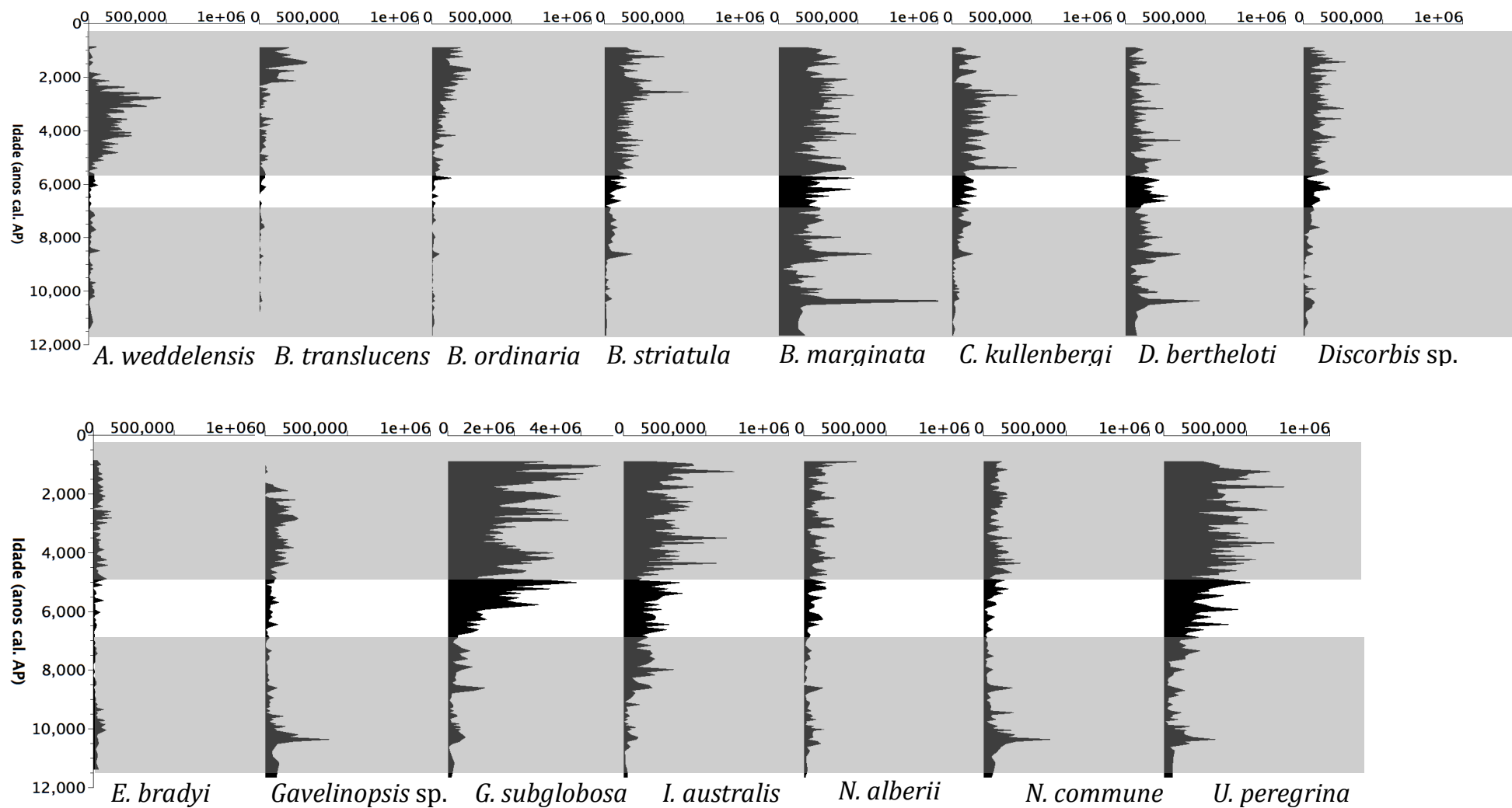
Já a espécie *Islandiella australis*, espécie de infauna, hábito detritívoro e ocorrência em sedimentos finos (MURRAY, 2006), apresentou um gradual aumento do fluxo desde os últimos 9ka AP, com um fluxo médio de  $182.238,41 \text{ ind.cm}^{-2}.\text{ka}^{-1}$  (Figura 18, Apêndice 3). Poucos são os relatos do hábito da espécie na literatura, mas pode ser considerada como gênero de ocorrência em baixas temperaturas por Nagai et al. (2010) e em ambientes de alta produtividade e de pulsos fitodetríticos (WOLLENBURG et al., 2007; GROOT et al., 2014). O gênero *Islandiella* também é relatado como indicador de condições de oxigenação reduzidas por Kender et al. (2010). Neste trabalho a espécie parece corroborar a interpretação de relação com o teor de orgânicos no sedimento, visto a tendência de fluxo similar desta espécie com as espécies indicadoras de produtividade acima citadas.

Considerando o total de foraminíferos, a taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR), apresentou uma variação de 357.000 a  $7.407.453 \text{ ind.cm}^2.\text{kyr}^{-1}$  (Figura 16, Apêndice 5). Uma tendência de aumento da taxa desde 12ka AP é nítida, apresentando as idades 6,0-0,8ka AP a maior taxa de acúmulo, que variou entre 1.762.048 a  $7.407.453 \text{ ind.cm}^2.\text{kyr}^{-1}$ . Esta mesma tendência de aumento do fluxo nos últimos 6ka AP foi observada também nas espécies dominantes comumente referenciadas como indicadoras de pulsos de fitodetrítos, confirmando assim a resposta do BFAR à produtividade. A exceção foi a tendência de fluxo da *Bulimina marginata*, podendo indicar a resiliência da espécie diante da variação de nutrientes

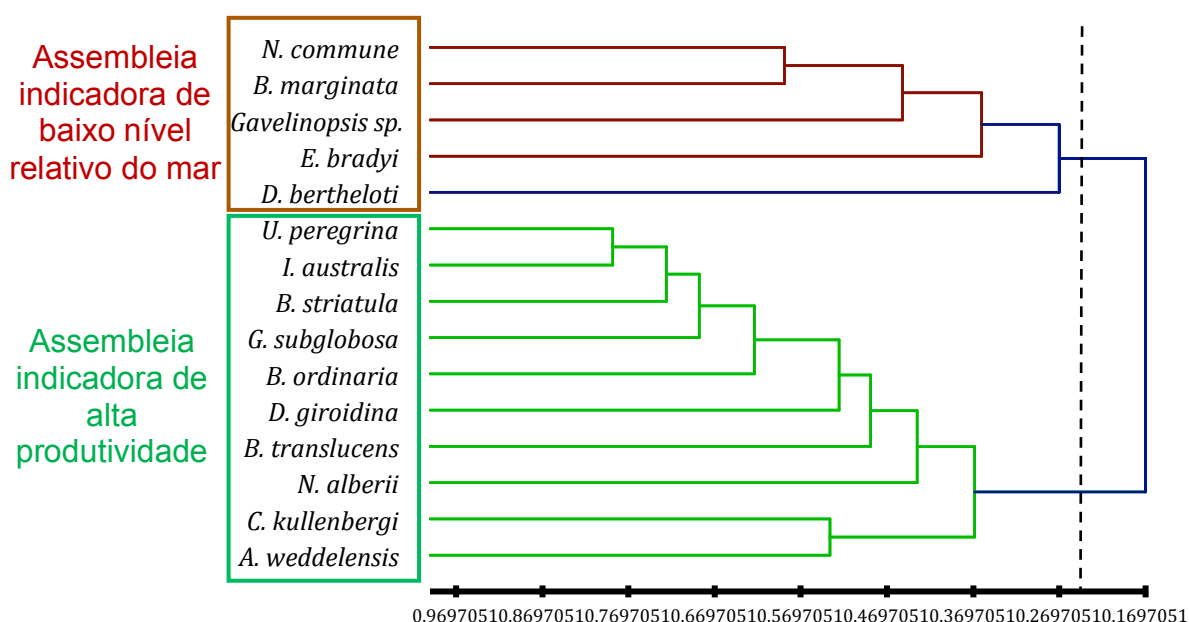


ou a que a espécie está primariamente dependente de outra variável oceanográfica que não foi alterada durante os últimos 9ka AP. Eichler et al. (2013) descreve *B. marginata* como espécie de alta capacidade de adaptação e tolerância às dinâmicas da Frente Subtropical de Plataforma e ao gradiente de temperatura, salinidade e nutrientes ocasionados pela mistura da Água Subantártica de Plataforma e Água Subtropical de Plataforma nos sedimentos da margem continental sul brasileira.

As 15 principais espécies de ocorrência no testemunho KCF10-01B foram integradas em uma análise de agrupamento de similaridade para a determinação das assembleias de foraminíferos bentônicos de Cabo Frio durante o Holoceno pelo coeficiente de similaridade Correlação de Pearson e método de aglomeração *unweighted pair-group average* (UPGA). Duas assembleias foram observadas, sendo: A) Assembleia *Nonion commune*, formada pelas espécies *B. marginata*, *E. bradyi*, *Gavelinopsis* sp., *N. commune* e *Discorbinella bertheloti* e B) Assembleia *Uvigerina peregrina*, formada pelas espécies *A. weddellensis*, *B. ordinaria*, *B. striatula*, *B. translucens*, *C. kullenbergi*, *Discorbis* sp., *G. subglobosa*, *I. australis*, *N. alberii* e *U. peregrina*; e C) *Discorbinella bertheloti* como única representante, separada dos demais grupos (Figura 19). A assembleia *N. commune* é composta por espécies características de ambientes oxigenados, temperaturas mais altas e maior teor de areia dos sedimentos (DULK et al., 1998; RAD et al., 1999; HAYWARD et al., 2004), representando assim as condições de nível relativo de mar mais baixo no Holoceno Inferior, mostrando sensibilidade às rápidas entradas de material orgânico (Figura 18). A assembleia *U. peregrina* foi composta por espécies indicadoras de pulsos fitodetríticos e alto fluxo de carbono orgânico (RAD et al., 1999; JIAN et al., 2001; SCHMIEDL; LEUSCHNER, 2005; MURDMAA et al., 2010) e condições oxigenadas (SCHMIEDL; MACKENSEN, 1997; DULK et al., 1998; HUANG et al., 2002; MCGANN, 2011). Todas estas espécies mostram um aumento do fluxo de indivíduos durante o Holoceno Médio e Superior.



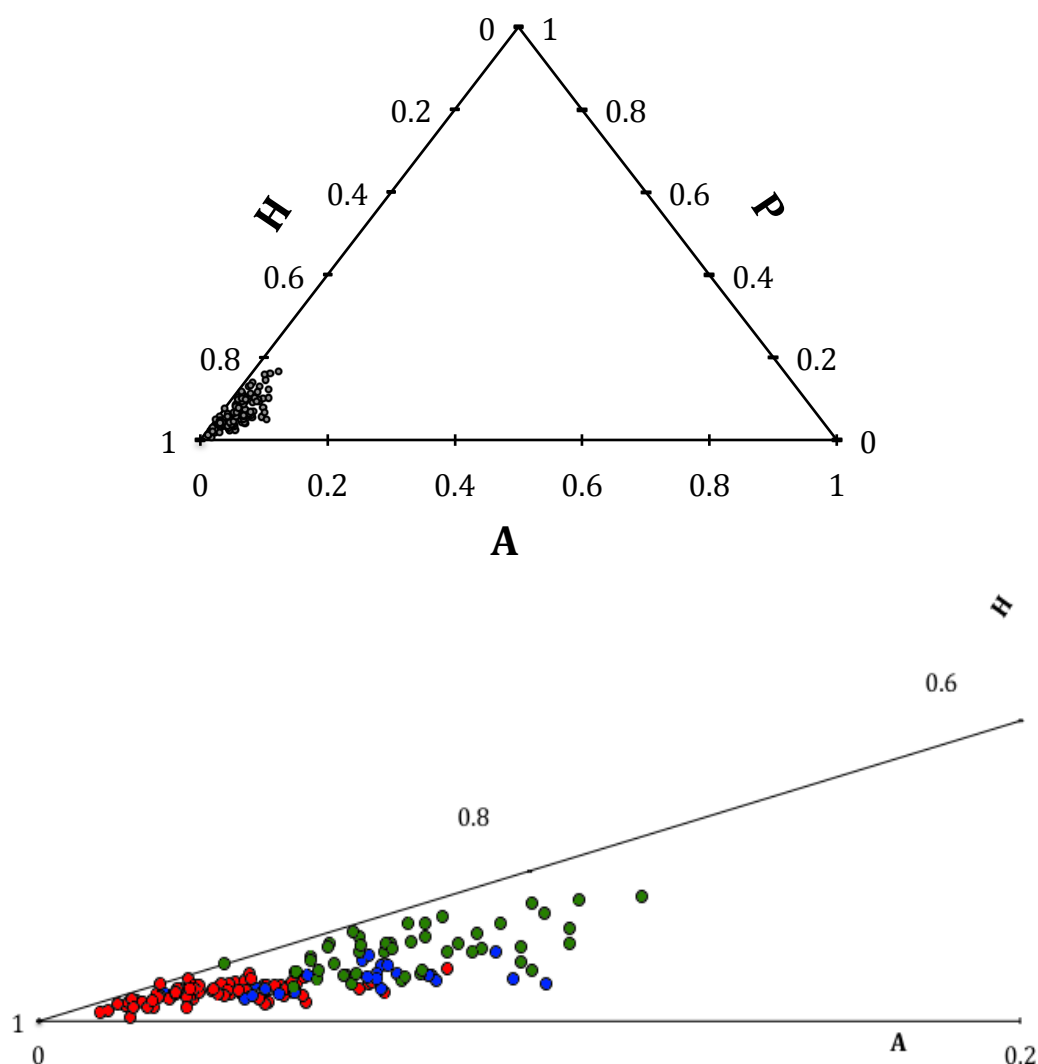
**Figura 18** – Fluxo de indivíduos das espécies de maior representatividade do Holoceno da plataforma continental externa de Cabo Frio, RJ.



**Figura 19** – Análise de agrupamento por similaridade UPGA das principais espécies de ocorrência no testemunho KCF10-01B. A cor marrom representa a assembleia *Nonion commune* e a cor verde representa a assembleia *Uvigerina peregrina*.

A diversidade de Shannon ( $H'$ ) variou entre 1,53 e 3,11, apresentando uma  $H'$  média de  $2,51 \pm 0,31$  ao longo do testemunho. Assim como pode ser observado na Figura 17 e Apêndice 5, uma diversidade menor entre as idades 6,0–0,8ka AP contrapõe a maior diversidade entre 11,6–6,0ka AP. Os menores valores de diversidade são observados entre 2,0–0,8ka AP, o que pode indicar uma mudança desfavorável das águas de fundo à comunidade bentônica.

No testemunho KCF10-01B, estão presentes espécies de três diferentes texturas de carapaças: calcários hialinos, calcários porcelanáceos e aglutinantes, representando a média de 91,5%, 5,9% e 2,4% do total de testas em cada amostra do testemunho, respectivamente (Figura 20). Segundo Zhang et al. (2007), a distribuição das diferentes composições das carapaças dos foraminíferos representa a variação da paleoprodutividade do ambiente em ambientes oceânicos. A baixa representatividade de aglutinantes e a predominância de hialinos indica um ambiente com alta deposição de carbono orgânico. Testas aglutinantes são mais abundantes em ambientes oligotróficos em virtude do cimento orgânico ser mais susceptível à decomposição pelos processos de oxidação em ambientes com maior quantidade de material orgânico.

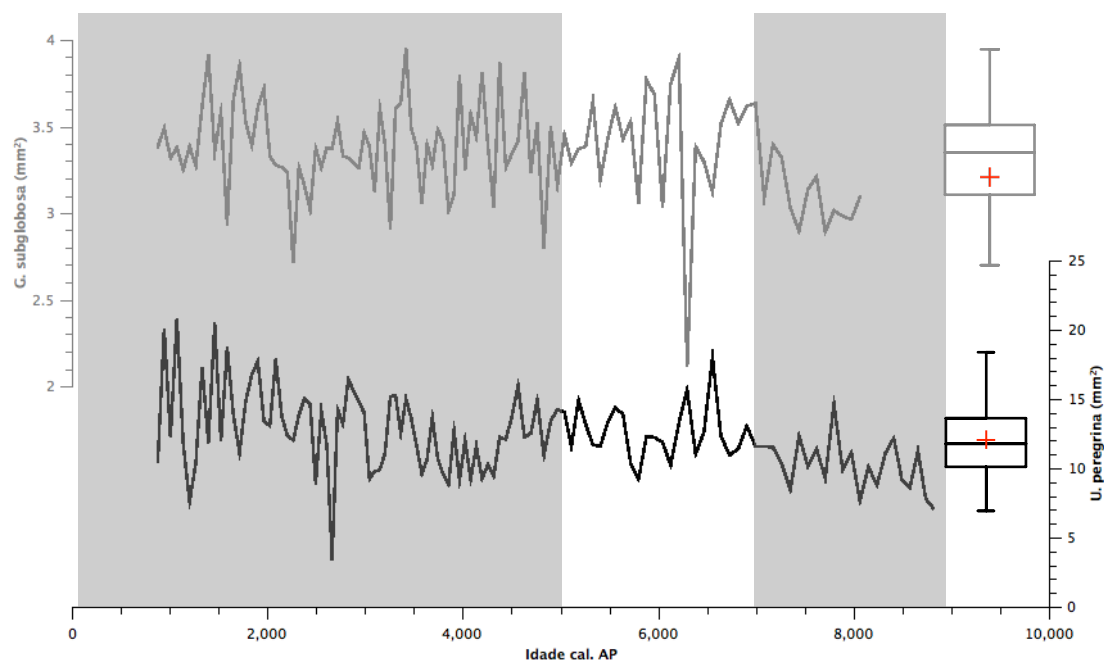


**Figura 20** – Distribuição do total de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-01B por tipo de textura da carapaça em cada amostra, sendo (A) aglutinantes, (H) calcários hialinos e (P) calcários porcelanáceos. Pontos vermelhos representando amostras do Holoceno Superior, azuis representando amostras do Holoceno Médio e verdes representando amostras do Holoceno Inferior.

A abundância de espécies calcárias hialinas de hábito de infauna (índice ICBF) sugere um aumento da produtividade ao longo do testemunho, com valores mínimos e máximos de 49,14% e 91,47%. Entre 11,4-8,0ka AP um baixo índice sugere pouco aporte orgânico ou um material orgânico de baixa qualidade para os foraminíferos. Um gradual aumento e estabilização do ICBF entre 8,0-5,0ka e 5,0-3,0ka AP. Já a partir de 3,0ka AP até o topo, os maiores valores de ICBF são observados, indicando ser o período de maior produtividade ao longo do testemunho (Figura 22, Apêndice 5). Zhang et al. (2007) confirmou a relação do índice ICBF com a paleoprodutividade de uma região de ressurgência no Pacífico equatorial, mas as

porcentagens do índice foram menores que na região de Cabo Frio e variaram entre 50% e 80% naquela região, sugerindo um aporte orgânico maior na plataforma de Cabo Frio em comparação com a área de talude do Pacífico.

A fim de verificar a existência de relação entre a produtividade e o tamanho de foraminíferos bentônicos, a biometria de duas espécies de infauna, *G. subglobosa* e *U. peregrina*, foram empregadas neste trabalho. Com médias de tamanho de  $3,218 \pm 0,568 \text{ mm}^2$  e  $12,365 \pm 2,866 \text{ mm}^2$ , as espécies *G. subglobosa* e *U. peregrina* apresentaram uma tendência de aumento de 8,8ka a 6,0ka AP (Figura 21). A partir dos 6,0ka AP, a *G. subglobosa* parece não ter sofrido mudanças no tamanho dos indivíduos, já a espécie *U. peregrina* apresenta uma diminuição do tamanho 4,5ka-4,0ka AP e um aumento ainda maior entre 4,0ka a 0,8ka AP. Desse modo, pode-se dizer que o tamanho das duas espécies é relacionado ao aumento da produtividade durante o Holoceno Inferior, sendo a espécie *U. peregrina* também sensível ao aumento da produtividade após 4,0ka AP, corroborando os resultados de aumento de tamanho de foraminíferos planctônicos observados por Naidu (2007); Naik et al. (2011) em áreas de ressurgências do Mar Árábico.



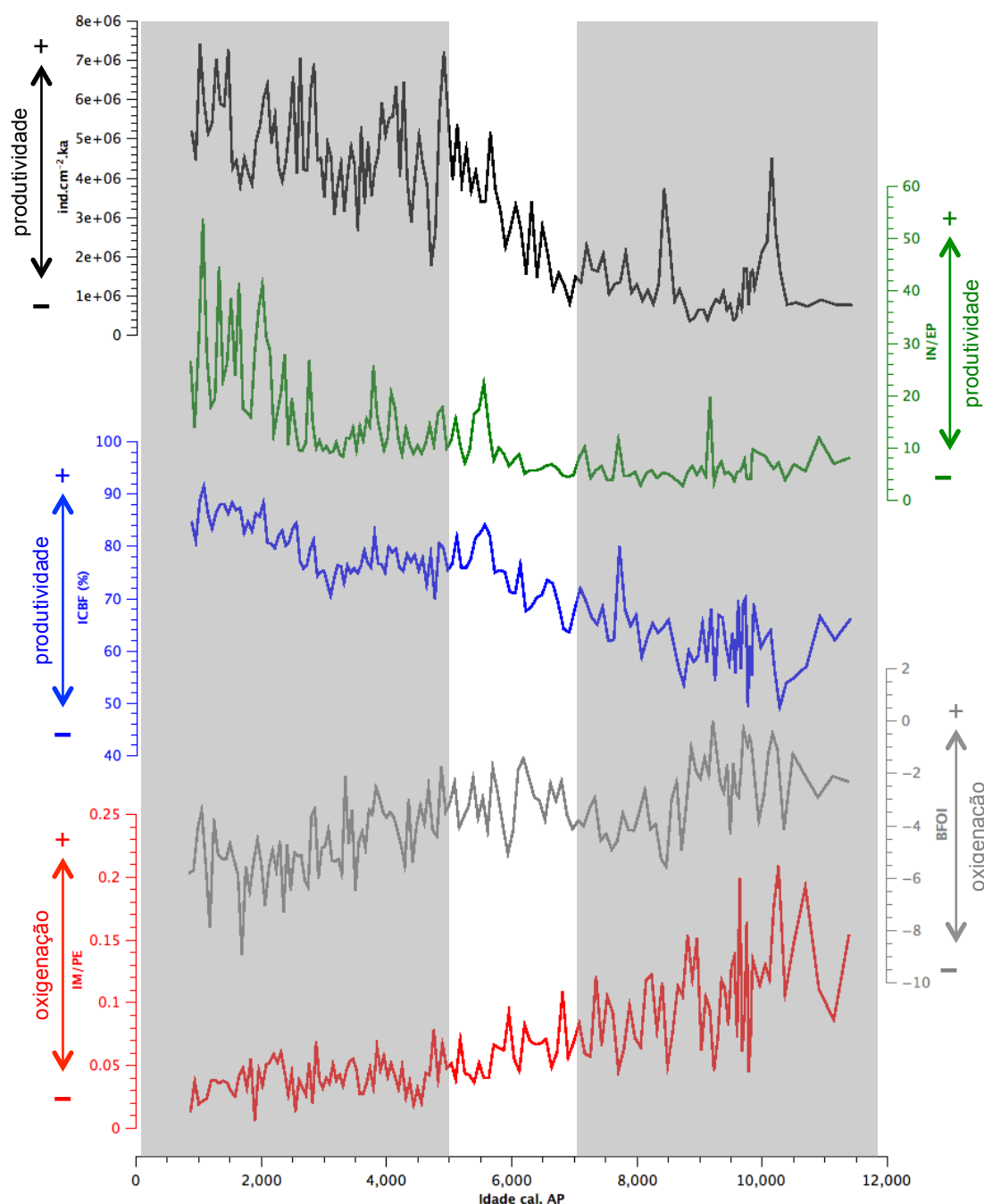
**Figura 21** – Biometria das espécies *Globocassidulina subglobosa* (cinza) e *Uvigerina peregrina* (preto) ao longo do testemunho KCF10-01B, e representação bloxplot dos valores médios (vermelho), medianas, 1º e 3º Quartis e desvio padrão das espécies estudadas.

Partindo para os resultados paleoecológicos de resposta à oxigenação das águas de fundo, uma média de 80,35% de infauna e 20,27% de epifauna foram encontrados. A razão do total de infauna/epifauna (razão IN/EP) foi aplicada e mostrou um resultado acoplado da oxigenação e produtividade. Da base do testemunho até 3,0ka AP a razão é considerada baixa, já a partir dos 3,0ka AP a razão tem um aumento muito expressivo (Figura 22, Apêndice 5). Zhang et al. (2007) também relata para o Pacífico equatorial oeste uma diminuição da oxigenação das águas de fundo durante o Holoceno Superior em virtude do incremento de carbono orgânico, fator que impossibilitou a presença de espécies de epifauna como *C. kullenbergi*, gênero relacionado à alta hidrodinâmica de fundo e oxigenação (SCHMIEDL; MACKENSEN, 1997; DULK et al., 1998; HUANG et al., 2002; MURDMAA et al., 2010; MCGANN, 2011). É possível observar uma diminuição do fluxo de *C. kullenbergi* entre 3,0-0,8ka AP, levando o aumento da razão IN/EP. No entanto, *D. bertheloti*, espécie também considerada como epifauna por Burone et al. (2011), não apresenta variação de fluxo ao longo de todo o testemunho, não contribuindo de maneira efetiva para a razão IN/EP. Esse resultado pode ser relacionado à maior tolerância da espécie aos níveis óxicos e disóxicos das águas de fundo ou devido a maior resiliência da *D. bertheloti* às condições moderadas-altas de carbono no sedimento, assim como sugere Badawi et al. (2005) para a espécie do mesmo gênero *Discorbinella rhodiensis*.

Quanto à razão de foraminíferos imperfurados/perfurados (IM/PE), uma tendência oposta de decréscimo da razão ao longo dos últimos 11,4ka foi observada. Com valores mínimos e máximo de 0,01 e 0,21%, a razão IM/PE mostrou condições mais oxigenadas das águas de fundo entre 11,4-6,0ka AP, devido ao maior número de indivíduos de testas porcelanáceas (imperfurados) (Figura 22, Apêndice 5). Com a presença de somente uma abertura para saída do protoplasma e realização de trocas gasosas, os organismos porcelanáceos não conseguem se estabelecer em ambientes onde a disponibilidade de oxigênio é reduzida (MURRAY, 2006), fazendo com que a razão IM/PE diminua em condições subóxicas.

Corroborando com o resultado mostrado pela razão IM/PE, o índice BFOI mostra uma tendência de dados similar de diminuição da oxigenação do longo do testemunho. Com valores entre 0 e -4,31, o período que compreende 11.400 e 8.800 anos AP mostra condições de água de fundo aproximadamente óxicas. Após

esse período, uma diminuição do índice culminando com valores entre -3,41 e -8,92 nos últimos 2,7-0,8ka (Figura 22, Apêndice 5). Apesar da diferença no índice ao longo do testemunho, Kaiho (1999) considera que valores do BFOI entre 0 e -40 indicam condições subóxicas, indicando uma ligeira mudança da oxigenação das massas de fundo durante o Holoceno na plataforma de Cabo Frio. Apesar de McGann (2011) ter considerado a relação absoluta entre os valores do índice e a amplitude de oxigenação descrita por Kaiho (1999) (Tabela 1) em um trabalho realizado no talude da Califórnia, onde os valores do BFOI variaram entre 10-90 nos últimos 16ka AP, nesta tese os valores do BFOI foram considerados como resultados qualitativos. Mesmo com a realização de 76 pontos amostrais de calibração espalhados em diferentes oceanos, a relação absoluta das concentrações de oxigênio dissolvido com as espécies de foraminíferos bentônicos indicadoras pode não ser precisa, podendo refletir valores médios de oxigênio em escala multianual (interdecadal), assim como foi observado por Kaminski (2012) no mar de Mármara.



**Figura 22** – Variação dos índices de paleoprodutividade BFAR (preto), ICBF (verde), razão IN/EP (azul) e paleoxigenação razão IM/PE (cinza), BFOI (vermelho) do testemunho KCF10-01B.

#### 5.1.4 Isótopos estáveis

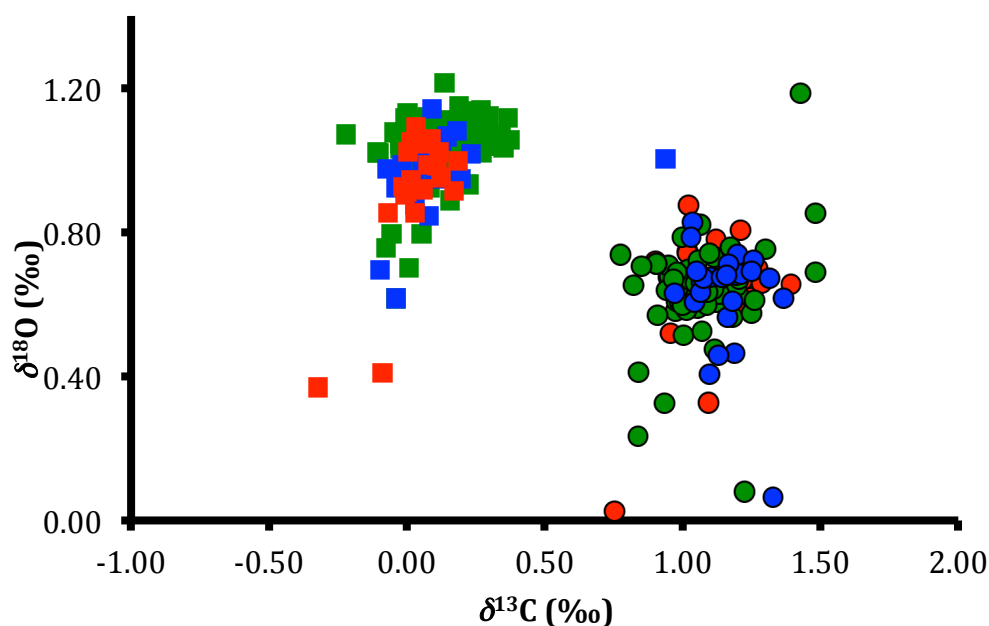
No testemunho KCF10-01B, foram analisadas as composições dos isótopos estáveis das espécies *Cibicides kullenbergi* e *Uvigerina peregrina*. Mesmo ambas serem espécies bentônicas, o sinal isotópico traçado por elas é significativamente



diferente, resultado revelado pelo teste de Mann-Whitney (Tabela 4). Alguns trabalhos utilizam o sinal isotópico de *U. peregrina* como traçador de águas de fundo (HAYWARD et al., 2004; BARTELS-JÓNSDÓTTIR et al., 2006), no entanto, devido as diferenças estatísticas significativas entre as espécies, neste testemunho o sinal isotópico de *C. kullenbergi* será considerado como representante das condições isotópicas das massas de fundo e *U. peregrina* como representante das condições isotópicas da água intersticial. A variação dos isótopos entre as espécies é de efeito vital, e pode ser observado na Figura 23 e Apêndice 7, apresentando o *C. kullenbergi* uma variação de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $0,57 \pm 0,04\text{‰}$  a  $1,48 \pm 0,04\text{‰}$ , enquanto *U. peregrina* uma variação menor, entre  $-0,43 \pm 0,04\text{‰}$  a  $0,94 \pm 0,04\text{‰}$ .

**Tabela 4 – Teste não-paramétrico de Mann-Whitney (U) e significância (p) para comparação do sinal isotópico de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das espécies de epifauna *Cibicides kullenbergi* e infauna *Uvigerina peregrina* do testemunho KCF10-01B**

	U	p
$\delta^{13}\text{C}$	13444	<0,0001
$\delta^{18}\text{O}$	608	<0,0001

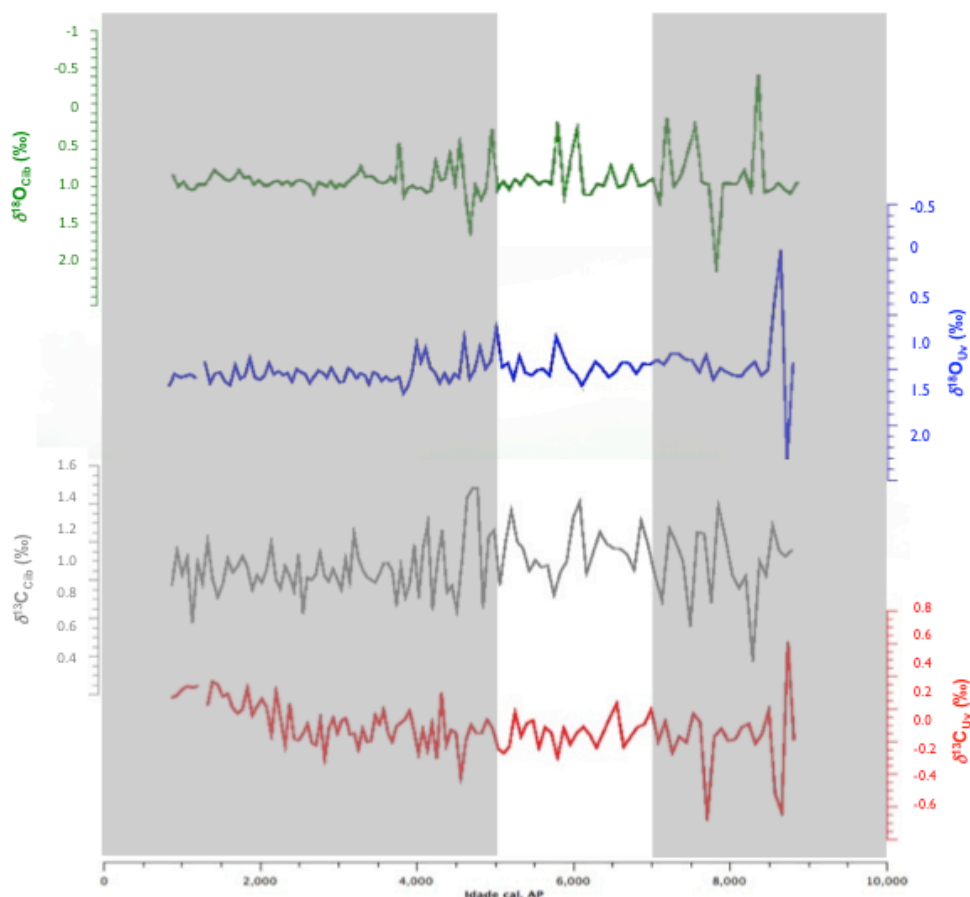


**Figura 23 – Gráfico da relação entre os dados isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) das espécies *Cibicides kullenbergi* (círculos) e *Uvigerina peregrina* (quadrados) no testemunho KCF10-01B. Pontos verdes representando amostras do Holoceno Superior, azuis representando Holoceno Médio e vermelhos representando amostras do Holoceno Inferior.**

Como descrito anteriormente, as diferenças do  $\delta^{13}\text{C}$  das espécies estudadas refletem as condições do  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  do ambiente e são incorporadas durante o período de precipitação do  $\text{CaCO}_3$  para a formação da testa. No entanto, espécimes expostas a pulsos fitodetríticos podem ter o sinal alterado e um aumento na diferença isotópica do  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  e do foraminífero (MACKENSEN et al., 1993). Deste modo, é possível que a tênue diminuição da razão isotópica do carbono (entre 8,6–5,2ka e 4,4–0,8ka) mostrada por *C. kullenbergi* seja resultado de um aumento da produtividade em resposta ao processo mais frequente de intrusão da ACAS na plataforma.

A decomposição do material orgânico aumenta o conteúdo de  $^{12}\text{C}$  em áreas de alto fluxo de carbono orgânico, reduzindo a razão  $\delta^{13}\text{C}$  do foraminífero. Embora as margens de erro se sobreponham, essa explicação justifica a diferença isotópica entre o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  recente da ACAS ( $1,30 \pm 0,22\text{‰}$ , VENÂNCIO et al., 2014), o  $\delta^{13}\text{C}$  de *C. kullenbergi* do sub-recente ( $1,05 \pm 0,05\text{‰}$ ) encontrado por Faria (2013) e o  $\delta^{13}\text{C}$  de *C. kullenbergi* do Holoceno encontrado neste trabalho (valor médio de  $1,09 \pm 0,04\text{‰}$ ) (Figura 24, Apêndice 7). Uma depleção de -0,4 a -0,6‰ do  $^{13}\text{C}$  é induzida pelo aumento da produtividade, assim como relatam Mackensen et al. (1993). Zarriess e Mackensen (2011) salientam ainda que a espécie epibentônica de mesmo gênero, *Cibicides wuellerstorfi*, preferencialmente calcifica sua testa nos períodos de rápida decomposição de fitodetritos no sedimento, gravando assim um maior sinal do  $^{12}\text{C}$  e diminuindo o  $\delta^{13}\text{C}$ .

Com relação ao  $\delta^{13}\text{C}$  de *U. peregrina*, um nítido aumento da razão isotópica é observada entre 2,8–0,8ka AP, podendo indicar que, neste período, todo o processo de decomposição do carbono orgânico proveniente dos pulsos fitodetríticos está sendo realizado na superfície do sedimento, fazendo com que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se tornem mais positivos nas águas intersticiais e, conseqüentemente, nas testas de hábito infaunal.



**Figura 24** – Variação isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das espécies *Cibicides kullenbergi* e *Uvigerina peregrina* ao longo do testemunho KCF10-01B (Cib= *C. kullenbergi*; Uv= *U. peregrina*).

Em relação ao  $\delta^{18}\text{O}$ , valores entre  $-0,52 \pm 0,07\text{‰}$  e  $1,19 \pm 0,07\text{‰}$  foram encontrados em *C. kullenbergi* e  $-0,08 \pm 0,07\text{‰}$  e  $1,12 \pm 0,07\text{‰}$  em *U. peregrina*. Entre 8,6–4,0ka AP, o  $\delta^{18}\text{O}$  das duas espécies apresentaram vários *outliers* que podem ser atribuídos à erros analíticos ou à instabilidade da temperatura/salinidade da ACAS em decorrência da chegada da CB na plataforma. Desta forma, repetições destas análises para elucidar a interpretação deste *proxy* durante o Holoceno Médio são necessárias.

A partir de 4,0ka, a estabilidade do sinal isotópico das duas espécies é observada com valores um pouco superiores, apresentando médias de  $0,65 \pm 0,07\text{‰}$  em *C. kullenbergi* e  $1,05 \pm 0,07\text{‰}$  em *U. peregrina*. Esse aumento da razão pode estar relacionado à intrusão mais frequente da ACAS na zona fótica e a presença de águas da ACAS de temperaturas ainda mais frias no fundo da plataforma continental externa. Eichler et al. (2014) atribuíram resultados mais positivos de  $\delta^{18}\text{O}$  em *U. peregrina* à presença de águas de baixas temperaturas, como a ACAS e a Água Sub-Antártica de Plataforma. McCorkle et al. (1997); Fontainer et al. (2006)

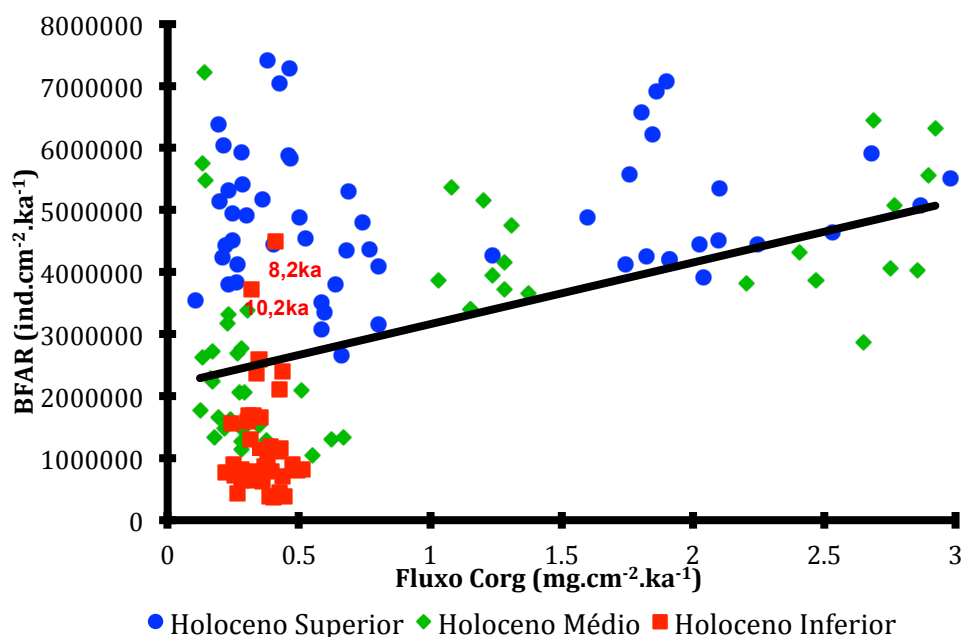
encontraram valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em *U. peregrina* e outras espécies de infauna em equilíbrio com o  $\delta^{18}\text{O}$  das águas de fundo, e ainda, segundo os dois trabalhos, não há uma relação entre o microhabitat e o equilíbrio de  $\delta^{18}\text{O}$ , e que as pequenas variações de  $\delta^{18}\text{O}$  entre as espécies podem ser resultantes de efeitos vitais, não de variações ambientais. Assim, devido as duas espécies apresentarem uma mesma variação ao longo do testemunho, pode-se considerar que tanto a espécie de infauna como a de epifauna estudadas estão representando a tendência média de temperatura das águas de fundo da plataforma de Cabo Frio durante o Holoceno, especialmente durante os últimos 4 mil anos.

Estudando as variações isotópicas dos foraminíferos bentônicos nos últimos 180 anos no SRCF, Faria (2013) obteve valores de  $\delta^{18}\text{O}$  constantes na água de fundo, concordando com os resultados encontrados neste trabalho. Desta forma é possível inferir que a ACAS esteve sempre presente nas áreas profundas da plataforma continental externa de Cabo Frio desde o Holoceno.

#### 5.1.5 Integração das variáveis paleoceanográficas

Uma análise de correlação foi realizada para determinar a significância da relação entre as variáveis sedimentológicas, geoquímicas, isotópicas e paleoecológicas e para a verificação de um padrão nos processos paleoceanográficos. Os resultados mostraram uma influência da produtividade, oxigenação e das variações do nível de mar no compartimento sedimentológico, afetando a composição das assembleias de foraminíferos bentônicos. O índice BFAR se correlacionou de maneira significativa e de forma positiva com os índices de produtividade ICBF e razão IN/EP, tamanho de *G.subglobosa* e *U. peregrina*, COT, fluxo Corg, fração silte e  $\delta^{13}\text{C}$ , e correlacionou-se negativamente com o BFOI, a diversidade de Shannon, razão IM/PE, areia e SS% (Tabela 5). Esses resultados indicam uma influência das mudanças sedimentológicas ocasionadas pela transgressão marinha na composição das assembleias de foraminíferos bentônicos e na produtividade, assim como uma alteração da oxigenação das águas de fundo em resposta ao aumento do fluxo de carbono orgânico.

A relação positiva entre o fluxo de Corg e o BFAR indica a sensibilidade dos foraminíferos bentônicos às variações de Corg (Tabela 5, Apêndice 8). Segundo Schmiedl e Mackensen (1997); Schmiedl e Leuschner (2005), o aumento do fluxo orgânico em áreas bem ventiladas são refletidas pela composição das espécies e o índice BFAR. Guichard et al. (1997, 1999) retratam ainda que o índice pode variar tanto com o fluxo de material orgânico lábil quanto o refratário, e que o BFAR aplicado junto ao fluxo de Corg pode dar informações a respeito da qualidade da MO. A relação entre as duas variáveis em questão também mostraram uma relação de qualidade do material orgânico depositado na plataforma externa de Cabo Frio. Assim como mostra a Figura 25, uma variação da qualidade do material orgânico foi observado ao longo do testemunho KCF10-01B, apresentando as amostras localizadas acima da linha de tendência um aporte de material orgânico lábil de fácil consumo dos foraminíferos. As amostras localizadas nesta região são referentes ao Holoceno Superior e parte do Holoceno Médio. Já as amostras localizadas abaixo da linha de tendência são representativas do aporte de orgânico refratário de baixo valor nutricional aos foraminíferos e representam parte do Holoceno Médio e o Holoceno Inferior. Os resultados obtidos sobre a indicação da qualidade do material orgânico por meio de foraminíferos bentônicos e fluxo de Corg está em acordo com os resultados mostrados por C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  do material orgânico, confirmando assim a utilização do BFAR e fluxo de Corg como indicador de qualidade de material orgânico dos sedimentos da plataforma externa de Cabo Frio.



**Figura 25** – Relação entre o fluxo de Corg (eixo X) e índice BFAR (eixo Y) e ao longo do testemunho KCF10-01B. Cor vermelha representa amostras do Holoceno Inferior, cor verde representa amostras do Holoceno Médio e cor azul representa amostras do Holoceno Superior.

No período entre 11,4ka e 9,0ka AP, o mar esteve entre às isóbatas de -70m a -40m, e um aumento na velocidade do processo transgressivo entre 9,0ka a 7ka AP é observado, quando o mar esteve entre -50m e -10m (CORRÊA, 1996). A presença de um maior teor de areia e um alto SS% indicam condições de alta hidrodinâmica das massas de fundo, diminuindo a sedimentação de partículas finas. Devido aos baixos índices paleoecológicos, baixo teor de COT e fluxo de Corg, de  $\delta^{13}\text{C}$  do material orgânico e uma razão C/N muito variável, é sugerido que o baixo nível do mar facilitou o input de material orgânico continental na plataforma externa.

**Tabela 5 – Correlação de Spearman das variáveis sedimentológicas, geoquímicas, paleoecológicas e isotópicas de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-01B (dados significativos em negrito,  $p < 0,05$ )**

Variáveis	BFAR	BFOI	d18O Cib	d13C Cib	d18O Uv	d13C Uv	Tam.Glob.	Tam.Uvig.	A. wed.	B. transl.	B. ord.	B. striat.	B. marg.	C. kull.	D. bert.	D. gir.	E. bradyi	Gavel. sp.	G. subg.	I. aust.	N. alb.	N. comm.	U. pereg.	ln/Epi	IM/PE	ICBF	Riqueza	Divers.	Areia	Silte	%SS	COT	Fluxo C	C:N	d13C
BFAR	1																																		
BFOI	-0.561	1																																	
d18O Cib	0.123	0.108	1																																
d13C Cib	-0.195	0.123	-0.125	1																															
d18O Uv	0.362	-0.307	-0.128	-0.155	1																														
d13C Uv	0.142	-0.061	-0.041	-0.222	0.336	1																													
Tam. Glob.	0.286	-0.164	0.059	-0.051	0.106	0.130	1																												
Tam. Uvig.	0.265	-0.109	-0.028	0.020	0.204	-0.080	0.349	1																											
A. wed.	0.567	-0.278	0.101	-0.141	0.302	-0.201	0.021	0.000	1																										
B. transl.	0.574	-0.541	-0.091	0.016	0.204	0.269	0.293	0.191	0.142	1																									
B. ord.	0.783	-0.723	-0.018	-0.234	0.532	0.236	0.383	0.311	0.389	0.509	1																								
B. striat.	0.833	-0.802	0.123	-0.208	0.337	0.053	0.244	0.156	0.494	0.505	0.764	1																							
B. marg.	0.661	-0.317	0.176	-0.255	0.163	-0.083	0.030	0.169	0.366	0.188	0.429	0.556	1																						
C. kull.	0.682	-0.541	0.096	-0.202	0.334	-0.187	0.248	0.206	0.527	0.288	0.569	0.738	0.514	1																					
D. bert.	-0.032	0.178	-0.099	0.023	-0.167	-0.354	-0.228	0.038	0.022	-0.117	-0.289	-0.127	0.298	0.047	1																				
D. gir.	0.713	-0.386	0.077	-0.246	0.216	0.040	0.409	0.157	0.431	0.273	0.588	0.630	0.517	0.628	0.191	1																			
E. bradyi	0.431	-0.108	0.193	-0.177	0.206	0.344	0.169	0.205	0.280	0.351	0.344	0.231	0.335	0.095	-0.266	0.144	1																		
Gavel. sp.	0.230	0.013	0.023	-0.056	0.163	-0.039	-0.034	0.337	0.478	-0.044	0.172	0.090	0.317	0.182	0.083	0.066	0.442	1																	
G. subg.	0.943	-0.576	0.088	-0.116	0.355	0.156	0.364	0.299	0.550	0.617	0.783	0.831	0.498	0.663	-0.153	0.685	0.359	0.145	1																
I. aust.	0.787	-0.646	-0.035	-0.230	0.439	-0.001	0.275	0.237	0.396	0.450	0.766	0.799	0.590	0.766	-0.015	0.677	0.142	-0.025	0.767	1															
N. alb.	0.647	-0.282	-0.008	-0.122	0.138	0.219	0.392	0.243	0.384	0.388	0.491	0.510	0.380	0.384	-0.096	0.461	0.411	0.206	0.654	0.433	1														
N. comm.	0.446	-0.033	0.025	-0.183	0.131	0.408	0.044	0.231	0.219	0.243	0.236	0.186	0.385	0.006	0.000	0.117	0.613	0.406	0.337	0.087	0.575	1													
U. pereg.	0.867	-0.513	0.095	-0.175	0.322	0.048	0.378	0.320	0.494	0.520	0.722	0.751	0.613	0.699	-0.028	0.731	0.408	0.231	0.802	0.763	0.526	0.266	1												
ln/Epi	0.720	-0.469	0.032	-0.045	0.333	0.361	0.373	0.239	0.376	0.560	0.739	0.637	0.254	0.304	-0.500	0.424	0.474	0.143	0.810	0.513	0.583	0.359	0.654	1											
IM/PE	-0.744	0.600	-0.037	-0.031	-0.450	-0.068	-0.393	-0.193	-0.513	-0.572	-0.704	-0.749	-0.354	-0.651	0.245	-0.589	-0.278	-0.033	-0.806	-0.753	-0.474	-0.101	-0.714	-0.682	1										
ICBF	0.781	-0.625	-0.009	-0.009	0.402	0.209	0.414	0.258	0.359	0.637	0.780	0.778	0.321	0.541	-0.360	0.543	0.280	-0.017	0.891	0.727	0.499	0.130	0.721	0.878	-0.849	1									
Riqueza	0.207	-0.405	-0.136	-0.137	0.105	0.135	-0.041	-0.046	-0.104	0.266	0.272	0.306	0.222	0.092	-0.051	0.098	-0.054	-0.237	0.179	0.301	-0.123	-0.067	0.228	0.158	-0.094	0.240	1								
Divers.	-0.750	0.465	-0.073	-0.067	-0.292	-0.137	-0.394	-0.238	-0.354	-0.577	-0.664	-0.671	-0.229	-0.486	0.238	-0.214	0.061	-0.861	-0.631	-0.551	-0.190	-0.612	-0.754	0.792	-0.880	0.051	1								
Areia	-0.564	0.527	-0.181	0.113	-0.284	-0.081	-0.378	-0.326	-0.327	-0.348	-0.636	-0.639	-0.284	-0.567	0.276	-0.500	-0.115	-0.081	-0.652	-0.635	-0.259	0.087	-0.589	-0.563	0.593	-0.710	-0.208	0.609	1						
Silte	0.617	-0.559	0.181	-0.118	0.300	0.066	0.395	0.322	0.372	0.389	0.667	0.681	0.302	0.628	-0.258	0.559	0.088	0.065	0.707	0.680	0.318	-0.078	0.633	0.576	-0.649	0.738	0.248	-0.629	-0.957	1					
%SS	-0.521	0.465	-0.131	0.097	-0.152	-0.233	-0.352	-0.083	-0.185	-0.376	-0.496	-0.512	-0.278	-0.464	0.213	-0.503	-0.026	0.036	-0.546	-0.516	-0.206	0.015	-0.504	-0.452	0.506	-0.579	-0.283	0.495	0.715	-0.745	1				
COT	0.715	-0.532	0.045	-0.192	0.449	0.034	0.349	0.178	0.579	0.386	0.666	0.693	0.401	0.725	-0.229	0.591	0.200	0.200	0.748	0.707	0.433	0.012	0.738	0.604	-0.733	0.728	0.035	-0.651	-0.679	0.715	-0.604	1			
Fluxo C	0.291	-0.078	-0.053	0.021	0.302	-0.036	0.004	0.119	0.446	0.146	0.316	0.213	0.109	0.419	-0.113	0.249	0.193	0.310	0.324	0.282	0.194	0.042	0.271	0.245	-0.428	0.264	-0.156	-0.315	-0.284	0.257	-0.051	0.033	0.081	1	
C:N	-0.089	0.264	-0.021	0.031	-0.072	-0.038	-0.058	0.002	0.126	-0.324	-0.185	-0.179	0.003	0.036	0.178	0.107	-0.050	0.291	-0.095	-0.219	0.006	0.145	-0.139	-0.136	0.178	-0.209	-0.334	0.093	0.089	-0.132	-0.051	0.033	0.081	1	
d13C	0.465	-0.492	-0.113	-0.349	0.297	0.138	0.239	0.102	0.236	0.340	0.486	0.522	0.287	0.471	-0.173	0.310	0.076	-0.039	0.517	0.526	0.148	-0.023	0.420	0.419	-0.440	0.565	0.428	-0.425	-0.609	0.551	-0.504	0.537	0.241	-0.166	1

O conteúdo de material orgânico entre 11,4ka e 7,0ka AP, traçado por indicadores geoquímicos e paleoecológicos, foi composto por uma mistura de material terrígeno e fitoplanctônico, confirmando a relação entre BFAR e o fluxo de Corg os maiores teores de material refratário sobre o lábil. Carbono de origem terrestre, em geral refratário, é uma fonte de energia não muito eficiente aos foraminíferos bentônicos, que controlam o crescimento restringindo as taxas de reprodução dos organismos (MARTINEZ et al., 1999). Esse fator, juntamente com a composição basicamente arenosa dos sedimentos, provocou a diminuição dos índices paleoecológicos de produtividade (BFAR e ICBF). No entanto, a presença de um pico positivo reflete uma mudança abrupta do fluxo de carbono orgânico no sedimento em 8,2ka AP, como resultado da intensificação da CB, que dá espaço para a intrusão da ACAS na zona fótica (BELÉM et al., 2013) e leva nutrientes que favorecem o aumento de fitoplâncton e a deposição orgânica nos sedimentos. O período também é marcado por altas taxas dos índices BFOI e razão IM/PE, indicando alta oxigenação de fundo, processo confirmado pela dominância da assembleia *N. commune*.

A rápida transgressão marinha entre 11,4ka e 7ka AP pode ter ocasionado as inversões nas datações de  $^{14}\text{C}$  entre 11,4ka e 9ka AP, uma vez que causa a erosão dos depósitos sedimentares (SUGUIO et al., 1985) e altera a sequência deposicional do pacote sedimentar na plataforma. Este período é coincidente com o aumento da velocidade das águas de fundo mostrado pelo *proxy sortable silt* (SS%).

Entre 7ka e 5ka, o nível do mar estava entre -10m e 5m acima do nível atual, podendo-se considerar a transgressão seguida do início da regressão como um dos processos que estariam influenciando a dinâmica oceanográfica da plataforma. O gradual aumento do BFAR e fluxo das espécies de foraminíferos bentônicos *G. subglobosa*, *I. australis* e *U. peregrina*, além dos índices ecológicos ICBF e razão IN/EP mostram claramente o aumento da produtividade, marcado também pelo maior teor de silte e velocidade baixa das águas de fundo. No entanto, este período de rápida transgressão também é marcado pela intensificação da CB e aumento da TSM (EVANGELISTA et al., 2014). A intensificação desta corrente superficial permite a intrusão da ACAS na zona fótica, aumentando assim a produtividade primária. Nenhuma mudança no sinal isotópico da ACAS foi observada neste período e os picos de  $\delta^{13}\text{C}$  em *U. peregrina* apresentados entre 8,6ka e 5,5ka devem ser re-analisados, já que não são correlacionadas à outras variáveis. No



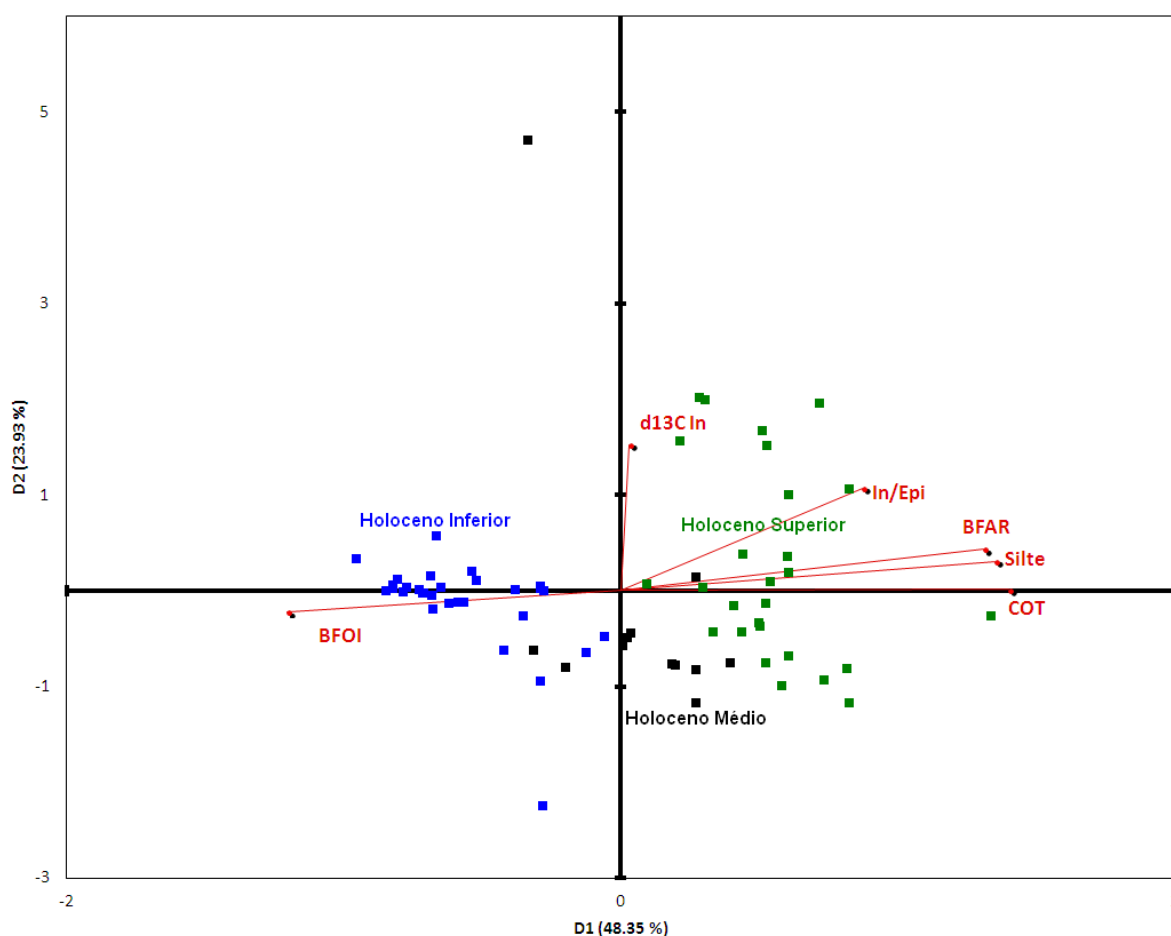
entanto, entre 5,0ka e 4,0ka, um evento abrupto foi destacado nos índices BFAR e o  $\delta^{13}\text{C}$  em *C. kullenbergi*. Mesmo este período sendo relacionada ao início da rápida regressão marinha holocênica, o SS% não mostra alteração na velocidade das correntes de fundo, auxiliando a interpretação de que a variação do nível relativo do mar não foi o processo mais impactante neste período. Segundo Castro et al. (2014), a regressão foi responsável pela morte de moluscos em vários segmentos do litoral costeiro do sudeste do Brasil, assim como documentado por Martin et al. (1997); Castro et al. (2009). No entanto, Evangelista et al. (2014) identificam uma mudança abrupta na temperatura das águas superficiais de Cabo Frio, que poderia ser relacionada ao início da tendência de resfriamento do Atlântico Norte desde o período até o recente, fator que deve ter influenciado a tendência observada pela paleoecologia dos foraminíferos bentônicos.

Após 4ka AP, um aumento no fluxo das espécies indicadoras de produtividade, dos índices BFAR, ICBF e razão IN/EP, e uma diminuição da oxigenação mostrado pelo BFOI e razão IM/PE são observados, além da estabilidade do sinal isotópico em *C. kullenbergi*. Esse período foi subdividido em duas fases e não teve influência da variação do nível do mar, podendo-se considerar somente os processos oceanográficos relacionados à intensificação da CB e intrusão da ACAS na plataforma. Entre 4,0ka e 3ka AP, a plataforma externa apresentou produtividade média e diminuição da oxigenação das águas de fundo; entre 3,0-0,8ka AP, mudanças acentuadas marcam os índices de produtividade e oxigenação. Além das variáveis paleoecológicas, a razão C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  mostram uma alta composição fitoplanctônica do material orgânico dos sedimentos. O aumento acentuado do fluxo de fitodetritos ocasiona uma diminuição da oxigenação das águas de fundo pelos processos de decomposição. Assim, os valores crescentes de  $\delta^{13}\text{C}$  em *U. peregrina* refletem também a diminuição da oxigenação de fundo, assim como mostra a aproximação dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de *U. peregrina* e *C. kullenbergi* durante o período de maior produtividade do Holoceno. Schmiedl et al. (2004) relatam que a diferença entre o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  da água de fundo e a água intersticial diminui com a redução das concentrações de oxigênio de fundo. Uma vez que *C. kullenbergi* retrata o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  aproximado da água de fundo e este valor se manteve estável, a diminuição da diferença isotópica das duas espécies pode ser um resultado da diminuição da oxigenação das águas de fundo, alterando a condição redox dos

sedimentos. Com uma zona de redução do oxigênio mais rasa, uma fração do material orgânico pode ser decomposto e outra parte preservado diminuindo a disponibilidade de  $^{12}\text{C}$  na água intersticial, processo característico de ocorrência em áreas costeiras e margens continentais (MCCORKLE et al., 1990). A última hipótese que o enriquecimento de  $\delta^{13}\text{C}$  em regiões de alta produtividade é atribuído ao aumento do  $\text{CO}_2$  proveniente das taxas de respiração dos bentônicos na camada nefelóide (MACKENSEN et al., 1993). No entanto, esta hipótese é descartada devido o sinal isotópico constante do  $\delta^{13}\text{C}$  em *C. kullenbergi* durante o mesmo período.

Devido os resultados e discussões acima apresentados, pode-se observar a presença de três fases de condições paleoceanográficas distintas ao longo do testemunho, identificadas pelas barras cinzas nas figuras 15, 16, 17, 18, 21 e 22. Estas fases foram coincidentes com os períodos do Holoceno, sendo a primeira fase (Holoceno Inferior) caracterizada pela maior influência continental em virtude do baixo nível relativo do mar, a segunda fase (Holoceno Médio) indicando nível relativo do mar próximo do atual, baixa hidrodinâmica de fundo e crescente produtividade até a terceira fase (Holoceno Superior), que apresenta a maior produtividade e fluxo de material orgânico lábil de todo o período.

A integração estatística das variáveis sedimentológicas, paleoecológicas e isotópicas também foi realizada por análise multivariada, onde uma Análise de Componente Principal definiu as diferentes condições oceanográficas que atuaram na plataforma externa de Cabo Frio durante o Holoceno. Para tal, foram selecionadas as variáveis BFAR, BFOI, IN/EP,  $\delta^{13}\text{C}$  em *U. peregrina*, COT e teores de silte. Os resultados mostraram que estas variáveis são representantes de 72,28% da variabilidade do testemunho (Figura 26). Uma diferenciação do Holoceno Inferior foi observada, em virtude do maior índice de oxigenação BFOI. Em oposição, as amostras referentes ao Holoceno Médio e Superior, que apresentaram uma relação maior com os índices de produtividade BFAR, razão IN/EP, teores de COT e silte. Os resultados obtidos nesta análise confirmam a discussão realizada acima, afirmando que as variações de produtividade e oxigenação são os principais fatores que afetam a variabilidade dos foraminíferos bentônicos da plataforma externa de Cabo Frio.



**Figura 26** – Análise de Componente Principal das variáveis isotópica, sedimentológicas e paleoecológicas representativas de 72,28% da variabilidade do testemunho KCF10-01B, na plataforma externa de Cabo Frio.

## 5.2 DO TESTEMUNHO KCF10-09A (Plataforma Continental Média)

### 5.2.1 Modelo Cronológico

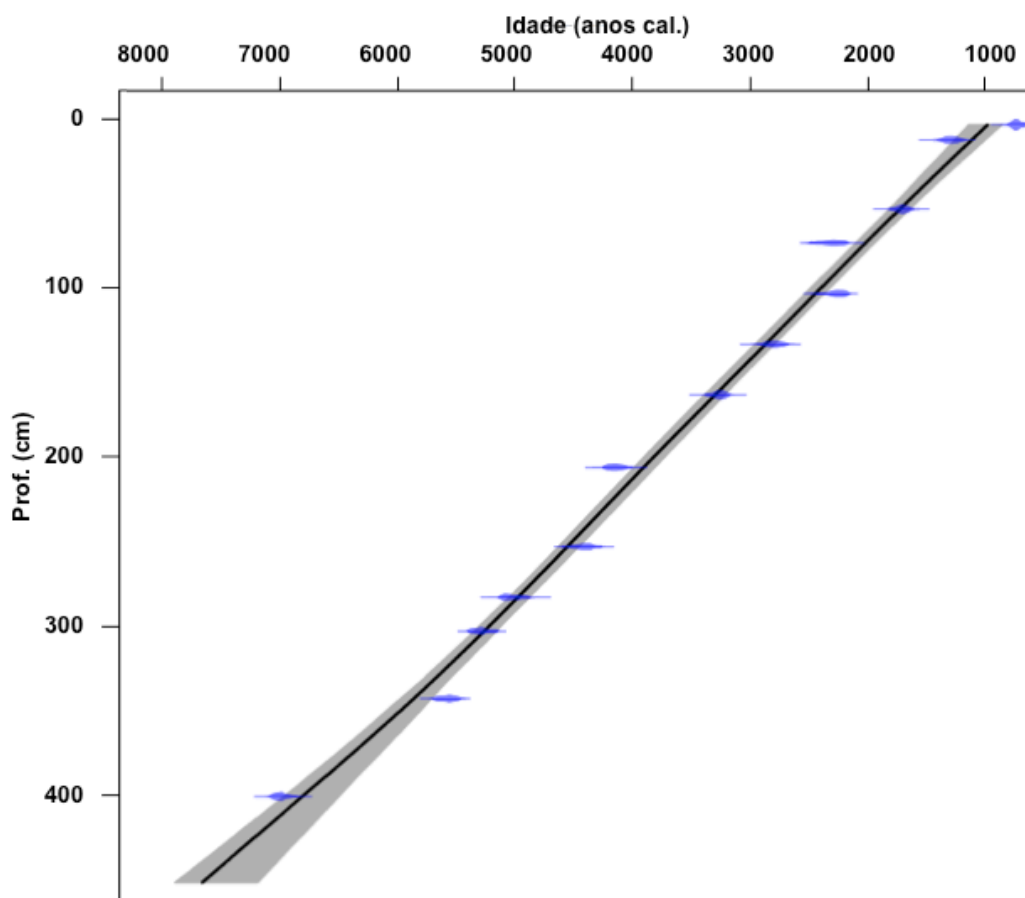
Os resultados da datação por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) do material orgânico no testemunho KCF10-09A estão representados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Datações por  $^{14}\text{C}$  do testemunho KCF10-09B, incluindo profundidade das amostras, código do laboratório, material datado, idade convencional e idades calibradas obtidas com o modelo cronológico criado**

<b>Prof. (cm)</b>	<b>Material analisado</b>	<b>Código do laboratório</b>	<b>Idade convencional <math>^{14}\text{C}</math> (anos)</b>	<b>Erro (anos)</b>	<b>Idade Mín. Cal. (anos)</b>	<b>Idade Máx. Cal. (anos)</b>	<b>Intervalo de Confiança (%)</b>
<b>1</b>	MO	AA90188	1364	37	790	980	95
<b>10</b>	MO	AA89740	1924	48	1342	1579	95
<b>51</b>	MO	AA90189	2275	38	1776	1981	95
<b>71</b>	MO	AA90190	2759	45	2338	2616	90,6
					2622	2650	4,4
<b>101</b>	MO	AA90191	2737	35	2327	2583	94,5
					2588	2592	0,5
<b>131</b>	MO	AA90192	3179	40	2842	3102	95
<b>161</b>	MO	AA90193	3548	41	3337	3541	95
<b>204</b>	MO	AA89741	4225	41	4174	4421	95
<b>251</b>	MO	AA90194	4425	42	4436	4726	92,7
					4749	4769	2,3
<b>281</b>	MO	AA90195	4893	43	5044	5302	95
<b>301</b>	MO	AA90196	5103	44	5326	5562	95
<b>341</b>	MO	AA90197	5381	45	5632	5870	95
<b>399</b>	MO	AA89742	6635	42	7028	7252	95

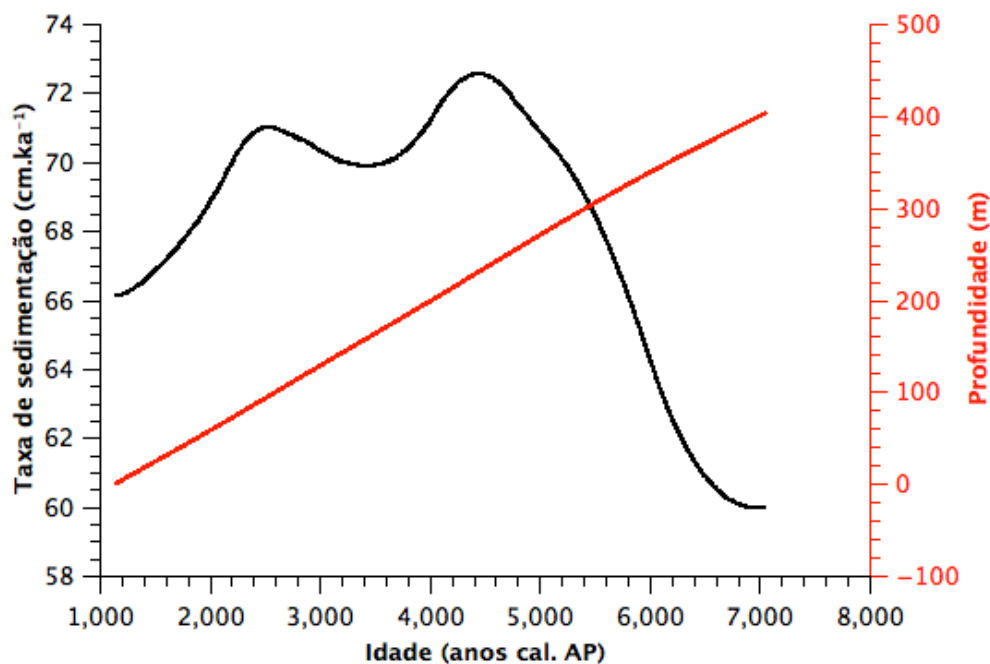
\*MO= Matéria Orgânica

Um modelo cronológico foi criado utilizando o pacote *Clam* do software *R* (BLAAUW, 2010) (Figura 27).



**Figura 27** – Modelo cronológico criado para o testemunho KCF10-09B, onde o eixo X indica a idade calibrada (em anos) e o eixo Y representa a profundidade (em cm). Os pontos indicam a idade convencional e as barras o intervalo de confiança. A linha é a melhor idade indicada pelo modelo e a área em cinza o erro de interpolação das idades.

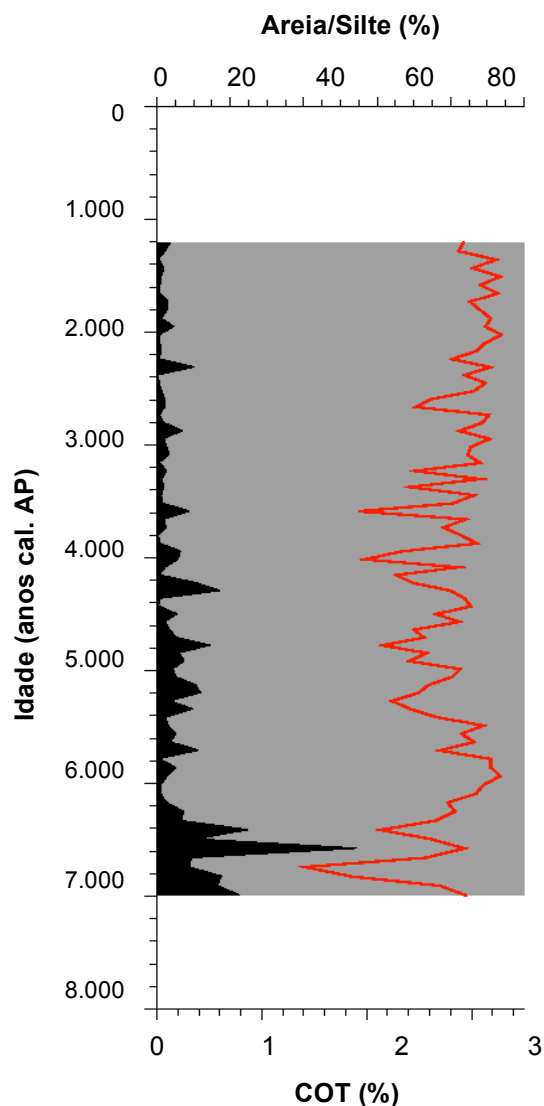
No testemunho KCF10-09A, as taxas de sedimentação foram pouco variáveis nos primeiros 250cm, apresentando valores entre  $66\text{--}72\text{cm.k}^{-1}$ . Já entre as profundidades 250-403cm, uma sedimentação variando entre  $59\text{--}71\text{cm.k}^{-1}$  foi observada, assim como mostra a Figura 28. Observa-se a ausência de inversões nas datações e um período cronológico total de 7,5ka, compreendendo somente a fase de que o mar estaria igual ao nível atual ou superior (MARTIN et al., 2003), assim processos erosivos anteriores a este período não teriam afetado o completo pacote sedimentar recuperado.



**Figura 28** – Taxa de sedimentação (preto) e profundidade (vermelho) observada ao longo do testemunho KCF10-09A.

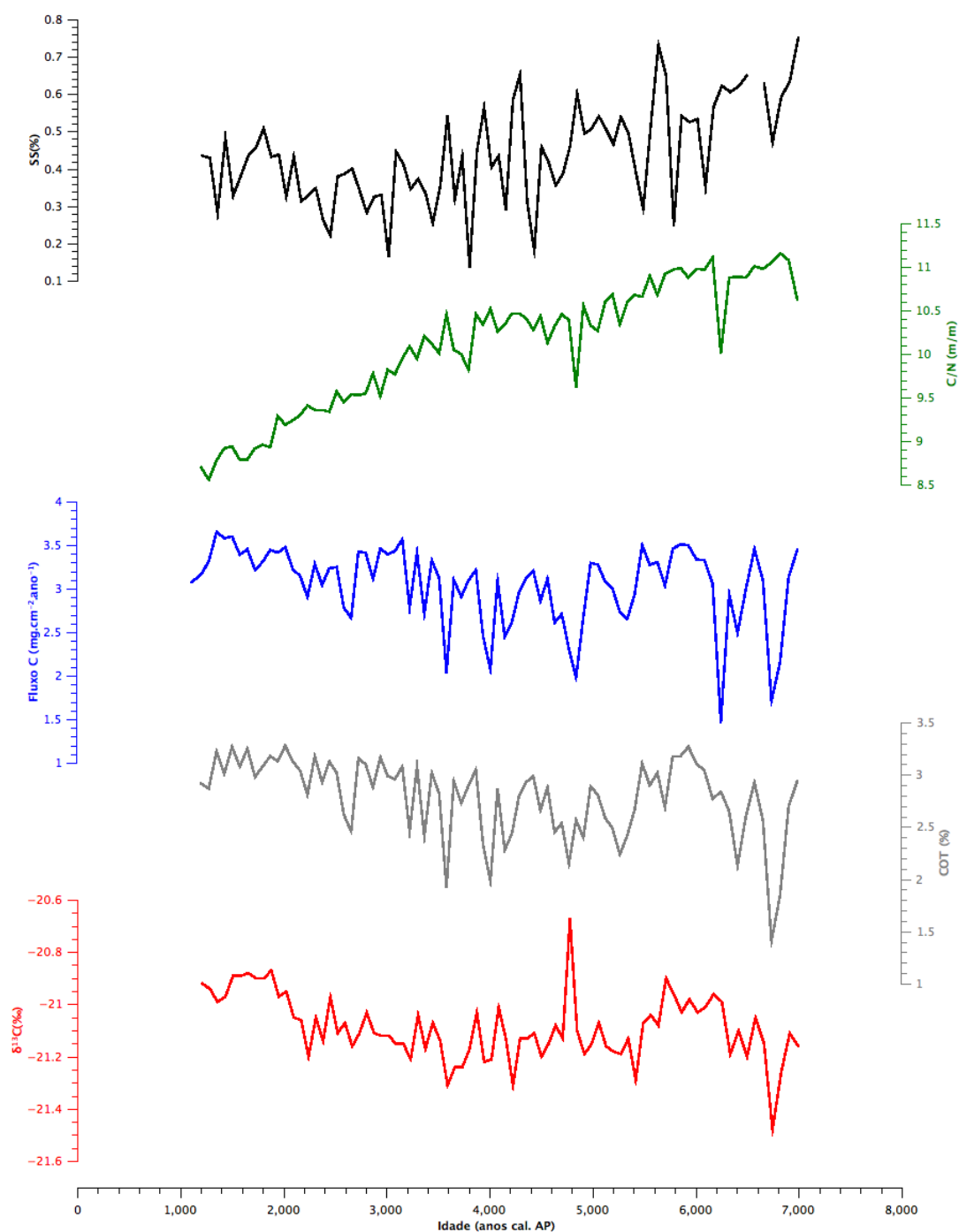
### 5.2.2 Sedimentologia e geoquímica do sedimento

As análises granulométricas do testemunho KCF10-09A mostraram uma composição maior de silte em comparação à areia. As porcentagens de areia variaram entre 0,23–24,54%, mostrando uma média de  $4,64 \pm 5,15\%$  e a composição de silte variou entre 4,84–99,77% e apresentou uma média de  $94,09 \pm 11,41\%$  (Figura 29, Apêndice 9). Um gradual aumento das porcentagens de silte com uma consecutiva diminuição das porcentagens de areia foram observados entre 7–3,8ka AP. A variação de nível do mar não foi o principal processo oceanográfico a influenciar a região de média plataforma. Mendoza et al. (2014) indicam este local como receptor sedimentar da ação de vórtices que capturam o sedimento em suspensão e depositam no assoalho marinho.



**Figura 29** – Teores de areia (preto), silte (cinza) e carbono orgânico total (vermelho) ao longo do testemunho sedimentar KCF10-09A.

Os resultados de SS% do testemunho KCF10-09A confirmam os resultados obtidos por Mendoza et al. (2014), onde os baixos valores (entre 0,136% e 0,751%) indicam um ambiente deposicional de baixa velocidade de correntes durante os últimos 7ka AP (Figura 30, Apêndice 9).



**Figura 30** – Valores de SS% (preto), razão C/N (verde), fluxo de carbono (azul), COT (cinza) e  $\delta^{13}\text{C}$  (vermelho) do testemunho marinho KCF10-09A.

O fluxo de carbono apresentou altos valores, com uma variação de 0,107–2,979  $\text{mg.cm}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  (Figura 30, Apêndice 9). O testemunho apresentou fluxo de carbono variável até 6,0ka AP e uma diminuição do fluxo entre 6,0ka–4,0ka AP. Após 4,0ka AP, há um aumento do fluxo de carbono até o topo do testemunho. O teor de COT apresentou também altos valores, com mínimos e máximos de 1,41–



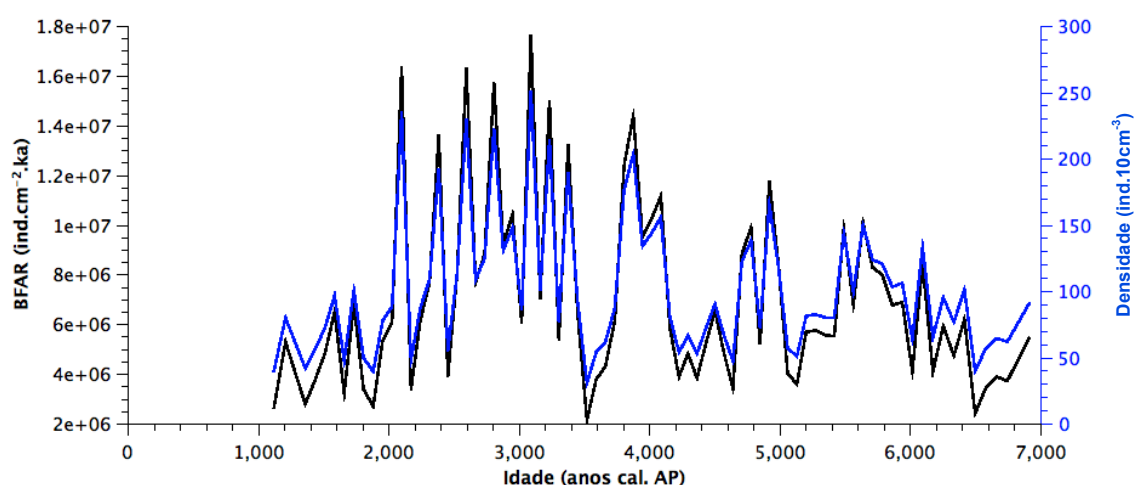
3,28% e média de  $2,79 \pm 0,37\%$  ao longo de todo testemunho KCF10-01B (Figura 3, Apêndice 9).

Já as razões molares de C/N mostraram-se entre 8,56–11,16 com média de  $10,08 \pm 0,71$  (Figura 30, Apêndice 9). Uma diminuição da razão é vista entre 7–4,0ka AP, seguida de uma estabilidade dos valores da razão. Tanto a razão C/N quanto o isótopo  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica (valores entre  $-21,48\text{‰}$  e  $-20,67\text{‰}$ ) indicam um aumento da contribuição fitoplanctônica na plataforma média nos últimos 3ka AP.

Considerando os resultados sedimentológicos e geoquímicos do testemunho KCF10-09A, pode-se afirmar que baixa velocidade das correntes de fundo favoreceu a sedimentação do material orgânico na região. Mendoza et al. (2014), relacionam esta deposição lamosa ao transporte de sedimentos da Baía de Guanabara e da descarga de rios como o Paraíba do Sul para esta região da plataforma média.

### 5.2.3 Paleoecologia

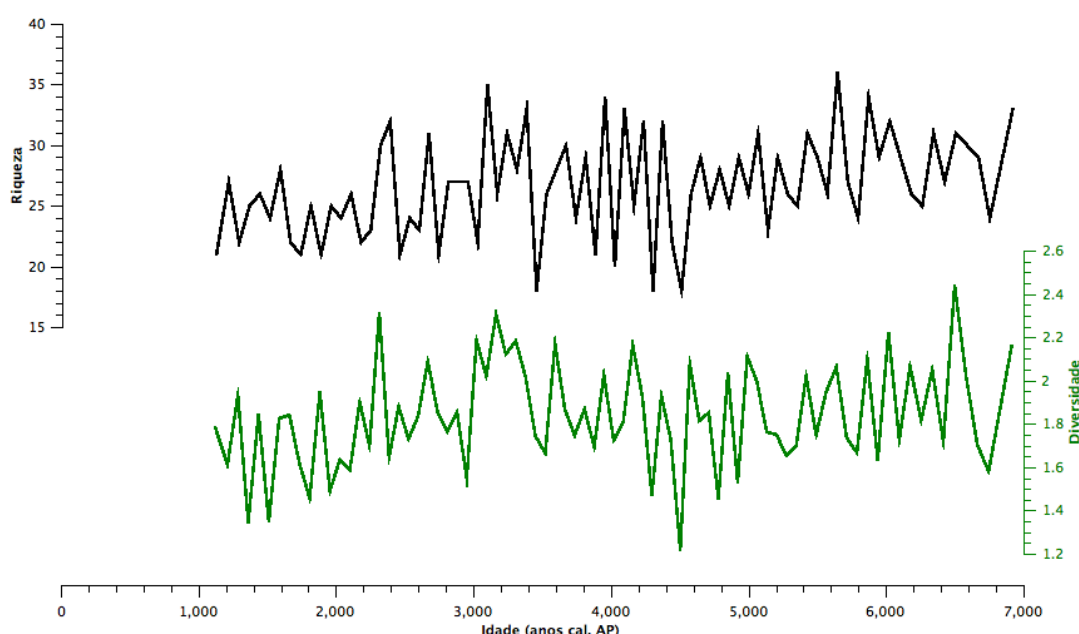
A densidade total de foraminíferos bentônicos no testemunho KCF10-09A apresentou uma variação entre 30.848 e 251.520 indivíduos por  $10\text{cm}^3$  (Figura 31), apresentando a maior densidade entre o trecho de 2,0ka a 3,5ka, e a menor densidade no topo, entre 2,0ka–1,0ka.



**Figura 31** – Densidade total de foraminíferos bentônicos (azul) e taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR) (preto) ao longo do testemunho KCF10-09A.

Foi encontrada riqueza total de 49 gêneros e 78 espécies (Apêndices 1 e 2), e uma riqueza média de 27 espécies de foraminíferos bentônicos por amostra ao

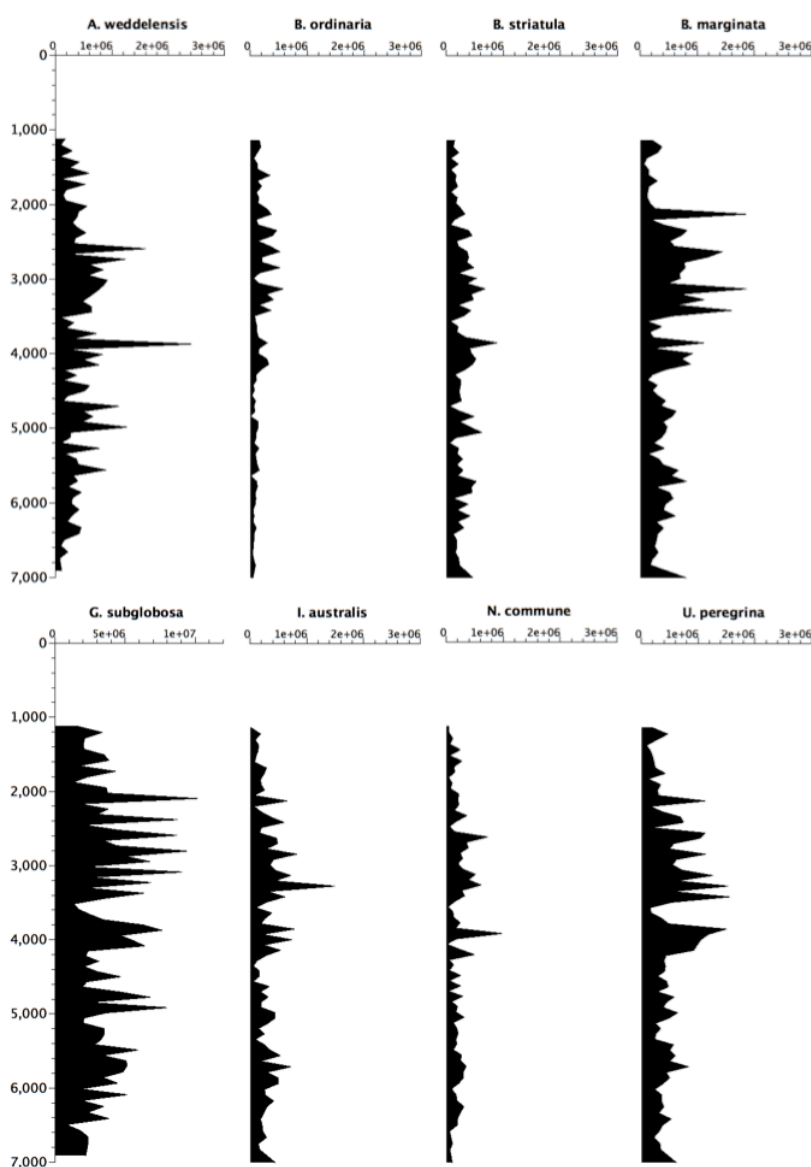
longo do testemunho KCF10-09A (Figura 32). Entre as espécies mais representativas estão: *Alabaminella weddellensis*, *Bolivina ordinaria*, *Bolivina striatula*, *Bulimina marginata*, *Globocassidulina subglobosa*, *Islandiella australis*, *Nonion commune* e *Uvigerina peregrina*, onde todos os fluxos estão representados na Figura 33 e Apêndice 4. Em conjunto, estas espécies representam um valor médio de 82% do total de espécies em cada amostra do testemunho. Dentre as espécies citadas, as maiores dominâncias foram obtidas com *G. subglobosa*, *U. peregrina*, *B. marginata*, *A. weddellensis*, *Islandiella australis* e *B. striatula*.



**Figura 32** – Variação da riqueza (preto) e da diversidade (verde) de Shannon ao longo do testemunho KCF10-09A.

A espécie *G. subglobosa* apresentou os maiores fluxos em todo o testemunho. Com variação de  $771.741\text{--}10.112.977\text{ ind.cm}^{-2}.\text{ka}^{-1}$ , *G. subglobosa* apresenta um fluxo alto e variável nos últimos 7ka AP, sendo os maiores valores observados entre 3,5ka–2,0ka AP. Já a espécie *U. peregrina*, segunda espécie mais abundante, apresentou uma variação de  $85.106\text{--}1.542.976\text{ ind.cm}^{-2}.\text{ka}^{-1}$  AP, sendo os maiores fluxos observados entre 4,0ka–2,0ka AP. A espécie *B. marginata*, apresentou fluxos variando entre  $60.000\text{--}1.852.631\text{ ind.cm}^{-2}.\text{ka}^{-1}$  e os maiores fluxos entre o período de 3,5ka–2,0ka AP (Figura 33, Apêndice 4). As descrições ecológicas destas três espécies estão relatadas no Capítulo 7 desta tese.

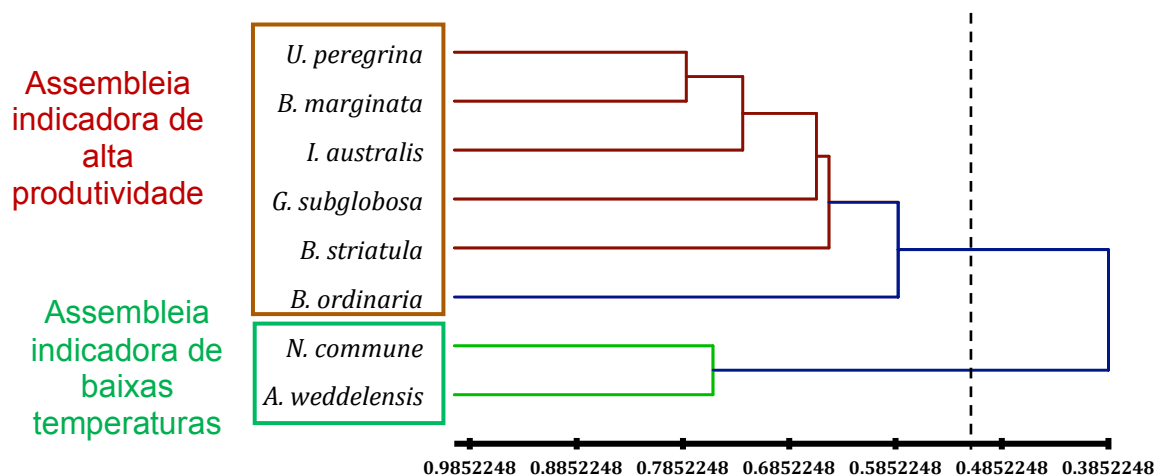
As espécies *Alabaminella weddellensis* e *Bolivina striatula* também apresentaram fluxos relevantes no testemunho KCF10-09A. Ambas espécies de infauna, *A. weddellensis* possui tamanho diminuto e associação à fitodetrítos, enquanto *B. striatula* pode ser detritívora, de ocorrência em sedimentos finos e tolerante à disoxia (MURRAY, 2006). *A. weddellensis* apresenta um fluxo variando entre 67.429–2.391.519 ind.cm<sup>-2</sup>.ka<sup>-1</sup> e indica um alto aporte de fitodetrítos, enquanto *B. striatula* variou entre 46.242–878.873 ind.cm<sup>-2</sup>.ka<sup>-1</sup>. *A. weddellensis* apresenta ainda picos no fluxo de indivíduos entre 4,0ka–2,5ka AP, mesmo período de ocorrência dos maiores fluxos de *G. subglobosa*, *U. peregrina* e *B. marginata* (Figura 33, Apêndice 4).



**Figura 33** – Fluxo de indivíduos das espécies de maior representatividade do Holoceno da plataforma continental média de Cabo Frio, RJ.

Considerando o total de foraminíferos, a taxa de acúmulo de foraminíferos bentônicos (BFAR), apresentou uma variação de 2.157.203 a 17.650.526 ind.cm<sup>2</sup>.kyr<sup>-1</sup> (Figura 31, Apêndice 6). O fluxo de indivíduos parece apresentar três diferentes fases: na base, entre 7,0–4,0ka AP, apresenta valores médios de fluxo de indivíduos, uma segunda fase com os maiores valores de BFAR, entre 4,0–2,0ka AP, e em direção ao topo, entre 2,0ka–1,0ka AP aparecem os menores valores. A segunda fase também foi marcada pelo aumento das espécies indicadoras de fluxo de orgânico, confirmando assim a resposta do BFAR à produtividade.

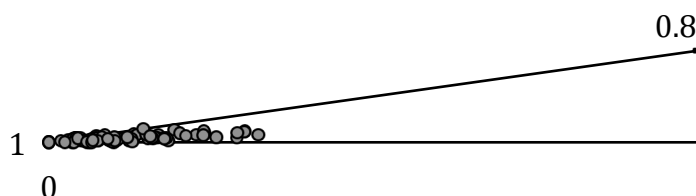
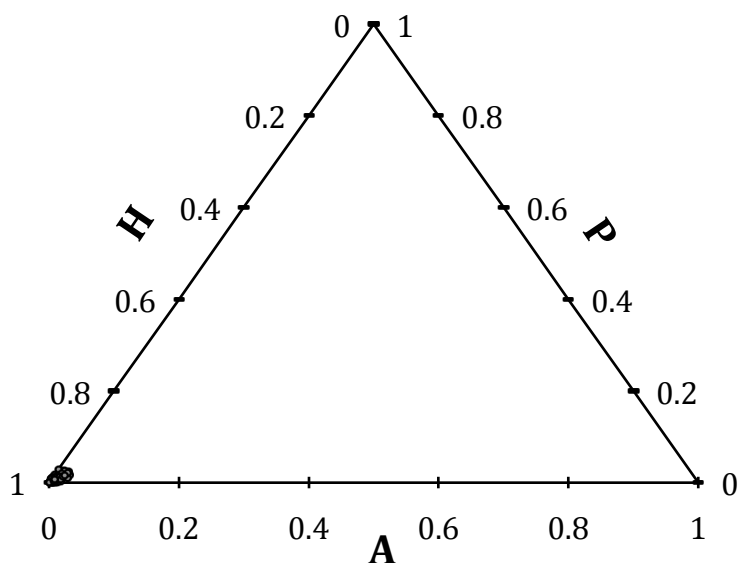
As 8 principais espécies de ocorrência no testemunho KCF10-09A foram integradas em uma análise de agrupamento para a determinação das assembleias de foraminíferos bentônicos da plataforma média dos últimos 7 mil anos pelo coeficiente de similaridade Correlação de Pearson e método de aglomeração *unweighted pair-group average* (UPGA). Duas assembleias foram observadas, sendo: A) Assembleia *Uvigerina peregrina*, formada pelas espécies *B. marginata*, *B. ordinaria*, *B. striatula*, *G. subglobosa*, *I. australis* e *U. peregrina* e B) Assembleia *Alabaminella weddellensis*, formada pelas espécies *A. weddellensis* e *N. commune*. (Figura 34). A assembleia *U. peregrina* é composta por espécies indicadoras de pulsos fitodetríticos, alto fluxo de carbono orgânico, sedimentos finos, condições variáveis de oxigenação e baixa velocidade de correntes de fundo (DULK et al., 1998; GUICHARD et al., 1999; JIAN et al., 1999; MENDES et al., 2004; MARTINS et al., 2007; NAGAI et al., 2010; MURDMAA et al., 2010; MCGANN 2011). Já a assembleia *A. weddellensis* é relacionada às baixas temperaturas e produtividade (HAYWARD et al., 2004), mas Ohkushi et al. (2000) salienta que apesar de ser relacionada aos pulsos periódicos de fitodetritos, *A. weddellensis* pode apresentar outras preferências ambientais, como aporte de material orgânico de mais fácil degradação.



**Figura 34** – Análise de agrupamento por similaridade UPGA das principais espécies de ocorrência no testemunho KCF10-09A. Cor marrom representa a assembleia *Uvigerina peregrina* e a cor verde representa a assembleia *Alabaminella weddellensis*.

A diversidade de Shannon ( $H'$ ) variou entre 1,21 e 2,44, apresentando uma  $H'$  média de 1,84 ao longo do testemunho. Assim como pode ser observado na Figura 32, a diversidade foi praticamente constante entre 7,0ka e 3,0ka AP, e a partir de 3,0ka uma diminuição da diversidade é observada, o que pode indicar uma mudança desfavorável das águas de fundo para o assentamento de espécies bentônicas.

No testemunho KCF10-09A, estão presentes espécies de três diferentes texturas de carapaças: calcários hialinos, calcários porcelanáceos e aglutinantes, representando a média de 98,3%, 0,9% e 0,7% do total de testas em cada amostra do testemunho (Figura 35).

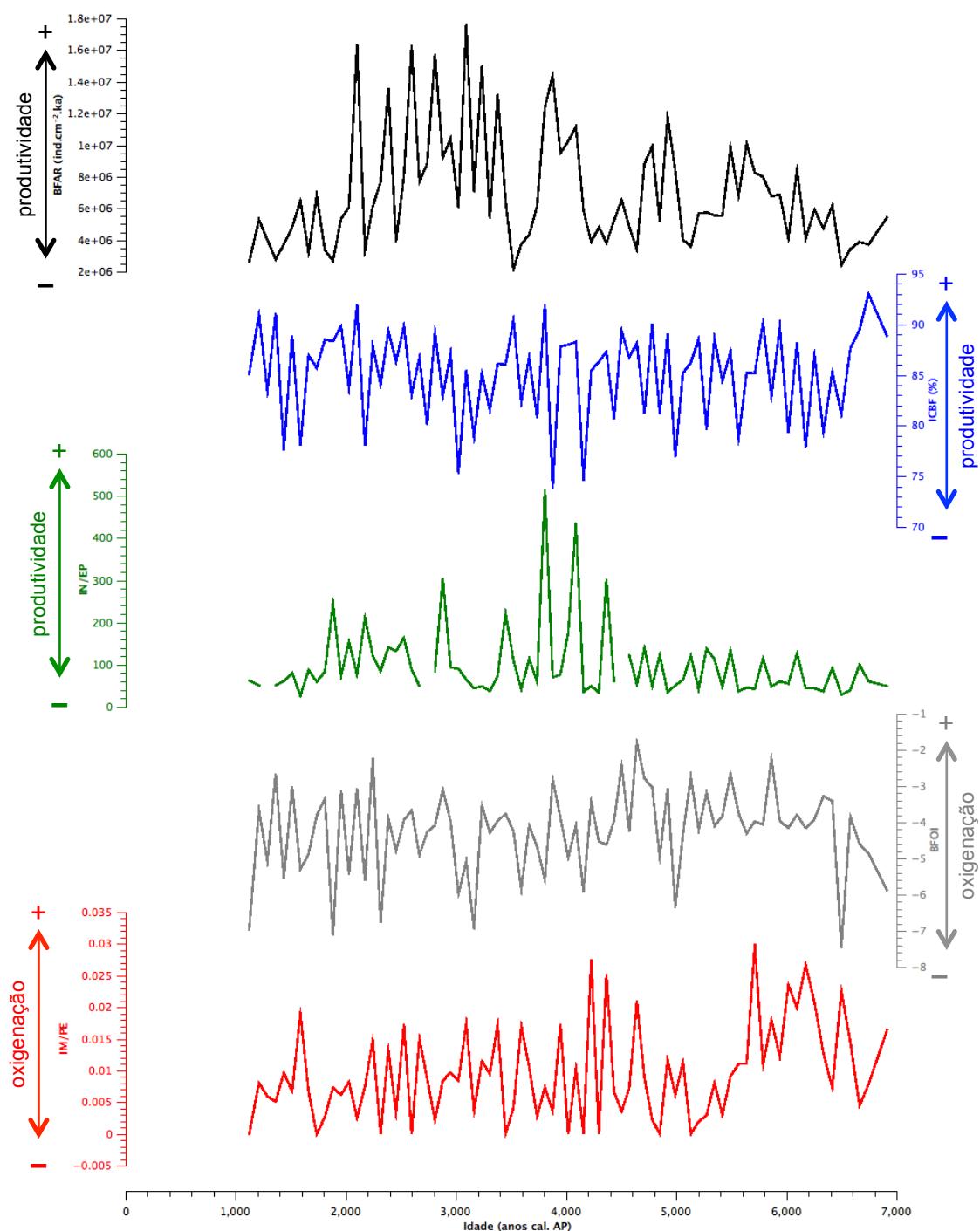


**Figura 35** – Distribuição do total de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-09A por tipo de textura da carapaça em cada amostra, sendo (A) aglutinantes, (H) calcários hialinos e (P) calcários porcelanáceos.

A abundância de espécies calcárias hialinas de hábito infaunal (índice ICBF) sugere um aumento da produtividade ao longo do testemunho, com valores mínimos e máximos de 73,85% e 93,02% (Figura 31). Entre 7,0ka e 3,0ka AP o índice ICBF parece não ter sofrido variações significativas na plataforma média de Cabo Frio, apresentando uma tendência de aumento nos últimos 3,0ka AP.

Quanto aos resultados paleoecológicos de oxigenação, uma média de 88,08% de espécies de infauna e 1,22% de epifauna foram encontrados. A razão IN/EP mostrou também valores constantes, mas entre 4,5ka–3,5ka AP há a presença de picos de razões maiores (Figura 36, Apêndice 6). A alta razão IN/EP

encontrada neste testemunho é proveniente do alto teor de carbono nos sedimentos e a oxigenação mais baixa, não permitindo o estabelecimento de espécies epifaunais.



**Figura 36** – Variação dos índices paleoecológicos de paleoprodutividade BFAR (preto), ICBF (azul), razão IN/EP (verde) e paleoxigenação razão IM/PE (cinza), BFOI (vermelho) do testemunho KCF10-09A.

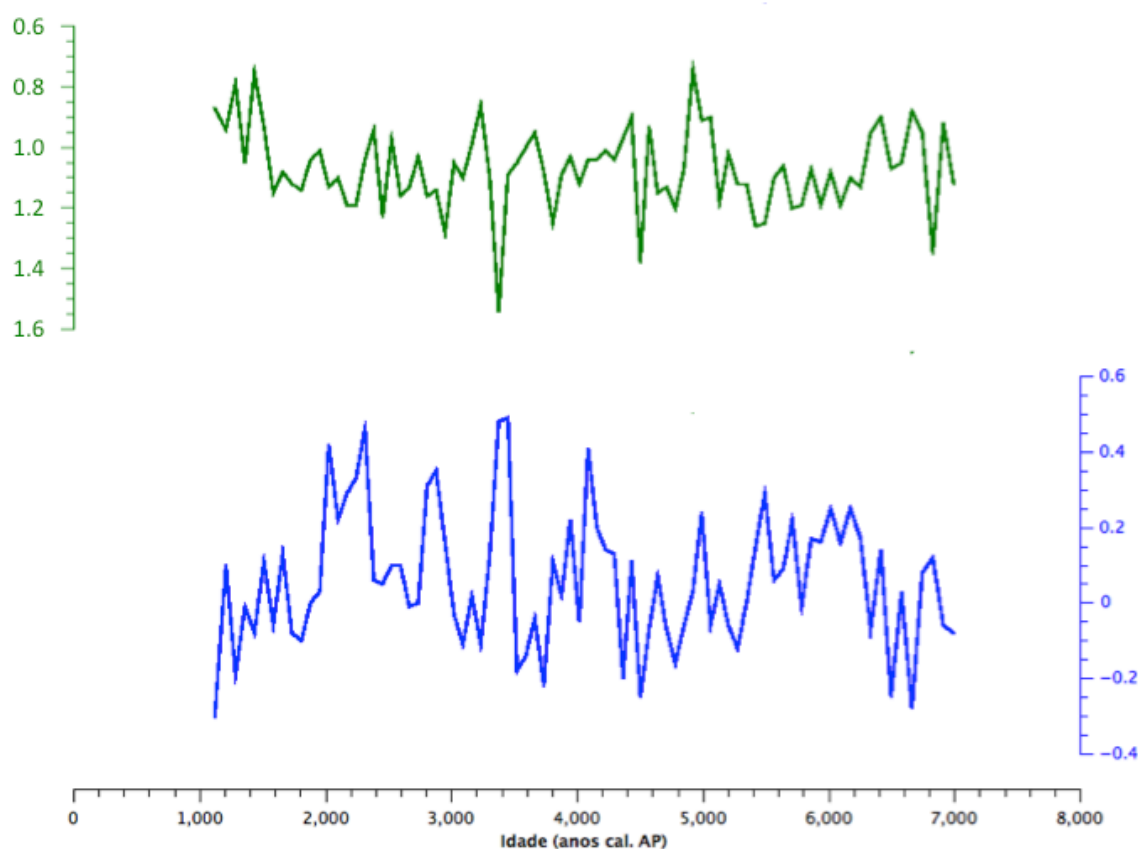
A razão IM/PE mostra também uma estabilidade dos valores entre 5,5ka–1,0ka AP (Figura 36, Apêndice 6). No entanto, entre 7,0ka e 5,5ka AP é possível observar uma razão maior indicando a presença de organismos porcelanáceos, o que indica condições pouco mais oxigenadas que a parte superior do testemunho.

Comprovando os resultados mostrados pela razão IM/PE, o índice BFOI mostra as mesmas duas diferentes fases de oxigenação. A primeira entre 7,0ka e 4,0ka AP, uma oxigenação das águas de fundo levemente maior (média de -3,91) do que a observada entre 4,0ka até o topo (média de -4,47) (Figura 36, Apêndice 6). Mesmo apresentando essa tendência, as condições de oxigenação na plataforma média se mantiveram constantemente subóxicas, segundo a relação do índice descrita por Kaiho (1999).

#### 5.2.4 Isótopos estáveis

O sinal isotópico de  $\delta^{13}\text{C}$  em *U peregrina* variou entre  $-0,30 \pm 0,05\text{‰}$  e  $0,49 \pm 0,05\text{‰}$  e o  $\delta^{18}\text{O}$  variou entre  $0,74 \pm 0,07\text{‰}$  e  $1,54 \pm 0,07\text{‰}$  (Figura 37, Apêndice 7), ambos permanecendo praticamente estáveis durante o Holoceno Médio e Superior, caracterizando a presença da ACAS no fundo da plataforma média durante os últimos 7 mil anos. Ruídos nos sinais de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  são observados entre 4,0ka–2,0ka AP, indicando uma possível variação no fluxo fitodetrítico e frequência nos eventos de presença e ausência da ACAS na zona fótica. Belém et al. (2013) relatam que a presença intermitente da ACAS na zona fótica é um resultado da maior ação de ventos na região, que deslocam as massas superficiais da plataforma média e dão lugar à ascensão desta massa d'água. Concordantemente, durante o período de 4,0ka–2,0ka AP, uma alta instabilidade dos ventos pode ter causado a alta variabilidade do sinal isotópico e da produtividade. Uma tênue diminuição dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  são observados entre 2,0ka–1,0ka AP, o que pode indicar um aumento da oxigenação e/ou aumento da produtividade no topo do testemunho. Mesmo apresentando os resultados acima descritos, a variação da razão isotópica do  $\delta^{18}\text{O}$  foi pequena ao longo dos últimos 7ka AP, indicando que a ACAS esteve sempre presente nas áreas profundas da plataforma continental média de Cabo Frio desde o Holoceno.



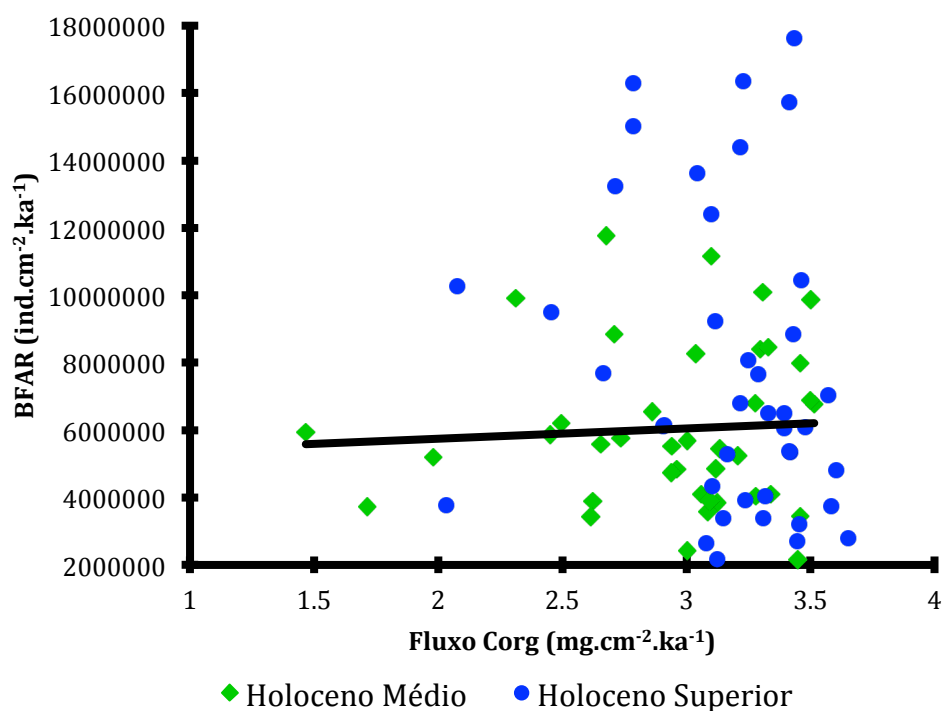


**Figura 37** – Variação isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  (verde) e  $\delta^{13}\text{C}$  (azul) da espécie *Uvigerina peregrina* ao longo do testemunho KCF10-09A.

### 5.2.5 Integração das variáveis paleoceanográficas

Para se determinar a relação entre os diferentes indicadores e *proxies* estudados, uma análise de correlação de Spearman foi realizada com os resultados do testemunho KCF10-09A. Os resultados mostraram que não houve uma influência do nível no mar na região nos últimos 7 mil anos, mas as variáveis representaram a dinâmica da produtividade e oxigenação nas águas de fundo da plataforma média. O BFAR se correlacionou positivamente somente com o fluxo das espécies de foraminíferos bentônicos e com os isótopos estáveis (Tabela 7). No entanto, o índice de produtividade ICBF mostrou-se correlacionado negativamente com a razão C/N e diversidade. Junto com a relação negativa entre razão IM/PE e C/N, esses resultados indicam que os índices BFAR e ICBF parecem não ser completamente efetivos na resposta às variações de produtividade na plataforma interna devido as

variações terem sido muito tênues durante o período. Essa resposta é confirmada na Figura 38, que mostra a falta de padrão na distribuição das amostras no gráfico BFAR e fluxo de Corg.



**Figura 38** – Relação entre o fluxo de Corg (eixo X) e índice BFAR (eixo Y) e ao longo do testemunho KCF10-09A.

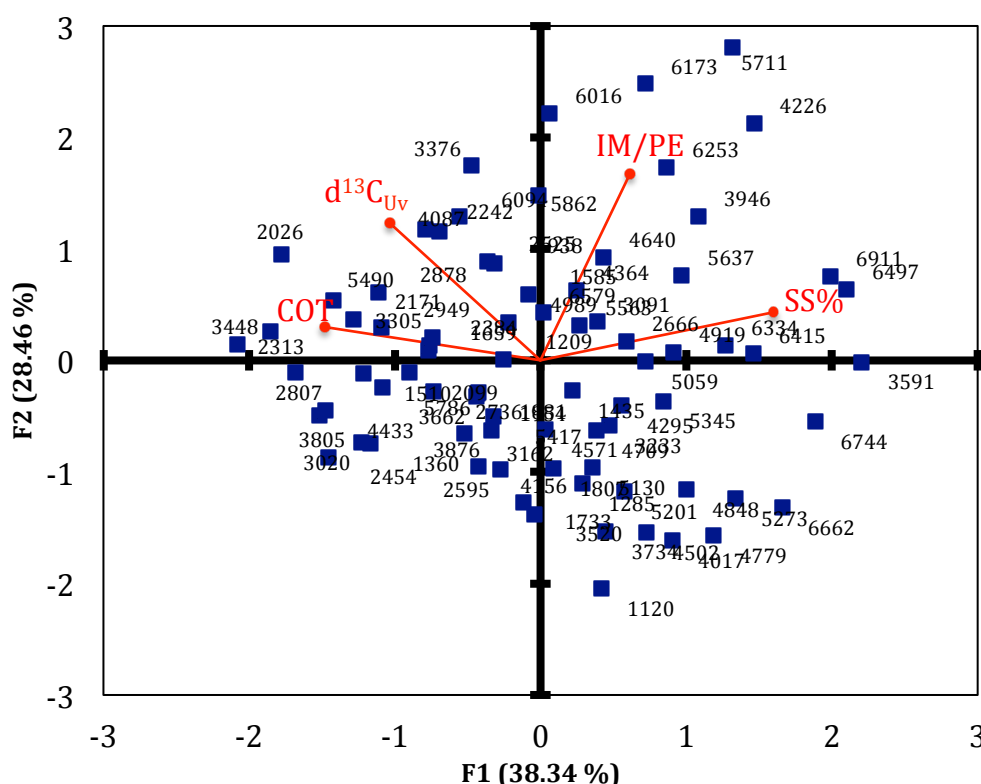
**Tabela 7 – Correlação de Spearman das variáveis sedimentológicas, geoquímicas, paleoecológicas e isotópicas de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-09A (dados significativos em negrito,  $p < 0,05$ )**

Variáveis	BFAR	ICBF	IN/EP	BFOI	IM/PE	A. weddellensis	B. ordinaria	B. striatula	B. marginata	G. subglobosa	I. australis	N. commune	U. peregrina	d18O Uv	d13C Uv	Riqueza	Diversidade	Areia	Silte	SS%	COT	C/N	d13C	Fluxo C
BFAR	<b>1</b>																							
ICBF	0.047	<b>1</b>																						
IN/EP	0.106	<b>0.251</b>	<b>1</b>																					
BFOI	0.219	<b>0.284</b>	0.036	<b>1</b>																				
IM/PE	0.020	-0.040	-0.207	0.051	<b>1</b>																			
A. weddellensis	<b>0.660</b>	<b>-0.544</b>	0.091	0.040	-0.210	<b>1</b>																		
B. ordinaria	<b>0.495</b>	-0.038	0.145	<b>-0.230</b>	-0.198	<b>0.349</b>	<b>1</b>																	
B. striatula	<b>0.770</b>	0.052	0.077	<b>-0.252</b>	0.008	<b>0.471</b>	<b>0.322</b>	<b>1</b>																
B. marginata	<b>0.745</b>	0.077	0.101	0.003	0.146	<b>0.385</b>	<b>0.383</b>	<b>0.663</b>	<b>1</b>															
G. subglobosa	<b>0.938</b>	<b>0.230</b>	0.170	<b>0.377</b>	-0.026	<b>0.553</b>	<b>0.432</b>	<b>0.663</b>	<b>0.564</b>	<b>1</b>														
I. australis	<b>0.647</b>	0.054	-0.023	-0.015	0.217	<b>0.248</b>	<b>0.361</b>	<b>0.616</b>	<b>0.789</b>	<b>0.480</b>	<b>1</b>													
N. commune	<b>0.583</b>	<b>-0.540</b>	-0.105	-0.106	0.077	<b>0.621</b>	<b>0.388</b>	<b>0.504</b>	<b>0.461</b>	<b>0.413</b>	<b>0.510</b>	<b>1</b>												
U. peregrina	<b>0.807</b>	0.023	0.104	0.071	0.037	<b>0.490</b>	<b>0.457</b>	<b>0.711</b>	<b>0.759</b>	<b>0.667</b>	<b>0.666</b>	<b>0.514</b>	<b>1</b>											
d18O Uv	<b>0.267</b>	0.102	0.141	0.193	0.025	0.149	-0.067	0.155	<b>0.256</b>	<b>0.264</b>	0.149	0.078	0.143	<b>1</b>										
d13C Uv	<b>0.303</b>	-0.012	0.078	0.140	0.146	0.120	0.157	0.151	<b>0.345</b>	<b>0.248</b>	<b>0.336</b>	<b>0.289</b>	<b>0.262</b>	<b>0.297</b>	<b>1</b>									
Riqueza	0.190	0.076	<b>-0.279</b>	0.038	<b>0.587</b>	-0.166	-0.045	0.174	<b>0.377</b>	0.121	<b>0.489</b>	0.097	<b>0.237</b>	-0.047	0.109	<b>1</b>								
Diversidade	-0.080	<b>-0.584</b>	<b>-0.236</b>	<b>-0.494</b>	<b>0.310</b>	0.090	0.080	0.090	<b>0.341</b>	<b>-0.366</b>	<b>0.386</b>	<b>0.385</b>	0.192	-0.125	0.056	<b>0.402</b>	<b>1</b>							
Areia	-0.099	0.040	<b>-0.325</b>	0.094	0.029	-0.165	<b>-0.292</b>	-0.050	-0.070	-0.064	-0.063	-0.189	-0.013	-0.087	-0.151	<b>0.227</b>	0.041	<b>1</b>						
Silte	0.098	-0.037	<b>0.350</b>	-0.080	-0.040	0.188	<b>0.299</b>	0.038	0.055	0.068	0.037	0.177	0.013	0.095	0.151	<b>-0.255</b>	-0.068	<b>-0.982</b>	<b>1</b>					
SS%	-0.173	-0.107	<b>-0.466</b>	0.009	0.158	-0.186	<b>-0.342</b>	-0.099	-0.221	-0.147	-0.121	-0.118	-0.140	-0.162	-0.164	<b>0.222</b>	0.076	<b>0.714</b>	<b>-0.719</b>	<b>1</b>				
COT	0.013	0.021	0.199	-0.026	-0.028	0.016	0.159	-0.083	-0.044	0.010	0.032	0.109	-0.131	0.075	<b>0.256</b>	-0.179	-0.104	<b>-0.595</b>	<b>0.564</b>	<b>-0.392</b>	<b>1</b>			
C/N	-0.055	<b>-0.574</b>	0.023	0.010	<b>-0.363</b>	<b>0.578</b>	-0.022	-0.147	<b>-0.473</b>	-0.013	<b>-0.443</b>	0.146	-0.212	-0.079	-0.154	<b>-0.529</b>	-0.179	-0.060	0.094	0.015	0.061	<b>1</b>		
d13C	-0.062	0.024	0.036	0.077	-0.057	-0.042	0.029	-0.157	-0.190	-0.014	-0.138	0.034	<b>-0.293</b>	0.125	0.177	<b>-0.254</b>	<b>-0.235</b>	<b>-0.272</b>	<b>0.254</b>	-0.081	<b>0.633</b>	0.138	<b>1</b>	
Fluxo C	-0.031	-0.034	0.111	-0.060	0.002	0.024	0.077	-0.090	-0.073	-0.045	0.042	0.112	-0.162	-0.035	0.131	-0.087	-0.038	<b>-0.499</b>	<b>0.456</b>	<b>-0.324</b>	<b>0.905</b>	0.080	<b>0.571</b>	<b>1</b>

Devido o alto fluxo orgânico, as assembleias de foraminíferos podem estar respondendo não só à produtividade, mas também à diminuição da oxigenação das águas de fundo. Uma baixa razão IM/PE, um baixo BFOI e sinal mais positivo de  $\delta^{13}\text{C}$  em *U. peregrina* pode indicar uma condição de oxigenação mais restritiva aos foraminíferos. A dinâmica do fluxo das espécies bentônicas indicam uma variação da oxigenação, já que o aporte de carbono orgânico no sedimento é quase constante no testemunho. Assim, o resultado do índice BFAR poderia estar sendo prejudicado pela dominância da espécie *G. subglobosa* ou por outros fatores limitantes aos foraminíferos, como o substrato, interações bióticas ou conteúdo de oxigênio na água intersticial (SEN GUPTA, 2003). Guichard et al. (1997) confirmam que o índice BFAR pode ser afetado quando a oxigenação é um fator limitante no sistema e que a abordagem *multiproxy* é importante para uma válida reconstrução da paleoprodutividade.

A integração estatística das variáveis sedimentológicas, paleoecológicas e isotópicas também foi realizada por análise multivariada, onde a Análise de Componente Principal definiu as diferentes condições oceanográficas que atuaram na plataforma média de Cabo Frio durante o Holoceno Médio e Superior. Para tal, foram selecionadas as variáveis razão IM/PE,  $\delta^{13}\text{C}$  em *U. peregrina*, COT e SS%. Os resultados mostraram que estas variáveis são representantes de 66,80% da variabilidade do testemunho KCF10-09A (Figura 39). Uma homogeneidade na distribuição das amostras foi observada na análise, indicando inexistência de processos oceanográficos abruptos e uma constante intrusão da ACAS na zona fótica nos últimos 7 mil anos.

Entre 7,0ka e 4ka AP, os valores de COT e fluxo de Corg são praticamente estáveis e o SS% indica uma maior hidrodinâmica das massas de fundo, processo que pode ter impedido a sedimentação de parte do material orgânico fitodetrítico. Uma maior oxigenação das águas de fundo também é observada entre 7,0ka–5,5ka AP, confirmando a baixa sedimentação de material orgânico neste período. Um pico significativo indicando a diminuição do aporte orgânico em 6,9ka AP é observado, onde pode ser relacionado ao recuo da ACAS da zona fótica, diminuindo o aporte de nutrientes para a superfície.



**Figura 39** – Análise de Componente Principal das variáveis isotópica, sedimentológicas e paleoecológicas representativas de 66,80% da variabilidade do testemunho KCF10-09A, na plataforma média de Cabo Frio.

Após 4,0ka AP, uma tendência é de aumento do fluxo de Corg e COT é observada, juntamente com a diminuição da velocidade das massas de fundo. O aporte de material orgânico lábil é confirmado pelo incremento do  $\delta^{13}\text{C}$  junto com a diminuição da razão C/N. Ao contrário do que indicam os *proxies* geoquímicos e sedimentológicos, o índice paleoecológico de produtividade BFAR não foi sensível às variações de produtividade, mas o índice ICBF apresenta uma tendência de aumento coincidente com os outros *proxies* no Holoceno Superior. Enquanto o fluxo das espécies dominantes diminui, o fluxo da espécie *G. subglobosa* apresentou um aumento e uma estabilização dos valores entre 3,5ka e 1,0ka AP. A dominância de *G. subglobosa* associada à intensificação do fluxo de Corg pode inibir a presença de outras espécies, diminuindo assim a diversidade e a riqueza neste período. As mesmas condições de baixa diversidade e alta dominância como resposta à alta produtividade foram encontradas por Schmiedl e Leuschner (2005) com as espécies *Uvigerina peregrina* e *Bulimina acculeata* no oeste do Mar Árábico, e por Rad et al. (1999) no talude paquistanês do Mar Árábico.

### 5.3 ACOPLAMENTO DOS COMPARTIMENTOS OCEANOGRÁFICOS

O SRCF atualmente é influenciado por diferentes processos atmosféricos e oceanográficos que atuam nas águas superficiais e profundas da plataforma e alteram a temperatura, aporte de nutrientes, oxigenação e geoquímica das águas de fundo e sedimentos. No entanto, a dinâmica do nível do mar e as alterações no sistema oceano-atmosfera alteraram o atual cenário da plataforma de CF ao longo do Holoceno.

Para a identificação dos principais processos que atuam na plataforma sudeste, a integração dos ambientes, que inicialmente foram estudados de forma isolada, foi realizada por meio da comparação dos descritores sedimentológicos, paleoecológicos e isotópicos da plataforma externa e média. Os testemunhos KCF10-01B e KCF10-09A recuperados em diferentes profundidades foram confrontados desde o período de máxima recuperação do pacote sedimentar. Desta forma, a discussão dos resultados anteriores à 7ka AP foram baseados somente na plataforma externa, enquanto os resultados posteriores à 7ka AP foram integrados espacialmente. O acoplamento indicou diferentes respostas das variáveis na plataforma média e externa aos processos oceanográficos que atuam em cada região (ventos e dinâmica da CB) entre 7,0ka e 3,0ka.

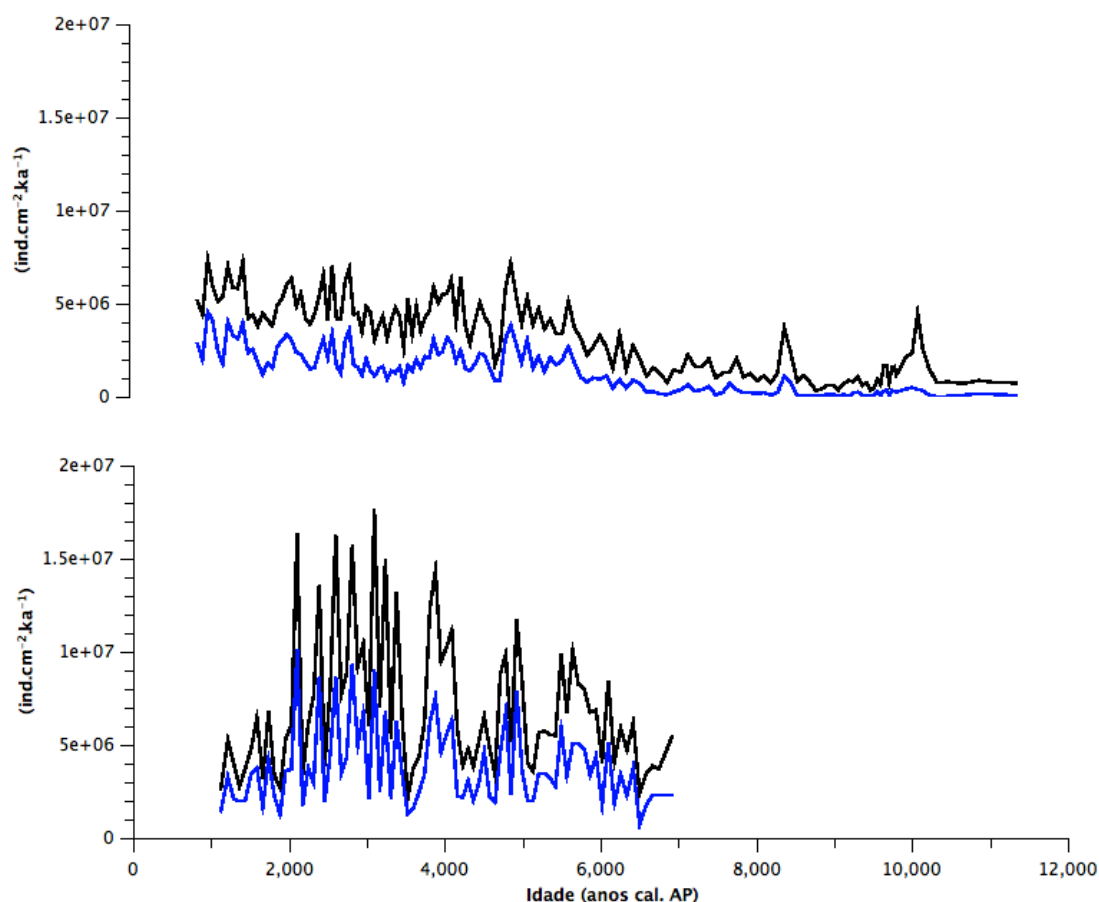
A diversidade de Shannon e a riqueza apresentaram uma diferença entre os testemunhos, apresentando a plataforma externa maiores valores em comparação com a plataforma média. Faria (2013) mostrou um gradiente batimétrico da diversidade de foraminíferos bentônicos na plataforma de Cabo Frio entre plataformas interna, média e externa. No entanto, outras variáveis ambientais também podem estar influenciando o padrão de diversidade, como a dinâmica das massas d'água, hidrodinâmica, granulometria e produtividade. A oxigenação das águas de fundo também diminui a diversidade das espécies (RAD et al., 1999; SCHMIEDL; LEUSCHNER, 2005; MARTÍNEZ et al., 2006), fator que pode estar auxiliando fortemente a diferenciação do índice entre as plataformas média e externa durante o Holoceno.

Ao contrário das suposições feitas em trabalhos anteriormente publicados (CASTELÃO et al., 2004; NAGAI et al., 2009; CALADO et al., 2010; CAMPOS et al., 2000), os resultados isotópicos obtidos neste trabalho, por Faria (2013); Venancio et al. (2014); Albuquerque et al. (2014) mostraram a presença constante da ACAS no

fundo da plataforma desde o Holoceno até o recente. Desta forma, é possível afirmar que os processos de incremento de produtividade estão relacionados à intrusão da ACAS na zona fótica na região da plataforma média e externa, e não pela penetração da ACAS na plataforma continental.

Entre 11,4ka e 7ka AP, o SRCF parece ter sido influenciado pelos processos de variação de nível do mar: alta velocidade das correntes de fundo, baixo fluxo de Corg e teores de COT, razão C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  baixos indicam uma mudança na linha de costa e consequente maior aporte orgânico continental. Menores valores de índices paleoecológicos de produtividade e maior oxigenação das águas de fundo também foram observadas neste trabalho. Esses resultados são corroborados por Nagai et al. (2009), que encontrou um baixo BFAR e um alto aporte de Corg de origem continental indicado pela abundância de *Pseudonionom atlanticum*. Oliveira (2008) também confirma a produtividade por aporte de material terrígeno, mas descreve que, entre 9,0ka–7,0ka AP, o aumento da produtividade é função do processo de ressurgência.

Os teores de material orgânico apresentaram fontes variáveis ao longo do tempo. A plataforma externa apresenta um aporte orgânico predominantemente fitoplanctônico após 7ka AP, enquanto a plataforma média apresenta uma mistura de material orgânico de origem fitoplactônica e continental. Mesmo com a possível existência de um aporte lateral de detritos refratários, o fluxo vertical de carbono orgânico parece ser o mais significativo na plataforma média e externa, devido a espécie indicadora de fluxo de material fitodetrítico, a *G. subglobosa*. A dominância desta espécie foi responsável pela eficiente resposta do índice BFAR às variabilidades paleoceanográficas da plataforma externa de Cabo Frio, podendo então ser considerada uma eficiente indicadora da intrusão da ACAS na zona fótica. A comparação da variabilidade de tal espécie com o índice BFAR nos dois testemunhos estudos pode ser visualizada na Figura 40.



**Figura 40** – Variabilidade do fluxo da espécie *Globocassidulina subglobosa* (azul) e índice BFAR (preto) no testemunho KCF10-01B (acima) e KCF10-09A (abaixo).

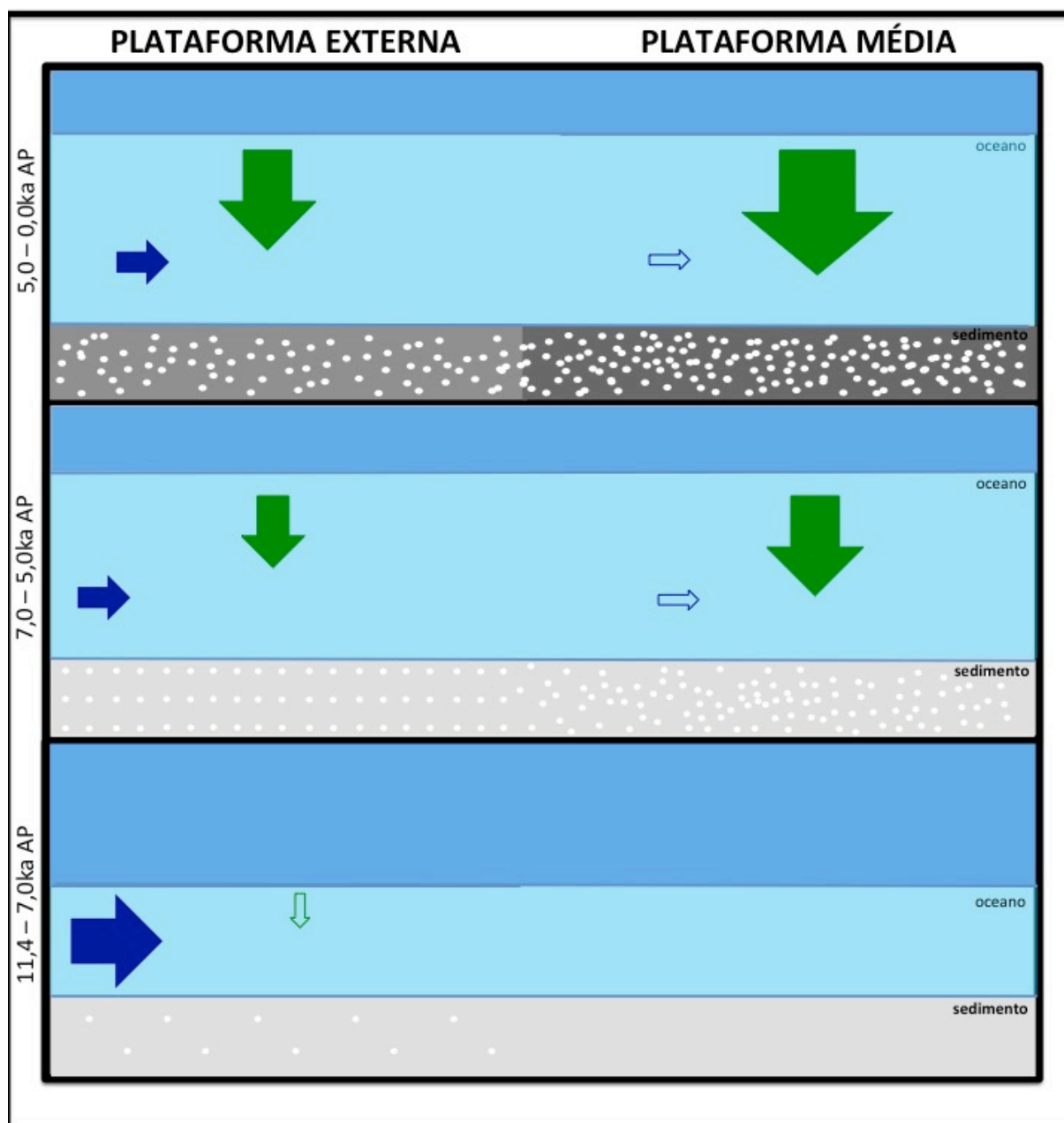
Entre 7,0 e 5,0ka AP, um aumento expressivo dos índices BFAR, ICBF, razão IN/EP e as espécies indicadoras de produtividade *G. subglobosa*, *I. australis* e *U. peregrina* e uma velocidade de fundo menor indicam um incremento da produtividade fitoplanctônica na plataforma externa. Esse período é marcado pelo nível relativo do mar próximo ao atual e pela maior contribuição da CB na plataforma externa, assim como afirmado por Oliveira (2008); Lessa (2013). Nagai et al. (2009) indicam um fortalecimento das correntes de fundo na plataforma interna, devido a redução do Corg e aumento da fração grossa do sedimento. Os resultados encontrados por estes autores estão de acordo com as variações da plataforma média encontrada neste trabalho, e podem ser resultado da maior frequência de ventos SW neste período, devido o deslocamento N da ZCIT (CRUZ et al., 2009) e a ZCAS enfraquecida (HAUG et al., 2001). A alta resolução deste trabalho permitiu a visualização de um evento abrupto da produtividade entre 5,0ka–4,0ka AP na



plataforma externa, evento relacionado ao aumento da TSM (temperatura de superfície do mar) na plataforma externa de Cabo Frio (EVANGELISTA et al., 2014) e à diminuição da intensidade da CB na plataforma externa. Um outro evento de destaque mostrado pelo BFAR da plataforma média é observado entre 4,0ka–3,5ka AP, podendo estar relacionado com uma intensificação de ventos SW e o enfraquecimentos dos ventos NE, interrompendo a intrusão da ACAS na zona fótica.

Após 3,0ka AP, os trabalhos realizados na plataforma de Cabo Frio são unânimes na afirmação de eventos de ressurgência costeira e intrusão da ACAS mais frequentes (OLIVEIRA, 2008; NAGAI et al., 2009; LESSA, 2013), assim como observado com os *proxies* analisados neste trabalho. Índices paleoecológicos e geoquímica do sedimento confirmam o aumento do fluxo de Corg e a diminuição da oxigenação das águas de fundo na plataforma externa. Na plataforma média o aumento da produtividade também é observado pelo índice ICBF. Oliveira (2008) ainda reporta a incidência de fortes ventos NE fortalecendo a ressurgência neste período.

A Figura 41 apresenta um modelo comparativo da tendência da produtividade e oxigenação da plataforma externa e média do SRCF nos últimos 11,4 mil anos AP, indicado pelo índice BFAR, ICBF, BFOI e SS% e as relações paleoclimáticas, que serão descritas a seguir.



**Figura 41** – Modelo comparativo da paleoprodutividade, paleoxigenação e velocidade de correntes de fundo dos últimos 11,4ka AP nas plataformas externa e média do SRCF. As setas verticais verdes representam o fluxo de carbono orgânico (maior fluxo representado pela seta maior e vice-versa), as setas horizontais azuis representam a velocidade das correntes de fundo (maior velocidade representada pela seta maior e vice-versa), a cor do sedimento representa a oxigenação (maior oxigenação representada pela cor clara e vice-versa) e os pontos brancos representam o índice BFAR (mais número de pontos brancos representando um maior índice BFAR).

#### 5.4 PALEOCLIMA E AS ÁGUAS DE FUNDO DO SRCF

O padrão dos processos oceânicos-atmosféricos também está relacionado à padrões e fatores de escalas regionais e globais que exercem influência no clima da América e Atlântico Sul.

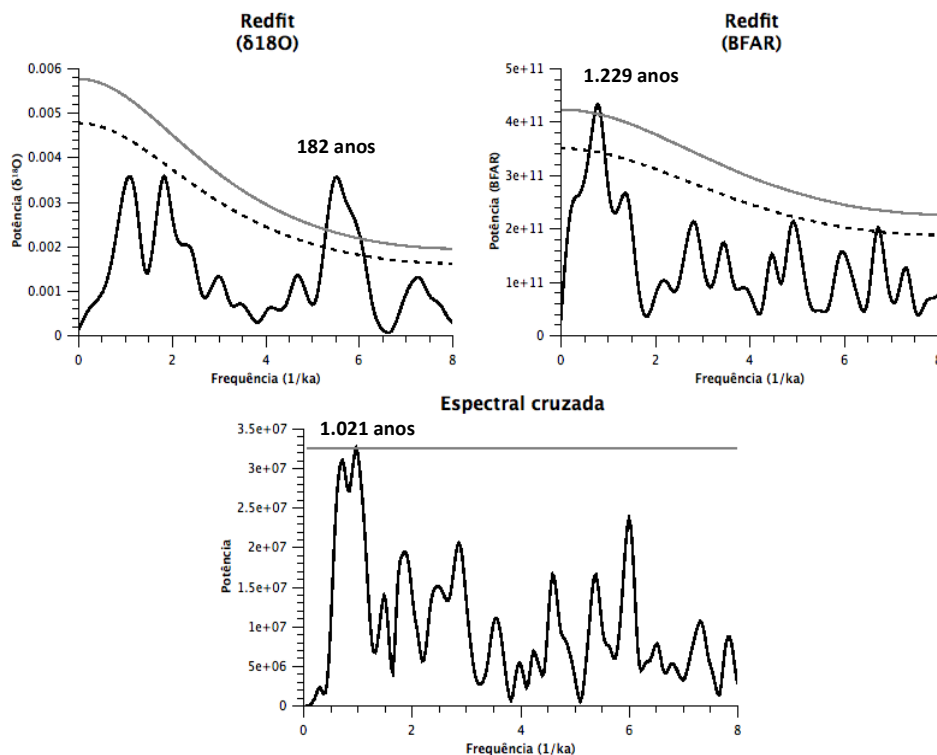
A região média do SRCF está sob forte influência de ventos (alísios NE e frente frias SW) que exercem um papel importante no deslocamento das águas superficiais para a intrusão das massas profundas na zona fótica, influenciando assim a produtividade. O sinal geoquímico e a paleoecologia de foraminíferos bentônicos estão condicionados também à processos locais como oxigenação e intensidade de correntes de fundo, e estas exercem um papel mais importante para assembleias de foraminíferos. Uma vez com os parâmetros de oxigenação e velocidade de correntes de fundo estejam constantes e em níveis toleráveis aos foraminíferos bentônicos, pode-se inferir que a variabilidade da produtividade de fundo pode ser relacionada à dinâmica das correntes.

Neste sentido, as variáveis BFAR e  $\delta^{18}\text{O}$  em *C. kullenbergi* foram submetidas à análises espectrais para a determinação de periodicidades nas séries de dados, permitindo a inserção dos processos paleoceanográficos locais no contexto regional e global de circulação. As séries de dados dos últimos 6 mil anos foram escolhidas para representarem essa contextualização devido os processos de variação de nível do mar que, mesmo que presentes em toda a plataforma, parecerem não terem sido marcados pelas variáveis na região da plataforma externa durante o período.

Os resultados das análises espectrais mostram periodicidades em escalas centenária ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e milenar (BFAR). A análise espectral Redfit mostrou periodicidade de 182 anos nas significâncias de 90% e 95% com  $\delta^{18}\text{O}$ . Quanto ao índice BFAR, a análise espectral mostrou uma periodicidade milenar de 1.229 anos nas significâncias de 90% e 95%. Na análise espectral cruzada, confrontando tanto o índice BFAR e  $\delta^{18}\text{O}$ , uma periodicidade 1.021 anos com significância 95% (Figura 42). Considerando a maior acuidade da análise espectral Redfit sobre a análise espectral, as periodicidades encontradas pela análise Redfit foram consideradas como melhores representantes da variabilidade dos dados.

A variabilidade milenar da série de dados de BFAR mostra a relação deste indicador com os eventos Bond, que são oscilações de  $\sim 1.470 \pm 500$  (BOND et al., 1997) relacionadas à variações da circulação da AMOC em decorrência das variações na formação da APAN no Atlântico Norte (BOND et al., 1997; 2001; DAHL et al., 2005). Esse resultado corrobora a discussão de que a produtividade primária que chega ao fundo (indicada pelo BFAR) é diretamente relacionado à dinâmica

AMOC, uma vez que a ACAS é empilhada na zona fótica pela intensificação da CB, que distribuiu o calor acumulado da CSE para regiões mais ao sul.



**Figura 42** – Análise espectral, espectral Redfit e espectral cruzada da série de dados dos últimos 6ka do índice BFAR e  $\delta^{18}\text{O}$  em *C. kullenbergi* do testemunho KCF10-01B. Linha cinza representando *white noise* de 95% de significância e linha pontilhada representando *white noise* de 90% de significância.

Devido o aumento do degelo das calotas polares do Atlântico Norte, a desaceleração da AMOC gera a diminuição da transferência de calor da CNB para o Atlântico Norte, aquecendo e intensificando as águas superficiais do Atlântico Sul, em especial da CSE. Assim, a CB e a CNB devem estar em anti-fase, onde a intensificação da CB com a consequente variabilidade da produtividade primária na plataforma externa de CF podem estar vinculados à variabilidade da AMOC (ARZ et al., 1999).

Vários trabalhos relatam as variações milenares ao longo do Holoceno no Atlântico e suas variações em escala milenar, especialmente no Atlântico Norte. O padrão de ciclos em escala milenares foi observado por Bond et al. (1997) utilizando como proxies de degelo das calotas polares o teor da fração lítica nos sedimentos (chamados *ice-rafted debris* (IRD)) e *hematite-stained grains* (HSG). O referente trabalho sugere que a superfície oceânica e a atmosfera da região da Groenlândia

foram um sistema acoplado em um ciclo climático quase-periódico. Oppo et al. (2004) identificaram que a variação da formação da APAN é inequivocamente em escala centenária-milenar, resultado também concluído por Kleiven et al. (2008). Em escalas de tempo centenária e milenar, a propagação dos rápidos eventos ocorridos no Atlântico Norte para as latitudes sul podem ter sido quase instantâneas (PENA et al., 2010). No entanto, poucos trabalhos detectaram periodicidade milenar nas variáveis paleoceanográficas no Atlântico Sul, sendo todos baseados em *proxies* geoquímicos ou sedimentológicos. A AMOC transporta calor e sal para o Atlântico Norte, mas quando o aumento do degelo ocorre, a desaceleração da AMOC pode resultar na acumulação do calor e sal no Hemisfério Sul (*bipolar seesaw*). A reconstrução das paleotemperaturas da TSM no Atlântico Sul realizadas por Santos et al. (2014); Evangelista et al. (2014) confirmam exatamente esta anti-fase entre os dois hemisférios durante Pleistoceno Superior e Holoceno. Períodos de intensificação da CB estão em sincronia com o enfraquecimento da CNB e com as anomalias negativas da TSM em altas latitudes do Atlântico Norte (CHIESSI et al., 2013). Desta forma, pode-se inferir que a variabilidade da intrusão da ACAS e pela intensificação da CB na margem brasileira pode ser indicada pela alta resolução do índice BFAR obtido neste trabalho.

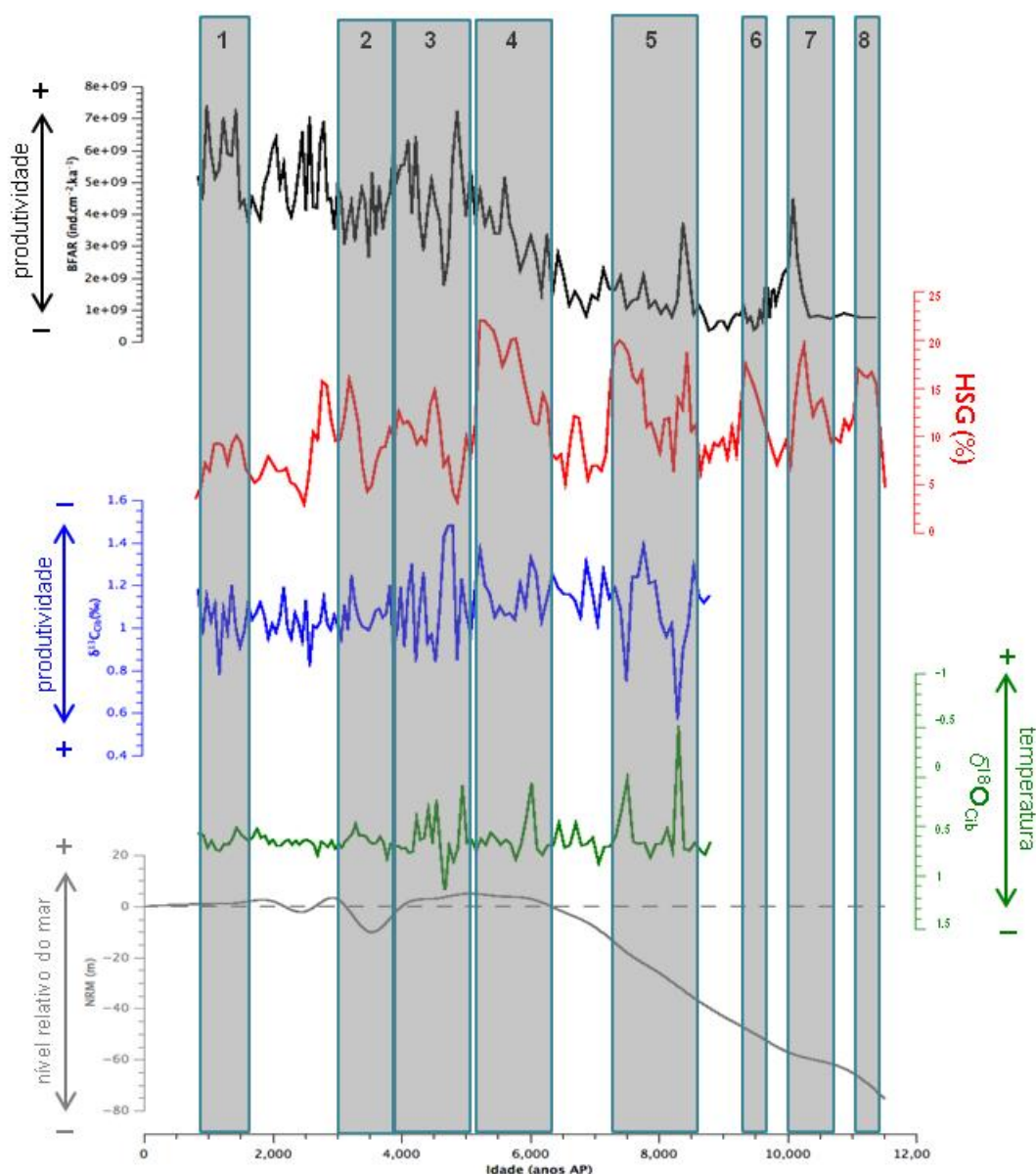
As variabilidades centenárias ainda são pouco conhecidas, mas retratadas em vários trabalhos. Baker et al. (2005) apresentaram uma série de oscilações em escala centenária nos níveis do Lago Titicaca, incluindo a periodicidade de 170 anos. Os autores relacionaram esta variabilidade centenária e a variabilidade milenar como relações anti-fásicas entre a precipitação no Altiplano e a temperatura de superfície do mar (TSM) no Atlântico Norte. Concordantemente, Bond et al. (2001); Darby et al. (2012) também relataram oscilações próximas a variação centenária encontrado neste trabalho, indicando periodicidades relacionadas ao gelo de deriva e à TSM no Atlântico Norte.

Sabe-se que ambas variações em escalas centenárias e milenares são provavelmente resultantes da forçante solar, mas ainda não é conhecido como a variabilidade solar poderia induzir uma mudança climática. Alguns modelos consideram que, com a redução da forçante solar, a diminuição da propagação dos efeitos desencadeados pelas mudanças no ozônio estratosférico leva ao resfriamento, ao deslocamento sul dos ventos subtropicais norte e uma diminuição da circulação atmosférica no norte. As respostas atmosféricas que reduzem a

irradiação podem induzir o coincidente com o degelo do Atlântico Norte e o resfriamento da TSM e da atmosfera na Groenlândia (BOND et al., 2001).

Bond et al. (1997) também destacam a presença de eventos climáticos abruptos no Atlântico Norte que aumentaram os teores de IRD nos oceânicos, com picos em 1.400, 2.800, 4.200, 5.900, 8.100, 9.400, 10.300 e 11.100 anos AP, que ficaram conhecidos como eventos Bond 1-8. O evento de maior impacto ocorrido em 8,2ka (Bond 5) foi o evento de maior intensidade no Holoceno e recuperado por um crescente número de trabalhos (ALLEY et al., 1997; BAKER et al., 2005; KLEIVEN et al., 2008; STRIKIS et al., 2011; YASUHARA et al., 2014). Esses eventos climáticos abruptos, de duração de pelo menos um ou dois séculos, estão relacionados ao resfriamento das águas do Atlântico Norte pelo degelo das calotas polares.

Analisando a variabilidade do índice BFAR em CF, durante o Holoceno Inferior um evento abrupto de aumento da produtividade coincidente com o evento Bond 5 é observado em 8,3ka AP (Figura 43). Após a confirmação da variabilidade milenar desta variável, pode-se inferir que este pico no índice é relacionado à variabilidade da AMOC no Holoceno. O evento 8,2ka é retratado em várias partes do Atlântico Norte como um sinal da desaceleração da AMOC e, pela primeira vez no oeste do Atlântico Sul esta mudança abrupta é relatada. O evento abrupto em questão teve ocorrência na plataforma pelo processo de desaceleração da AMOC e o sinal foi marcado nos sedimentos marinhos de CF mesmo sob ação do intenso processo de transgressão marinha do Holoceno Inferior. Além do BFAR, o sinal isotópico de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  em *C. kullenbergi* também foi reduzido abruptamente, indicando a modificação do sinal isotópico da ACAS como resposta ao aumento da produtividade primária, confirmando a influência do sinal paleoclimático anômalo na plataforma externa de CF e a sensibilidade do índice BFAR e  $\delta^{13}\text{C}$  de *C. kullenbergi* às oscilações da AMOC no Atlântico Sul.



**Figura 43** – Registros comparativo da variabilidade do índice BFAR do testemunho KCF10-01B (este trabalho), *hematite stained grain* (HSG%) da combinação dos testemunhos MC52-V29-191 no Atlântico Norte (BOND et al., 2001), dos isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em *C. kullenbergi* do testemunho KCF10-01B (este trabalho) e variação relativa do nível do mar (CORRÊA, 1996). As bandas verticais numeradas em cinza marcam os eventos Bond.

Outros eventos abruptos observados em CF entre 6–5ka e 5–4,5ka podem ser relacionado ao evento Bond 4, uma vez que as variações relativas do nível do mar parecem não ter sido gravadas nos *proxies* paleoecológicos e isotópicos após 6ka AP. Dois eventos abruptos de degelo foram observados em períodos similares ao encontrado em CF, em 5,9ka e 4,3ka AP, chamados de eventos Bond 4 e 3. A tendência de aumento da produtividade observada entre 6ka–5ka AP é coincidente com o aumento do degelo no Atlântico Norte (Figura 42) e o aumento da TSM na plataforma externa em Cabo Frio, seguida de uma abrupta queda de  $\sim 1^\circ\text{C}$  na

temperatura após 5ka AP (EVANGELISTA et al., 2014). Coincidentemente à queda da TSM, uma drástica diminuição da produtividade é observada entre 5,0ka e 4,5ka AP, indicando uma menor intensidade da CB e rápida recuperação da intensidade da AMOC. O novo pico de produtividade em 4,3ka AP sugere uma resposta ao evento Bond 3. Este período de transição do Holoceno Médio ao Superior é retratado mundialmente, apresentando severa mudança na formação da APAN (OPPO et al., 2004) e diminuição da diversidade de microfósseis como resposta à AMOC no Atlântico Norte (YASUHARA et al., 2014). No Hemisfério Sul, resultados paleoclimáticos indicam o deslocamento da ZCIT (que anteriormente à 5ka estaria posicionada à Norte) e a intensificação das chuvas, promovida pelas monções sul-americanas (CRUZ et al., 2009; GYLLENCREUTZ et al., 2010; RAZIK et al., 2013; MCGEE et al., 2014).

Entre o período de 4,0ka e 2,0ka, uma alta variabilidade do índice BFAR e  $\delta^{13}\text{C}$  em *U. peregrina* no testemunho KCF10-09A devem estar relacionados à instabilidade dos ventos. Este período de alta instabilidade é coincidente com o relatado por Haug et al. (2001) entre 3,8ka e 2,8ka AP, sugerindo uma relação com o aumento precipitação pelo deslocamento da ZCIT neste período. Já Gyllencreutz et al. (2010) propõe o aumento do efeito dos eventos ENOS (*El Niño* Oscilação Sul) devido o maior aporte do rio Paraná e maior extensão das plumas do rio La Plata, e que os ventos ENE favoreceram o transporte de sedimentos do rio Paraíba do Sul sentido Sul na plataforma continental. Este evento pode justificar o rápido e abrupto aumento da velocidade das águas de fundo pelo aumento do aporte fluvial em 2,7ka AP na plataforma externa de Cabo Frio.

A variabilidade milenar encontrada neste trabalho na plataforma externa confirma a interligação entre a produtividade primária da plataforma continental externa de Cabo Frio e o deslocamento da CB como resposta às oscilações milenares da AMOC, porém estudos mais aprofundados a respeito do efeito da frente interna da CB e a variabilidade milenar e centenária da intensidade da CB precisam ser realizados para o completo entendimento do papel desta corrente na margem continental brasileira e as relações com a CNB e AMOC. Em contrapartida, as variações de produtividade encontradas na plataforma média podem estar relacionadas exclusivamente à ação dos ventos NE que deslocam as águas superficiais e possibilitam a intrusão da água de fundo ACAS na zona fótica.



## 6 CONCLUSÃO

- As análises realizadas nos testemunhos KCF10-01B e KCF10-09A permitiram o estudo em alta resolução da variabilidade oceanográfica dos últimos 11,4 mil anos e as relações com o paleoclima e as variações do nível do mar;
- A espécie *Globocassidulina subglobosa* é a espécie dominante nas plataformas externa e média de Cabo Frio, indicando um alto aporte fitodetrítico lábil no assoalho oceânico durante o Holoceno, enquanto o fluxo da espécie *Uvigerina peregrina* representou a presença da ACAS no fundo da plataforma continental;
- A variação da produtividade primária e oxigenação da plataforma externa no Holoceno foram reconstruídas de forma eficaz pelos índices paleoecológicos BFAR, BFOI e razão IM/PE. Já na plataforma média, a alta dominância de *G. subglobosa* sobre as demais espécies e a baixa oxigenação dos sedimentos podem ter influenciado de forma negativa as assembleias de foraminíferos bentônicos, alterando a variabilidade dos índices nesta região;
- O acoplamento indicou que os processos oceanográficos que atuam na plataforma média (ventos) e externa (dinâmica da CB) modificaram as assembleias de foraminíferos bentônicos e índices paleoecológicos de forma diferente entre 7,0ka e 3,0ka;
- Ao contrário das suposições feitas em trabalhos anteriores, os resultados isotópicos mostraram a presença constante da ACAS no fundo da plataforma durante todo o Holoceno. A pequena variabilidade do  $\delta^{18}\text{O}$  de *Cibicides kullenbergi* observada nos últimos 5,0ka AP na plataforma externa pode ser resultado do empilhamento da ACAS por ação da CB e intensificação do processo de intrusão da ACAS da zona fótica. Já o  $\delta^{13}\text{C}$  de *C. kullenbergi* apresentou uma razão isotópica mais negativa após 5,0ka AP, período em que a produtividade primária apresentou um aumento na plataforma externa;
- As variações de nível relativo do mar foram identificadas no testemunho KCF10-01B pelas variáveis sedimentológicas (teor de areia, SS%), geoquímicas ( $\delta^{13}\text{C}$  e teor de COT), índices ecológicos (BFAR, ICBF, razão IN/EP, BFOI) e pelas espécies *Globocassidulina subglobosa*, *Islandiella australis*, *Nonion commune* e *Uvigerina peregrina*. Estas espécies sugerem

uma transgressão acentuada entre 11,4ka e 8,0ka AP, com mudança na linha de costa e um consequente maior aporte orgânico continental. Após 8,0ka AP, mesmo com a continuação do processo transgressivo e o consequente início da regressão em 5,4ka AP, o registro destas variações não foram evidenciados pelos *proxies* utilizados neste trabalho nas duas plataformas;

- Entre 8,0ka e 4ka AP um aumento expressivo do índices paleoecológicos de produtividade e uma menor velocidade de fundo menor indicam aumento da produtividade fitoplanctônica na plataforma externa durante o período de aumento da TSM na costa brasileira. No entanto, na plataforma média as correntes de fundo foram fortalecidas, impedindo a deposição de Corg e partículas finas;
- O índice BFAR apresentou uma variabilidade milenar e  $\delta^{18}\text{O}$  de *C. kullenbergi* uma variabilidade centenária, indicando um acoplamento da variação da intensificação da CB com a dinâmica da AMOC no Atlântico Sul, afetando assim o fluxo de produtividade primária da plataforma externa do SRCF;
- O evento Bond de 8,2ka AP foi evidenciado pela primeira vez no oeste do Atlântico Sul com os resultados obtidos neste trabalho com os *proxies* BFAR,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em *C. kullenbergi*, indicando uma relação entre os eventos abruptos do Atlântico Norte e a dinâmica paleoceanográfica e de paleoprodutividade na plataforma externa de Cabo Frio;

Considerando as conclusões acima destacadas, pode-se inferir que as hipóteses propostas neste trabalho podem ser acatadas de acordo como os resultados paleoecológicos e isotópicos obtidos, mostrando a influência das variações de nível relativo do mar nas assembleias, a dinâmica da produtividade e oxigenação e a relação com a variação periódica da AMOC por meio das oscilações de intensidade da CB.

Por fim, sugere-se que estudos futuros da variabilidade da CB em alta resolução sejam ampliados para toda costa sudeste e sul brasileira, a fim de aprimorar o entendimento das relações entre a CB e a AMOC no sudoeste do Atlântico, além de auxiliar na melhor compreensão da dinâmica desta corrente e a importância no transporte de calor para latitudes à Sul.

## 7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. L. S.; BELÉM, A.; ZULUAGA, F. J. B.; CORDEIRO, L. G. M.; MENDOZA, U.; KNOPPE, B.; GURGEL, M. H.; MEYERS, P.; CAPILLA, R. Particle fluxes and bulk geochemical characterization of the Cabo Frio Upwelling System in Southeastern Brazil: sediment trap experiments between spring 2010 and summer 2012. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, p. 601-619, 2014.

ALLEY, R. B.; MAYEWSKI, P. A.; SOWERS, T.; STUIVER, M.; TAYLOR, K. C.; CLARK, P. U. Holocene climatic instability: a prominent, widespread event 8200yr ago. **Geology**, v. 25, p. 483-486, 1997.

ANDERSON, D. M.; PRELL, W. L. A 300kyr record of upwelling off Oman during the Late Quaternary: evidence of the Asian Southwest Monsoon. **Paleoceanography**, v. 8, p. 193-208, 1993.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**, v. 140, p. 141-166, 1997.

ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; SUGUIO, K.; PESSENDA, L. C. R. Relative sea-level changes in the last 5500 years in the southern Brazil (Laguna-Imbituva region, Santa Catarina State) based on vermetid  $^{14}\text{C}$  ages. **Marine Geology**, v. 159, p. 323-339, 1999.

ANGULO, R. J.; PESSENDA, L. C. R.; SOUZA, M. C. O significado das datações ao  $^{14}\text{C}$  na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral paranaense. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, p. 95-106, 2002.

ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; REIMER, P. J.; SASAOKA, S. K. Reservoir effect of the southern and southeastern Brazilian coast. **Radiocarbon**, v. 47, p. 67-73, 2005.

ARMSTRONG, H.; BRASIER, M. Microfossils, stable isotopes and ocean-atmosphere history. In:\_\_\_\_\_. **Microfossils**. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. p. 25-34.

ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off northeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 50, p. 157-166, 1999.

ATKINSON, L. P. Western Boundary Currents. In: LIU, K. K. et al. (Eds.). **Carbon and nutrient fluxes in continental margins**. Berlin: Springer-Verlag, 2010. v.1, p. 121-169.

BADAWI, A.; SCHMIEDL, G.; HEMLEBEN, C. Impact of late Quaternary environmental changes on deep-sea benthic foraminiferal faunas of the Red Sea. **Marine Micropaleontology**, v. 58, p. 13-30, 2005.

BAKER, P. A.; FRITZ, S. C.; GARLAND, J.; EKDAHL, E. Holocene hydrologic variation at Lake Titicaca, Bolivia/Peru, and its relationship to North Atlantic climate variation. **Journal of Quaternary Science**, v. 20, p. 655-662, 2005.

BARBOSA, C. F.; SUGUIO, K. Biosedimentary facies of a subtropical microtidal estuary – an example from southern Brazil. **Journal of Sedimentary Research**, v. 69, p. 576-587, 1999.

BARTELS-JÓNSDÓTTIR, H. B.; KNUDSEN, K. L.; ABRANTES, F.; LEBREIRO, S.; EIRÍKSSON, J. Climate variability during the last 2000 years in the Tagus Prodelta, western Iberian Margin: benthic foraminifera and stable isotopes. **Marine Micropaleontology**, v. 59, p. 83-103, 2006.

BELÉM, A. L.; CASTELÃO, R. M.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. **Geophysical Research Letters**, v. 40, p. 1-5, 2013.

BELLIER, J. P.; MATHIEU, R.; GRANIER, B. **Short treatise on foraminiferology**. Brest: Notebooks on Geology, 2010. v. 2, 104 p.

BLAAUW, M. Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences. **Quaternary Geochronology**, v. 5, p. 512-518, 2010.

BOND, G.; SHOWERS, W.; CHESEBY, M.; LOTTI, R.; ALMASI, P.; DEMENOCAL, P.; PRIORE, P.; CULLEN, H.; HAJDAS, I.; BONANI, G. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. **Science**, v. 278, p. 1257-1266, 1997.

BOND, G.; KROMER, B.; BEER, J.; MUSCHELER, R.; EVANS, M. N.; SHOWERS, W.; HOFFMANN, S.; LOTTI-BOND, R.; HAJDAS, I.; BONANI, G. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. **Science**, v. 294, p. 2130-2136, 2001.

BURONE, L.; MELLO E SOUSA, S. H.; MAHIQUES, M. M.; VALENTE, P.; CIOTTI, A.; YAMASHITA, C. Benthic foraminiferal distribution on the southeastern Brazilian shelf and upper slope. **Marine Biology**, v. 158, p. 159-179, 2011.

CALADO, L.; SILVEIRA, I. C. A.; GANGOPADHYAY, A.; CASTRO, B. M. Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). **Continental Shelf Research**, v. 30, p. 1181-1188, 2010.

CAMPOS, E. J. D.; IKEDA, Y.; CASTRO, B. M.; GAETA, S. A.; LORENZZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R. Experiment studies circulation in the Western South Atlantic. **Eos**, v. 77, p. 253-264, 2006.

CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D. ; SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, p. 751-754, 2000.

CARBONEL, C. A. A. H. Modelling of upwelling-downwelling cycles caused by variable wind in a very sensitive coastal system. **Continental Shelf Research**, v. 23, p. 1559-1578, 2003.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMAN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88- 108, 2004.

CASTELÃO, R. M.; CAMPOS, E. J. D.; MILLER, J. L. A modelling study of coastal upwelling driven by wind and meanders of the Brazil Current. **Journal of Coastal Research**, v. 20, p. 662-671, 2004.

CASTRO, J. W. A.; SENRA, M. C. E.; RAMOS, R. R. C. Coquinas da paleolaguna da Reserva Tauá – Pântano da Malhada, Cabo Frio, RJ. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; BERBET-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A. (Eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: SIGEP, 2009. v. 2, p. 269-276.

CASTRO, J. W. A.; SUGUIO, K.; SEOANE, J. C. S.; CUNHA, A. M.; DIAS, F. Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 671-683, 2014.

CHIESSI, C. M.; ULRICH, S.; MULITZA, S.; PÄTZOLD, J. ; WEFER, G. Signature of the Brazil-Malvinas Confluence (Argentine Basin) in the isotopic composition of planktonic foraminifera from surface sediments. **Marine Micropaleontology**, v. 64, p. 52-66, 2007.

CHIESSI, C. M.; MULITZA, S.; GROENEVELD, J.; SILVA, J. B.; CAMPOS, M. C.; GURGEL, M. H. C. Variability of the Brazil Current during the late Holocene. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 28-36, 2013.

CHIESSI, C. M.; MULITZA, S.; MOLLENHAUER, G.; SILVA, J. B.; GROENEVELD, J.; PRANGE, M. Thermal evolution of the western South Atlantic and the adjacent continent during Termination 1. **Climate of the Past**, v. 10, p. 4553-4593, 2014.

CORLISS, B. H.; EMERSON, S. Distribution of rose Bengal stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotian continental margin and Gulf of Maine. **Deep-Sea Research**, v. 37, p. 381-400, 1990.

CORRÊA, I. C. S. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: ; exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**, v. 130, p. 163-178, 1996.

CRUZ, F. W.; BURNS, S. J.; KARMANN, I.; SHARP, W. D.; VUILLE, D.; CARDOSO, A. O.; FERRARI, J. A.; DIAS, P. L. S.; VIANNA JUNIOR, O. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, v. 434, p. 63-66, 2009.

DAHL, K. A.; BROCCOLI, A. J.; STOUFFER, R. J. Assessing the role of North Atlantic freshwater forcing in millennial scale climate variability: a tropical Atlantic perspective. **Climate Dynamics**, v. 24, p. 325-346, 2005.

DARBY, D. A.; ORTIZ, J. D.; GROSCHE, C. E.; LUND, S. P. 1,500-year cycle in the Arctic Oscillation identified in Holocene Arctic sea-ice drift. **Nature Geoscience**, v. 5, p. 897-900, 2012.

DE DECKKER, P.; MOROS, M.; PERNER, K.; JANSEN, E. Influence of the tropics and southern westerlies on glacial interhemispheric asymmetry. **Nature Geoscience**, v. 5, p. 266-269, 2012.

DIAS, L. F. L.; CASTRO, J. W. A.; SEOANE, J. C. S. Transição Pleistoceno – Holoceno na enseada dos Anjos, Arraial do Cabo Rio de Janeiro: reconstituição paleoambiental 3D. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, p. 931-951, 2014a.

DIAS, B. B.; PARIZOTTO, B. A. D. M.; BONETTI, C. Agentes naturais e antrópicos modificadores da qualidade da água e dos sedimentos nas áreas marginais da Lagoa da Conceição, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology**, v. 18, p. 33-43, 2014b.

DIESTER-HAASS, L. Late Quaternary sedimentation on the Eastern Walvis Ridge, SE Atlantic (HPC 532 and four piston cores). **Marine Geology**, v. 65, p. 145-189, 1985.

DULK, M.; REICHART, G. J.; MEMON, G. M.; ROELOFS, E. M. P.; ZACHARIASSE, W. J.; ZWAAN, G. J. Benthic foraminiferal response to variations in surface water productivity and oxygenation in the northern Arabian Sea. **Marine Micropaleontology**, v. 35, p. 43-66, 1998.

EICHLER, P. P. B.; BILLUPS, K.; VITAL, H.; MORAES, J. A. Tracing thermohaline properties and productivity of shelf-water masses using the stable isotopic composition of benthic foraminifera. **Journal of Foraminifera Research**, v. 44, p. 352-364, 2014.

EICHLER, P. P. B.; GUPTA, B. K. S.; EICHLER, B. B.; BRAGA, E. S.; CAMPOS, E. J. Benthic foraminiferal assemblage of the South Brazil: Relationship to water masses and nutrient distributions. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1674-1686, 2008.

EICHLER, P. P. B.; PIMENTA, F. M.; EICHLER, B. B.; VITAL, H. *Bulimina marginata* in the SW Atlantic Continental margin: effect of the Subtropical Shelf Front and South Atlantic Central Water. **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 88-92, 2013.

EICHLER, P. P. B.; RODRIGUES, A. R.; EICHLER, B. B.; BRAGA, E. S.; CAMPOS, E. J. D. Tracing latitudinal gradient, river discharge and water masses along the Subtropical South American Coast using benthic foraminifera assemblages. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 723-759, 2012.

EVANGELISTA, H.; GURGEL, M.; SIFEDDINE, A.; RIGOZO, N. R.; BOUSSAFIR, M. South Tropical Atlantic anti-phase response to Holocene Bond Events. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 21-27, 2014.



FARIA, G. R. **Variabilidade da Água Central do Atlântico Sul no último século com base em isótopos estáveis e foraminíferos bentônicos sobre a plataforma continental de Cabo Frio (RJ)**. Niterói, 2013. 103 f. Tese (Mestrado em Geociências – Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

FONTANIER, C.; MACKENSEN, A.; JORISSEN, F. J.; ANSCHUTZ, P.; LICARI, L.; GRIVEAUD, C. Stable oxygen and carbon isotopes of live benthic foraminifera from the Bay of Biscay – Microhabitat impact and seasonal variability. **Marine Micropaleontology**, v. 58, p. 159-183, 2006.

GOODAY, A. J.; MALZONE, M. G.; BETT, B. J.; LAMONT, P. A. Decadal-scale changes in shallow-infaunal foraminiferal assemblages at the Porcupine Abyssal Plain, NE Atlantic. **Deep-Sea Research II**, v. 57, p. 1362-1382, 2010.

GORDON, A. L. South Atlantic thermocline ventilation. **Deep-Sea Research**, v. 28A, p. 1239-1264, 1981.

GROOT, D. E.; AAGAARD-SORENSEN, S.; HUSUM, K. Reconstruction of Atlantic water variability during the Holocene in the western Barents Sea. **Climate of the Past**, v. 10, p. 51-62, 2014.

GUICHARD, S.; JORISSEN, F.; BERTRAND, P.; GERVAIS, A.; MARTINEZ, P.; PEYPOUQUET, J. P.; PUJOL, C.; VERGNAUD-GRAZZINI, C. Foraminifères benthiques et paléoproduktivité: réflexions sur une carotte de l'upwellinf (NW African). **Académie des sciences**, Paris, v. 325, p. 65-70, 1997.

GUICHARD, S.; JORISSEN, F.; PEYPOUQUET, J. P. Late Quaternary benthic foraminiferal records testifying lateral variability of the Cape Blanc upwelling signal. **Académie des Sciences**, v. 329, p. 295-301, 1999.

GYLLENCREUTZ, R.; MAHIQUES, M. M. ; ALVES, D. V. P. ; WAINER, I. K. C. Mid-to late-Holocene paleoceanographic changes on the southeastern Brazilian shelf based on grain size records. **The Holocene**, v. 20, p. 863-875, 2010.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T. ; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, p. 1-9, 2001.

HAUG, G. H.; HUGHEN, K. A.; SIGMAN, D. M.; PETERSON, L. C.; RÖHL, U. Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. **Science**, v. 293, p. 1304-1308, 2001.

HAYWARD, B. W.; SABAA, A.; GRENFELL, H. R. Benthic foraminifera and the late Quaternary (last 150ka) paleoceanographic and sedimentary history of the Bounty Trough, east of New Zealand. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 211, p. 59-93, 2004.

HOLBOURN, A.; HENDERSON, A. S.; MACLEOD, N. **Atlas of Benthic Foraminifera**. [S.I.]: Wiley-Blackwell, 2013. 654 p.

HÖLL, C.; MÜCKE, S. K. Late Quaternary upwelling variations in the Eastern Equatorial Atlantic Ocean as inferred from dinoflagellate cysts, planktonic foraminifera, and organic carbon content. **Quaternary Research**, v. 54, p. 58-67, 2000.

HUANG, B.; JIAN, Z.; CHENG, X.; WANG, P. Foraminiferal responses to upwelling variations in the South China Sea over the last 220000 years. **Marine Micropaleontology**, v. 47, p. 1-15, 2002.

JIAN, Z.; WANG, L.; KIENAST, M.; SARNTHEIN, M.; KUHN, W.; LIN, H.; WANG, P. Benthic foraminiferal paleoceanography of the South China Sea over the last 40,000 years. **Marine Geology**, v. 156, p. 159-186, 1999.

JIAN, Z.; HUANG, B.; KUHN, W.; LIN, H. Late Quaternary upwelling intensity and east asian monsoon forcing in the South China Sea. **Quaternary Research**, v. 55, p. 363-370, 2001.

JONES, R. W. **The Challenger Foraminifera**. Oxford: Oxford University Press, 1994. 149 p.

JORRISEN, F. J.; DE STIGTER, H. C.; WIDMARK, J. G. V. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. **Marine Micropaleontology**, v. 26, p. 3-15, 1995.

KAIHO, K. Effect of organic carbon flux and dissolved oxygen on the benthic foraminiferal oxygen index (BFOI). **Marine Micropaleontology**, v. 37, p. 67-76, 1999.

KAMINSKI, M. A. Calibration of the Benthic Foraminiferal Oxygen Index in the Marmara Sea. **Geological Quarterly**, v. 56, p. 757-764, 2012.

KATZ, M. E.; CRAMER, B. S.; FRANZESE, A.; HÖNISCH, B.; MILLER, K. G.; ROSENTHAL, Y. ; WRIGHT, J. D. Traditional and emerging geochemical proxies in foraminifera. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 40, p. 165-192, 2010.

KENDER, S.; HUSUM, K.; ALVAREZ-ZARIKIAN, C.; KAMINSKI, M. A. IODP Expedition 323 initial results: Bering Sea foraminiferal records of the past 4 Ma and implications for changes to deep and surface ocean palaeoecology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAMINIFERA – FORAMS, 2010, Bonn, Alemanha. **Resumo**. Bonn: Universität Bonn, 2010.

KLEIVEN, H. F.; KISSEL, C.; LAJ, C.; NINNEMANN, U.; RICHTER, T. O.; CORTIJO, E. Reduced North Atlantic Deep water coeval with the glacial lake Agassiz freshwater outburst. **Science**, v. 319, p. 60-64, 2008.

LESSA, D. V. O. **Variabilidade da ressurgência na região de Cabo Frio (RJ) durante os últimos 1.000 anos com base na associação de foraminíferos planctônicos**. Niterói, 2013. 134 f. Tese (Doutorado em Geociências – Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

LESSA, D. V. O.; RAMOS, R. P.; BARBOSA, C. F.; SILVA, A. R.; BELEM, A.; TURCQ, B.; ALBUQUERQUE, A. L. Planktonic foraminifera in the sediment of a western boundary upwelling system off Cabo Frio, Brazil. **Marine Micropaleontology**, v. 106, p. 55-68, 2014.

LIU, W.; LIU, Z.; CHENG, J.; HU, H. On the stability of the Atlantic meridional overturning circulation during the last deglaciation. **Climate Dynamics**, v. 44, n. 5-6, p. 1257-1275, 2014.

LOEBLICH, A. R.; TAPPAN, H. **Foraminiferal genera and their classification**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1988. 970 p.

LYNCH-STIEGLITZ, J.; ADKINS, J. F.; CURRY, W. B.; DOKKEN, T.; HALL, I. R.; HERGUERA, J. C.; HIRSCHI, J. J. M.; IVANOVA, E. V.; KISSEL, C.; MARCHAL, O.; MARCHITTO, T. M.; MCCAVE, I. N.; MCMANUS, J. F.; MULITZA, S.; NINNEMANN, U. S.; PEETERS, F.; YU, E. F.; ZAHN, F. Atlantic meridional overturning circulation during the Last Glacial Maximum. **Science**, v. 316, p. 66-69, 2007.

MACKENSEN, A.; HUBBERTEN, H. W.; BICKERT, T.; FISHER, G.; FÜTTERER, D. K. The  $\delta^{13}\text{C}$  in benthic foraminiferal tests of *Frontotia wuellerstorfi* (schwager) relative to the  $\delta^{13}\text{C}$  of dissolved inorganic carbon in Southern Ocean deep water: implications for glacial ocean circulation models. **Paleoceanography**, v. 8, p. 587-610, 1993.

MARCHITTO, T. M.; BROECKER, W. S. Deep water mass geometry in the glacial Atlantic Ocean: A review of constraints from the paleonutrient proxy Cd/Ca. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 7, p. 1-16, 2006.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene sea levels in Eastern and Southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, v. 19, p. 101-124, 2003.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M. L. **Geologia do Quaternário Costeiro do litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. Belo Horizonte: CPRM, 1997. 125 p.

MARTINEZ, P.; BERTRAND, P.; SHIMMIELD, G. B.; COCHRANE, K.; JORISSEN, F. J.; FOSTER, J.; DIGNAN, M. Upwelling intensity and ocean productivity changes off Cape Blanc (northwest Africa during the last 70,000 years: geochemical and micropalaeontological evidence. **Marine Geology**, v. 158, p. 57-74, 1999.

MARTÍNEZ, I.; RINCON, D.; YOKOYAMA, Y.; BARROWS, T. Foraminifera and coccolithophorid assemblage changes in the Panama Basin during the last deglaciation: response to sea-surface productivity induced by a transient climate change. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 234, p. 114-126, 2006.

MARTINS, V.; DUBERT, J.; JOUANNEAU, J. M.; WEBER, O.; SILVA, E. F.; PATINHA, C.; DIAS, J. M. A.; ROCHA, F. A multiproxy approach of the Holocene evolution of shelf-slope circulation on the NW Iberian Continental Shelf. **Marine Geology**, v. 239, p. 1-18, 2007.

MCCAVE, I. N.; CARTER, L.; HALL, I. R. Glacial-interglacial changes in water mass structure and flow in the SW Pacific Ocean. **Quaternary Science Reviews**, v. 27, p. 1886-1908, 2008.

MCCAVE, I. N.; MANIGHETTI, B.; ROBINSON, S. G. Sortable silt and fine sediment size/composition slicing: parameters for paleocurrent speed and palaeoceanography. **Paleoceanography**, v. 10, p. 593-610, 1995.

MCCORKLE, D. C.; CORLISS, B. H.; FARNHAM, C. A. Vertical distribution and stable isotopic compositions of live (stained) benthic foraminifera from the North Carolina and California continental margins. **Deep-sea Research I**, v. 44, p. 983-1024, 1997.

MCCORKLE, D. C.; KEIGWIN, L. D. L.; CORLISS, B. H.; EMERSON, S. R. The influence of microhabitats on the carbon isotopic composition of deep-sea benthic foraminifera. **Paleoceanography**, v. 5, p. 161-185, 1990.

MCGANN, M. Paleoceanographic changes on the Farallon Escarpment off central California during the last 16,000 years. **Quaternary International**, v. 235, p. 26-39, 2011.

MCGEE, D.; DONOHOE, A.; MARSHALL, J.; FERREIRA, D. Changes in ITCZ location and cross-equatorial heat transport at the Last Glacial Maximum, Heinrich Stadial 1, and the mid-Holocene. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 390, p. 69-79, 2014.

MCMANUS, J. F.; FRANCOIS, R.; GHERARDI, J. M.; KEIGWIN, L. D.; BROWN-LEGER, S. Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional circulation linked to deglacial climate changes. **Nature**, v. 428, p. 834-837, 2004.

MELLO E SOUSA, S. H.; PASSOS, R. F.; FUKUMOTO, M.; SILVEIRA, I. C. A.; FIGUEIRA, R. C. L.; KOUTSOUKOS, E. A. M.; MAHIQUES, M. M.; REZENDE, C. E. Mid-lower bathyal benthic foraminifera of the Campos Basin, Southeastern Brazilian margin: biotopes and controlling ecological factors. **Marine Micropaleontology**, v. 61, p. 40-57, 2006.

MEMERY, L.; ARHAN, M.; ALVAREZ-SALGADO, X. A.; MESSIAS, M. J.; MERCIER, H.; CASTRO, C. G.; RIOS, A. F. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 47, p. 69-98, 2000.

MENDES, I.; GONZALEZ, R.; DIAS, J. M. A.; LOBO, F.; MARTINS, V. Factors influencing recent benthic foraminifera distribution on the Guadiana shelf (Southwestern Iberia). **Marine Micropaleontology**, v. 51, p. 171-192, 2004.

MENDOZA, U.; NETO, A. A.; ABUCHACRA, R. C.; BARBOSA, C. F.; FIGUEIREDO JUNIOR, A. G.; GOMES, M. C.; BELEM, A. L.; CAPILLA, R.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Geoacoustic character, sedimentology and chronology of a cross-shelf Holocene

sediment deposit off Cabo Frio, Brazil (southwest Atlantic Ocean). **Geo-Marine Letters**, v. 34, p. 297-314, 2014.

MOHRIAK, W. U.; BARROS, A. Z. N. Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil: o gráben de Barra de São João na plataforma de Cabo Frio, RJ. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 187-196, 1990.

MURDMAA, I. O.; KAZARINA, G. H.; BEAUFORT, L.; IVANOVA, E. V.; EMELYANOV, E. M.; KRAVTSOV, V. A.; ALEKHINA, G. N.; VASILEVA, V. E. Upper Quaternary laminated sapropelic sediments from the continental slope of Baja California. **Litologiya Poleznye Iskopaemye**, v. 2, p. 171-191, 2010.

MURRAY, J. W. **Ecology and applications of benthic foraminifera**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 426 p.

NAGAI, R. H.; SOUZA, S. H. M.; BURONE, L.; MAHIQUES, M. M. Paleoproductivity changes during the Holocene in the inner shelf of Cabo Frio, Southeastern Brazilian continental margin: Benthic foraminifera and sedimentological proxies. **Quaternary International**, v. 206, p. 62-71, 2009.

NAGAI, R. H.; MELLO E SOUSA, S. H.; LOURENÇO, R. A.; BÍCEGO, M. C.; MAHIQUES, M. M. Paleoproductivity changes during the Late Quaternary in the Southeastern Brazilian upper continental margin of the Southwestern Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 31-41, 2010.

NAIDU, P. D. Influence of monsoon upwelling on the planktonic foraminifera off Oman during Late Quaternary. **Indian Journal of Marine Sciences**, v. 36, p. 322-331, 2007.

NAIDU, P. D.; MALMGREN, B. A. Monsoon upwelling effects on test size of some planktonic foraminiferal species from the Oman Margin, Arabian Sea. **Paleoceanography**, v. 10, p. 117-122, 1995.

NAIK, S. S.; GODAD, S. P.; NAIDU, P. D. Does carbonate ion control planktonic foraminifera shell calcification in upwelling regions? **Current Science**, v. 101, p. 1370-1375, 2011.

OHKUSHI, K.; THOMAS, E.; KAWAHATA, H. Abyssal benthic foraminifera from the northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298kyr. **Marine Micropaleontology**, v. 38, p. 119-147, 2000.

OLIVEIRA, A. C. C. **Registro de paleotemperaturas na Plataforma Continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos**. Niterói, 2008. 185 f. Tese (Doutorado em Geociências – Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

OPPO, D. W.; CURRY, W. B. Deep Atlantic Circulation during the last Glacial Maximum and deglaciation. **Nature Education Knowledge**, v. 3, p. 1, 2012.

OPPO, D. W.; MCMANUS, J. F.; CULLEN, J. L. Deepwater variability in the Holocene epoch. **Nature**, v. 422, p. 277-278, 2004.

PENA, L. D.; FRANCÉS, G.; DIZ, P.; ESPARZA, M.; GRIMALT, J. O.; NOMBELA, M. A.; ALEJO, I. Climate fluctuations during the Holocene in NW Iberia: high and low latitude linkages. **Continental Shelf Research**, v. 30, p. 1487-1496, 2010.

PIOTROWSKI, A. M.; GALY, A.; NICHOLL, J. A. L.; ROBERTS, N.; WILSON, D. J.; CLEGG, J. A. ; YU, J. Reconstructing deglacial North and South Atlantic deep water sourcing using foraminiferal Nd isotopes. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 357-358, p. 289-297, 2012.

RAD, U.; SCHULZ, H.; RIECH, V.; DULK, M.; BERBER, U.; SIROCKO, F. Multiple monsoon-controlled breakdown of oxygen-minimum conditions during the past 30,000 years documented in laminated sediments off Pakistan. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 152, p. 129-161, 1999.



RAVELO, A. C.; HILLAIRES-MARCEL, C. The use of oxygen and carbon isotopes of foraminifera in paleoceanography. In: HILLAIRES-MARCEL, C.; VERNAL, A. D. (Eds.). **Proxies in Late Cenozoic paleoceanography**. Tokyo: Elsevier, 2007. v. 1, p. 735-761.

RAZIK, S.; CHIESSI, C. M.; ROMERO, O. E.; DOBENECK, T. Interaction of the South American Monsoon System and the Southern Westerly Wind Belt during the last 12kyr. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 374, p. 28-40, 2013.

ROBERTS, N. L.; PIOTROWSKI, A. M.; ELDERFIELD, H.; EGLINTON, T. I.; LOMAS, M. W. Rare earth element association with foraminifera. **Geochimica et Cosmochimica**, v. 94, p. 57-71, 2012.

RODRIGUES, G. B.; FAUTH, G. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio em ostracodes do Cretáceo: metodologias, aplicações e desafios. **Terra e Didática**, v. 9, p. 34-49, 2013.

RODRIGUES, R. R.; LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 371-394, 2001.

RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH, M. Seasonal variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: a numerical study. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, p. 16-30, 2007.

ROHLING, E. J.; COOKE, S. Stable oxygen and carbon isotopes in foraminiferal carbonate shells. In: SEN GUPTA, B. K. (Ed.). **Modern Foraminifera**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, 1999. p. 239-258.

SANTOS, T. P.; BELEM, A. L.; BARBOSA, C. F.; DOKKEN, T.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Paleoceanographic reconstruction of the western equatorial Atlantic during the last 40 kyr. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 14-20, 2014.

SANTOS, T. P.; FRANCO, D. R.; BARBOSA, C. F.; BELEM, A. L.; DOKKEN, T.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Millennial- to centennial-scale changes in sea surface temperature in the tropical South Atlantic throughout the Holocene. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 392, p. 1-8, 2013.

SCHMIEDL, G.; LEUSCHNER, D. C. Oxygenation changes in the deep western Arabian Sea during the last 190,000 years: Productivity versus deepwater circulation. **Paleoceanography**, v. 20, PA2008, 2005.

SCHMIEDL, G.; MACKENSEN, A. Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean- evidence from benthic foraminifera. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, Amsterdam, v. 130, p. 43-80, 1997.

SCHMIEDL, G.; PFEILSTICKER, M.; HEMLEBEN, C.; MACKENSEN, A. Environmental and biological effects on the stable isotope composition of recent deep-sea benthic foraminifera from the Western Mediterranean Sea. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v. 51, p. 129-152, 2004.

SCHRÖDER, C. J.; SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S. Can smaller benthic foraminifera be ignored in paleoenvironmental analyses? **Journal of Foraminiferal Research**, v. 17, p. 101-105, 1987.

SCHULZ, M.; MUDELSEE, M. REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. **Computer & Geoscience**, v. 28, p. 421-426, 2002.

SCHULZ, M.; STATTEGGER, K. SPECTRUM: spectral analysis of unevenly spaced paleoclimatic time series. **Computers & Geosciences**, v. 23, p. 929-945, 1997.

SEN GUPTA, B. K. (Ed.). **Modern Foraminifera**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003. 371 p.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, v. 27, p. 379–423, 1948.

SHETYE, S. R.; SHENOI, S. S. C.; GOUVEIA, A. D.; MICHAEL, G. S.; SUNDAR, D.; NAMPOOTHIRI, G. Wind-driven coastal upwelling along the western boundary of the Bay of Bengal during the southwest monsoon. **Continental Shelf Research**, v. 11, p. 1397-1408, 1991.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. ; IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, p. 171-183, 2000.

SMART, C. W.; WAELEBROECK, C.; MICHEL, E.; MAZAUD, A. Benthic foraminiferal abundance and stable isotope changes in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean during the last 20 kyr- Paleooceanographic implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 297, p. 537–548, 2010.

SOUTO, D. D.; LESSA, D. V. O.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; SIFEDDINE, A.; TURCQ, B. J. ; BARBOSA, C. F. Marine sediments from southeastern Brazilian continental shelf: A 1200 years Record of upwelling productivity. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 299, p. 49-55, 2011.

STOCKER, T.; JOHNSEN, S. J. A minimum thermodynamic model for the bipolar seesaw. **Paleoceanography**, v. 18, p. 1087, 2003.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 20863-20883, 1999.

STRIKIS, N. M.; CRUZ, F. W.; CHENG, H.; KARMANN, I.; EDWARDS, R. L.; VUILLE, M.; WANG, X.; PAULA, M. S.; NOVELLO, V. F.; AULER, A. S. Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. **Geology**, v. 39, p. 1075-1078, 2011.

SUGUIO, K.; ANGULO, R. J.; CARVALHO, A. M.; CORRÊA, I.; TOMAZELLI, L.; WILLWOCK, J.; VITAL, H. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: SOUZA, C. R. de G. et al. (Eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003. p. 114-129.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível do relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, p. 273-286, 1985.

TINOCO I. M. **Foraminíferos recentes de Cabo Frio, Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 1955. 43 p.

TOLEDO, F. A. L.; CACHÃO, M.; COSTA, K. B.; PIVEL, M. A. G. Planktonic foraminifera, calcareous nannoplankton and ascidian variations during the last 25kyr in the Southwestern Atlantic: A paleoproductivity signature? **Marine Micropaleontology**, v. 64, p. 67-79, 2007.

TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C.; TASAYACO-ORTEGA, L. Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B.; BIDONE, E. D.; ABRÃO, J. **Environmental geochemistry of coastal lagoon systems of Rio de Janeiro, Brazil**. Niterói, RJ: UFF, Programa de Geoquímica, 1999. p. 25-56. (Série Geoquímica Ambiental; 6).

VAN DER ZWAAN, G. J.; DUIJNSTEE, I. A. P.; DULK, M.; ERNST, S. R.; JANNINK, N. T.; KOUWENHOVEN, T. J. Benthic foraminifers: proxies or problems? A review of paleoecological concepts. **Earth-Science Reviews**, v. 46, p. 213-236, 1999.

VELLINGA, M.; WOOD, R. A. Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic thermocline circulation. **Climatic Changes**, v. 54, p. 251-267, 2002.

VENÂNCIO, I. M. L.; BELEM, A. L.; SANTOS, S. A. L.; SANTOS, T. H. ZUCCHI, R.; AZEVEDO, A. E.; CAPILLA, R.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Influence of continental

shelf processes in the water mass balance from isotope data: implications for paleoceanographic proxy calibration. **Journal of Marine Systems**, v. 139, p. 241-247, 2014.

VIEIRA, F. S.; KOUTSOUKOS, E. A. M.; MACHADO, A. J.; DANTAS, M. A. T. Biofaciological zonation of benthic foraminifera of the continental shelf Campos Basin, SE Brazil. **Quaternary International**, p. 1-10, 2014. Doi 10.1016/j.quaint.2014.12.020

WANG, F.; LIU, J.; QIU, J.; WANG, H. Historical evolution of hypoxia in East China Sea off the Changjiang (Yangtze River) estuary for the last ~ 13,000 years: evidence from the benthic foraminiferal community. **Continental Shelf Research**, v. 90, p. 151-162, 2014.

WOLLENBURG, J. E.; MACKENSEN, A.; KUHN, W. Benthic foraminiferal biodiversity response to a changing Arctic palaeoclimate in the last 24.000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 255, p. 195-222, 2007.

YASUHARA, M.; OKAHASHI, H.; CRONIN, T. M.; RASMUSSEN, T. L.; HUNT, G. Response of deep-sea biodiversity to abrupt deglacial and Holocene climate changes in the North Atlantic Ocean. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 9, p. 957-967, 2014.

ZARRIESS, M.; MACKENSEN, A. Testing the impact of seasonal phytodetritus deposition on  $\delta^{13}\text{C}$  of epibenthic foraminifer *Cibicides wuellerstorfi*: a 31,000 years high-resolution record from northwest African continental slope. **Paleoceanography**, v. 26, PA2202, 2011.

ZHANG, J.; WANG, P.; LI, Q.; CHENG, X.; JIN, H.; ZHANG, S. Western equatorial Pacific productivity and carbonate dissolution over the last 550kyr: foraminiferal and nanofossil evidence from ODP Hole 807A. **Marine Micropaleontology**, v. 64, p. 121-140, 2007.

ZHU, J.; LIU, Z.; ZHANG, J.; LIU, W. AMOC response to global warming: dependence on the background climate and response timescale. **Climate Dynamics**, p. 1-20, 2014. Doi 10.1007/s00382-014-2165-x

## 8 APÊNDICES

**Apêndice 1** – Índice taxonômico das espécies de foraminíferos bentônicos do Holoceno da plataforma continental média e externa de Cabo Frio encontradas nos testemunhos KCF10-01B e KCF10-09A.

<b>Espécie</b>	
<i>Aglutinella</i> sp.	El-Nakhai, 1983
<i>Alabaminella weddelensis</i>	Earland, 1936
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	d'Ornigny, 1839
<i>Amphicorina</i> sp.	Batsch, 1971
<i>Bolivina translucens</i>	d'Ornigny, 1839
<i>Bolivina ordinaria</i>	Batsch, 1971
<i>Bolivina</i> sp.	d'Orbigny, 1843
<i>Bolivina striatula</i>	Cushman, 1922
<i>Bulimina marginata</i>	d'Orbigny, 1826
<i>Bulimina</i> sp.	d'Orbigny, 1826
<i>Buliminella elegantissima</i>	d'Orbigny, 1839
<i>Cancris auriculus</i>	Fichtel & Moll, 1798
<i>Cibicides kullenbergi</i>	Parker, 1953
<i>Cornuspira involvens</i>	Reuss, 1850
<i>Cycloforina</i> sp.	Luczkowska, 1972
<i>Cymbaloporeta</i> sp.	Cushman, 1927
<i>Dentalina</i> sp.	d'Orbigny, 1826
<i>Discorbinella bertheloti</i>	d'Orbigny, 1839
<i>Discorbis concinna</i>	Brady, 1884
<i>Discorbis</i> sp.	Lamarck, 1804
<i>Dyocibicides biserealis</i>	Cushman & Valentine, 1930
<i>Evolvocassidulina bradyi</i>	Nomura, 1983
<i>Fissurina</i> sp.	Reuss, 1850
<i>Fursenkoina complanata</i>	Egger, 1893
<i>Gavelinopsis</i> sp.	Hofker, 1951
<i>Glandulonodosaria</i> sp.	Silvestri, 1900
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	Brady, 1881
<i>Globulina minuta</i>	Roemer, 1838
<i>Globulina</i> sp.	d'Orbigny, 1839
<i>Haynesina germanica</i>	Ehrenberg, 1840
<i>Haynesina</i> sp2	Banner & Culver, 1978
<i>Hoeglundina elegans</i>	d'Orbigny, 1878
<i>Islandiella australis</i>	Phleger & Parker, 1951
<i>Lagena gracillima</i>	Sengueza, 1862
<i>Lagena hispida</i>	Reuss, 1858
<i>Lagena sacculus</i>	Fornasini, 1901
<i>Lagena</i> sp.	Walker & Boys, 1784

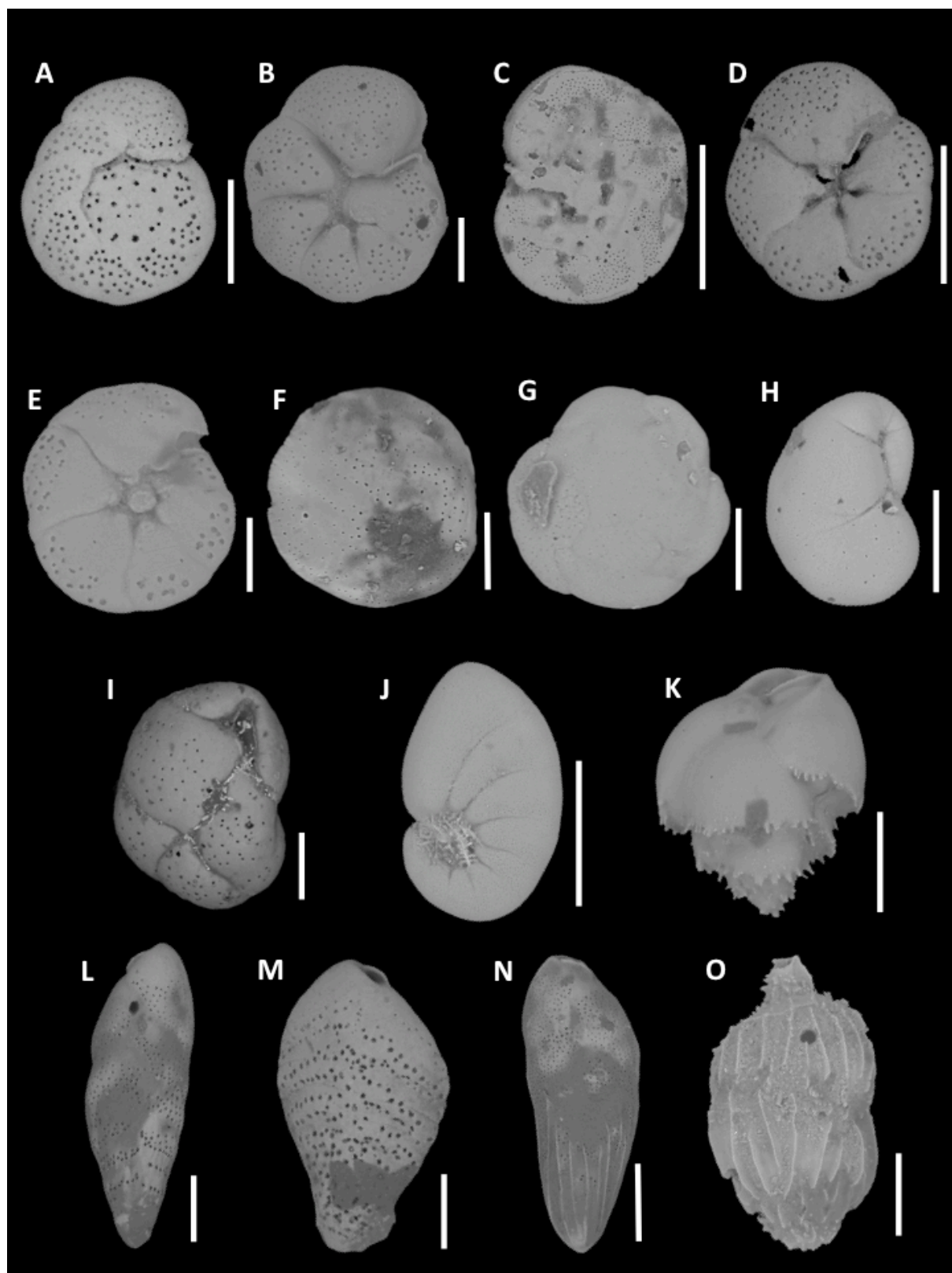
<i>Lagena sulcata</i>	Walker & Jacob, 1798
<i>Lenticulina gibba</i>	Lamarck, 1804
<i>Lenticulina</i> sp1	Lamarck, 1804
<i>Marginulina obesa</i>	Cushman, 1923
<i>Melonis</i> sp.	Montfort, 1808
<i>Miliolinella</i> sp.	Wiesner, 1931
<i>Milliolinella labiosa</i>	Wiesner, 1931
<i>Neocorbina terquemi</i>	Rzehak, 1888
<i>Neoeponidis alberii</i>	d'Orbigny, 1839
<i>Neouvigerina ampullacea</i>	Brady, 1884
<i>Nonion commune</i>	Montfort, 1808
<i>Nonion</i> sp.	Montfort, 1808
<i>Oolina</i> sp.	d'Orbigny, 1839
<i>Oolina squamosa</i>	Montagu, 1803
<i>Oridorsalis umbonatus</i>	Reuss, 1851
<i>Paracassidulina neocarinata</i>	Thalmann, 1950
<i>Planorbulina</i> sp.	d'Orbigny, 1826
<i>Planulina ariminenses</i>	d'Orbigny, 1826
<i>Pullenia bulloides</i>	d'Orbigny, 1846
<i>Pullenia quinqueloba</i>	Reuss, 1851)
<i>Pyrgo</i> sp.	Defrance, 1824
<i>Quinqueloculina atlantica</i>	Boltovskoy, 1957
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	d'Orbigny, 1839
<i>Quinqueloculina</i> sp1	d'Orbigny, 1826
<i>Rosalina bradyi</i>	Cushman, 1915
<i>Rosalina globularis</i>	d'Orbigny, 1826
<i>Rosalina</i> sp.	d'Orbigny, 1826
<i>Sagrina</i> sp.	d'Orbigny, 1839
<i>Sigmavirgulina tortuosa</i>	Loeblich e Tappan, 1957
<i>Siphonina bradyana</i>	Cushman, 1927
<i>Siphotextularia concava</i>	Karrer, 1868
<i>Stilostomella consobrina</i>	d'Orbigny, 1839
<i>Textularia agglutinans</i>	d'Orbigny, 1839
<i>Textularia psedogramen</i>	Defrance, 1824
<i>Textularia</i> sp.	Defrance, 1824
<i>Trifarina</i> sp.	Cushman, 1923
<i>Triloculina tricarinata</i>	d'Orbigny, 1826
<i>Uvigerina peregrina</i>	Cushman, 1923

---



**Apêndice 2** – Estampa ilustrativa das principais espécies de foraminíferos bentônicos do Holoceno da plataforma continental média e externa de Cabo Frio encontradas nos testemunhos KCF10-01B e KCF10-09A, fotografadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

- (A) *Cibicides kullenbergi*
- (B) *Discorbis* sp.
- (C) *Discorbinella bertheloti*
- (D) *Gavelinopsis* sp.
- (E) *Neoeponides alberii*
- (F) *Islandiella australis*
- (G) *Alabaminella weddelensis*
- (H) *Evolvocassidulina bradyi*
- (I) *Globocassidulina subglobosa*
- (J) *Nonion commune*
- (K) *Bulimina marginata*
- (L) *Bolivina translucens*
- (M) *Bolivina ordinaria*
- (N) *Bolivina striatula*
- (O) *Uvigerina peregrina*



**Apêndice 3 – Fluxo das espécies de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-01B ao longo dos últimos 11,4ka AP.**

Idade	A. weddellensis	B. translucens	B. ordinaria	B. striatula	B. marginata	C. kullenbergi	D. bertheloti	Discorbis sp.	E. bradyi	Gavelinopsis sp.	G. subglobosus	I. australis	N. auberii	N. communis	U. peregrinus
876	46111	184445	176760	138334	184445	53796	61482	69167	23056	0	2874270	199816	315094	107593	238242
941	0	142243	94828	158047	268680	86926	110633	31609	31609	0	2015102	410923	71121	71121	292387
1006	0	86233	189714	232830	258700	60363	77610	129350	43117	0	4587619	422544	172467	77610	336310
1071	0	124731	117801	117801	228673	0	62365	13859	13859	6929	4095319	256391	48506	69295	325685
1136	7934	198351	103143	158681	261824	79341	39670	142813	31736	0	2483361	396703	111077	142813	436373
1201	13919	125271	194865	375812	361893	180946	13919	55676	27838	13919	1781627	668110	97433	83514	640272
1265	19845	188527	79380	168682	307597	138915	109147	178605	29767	0	4068217	297674	128992	79380	506047
1330	0	252488	95771	174129	261194	69652	26119	113184	52239	0	3325871	252488	121891	87065	496269
1394	0	296851	104771	122233	200811	78578	130964	261927	17462	0	3143124	340505	0	61116	427814
1458	21896	284642	109478	229903	383172	98530	120425	98530	43791	0	3963090	361276	87582	87582	514545
1522	12551	169438	106683	75306	232193	43928	31377	100408	56479	0	2372137	207091	69030	94132	288673
1586	0	80964	188917	118748	178122	43181	70169	37783	26988	0	2580065	221303	145736	48579	280677
1649	0	11241	241683	118031	179857	44964	22482	73067	22482	44964	1854779	236063	39344	33723	382197
1712	0	216010	241423	203304	165184	152478	25413	203304	38119	50826	1219822	419314	63532	88945	724269
1775	0	124561	143724	114979	229958	143724	47908	47908	57490	86234	1820505	306611	19163	86234	316193
1838	0	117004	126005	126005	270010	99004	90003	36001	27001	135005	1566056	135005	72003	45002	324012
1900	67961	116505	203883	116505	203883	58252	58252	145631	58252	9709	2737864	145631	126214	126214	320388
1962	29354	102740	132094	146771	190802	36693	88063	102740	29354	0	3023483	264188	102740	139432	366928
2023	16917	118421	219925	211466	431391	25376	84586	118421	42293	0	3383459	236842	101504	76128	355263
2083	11952	227092	95618	298805	358566	23904	83665	95618	71713	23904	3059761	322709	191235	143426	346614
2144	112101	68985	137971	163840	250072	8623	51739	51739	43116	181087	2397241	172463	94855	94855	215579
2203	30488	40650	162602	223577	335366	111789	213415	172764	60976	50813	2296748	416667	40650	111789	457317
2262	53865	0	138509	192373	246238	123119	46170	69254	38475	76949	1885260	238543	69254	107729	369357
2320	0	0	53257	230781	346171	97638	26629	115390	26629	79886	1500074	355047	35505	88762	372799
2378	229805	52228	94011	240251	240251	62674	52228	62674	20891	156685	1587744	396936	52228	114903	407382
2435	108347	36116	144462	198636	325040	252809	99318	99318	54173	99318	2419743	279896	0	36116	550762
2492	79618	0	127389	525478	238854	143312	47771	95541	0	143312	3136943	382166	47771	63694	621019
2549	51337	64171	64171	192513	256684	141176	77005	25668	0	102674	2104813	256684	89840	77005	166845
2605	323044	64609	129218	279971	473798	409189	86145	129218	107681	64609	3424264	279971	64609	86145	258435
2660	195087	32514	65029	146315	178829	211344	113801	97543	48772	162572	1707009	178829	81286	48772	341402
2716	170058	13081	91570	222384	392442	156977	78488	104651	91570	183140	1255814	183140	39244	39244	470930
2771	460358	21922	153453	263062	263062	131531	21922	153453	21922	197296	3003288	109609	175374	43844	438436
2825	396476	44053	44053	132159	330396	242291	154185	88106	110132	176211	3612335	308370	132159	88106	440529
2880	232301	16593	49779	82965	282080	165929	66372	82965	16593	116150	1758850	248894	99558	49779	414823
2934	266469	26647	53294	186528	279793	199852	39970	146558	13323	79941	1598816	266469	106588	26647	506292
2988	120312	0	66840	133680	280728	213888	26736	93576	80208	120312	1176383	307464	173784	53472	240624
3042	301564	33507	67014	100521	268057	184289	100521	184289	33507	50261	2043931	268057	184289	117275	284810
3095	369403	0	83955	167910	386194	83955	235075	251866	16791	67164	1444030	335821	33582	67164	335821
3149	89686	0	67265	100897	168161	67265	56054	89686	33632	78475	1132287	179372	11211	89686	257848
3202	148148	0	67340	175084	255892	188552	53872	80808	40404	53872	1508418	202020	40404	40404	269360
3256	215569	0	107784	121257	215569	188623	94311	107784	0	80838	1643713	309880	26946	13473	458084
3309	224467	11223	22447	145903	258137	67340	123457	56117	0	67340	976431	224467	44893	33670	347924
3363	80717	0	80717	53812	376682	161435	40359	67265	40359	94170	1412556	417040	94170	80717	430493

3416	117537	16791	83955	151119	369403	235075	83955	83955	33582	50373	1292910	621269	134328	167910	503731
3470	133978	83737	16747	50242	284704	167473	50242	234462	16747	133978	1624488	368441	66989	66989	284704
3524	76332	38166	57249	133581	143122	85873	124039	76332	9541	95415	782401	124039	66790	19083	343493
3578	243902	22173	44346	177384	376940	199557	88692	110865	44346	133038	1729490	487805	66519	88692	665188
3632	143488	11038	33113	132450	198675	176600	55188	88300	22075	99338	1390728	198675	66225	55188	331126
3686	197585	65862	49396	181120	263447	82327	49396	131723	32931	131723	2041712	246981	98793	115258	526894
3741	130957	26191	65478	52383	104765	117861	78574	104765	26191	170244	1597672	144052	26191	78574	301200
3796	178829	0	65029	162572	292630	48772	32514	97543	32514	48772	2194725	178829	65029	65029	276373
3852	112984	0	16141	96844	290531	112984	96844	48422	32281	64562	2098278	338953	96844	145265	419656
3907	192102	42689	85379	64034	234792	192102	85379	64034	64034	128068	3137673	256137	128068	149413	277481
3964	206276	31735	15867	142807	349083	190409	174542	95205	31735	63470	2284908	238011	95205	63470	285614
4021	41914	41914	41914	146699	482012	230527	104785	104785	20957	83828	2431016	335313	83828	104785	482012
4078	269616	0	145178	165918	165918	186657	20740	124438	20740	124438	3193916	145178	186657	41479	228137
4136	143590	41026	41026	102564	348718	102564	102564	205128	41026	102564	2933333	328205	102564	184615	553846
4195	273649	30405	45608	121622	197635	91216	60811	136824	45608	45608	1945946	91216	121622	60811	288851
4254	160214	40053	20027	240320	360481	180240	340454	40053	80107	140187	2523364	560748	60080	220294	480641
4314	118577	29644	14822	74111	163043	88933	74111	163043	14822	103755	1541502	251976	44466	88933	400198
4375	58499	16714	25071	66855	133711	75212	91926	50142	25071	58499	1429036	100283	50142	50142	242351
4437	100929	28837	72092	216277	201858	144185	173021	43255	86511	28837	1773470	302788	72092	115348	288369
4500	170508	37891	56836	113672	227344	189454	113672	113672	18945	37891	2349226	189454	132618	132618	435744
4563	69963	13993	13993	111940	181903	209888	83955	83955	13993	69963	2238806	83955	55970	167910	321828
4628	137741	13774	0	179063	247934	110193	123967	96419	27548	27548	1515152	206612	137741	68871	330579
4693	54217	5422	16265	32530	70482	43373	16265	37952	21687	54217	916265	59639	32530	48795	130120
4760	117333	0	10667	138667	181333	117333	53333	85333	32000	64000	874667	106667	32000	32000	277333
4828	175080	52524	0	210096	245112	122556	52524	35016	52524	52524	3098920	87540	70032	122556	385177
4897	77631	25877	77631	388154	207016	77631	103508	77631	51754	3855664	336400	129385	77631	517539	
4966	85034	51020	68027	170068	153061	153061	221088	85034	34014	0	2857143	238095	51020	68027	408163
5037	37762	0	12587	125874	239161	88112	151049	138462	0	37762	1837762	151049	125874	62937	327273
5109	82827	16565	33131	115958	298178	132523	115958	99393	49696	33131	3064605	265047	132523	149089	265047
5182	12265	0	49060	134914	404742	147179	122649	73590	0	36795	1557645	196239	49060	61325	269828
5255	32293	16146	32293	177610	419806	403660	145318	64586	0	32293	2179763	355221	16146	113025	177610
5330	0	23923	47847	71770	418660	119617	119617	131579	11962	23923	1375598	239234	35885	59809	358852
5405	47269	31513	15756	94538	283613	63025	141807	157563	15756	63025	2127101	220588	110294	47269	283613
5482	0	35029	23352	116762	233524	81733	58381	128438	0	35029	1728075	198495	58381	11676	186819
5559	0	34615	23077	80769	115385	80769	23077	69231	11538	80769	2007692	103846	34615	69231	173077
5637	30418	30418	121673	136882	471483	106464	152091	15209	60837	30418	2722433	212928	60837	76046	243346
5716	30068	15034	15034	15034	180406	135304	210474	30068	0	30068	1849161	105237	60135	30068	285643
5796	29732	9911	9911	99108	257681	128840	148662	128840	9911	19822	1060456	227948	29732	0	445986
5877	36765	7353	7353	66176	235294	58824	110294	88235	7353	44118	816176	95588	29412	22059	220588
5959	19408	38816	19408	135856	155264	116448	174672	155264	9704	29112	1038331	174672	87336	19408	174672
6042	51257	25629	12814	76886	448502	153772	102515	166587	38443	38443	948262	192215	102515	64072	281916
6125	0	9522	0	47608	295168	76172	161866	66651	9522	19043	1152107	190431	114259	38086	180909
6209	12588	0	0	25175	138463	75525	144757	62938	0	18881	490913	106994	12588	12588	157344
6294	0	0	37462	62437	312183	149848	262234	62437	12487	74924	949036	274721	87411	24975	387107
6380	4649	0	0	32543	139470	46490	144119	97629	4649	23245	488145	106927	27894	23245	83682
6466	9238	0	0	101617	240185	64665	249423	101617	18476	0	914550	258661	18476	55427	240185
6553	0	13774	20661	48209	199725	117080	117080	68871	13774	13774	723140	172176	20661	20661	144628
6640	0	4566	9132	4566	182648	13699	95890	50228	4566	9132	292237	109589	36530	9132	123288
6728	12118	6059	6059	36355	260547	72711	90888	60592	0	24237	284784	145421	30296	18178	206014

6816	4526	0	4526	31681	253451	104096	67889	63363	4526	9052	176511	104096	13578	9052	95044
6904	3007	3007	3007	24057	93219	51120	54127	36085	3007	3007	135318	72170	9021	21049	90212
6993	5997	5997	11993	47972	257852	71959	137921	47972	0	0	287834	161907	5997	23986	131924
7082	26924	8975	4487	44873	215392	31411	94234	44873	8975	4487	394884	58335	22437	13462	98721
7171	35834	14334	21501	71669	279507	57335	86002	50168	0	35834	659351	157671	43001	28667	215006
7261	10738	5369	5369	37584	236242	118121	150336	48322	16107	10738	327517	171812	16107	16107	150336
7350	5367	26834	0	37567	171735	112701	80501	37567	10733	21467	397138	150268	32200	59034	123435
7439	21467	28623	0	78712	186047	71556	135957	100179	21467	21467	579606	186047	35778	7156	128801
7529	3580	3580	0	39382	146789	60864	107407	35802	7160	3580	128888	164690	7160	17901	25062
7618	26888	0	0	58257	206139	67219	156845	31369	8963	8963	246471	134439	0	13444	35850
7707	40413	8981	8981	62865	58374	31432	62865	0	8981	13471	727436	67355	17961	13471	35923
7796	12004	0	18006	42014	390127	72023	228074	30010	0	12004	414135	300098	12004	54018	120039
7885	7227	3613	7227	36134	140921	21680	122855	21680	0	10840	227642	130081	7227	25294	57814
7974	13602	0	9068	49875	208569	49875	108819	18136	0	18136	235774	185899	4534	13602	54409
8062	0	0	6076	18227	142781	30379	164046	30379	6076	12152	191388	45568	15189	18227	27341
8149	11801	0	3934	27536	208484	39337	121943	59005	0	23602	243886	62938	11801	19668	19668
8236	5557	5557	0	30563	183376	38898	58347	19449	0	8335	108358	83353	0	19449	25006
8323	0	0	8323	45776	258011	66583	149813	24969	8323	16646	245526	153974	0	41615	16646
8408	14231	0	42694	170778	583491	128083	341556	56926	14231	71157	1110057	170778	113852	170778	71157
8492	61657	23121	23121	100193	300578	69364	254335	15414	15414	30829	778420	46243	69364	69364	123314
8574	2942	0	0	26477	214759	20593	105908	11768	0	5884	108850	67664	23535	17651	55896
8656	4003	0	4003	8006	304228	0	188141	4003	4003	20015	100075	56042	4003	28021	84063
8735	0	10918	0	16377	131013	19106	163767	16377	8188	49130	81883	43671	10918	40942	24565
8813	2100	4201	0	8401	65109	4201	42006	4201	6301	18903	35705	21003	10501	12602	25203
8888	4321	0	2160	2160	84256	8642	25925	6481	4321	28085	77775	4321	32406	34567	19444
8962	8906	2227	0	13359	6680	22266	55664	4453	11133	20039	138046	95742	31172	37851	51211
9033	20702	0	2300	11501	115009	0	64405	0	11501	25302	154112	11501	23002	43703	23002
9102	0	0	0	4765	107207	11912	45265	0	7147	0	33353	19059	16677	38118	16677
9169	23191	0	4638	9276	106679	0	23191	4638	23191	27829	157699	23191	41744	41744	37106
9233	0	0	0	0	231884	12882	141707	51530	12882	0	0	0	0	180354	103060
9294	10771	8078	0	2693	115786	5385	91552	5385	18849	35005	231572	26927	37698	51161	48469
9353	4236	0	4236	21179	127074	8472	88952	0	59301	105895	275327	33886	50830	42358	50830
9409	0	2974	2974	11896	154647	17844	65428	0	11896	29740	104089	2974	26766	50558	26766
9462	0	0	0	11797	141565	11797	82580	0	23594	47188	47188	23594	70783	70783	82580
9512	0	0	0	6672	66722	10008	40033	6672	16681	23353	86739	3336	13344	13344	6672
9559	7083	0	0	3541	56662	28331	49579	7083	10624	31873	74369	3541	14166	24790	14166
9604	3763	0	0	18815	135466	30103	97836	26341	22578	60207	316087	26341	11289	37629	22578
9646	4002	0	4002	8004	132066	8004	84042	4002	12006	36018	116058	0	4002	60030	20010
9685	38339	0	0	31949	274760	44728	134185	76677	51118	121406	300319	38339	57508	83067	153355
9722	24215	0	0	6054	242149	6054	145289	18161	66591	90806	381385	72645	36322	60537	115021
9757	4843	0	0	4843	140436	4843	111380	0	14528	33898	116223	14528	48426	53269	29056
9789	15504	0	5168	5168	206718	41344	201550	36176	46512	67183	372093	46512	118863	93023	72351
9820	22084	5521	0	0	248447	44168	193237	27605	33126	49689	314700	33126	60732	165631	132505
9848	11799	0	5900	5900	112094	23599	70796	11799	70796	82596	289086	17699	53097	53097	117994
9966	32720	8180	16360	24540	245399	32720	98160	8180	40900	196319	425358	40900	49080	188139	122699
10052	32301	10767	0	43069	290713	43069	139973	43069	75370	139973	516824	86137	53836	139973	172275
10121	15337	15337	15337	15337	1165644	15337	460123	61350	46012	383436	414110	76687	15337	398773	306748
10187	34139	0	0	0	591750	11380	295875	68279	22760	170697	352774	22760	79659	193457	113798
10265	8919	0	0	8919	178372	8919	142698	53512	17837	71349	124861	17837	98105	133779	151616

10369	0	6483	12966	6483	129660	19449	116694	51864	25932	58347	12966	38898	12966	103728	32415
10511	0	0	0	9650	149578	19300	62726	14475	28951	38601	48251	4825	33776	82027	62726
10694	7878	0	7878	7878	129985	11817	74840	11817	11817	43328	106352	7878	11817	43328	55145
10910	13931	0	13931	13931	118415	0	55725	27862	24380	83587	184589	6966	13931	69656	52242
11147	23324	0	0	9996	119950	16660	59975	6664	13328	73303	143274	19992	19992	59975	49979
11387	3332	0	3332	9996	163265	3332	69971	3332	29988	66639	96626	23324	6664	46647	49979

**Apêndice 4 – Fluxo das espécies de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-09A ao longo dos últimos 7ka AP.**

<i>Idade</i>	<i>A. weddelensis</i>	<i>B. ordinaria</i>	<i>B. striatula</i>	<i>B. marginata</i>	<i>G. subglobosa</i>	<i>I. australis</i>	<i>N. commune</i>	<i>U. peregrina</i>
1120	166667	154762	142857	202381	1464286	0	35714	178571
1209	84712	180013	116479	370615	3335539	180013	42356	455328
1285	286472	119363	214854	298408	2100796	83554	107427	262599
1360	78014	56738	70922	106383	2000000	148936	56738	85106
1435	408000	120000	204000	60000	2040000	132000	240000	156000
1510	246154	128428	74916	139130	3467559	96321	53512	192642
1585	579866	338255	169128	144966	3793289	72483	265772	217450
1659	86253	118598	150943	291105	1671159	280323	129380	237197
1733	511502	194858	194858	146143	4262517	243572	146143	414073
1807	181159	99638	72464	126812	2309783	181159	36232	117754
1881	127782	147440	186758	117952	1277816	186758	98294	334198
1954	181070	131687	164609	164609	3637860	246914	65844	279835
2026	546207	281379	248276	248276	3707586	66207	215172	297931
2099	399722	359750	319778	1838723	10112977	639556	199861	1119223
2171	377095	100559	138268	175978	1747207	62849	213687	150838
2242	292135	134831	67416	404494	3775281	179775	134831	359551
2313	381087	457304	381087	812985	2972477	355681	355681	685956
2384	530312	383003	441926	707082	8691218	589235	176771	736544
2454	344925	127750	178850	511001	1954578	191625	51100	178850
2525	318182	340909	204545	590909	4500000	159091	136364	1113636
2595	1584102	511001	357700	1430802	8635912	459901	715401	1022001
2666	181560	204255	385816	1180142	3449645	476596	340426	567376
2736	1223796	203966	356941	764873	4359773	280453	382436	484419
2807	576678	508834	474912	780212	9362544	814134	237456	1119435
2878	838391	152435	203246	685956	5004940	406493	279464	609739
2949	570141	49577	520563	694085	6717746	347042	198310	545352
3020	911392	151899	354430	481013	2101266	430380	278481	708861
3091	842105	572632	673684	1852632	9027368	707368	505263	1246316
3162	731605	277505	428872	681149	2522775	428872	378416	630694
3233	604619	403079	470259	1108467	6818754	1477957	604619	1511547
3305	469930	151049	201399	637762	2165035	302098	268531	537063
3376	626136	357792	424878	1587701	6283718	603774	313068	1542977
3448	628931	75472	301887	553459	3471698	276730	150943	528302
3520	80559	89510	67133	120839	1320280	98462	26853	156643
3591	314906	113366	201540	365290	1624913	377887	113366	163751
3662	179397	112123	179397	168185	2433076	257884	123336	347582
3734	707865	134831	337079	219101	3404494	185393	235955	471910
3805	315493	292958	878873	1104225	6264789	766197	157746	1487324
3876	2391519	152650	407067	203534	7581625	203534	966784	1170318
3946	249645	136170	431206	907801	4629787	726241	181560	1043972
4017	821098	282252	513186	718460	5568068	230934	0	975053
4087	481375	320917	458453	871060	6349570	527221	229226	916905
4156	759712	189928	328058	448921	2296403	276259	483453	431655
4226	138628	92419	138628	207942	2171841	115523	46209	392780
4295	364953	104272	243302	121651	3093411	52136	121651	417089
4364	139231	46410	243655	290065	2042059	150834	46410	406091
4433	592163	69666	226415	208999	2960813	156749	243832	278665
4502	510515	23205	232052	301668	4641044	46410	46410	440899
4571	208696	86957	260870	434783	2226087	330435	243478	469565
4640	127168	57803	46243	358382	1930636	173410	34682	277457
4709	1115274	77810	233429	622478	4642651	311239	285303	570605
4779	482066	0	482066	550933	6748924	183644	91822	436155
4848	651894	137241	223016	394568	2401716	188706	188706	377412
4919	464626	136655	409964	464626	7925979	437295	163986	628612
4989	1251064	102128	612766	434043	3625532	434043	306383	485106

5059	262332	99505	162827	361837	2035336	307562	117597	244240
5130	253343	63336	50669	228008	2014075	139338	177340	329346
5201	89699	145760	213034	414856	3464611	246671	201822	246671
5273	770412	83740	184229	133985	3483601	83740	167481	234473
5345	155448	99931	277585	321999	3275503	244275	177654	555170
5417	364138	115862	182069	397241	2797241	347586	115862	496552
5490	394791	153530	285127	657985	5899931	526388	263194	592186
5563	881633	0	195918	538776	3355102	171429	244898	489796
5637	302294	107962	518219	798920	5074224	712551	345479	820513
5711	385284	120401	433445	264883	5080936	288963	288963	433445
5786	212061	84824	445328	508946	4813784	487740	296885	487740
5862	448525	94426	118033	566557	3375738	495738	212459	377705
5938	290720	83063	373783	436080	4423102	249189	83063	228423
6016	277101	46183	184734	400257	1785760	261706	169339	354073
6094	405834	60875	405834	608751	5113507	405834	182625	344959
6173	286252	45198	195857	271186	1868173	286252	301318	391714
6253	199129	99564	298693	398258	3444928	238955	238955	298693
6334	444444	59259	118519	296296	2296296	177778	192593	518519
6415	411765	58824	176471	279412	3794118	205882	191176	367647
6497	149086	52619	184166	245554	771742	219245	52619	306943
6579	87273	38788	155152	310303	1774545	281212	77576	213333
6662	208696	52174	217391	208696	2321739	139130	104348	321739
6744	67429	86695	221553	173390	2331126	163757	57797	337146
6911	100780	43191	460708	791842	2173965	431914	100780	604679



**Apêndice 5 – Valores de índices e razões paleoecológicas de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-01B.**

<b>Idade</b>	<b>BFAR</b>	<b>ICBF</b>	<b>In/Epi</b>	<b>BFOI</b>	<b>IM/PE</b>	<b>Riqueza</b>	<b>Shannon</b>	<b>Tam. Gl.</b>	<b>Tam. Uv.</b>
876	5164463572	84.52	26.41	-5.82	0.01	42.00	2.03	3.38	10.54
941	4449029766	80.99	13.77	-5.70	0.04	40.00	2.34	3.49	20.11
1006	7407453034	88.71	30.38	-4.13	0.02	42.00	1.83	3.32	12.26
1071	5931629196	91.47	53.80	-3.41	0.02	43.00	1.53	3.38	20.81
1136	5133336272	86.09	27.38	-5.52	0.02	42.00	2.21	3.25	11.83
1201	5414475719	83.29	17.95	-7.90	0.04	42.00	2.54	3.39	7.59
1265	7035038760	86.32	19.45	-3.76	0.04	41.00	1.97	3.28	10.41
1330	5885572139	88.02	44.64	-5.08	0.04	44.00	1.97	3.62	17.32
1394	5832241971	88.02	22.96	-5.26	0.04	46.00	2.07	3.92	11.88
1458	7280262746	86.17	26.13	-5.30	0.04	42.00	2.08	3.35	20.51
1522	4229683088	88.28	38.56	-4.70	0.03	37.00	1.98	3.59	11.98
1586	4436847787	86.86	23.81	-5.33	0.03	41.00	1.93	2.93	18.78
1649	3805107669	87.30	41.53	-5.86	0.04	43.00	2.20	3.65	13.91
1712	4510800508	82.54	17.44	-8.92	0.05	40.00	2.71	3.85	11.12
1775	4129671032	84.69	16.74	-5.56	0.03	40.00	2.39	3.53	14.83
1838	3834136933	82.86	15.88	-6.51	0.06	40.00	2.55	3.39	16.77
1900	4941747573	86.25	28.13	-5.36	0.01	33.00	2.01	3.61	17.75
1962	5313111546	85.64	36.50	-4.54	0.05	45.00	2.03	3.72	13.46
2023	6039473684	88.38	41.19	-5.47	0.03	41.00	2.00	3.33	13.07
2083	6382470120	80.71	31.13	-7.05	0.05	41.00	2.34	3.28	17.90
2144	4880712849	80.39	28.59	-5.59	0.05	51.00	2.43	3.27	13.82
2203	5579268293	79.60	12.76	-4.94	0.06	48.00	2.52	3.23	12.36
2262	4247606019	81.88	16.72	-5.71	0.05	44.00	2.40	2.71	12.06
2320	3914394201	82.99	20.58	-4.59	0.06	40.00	2.46	3.27	13.88
2378	4449860724	80.05	27.85	-7.29	0.04	42.00	2.62	3.16	15.08
2435	5354133226	80.94	10.60	-4.76	0.03	42.00	2.33	3.02	14.61
2492	6576433121	83.54	19.37	-6.47	0.04	40.00	2.25	3.38	8.91
2549	4119786096	84.42	13.80	-5.04	0.01	35.00	2.17	3.26	14.17
2605	7063890883	77.13	9.54	-5.17	0.04	38.00	2.30	3.38	11.75
2660	4210621387	75.68	9.45	-5.15	0.03	39.00	2.55	3.37	3.45
2716	4199127907	76.32	11.00	-6.08	0.03	38.00	2.73	3.53	14.29
2771	6225794666	79.58	26.67	-6.36	0.05	33.00	2.22	3.33	13.23
2825	6916299559	81.21	14.72	-3.59	0.02	29.00	2.08	3.32	16.43
2880	4446902655	74.25	9.91	-3.37	0.07	36.00	2.52	3.29	15.62
2934	4503330866	75.15	11.33	-6.01	0.04	39.00	2.59	3.26	14.82
2988	3515781656	75.29	9.50	-4.87	0.03	27.00	2.55	3.47	14.02
3042	4875279226	72.85	10.27	-4.77	0.04	37.00	2.47	3.39	9.23
3095	4550373134	70.48	9.09	-4.14	0.04	37.00	2.64	3.13	9.79
3149	3071748879	73.72	9.17	-5.31	0.05	37.00	2.66	3.61	9.91
3202	3797979798	76.24	11.00	-5.38	0.04	41.00	2.59	3.40	11.15
3256	4365269461	76.23	8.83	-5.29	0.04	40.00	2.56	2.91	15.20
3309	3153759820	72.95	8.31	-5.85	0.03	37.00	2.68	3.60	15.27
3363	4089686099	76.32	11.90	-2.14	0.05	38.00	2.57	3.64	12.57
3416	4802238806	74.83	11.80	-4.71	0.05	38.00	2.77	3.95	15.03
3470	4354298474	75.77	13.81	-3.40	0.06	38.00	2.61	3.49	13.62
3524	2652531142	74.82	9.50	-6.47	0.05	41.00	2.81	3.39	11.67
3578	5299334812	76.15	14.14	-4.64	0.03	34.00	2.59	3.06	9.62
3632	3344370861	79.21	11.41	-4.24	0.03	34.00	2.38	3.40	10.66
3686	4906695939	76.85	15.56	-4.87	0.04	37.00	2.46	3.28	13.72
3741	3535831211	75.93	14.06	-3.40	0.05	37.00	2.40	3.48	10.71
3796	4259393064	82.44	25.67	-3.57	0.03	33.00	2.15	3.41	9.60
3852	4632352941	76.66	16.27	-2.54	0.06	35.00	2.30	3.02	8.87
3907	5912486660	76.53	12.72	-2.91	0.05	34.00	2.18	3.10	12.77
3964	5077574048	75.00	9.46	-3.47	0.06	33.00	2.37	3.80	9.15
4021	5511701013	79.85	11.89	-3.70	0.04	38.00	2.37	3.25	12.06
4078	5558244037	78.73	20.55	-3.49	0.05	30.00	1.95	3.57	9.18

4136	6317948718	79.55	17.80	-3.66	0.04	35.00	2.33	3.44	11.62
4195	4028716216	75.85	11.61	-4.19	0.03	34.00	2.25	3.81	9.25
4254	6448598131	75.16	8.63	-4.74	0.05	40.00	2.53	3.39	10.31
4314	3868577075	78.54	13.75	-5.53	0.02	35.00	2.47	3.04	9.47
4375	2866428339	76.97	10.48	-2.99	0.04	36.00	2.25	3.87	12.27
4437	4051586030	78.29	8.88	-5.41	0.02	34.00	2.35	3.26	12.10
4500	5077360278	75.37	10.38	-4.03	0.03	33.00	2.34	3.34	13.74
4563	4323694030	77.67	8.89	-3.23	0.02	33.00	2.16	3.42	16.03
4628	3815426997	72.56	10.76	-3.92	0.04	34.00	2.49	3.81	12.28
4693	1762048193	78.46	14.32	-2.53	0.04	35.00	2.19	3.23	12.53
4760	2624000000	69.92	10.53	-4.19	0.08	34.00	2.66	3.53	14.96
4828	5742632040	80.49	16.59	-4.41	0.04	35.00	2.14	2.80	10.93
4897	7219666475	79.57	17.64	-1.73	0.07	37.00	2.14	3.50	13.44
4966	5476190476	75.47	9.96	-3.49	0.05	35.00	2.16	3.16	14.26
5037	3939860140	76.68	11.39	-3.10	0.05	34.00	2.30	3.45	14.07
5109	5367200442	81.79	15.56	-2.35	0.04	33.00	1.98	3.29	11.62
5182	3863450531	75.87	10.38	-4.08	0.07	40.00	2.51	3.37	14.94
5255	4747039828	75.85	7.09	-3.67	0.04	31.00	2.20	3.39	13.21
5330	3660287081	77.45	9.56	-3.29	0.04	38.00	2.50	3.65	11.69
5405	4159663866	81.44	16.50	-2.17	0.04	29.00	2.10	3.19	11.62
5482	3397768552	82.47	17.40	-3.73	0.05	30.00	2.14	3.43	13.35
5559	3403846154	84.07	22.33	-2.93	0.04	36.00	1.99	3.62	14.39
5637	5155893536	82.01	14.00	-4.20	0.04	34.00	2.11	3.43	13.93
5716	3713355049	74.90	7.59	-1.77	0.07	39.00	2.28	3.53	10.36
5796	3181367691	75.39	10.04	-2.74	0.06	38.00	2.50	3.06	9.22
5877	2235294118	75.00	8.83	-3.95	0.06	36.00	2.54	3.77	12.33
5959	2726831635	71.17	6.54	-5.09	0.09	34.00	2.50	3.69	12.26
6042	3318917187	71.04	7.67	-4.21	0.06	36.00	2.74	3.04	11.91
6125	2685074982	76.60	8.70	-1.86	0.05	32.00	2.27	3.75	10.23
6209	1535677759	67.62	5.03	-1.44	0.08	33.00	2.56	3.90	13.28
6294	3384063061	68.27	5.70	-2.16	0.07	37.00	2.73	2.11	15.68
6380	1459786146	70.06	5.64	-2.90	0.07	35.00	2.56	3.39	11.05
6466	2771362587	70.67	5.95	-3.07	0.07	36.00	2.54	3.30	12.63
6553	2052341598	73.49	6.53	-3.79	0.07	40.00	2.56	3.12	18.04
6640	1146118721	72.91	6.83	-2.40	0.05	33.00	2.55	3.52	12.34
6728	1569340301	69.11	6.06	-3.07	0.06	37.00	2.78	3.66	10.96
6816	1262729124	64.16	4.72	-2.29	0.11	43.00	2.92	3.52	11.42
6904	799879717.3	63.53	4.41	-3.59	0.06	38.00	2.93	3.62	13.08
6993	1475151788	67.89	4.83	-4.14	0.07	39.00	2.72	3.64	11.61
7082	1328247700	71.96	8.17	-3.83	0.08	39.00	2.68	3.09	11.59
7171	2279059351	69.50	10.08	-4.01	0.06	40.00	2.77	3.40	11.55
7261	1664429530	66.45	4.20	-3.37	0.06	43.00	2.82	3.32	10.36
7350	1626118068	65.02	5.73	-2.94	0.12	38.00	2.85	3.03	8.45
7439	2060822898	68.40	6.49	-4.57	0.07	42.00	2.85	2.90	12.36
7529	1041843813	61.86	3.75	-4.32	0.11	47.00	3.01	3.14	10.15
7618	1299574277	62.07	3.93	-4.91	0.09	36.00	2.76	3.21	11.43
7707	1342613381	79.93	11.59	-4.60	0.05	37.00	2.13	2.89	9.29
7796	2094680771	67.91	4.59	-3.52	0.06	40.00	2.69	3.02	14.70
7885	1076784101	64.77	4.71	-4.17	0.10	48.00	2.91	2.98	9.90
7974	1283155747	66.78	5.37	-4.19	0.07	38.00	2.82	2.96	11.16
8062	884028252.4	58.76	2.80	-3.47	0.06	36.00	2.69	3.09	7.66
8149	1140759195	62.41	5.09	-2.63	0.12	45.00	2.91	1.82	10.14
8236	783514702.5	65.25	5.73	-4.14	0.12	41.00	2.87	1.40	8.79
8323	1306699958	63.38	4.23	-3.95	0.08	37.00	2.68	1.80	11.12
8408	3728652751	64.50	5.21	-5.29	0.12	33.00	2.62	1.90	12.20
8492	2373795761	65.91	5.02	-5.58	0.05	39.00	2.64	1.23	9.19
8574	864917872	61.22	4.44	-3.00	0.08	41.00	2.78	1.80	8.65
8656	1152864648	56.60	3.56	-2.33	0.11	43.00	2.79	1.40	11.29
8735	805185943.4	53.56	2.71	-4.93	0.11	42.00	2.90	1.40	7.84
8813	357049094.3	60.00	5.38	-3.09	0.15	35.00	2.99	1.04	7.14

8888	436402916.6	57.92	6.45	-1.02	0.12	33.00	2.82
8962	650153075.4	58.90	4.81	-1.91	0.15	41.00	2.92
9033	650948821.2	65.37	6.33	-2.21	0.06	32.00	2.67
9102	383561643.8	57.76	4.63	-1.39	0.10	28.00	2.64
9169	709647495.4	67.97	19.67	-2.06	0.09	32.00	2.85
9233	876006441.2	54.29	3.23	0.00	0.05	17.00	2.22
9294	826657691	66.78	6.22	-1.18	0.07	36.00	2.65
9353	1105541828	66.28	7.32	-2.38	0.12	34.00	2.78
9409	630483271.4	60.85	5.03	-2.75	0.11	32.00	2.65
9462	778607943.4	57.58	5.38	-1.67	0.08	22.00	2.73
9512	383653044.2	63.48	4.83	-4.31	0.13	28.00	2.74
9559	456839309.4	55.81	3.64	-1.61	0.14	30.00	2.97
9604	967074318	69.65	5.43	-2.76	0.07	31.00	2.55
9646	672336168.1	56.55	5.52	-2.91	0.20	35.00	2.78
9685	1693290735	69.06	6.28	-1.84	0.06	39.00	2.88
9722	1695043511	70.00	7.69	-0.31	0.09	43.00	2.92
9757	765133171.9	49.37	4.08	-0.66	0.16	31.00	2.77
9789	1586563307	60.91	4.06	-0.97	0.04	42.00	2.79
9820	1645272602	55.37	4.00	-0.63	0.07	38.00	2.80
9848	1197640118	68.97	9.71	-0.87	0.13	33.00	2.83
9966	2118609407	60.62	8.90	-3.82	0.11	42.00	3.05
10052	2390309556	62.61	8.40	-2.80	0.13	37.00	2.97
10121	4493865031	63.82	7.09	-1.23	0.12	34.00	2.70
10187	2594594595	56.14	5.96	-0.50	0.18	36.00	2.79
10265	1560758082	49.14	7.18	-1.10	0.21	37.00	3.11
10369	771474878.4	53.78	3.81	-4.17	0.11	26.00	2.75
10511	825090470.4	54.97	6.83	-1.27	0.15	35.00	3.02
10694	724766125.1	57.07	5.52	-2.04	0.19	35.00	2.89
10910	895080539.8	66.54	11.88	-2.92	0.11	37.00	2.90
11147	773011245.3	62.07	6.96	-2.12	0.09	33.00	2.82
11387	763015410.2	65.94	8.00	-2.31	0.15	33.00	2.76

---

**Apêndice 6 – Valores de índices e razões paleoecológicas de foraminíferos bentônicos do testemunho KCF10-09A.**

<b>Idade</b>	<b>BFAR</b>	<b>ICBF</b>	<b>IN/EP</b>	<b>BFOI</b>	<b>IM/PE</b>	<b>Riqueza</b>	<b>Diversidade</b>
1120	2642857.143	85.14	63.00	-7.56	0.00	21.00	1.79
1209	5294506.949	91.00	51.00	-4.06	0.01	27.00	1.61
1285	4034482.759	83.43		-5.76	0.01	22.00	1.93
1360	2794326.241	91.12	51.86	-2.88	0.01	25.00	1.34
1435	3756000	77.64	61.50	-5.88	0.01	26.00	1.85
1510	4816053.512	88.89	81.20	-3.17	0.01	24.00	1.35
1585	6499328.859	78.07	27.00	-5.48	0.02	28.00	1.83
1659	3223719.677	86.96	87.67	-5.86	0.01	22.00	1.84
1733	6820027.064	85.71	60.25	-4.09	0.00	21.00	1.62
1807	3387681.159	88.50	83.75	-3.63	0.00	25.00	1.46
1881	2703071.672	88.36	245.00	-8.06	0.01	21.00	1.95
1954	5349794.239	89.85	73.75	-3.35	0.01	25.00	1.49
2026	6091034.483	83.70	155.50	-5.69	0.01	24.00	1.64
2099	16348646.77	91.93	76.60	-3.49	0.00	26.00	1.59
2171	3381284.916	78.07	212.00	-6.12	0.01	22.00	1.90
2242	6134831.461	87.91	122.00	-2.42	0.01	23.00	1.70
2313	7672547.636	84.11	85.67	-7.93	0.00	30.00	2.32
2384	13611331.44	89.39	141.00	-4.23	0.01	32.00	1.65
2454	3921930.447	86.32	133.00	-5.97	0.00	21.00	1.88
2525	8068181.818	89.86	164.00	-4.17	0.02	24.00	1.73
2595	16300922.64	83.07	88.33	-4.15	0.00	23.00	1.84
2666	7693617.021	86.73	50.17	-5.87	0.02	31.00	2.09
2736	8847025.496	80.12		-4.60	0.01	21.00	1.86
2807	15739929.33	89.22	83.80	-4.52	0.00	27.00	1.77
2878	9222300.635	82.92	306.00	-3.47	0.01	27.00	1.86
2949	10436056.34	87.17	94.00	-4.49	0.01	27.00	1.55
3020	6050632.911	75.31	91.00	-7.33	0.01	22.00	2.19
3091	17650526.32	85.50	65.29	-5.64	0.02	35.00	2.02
3162	7038542.397	78.85	44.20	-8.62	0.00	26.00	2.31
3233	15014695.59	85.23	49.38	-4.26	0.01	31.00	2.12
3305	5370629.371	81.56	37.86	-5.19	0.01	28.00	2.18
3376	13238294.9	86.15	74.71	-4.56	0.02	33.00	2.02
3448	6490566.038	86.05	222.00	-4.28	0.00	18.00	1.75
3520	2157202.797	90.46	110.50	-4.70	0.00	26.00	1.67
3591	3778866.34	82.33	42.33	-7.63	0.02	28.00	2.17
3662	4327960.757	86.79	114.67	-4.53	0.01	30.00	1.87
3734	6151685.393	80.82	60.00	-5.04	0.00	24.00	1.75
3805	12394366.2	92.00	515.00	-6.43	0.01	29.00	1.87
3876	14400000	73.85	70.33	-2.88	0.00	21.00	1.69
3946	9509219.858	87.83	76.80	-4.59	0.02	34.00	2.03
4017	10263720.6	88.00	176.00	-5.54	0.00	20.00	1.73
4087	11163323.78	88.30	436.00	-4.70	0.01	33.00	1.81
4156	5853237.41	74.63	36.43	-6.89	0.00	25.00	2.16
4226	3893140.794	85.46	49.83	-3.91	0.03	32.00	1.93
4295	4831281.68	86.33	34.29	-4.66	0.00	18.00	1.47
4364	3840464.104	87.31	302.00	-5.14	0.03	32.00	1.93
4433	5242380.261	80.73	61.50	-4.22	0.01	22.00	1.73
4502	6543872.371	89.36		-2.53	0.00	18.00	1.22
4571	4852173.913	86.74	123.00	-4.98	0.01	26.00	2.08
4640	3421965.318	88.18	54.20	-2.12	0.02	29.00	1.82
4709	8844380.403	81.23	140.00	-3.18	0.01	25.00	1.85
4779	9916786.227	90.05	49.00	-3.19	0.00	28.00	1.45
4848	5197998.57	81.19	124.00	-5.58	0.00	25.00	2.04
4919	11779644.13	89.10	35.27	-3.23	0.01	29.00	1.53
4989	8400000	76.90	51.40	-7.14	0.01	26.00	2.11
5059	4043533.569	85.23	64.67	-5.19	0.01	31.00	2.00

5130	3584799.437	86.22	122.00	-2.97	0.00	23.00	1.76
5201	5695865.452	88.58	41.55	-4.67	0.00	29.00	1.75
5273	5761339.846	79.65	138.50	-3.35	0.00	26.00	1.65
5345	5573907.009	88.65	113.75	-4.43	0.01	25.00	1.70
5417	5528275.862	84.43	47.50	-4.43	0.00	31.00	2.02
5490	9869773.818	87.33	134.33	-2.93	0.01	29.00	1.75
5563	6783673.469	78.70	37.17	-4.15	0.01	26.00	1.95
5637	10105263.16	85.26	46.11	-4.90	0.01	36.00	2.06
5711	8283612.04	85.17	43.00	-4.32	0.03	27.00	1.74
5786	7994698.476	90.19	116.00	-4.46	0.01	24.00	1.67
5862	6775081.967	82.93	49.20	-2.66	0.02	34.00	2.10
5938	6894224.53	89.76	60.80	-4.29	0.01	29.00	1.63
6016	4094932.649	79.32	55.50	-5.11	0.02	32.00	2.23
6094	8461636.018	88.25	127.33	-4.17	0.02	29.00	1.73
6173	4097928.437	77.94	44.20	-4.87	0.03	26.00	2.07
6253	5934038.581	86.91	44.50	-4.31	0.02	25.00	1.82
6334	4740740.741	79.38	37.29	-3.66	0.01	31.00	2.05
6415	6205882.353	85.31	92.25	-3.82	0.01	27.00	1.72
6497	2420462.85	81.16	29.38	-9.06	0.02	31.00	2.44
6579	3452121.212	87.64	40.25	-4.38	0.01	30.00	2.03
6662	3895652.174	89.51	100.75	-4.97	0.00	29.00	1.70
6744	3727874.774	93.02	60.83	-5.26	0.01	24.00	1.58
6911	5442111.578	88.89	49.57	-6.94	0.02	33.00	2.16

---

**Apêndice 7** – Valores isotópicos das espécies *Cibicides kullenbergi* (Cib) e *Uvigerina peregrina* (Uv) ao longo do perfil sedimentar KCF10-01B e KCF10-09A.

KCF10-01B					KCF10-09A		
Idade	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Cib}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Cib}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Uv}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Uv}}$	Idade	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Uv}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Uv}}$
876	0.57	1.18	1.14	0.27	1120	0.87	-0.30
941	0.58	0.97	1.04	0.28	1209	0.94	0.10
1006	0.71	1.15	1.07	0.32	1285	0.79	-0.19
1071	0.64	1.03	1.06	0.34	1360	1.05	-0.01
1136	0.73	1.11	1.04	0.33	1435	0.75	-0.08
1201	0.74	0.78	1.07	0.34	1510	0.93	0.11
1265	0.67	1.09	1.06	0.37	1585	1.15	-0.06
1330	0.68	0.98	0.93	0.22	1659	1.08	0.13
1394	0.62	1.20	1.12	0.37	1733	1.12	-0.08
1458	0.51	1.00	1.03	0.35	1807	1.14	-0.10
1522	0.57	0.91	1.02	0.27	1881	1.04	0.00
1586	0.61	0.98	1.11	0.29	1954	1.01	0.03
1649	0.64	1.11	1.13	0.21	2026	1.13	0.42
1712	0.60	1.04	0.95	0.17	2099	1.10	0.22
1775	0.52	1.07	1.08	0.20	2171	1.19	0.29
1838	0.61	1.12	1.05	0.33	2242	1.19	0.33
1900	0.59	1.06	0.89	0.16	2313	1.04	0.46
1962	0.67	0.95	1.07	0.22	2384	0.94	0.06
2023	0.63	1.02	1.09	0.26	2454	1.23	0.05
2083	0.69	0.98	1.06	0.21	2525	0.97	0.10
2144	0.69	1.05	0.94	0.04	2595	1.16	0.10
2203	0.65	1.19	1.04	0.30	2666	1.13	-0.01
2262	0.63	1.00	1.01	0.14	2736	1.03	0.00
2320	0.68	0.95	1.05	-0.03	2807	1.16	0.31
2378	0.64	1.07	1.03	0.23	2878	1.14	0.35
2435	0.68	1.02	1.11	0.02	2949	1.28	0.16
2492	0.64	0.94	0.99	0.01	3020	1.05	-0.03
2549	0.63	1.13	1.02	0.05	3091	1.10	-0.11
2605	0.65	0.82	1.04	0.11	3162	0.99	0.02
2660	0.68	1.01	1.12	-0.01	3233	0.86	-0.11
2716	0.79	1.00	1.06	-0.02	3305	1.10	0.13
2771	0.65	1.03	1.01	0.13	3376	1.54	0.48
2825	0.67	1.14	1.02	-0.11	3448	1.09	0.49
2880	0.70	1.02	1.07	0.08	3520	1.05	-0.18
2934	0.64	0.99	0.98	0.14	3591	1.00	-0.14
2988	0.72	1.06	1.05	0.05	3662	0.95	-0.04
3042	0.67	1.01	1.11	0.13	3734	1.08	-0.22
3095	0.71	0.95	1.11	0.14	3805	1.25	0.11
3149	0.64	1.11	0.98	0.04	3876	1.09	0.02
3202	0.61	0.99	1.01	0.05	3946	1.03	0.22
3256	0.57	1.25	1.08	-0.05	4017	1.12	-0.05
3309	0.47	1.12	1.03	0.08	4087	1.04	0.41
3363	0.59	1.05	1.05	0.00	4156	1.04	0.20
3416	0.58	1.01	1.13	0.00	4226	1.01	0.14
3470	0.60	1.00	1.02	0.16	4295	1.04	0.13
3524	0.65	0.99	1.04	0.10	4364	0.97	-0.20
3578	0.67	1.03	1.10	0.19	4433	0.90	0.11
3632	0.66	1.08	1.06	0.05	4502	1.38	-0.25
3686	0.60	1.09	1.10	0.00	4571	0.93	-0.07
3741	0.66	1.05	1.09	0.09	4640	1.15	0.07
3796	0.82	1.07	1.06	0.12	4709	1.13	-0.07
3852	0.67	1.20	1.21	0.14	4779	1.20	-0.16
3907	0.71	0.91	1.15	0.19	4848	1.07	-0.06
3964	0.69	0.98	1.03	0.07	4919	0.74	0.03
4021	0.72	1.19	0.76	-0.07	4989	0.91	0.24
4078	0.71	0.91	0.93	0.07	5059	0.90	-0.06

4136	0.76	1.17	0.80	-0.06	5130	1.18	0.05
4195	0.75	1.30	0.99	0.11	5201	1.02	-0.06
4254	0.41	0.84	1.02	-0.10	5273	1.12	-0.12
4314	0.63	1.09	1.12	0.30	5345	1.12	0.00
4375	0.61	1.26	1.03	-0.03	5417	1.26	0.15
4437	0.32	0.93	1.12	0.07	5490	1.25	0.29
4500	0.67	0.97	1.03	0.06	5563	1.10	0.06
4563	0.23	0.84	1.07	-0.22	5637	1.06	0.09
4628	0.74	1.10	0.70	0.01	5711	1.20	0.22
4693	1.19	1.43	1.08	0.10	5786	1.19	-0.01
4760	0.69	1.48	1.00	0.05	5862	1.07	0.17
4828	0.85	1.48	0.79	0.05	5938	1.19	0.16
4897	0.71	0.85	0.99	0.13	6016	1.08	0.25
4966	0.08	1.23	0.92	0.08	6094	1.19	0.16
5037	0.66	1.07	0.62	-0.04	6173	1.10	0.25
5109	0.63	0.97	0.98	-0.07	6253	1.13	0.17
5182	0.74	1.20	0.94	-0.03	6334	0.95	-0.07
5255	0.62	1.37	1.08	0.18	6415	0.90	0.14
5330	0.68	1.20	0.88	0.03	6497	1.07	-0.25
5405	0.56	1.16	1.03	0.11	6579	1.05	0.03
5482	0.61	1.05	1.05	0.13	6662	0.88	-0.28
5559	0.68	1.10	1.00	0.94	6744	0.95	0.08
5637	0.63	1.06	0.99	0.09	6828	1.35	0.12
5716	0.67	1.07	1.05	0.06	6911	0.92	-0.06
5796	0.83	1.04	0.70	-0.10	6994	1.12	-0.08
5877	0.68	1.21	0.84	0.08			
5959	0.41	1.10	0.99	-0.02			
6042	0.06	1.33	1.04	0.05			
6125	0.72	1.26	1.14	0.09			
6209	0.78	1.03	1.04	0.04			
6294	0.68	1.14	0.92	-0.04			
6380	0.69	1.25	0.98	0.05			
6466	0.46	1.19	1.07	0.15			
6553	0.71	1.16	1.02	0.23			
6640	0.68	1.16	0.93	-0.03			
6728	0.46	1.13	0.94	0.03			
6816	0.69	1.05	1.03	0.09			
6904	0.67	1.31	0.95	0.11			
6993	0.61	1.18	0.95	0.20			
7082	0.87	1.02	0.91	0.00			
7171	0.70	1.27	0.95	0.12			
7261	0.70	1.14	0.85	-0.07			
7350	0.59	1.19	0.85	0.03			
7439	0.33	1.09	0.90	-0.01			
7529	0.02	0.75	0.91	0.17			
7618	0.65	1.24	1.02	0.12			
7707	0.67	1.24	1.09	0.03			
7796	0.66	1.39	0.92	0.06			
7885	0.81	1.21	0.99	0.08			
7974	0.67	1.22	1.02	0.01			
8062	0.67	1.03	1.05	0.01			
8149	0.52	0.96	1.06	0.09			
8236	0.75	1.02	0.98	0.11			
8323	-0.52	0.57	0.93	-0.01			
8408	0.72	0.90	1.05	0.05			
8492	0.74	1.02	1.00	0.19			
8574	0.66	1.29	0.37	-0.32			
8656	0.73	1.15	-0.08	-0.43			
8735	0.78	1.12	0.41	-0.09			
8813	0.66	1.15	0.94	0.01			

**Apêndice 8** – Teores de areia, silte, SS%, COT, fluxo de Corg,  $\delta^{13}\text{C}$ , C/N do testemunho KCF10-01B.

KCF10-01B							
Idade	Areia	Silte	%SS	COT	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	Fluxo de Corg
908				0.617	8.45	-21.15	
1039				0.729	7.55	-21.41	0.401263949
1201	39.06	60.94	0.595139253	1.213	7.98	-21.06	0.197004672
1362	16.83	83.17	0.62570069	0.835	7.62	-20.90	0.425768448
1522	39.71	60.29	0.657537797	0.835	8.31	-21.02	0.46591664
1681	37.57	62.43	0.662429752	0.906	7.81	-21.03	0.218814449
1838	24.11	75.89	0.635562508	1.095	9.03	-21.10	0.2641359
1992	37.34	62.66	0.696203507	0.976	9.00	-21.08	0.244813302
2144	33.98	66.02	0.632962479	0.776	8.29	-21.12	0.19424832
2291	28.18	71.82	0.652098184	0.962	8.75	-20.92	1.759841834
2435	29.12	70.88	0.619969922	1.174	8.81	-20.87	2.244612864
2577	37.32	62.68	0.697630597	0.921	8.57	-21.03	1.806057414
2716	33.55	66.45	0.737063695	1.000	8.23	-21.19	1.909311
2852	59.38	40.62	0.848539276	0.970	8.67	-21.13	1.846166119
2988	29.40	70.60	0.69428447	1.110	10.03	-21.39	2.09806983
3122	38.05	61.95	0.663481484	0.835	9.34	-21.12	0.503511718
3256	19.11	80.89	0.656992378	1.037	9.25	-21.31	0.639024288
3390	23.75	76.25	0.671743153	1.159	9.10	-20.83	0.801766026
3524	37.70	62.30	0.658655888	0.999	8.50	-21.17	0.682452864
3659	44.78	55.22	0.661903977	0.985	9.12	-21.30	0.689261328
3796	13.33	86.67	0.60393726	2.13	9.83	-21.34	0.10693584
3936	27.90	72.10	0.641417635	0.983	9.31	-21.21	2.528339044
4078	38.73	61.27	0.674275161	1.040	9.64	-21.12	2.97949184
4224	39.65	60.35	0.643681011	1.034	10.05	-21.36	2.92285996
4375	43.66	56.34	0.677323333	0.888	9.57	-21.27	2.469471168
4531	48.21	51.79	0.676067172	1.009	9.29	-21.12	2.75425837
4693	18.45	81.55	0.635718469	0.786	8.61	-21.23	2.201977428
4862	44.79	55.21	0.669845056	0.930	9.41	-21.23	0.132203878
5037	53.72	46.28	0.673697995	0.967	10.33	-21.25	0.142288248
5218	28.33	71.67	0.652440491	0.738	10.52	-21.31	1.079444545
5405	36.34	63.66	0.640748244	1.030	10.73	-21.33	1.373196
5598	13.40	86.60	0.591892565	0.823	10.71	-21.21	1.153165568
5796	43.57	56.43	0.708874678	0.925	9.15	-21.21	1.2805145
6000	36.23	63.77	0.670596517	0.560	9.02	-21.32	0.17189004
6209	43.78	56.22	0.709610002	0.910	8.90	-21.27	0.26464256
6423	31.52	68.48	0.617568344	0.678	8.30	-21.11	0.303146366
6640	45.98	54.02	0.642596915	0.630	9.77	-21.60	0.27517959
6860	53.98	46.02	0.635763666	0.659	9.02	-20.56	0.29156341
7082	24.28	75.72	0.671893553	0.490	7.71	-21.15	0.21535843
7305	58.53	41.47	0.678314404	0.410	7.98	-21.48	0.163298914
7529	60.64	39.36	0.622325304	0.676	9.46	-20.84	0.293686172
7752	66.65	33.35	0.698080067	0.938	9.54	-21.10	0.626480426
7974	70.69	29.31	0.811472863	0.536	8.58	-21.35	0.382999872
8193	70.69	29.31	0.811472863	0.493	10.13	-21.14	0.3651192
8408	64.99	35.01	0.800530107	0.60	9.37	-21.39	0.3153392
8615	77.86	22.14	0.743567369	0.481	8.17	-21.60	0.337426115
8813	70.69	29.31	0.811472863	0.654	8.78	-21.68	0.49306368
8998	64.99	35.01	0.800530107	0.42	8.76	-21.66	0.267009523
9169	78.42	21.58	0.755590573	0.497	7.78	-21.57	0.387691808
9324	66.79	33.21	0.822679293	0.658	8.53	-21.44	0.476511587
9462	81.62	18.38	0.849937397	0.473	7.89	-21.61	0.36019896
9582	72.37	27.63	0.790705433	0.585	8.95	-21.52	0.44598282
9685	72.37	27.63	0.790705433	0.432	9.89	-21.30	0.326530656
9773	68.41	31.59	0.812269168	0.379	8.78	-21.27	0.294526034



9848	68.41	31.59	0.812269168	0.507	9.81	-21.56	0.39129246
9912	77.71	22.29	0.796834824	0.403	9.92	-21.63	0.305856824
9966	62.00	38.00	0.735607047	0.525	9.65	-21.11	0.425733
10012	68.19	31.81	0.7405473	0.596	9.62	-21.61	0.473033067
10052	68.19	31.81	0.7405473	0.556	8.88	-21.56	0.43570211
10087	81.07	18.93		0.360	8.43	-21.78	0.297149056
10121	85.62	14.38		0.526	8.93	-22.00	0.408494756
10153	78.96	21.04		0.282	8.26	-21.72	0.169667557
10187	90.27	9.73		0.610	9.76	-21.38	0.34667276
10224	84.59	15.41		0.432	8.83	-21.86	0.259366153
10265	83.01	16.99		0.435	10.17	-21.71	0.2436609
10313	84.25	15.75		0.536	9.37	-21.27	0.29757119
10369	82.43	17.57		0.389	10.43	-21.77	0.221630416
10434	86.27	13.73		0.375	9.98	-21.61	0.210401408
10511	83.53	16.47		0.487	11.61	-21.68	0.2788562
10598	80.15	19.85		0.365	8.09	-21.63	0.234031862
10694	74.14	25.86	0.833291354	0.447	8.75	-21.41	0.254300088
10799	61.02	38.98	0.77097251	0.486	9.50	-21.76	0.278000002
10910	66.49	33.51	0.815062963	0.444	9.13	-21.80	0.251399904
11027	86.62	13.38	0.789764459	0.395	8.48	-21.61	0.225081598
11147	86.56	13.44	0.791716952	0.479	10.05	-21.64	0.275308124
11267	94.32	37.50	0.397549913	0.289	10.62		
11387	28.98	22.59	0.779640157	0.502	9.91	6.57	

---

**Apêndice 9** – Teores de areia, silte, SS%, COT, fluxo de Corg,  $\delta^{13}\text{C}$ , C/N do testemunho KCF10-09A.

Idade	Areia	Silte	SS%	COT	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	Fluxo de Corg
							3.0800
1120	3.491	96.509	0.435713704	2.92	0.23	-20.92	3.1641
1209	2.049	97.951	0.429947977	2.87	0.96	-20.94	3.3166
1285	0.251	99.749	0.282119903	3.23	0.73	-20.99	3.6532
1360	1.809	98.191	0.482783257	3.01	6.80	-20.97	3.5822
1435	1.003	98.997	0.327735084	3.27	1.77	-20.89	3.6024
1510	0.689	99.311	0.38133232	3.08	4.00	-20.89	3.3941
1585	0.690	99.310	0.435767227	3.25	0.30	-20.88	3.4549
1659	2.817	97.183	0.45781021	2.98	3.50	-20.90	3.2169
1733	2.607	97.393	0.508880956	3.08	1.43	-20.90	3.3100
1807	1.022	98.978	0.432183044	3.18	1.08	-20.87	3.4481
1881	4.378	95.622	0.438645096	3.13	1.10	-20.97	3.4155
1954	0.619	99.381	0.325354956	3.28	2.20	-20.95	3.4793
2026	0.691	99.309	0.434183295	3.13	0.22	-21.05	3.2286
2099	0.883	99.117	0.313504949	3.04	2.14	-21.06	3.1474
2171	0.554	99.446	0.329675985	2.81	0.72	-21.20	2.9048
2242	9.809	90.191	0.348388991	3.18	0.47	-21.05	3.2887
2313	0.241	99.759	0.262339872	2.93	0.75	-21.14	3.0456
2384	0.422	99.578	0.222683191	3.13	0.68	-20.97	3.2369
2454	1.110	98.890	0.379978731	3.02	0.54	-21.11	3.2500
2525	1.885	98.115	0.387383255	2.62	1.11	-21.07	2.7850
2595	1.992	98.008	0.401024032	2.46	0.15	-21.16	2.6664
2666	0.498	99.502	0.343651227	3.16	1.60	-21.11	3.4306
2736	1.669	98.331	0.282649813	3.10	0.74	-21.03	3.4131
2807	6.821	93.179	0.325429141	2.88	1.22	-21.11	3.1149
2878	1.628	98.372	0.330533976	3.17	0.82	-21.12	3.4636
2949	2.490	97.510	0.163716252	2.99	1.89	-21.12	3.3967
3020	3.191	96.809	0.446546418	2.96	0.45	-21.15	3.4337
3091	0.388	99.612	0.413084617	3.08	1.07	-21.15	3.5703
3162	2.535	97.465	0.346462236	2.46	0.55	-21.21	2.7864
3233	1.059	98.941	0.373021184	3.08	0.74	-21.04	3.4145
3305	1.776	98.224	0.336316399	2.41	0.39	-21.17	2.7157
3376	1.004	98.996	0.255383303	3.02	1.14	-21.07	3.3312
3448	1.383	98.617	0.353870607	2.82	0.67	-21.14	3.1216
3520	8.608	91.392	0.54339987	1.92	0.86	-21.31	2.0345
3591	1.784	98.216	0.318849498	2.94	1.07	-21.24	3.1034
3662	2.264	97.736	0.43407267	2.73	3.23	-21.24	2.9097
3734	0.233	99.767	0.136396787	2.90	0.29	-21.17	3.0995
3805	0.642	99.358	0.44689249	3.05	11.75	-21.03	3.2156
3876	6.216	93.784	0.564758647	2.33	0.28	-21.22	2.4560
3946	5.542	94.458	0.404780007	1.98	1.14	-21.21	2.0748
4017	2.123	97.877	0.435081583	2.87	0.55	-21.01	3.0998
4087	0.436	99.564	0.290387468	2.28	1.69	-21.13	2.4513
4156	10.475	89.525	0.586176851	2.44	0.67	-21.31	2.6207
4226	16.822	83.178	0.653749863	2.80	3.00	-21.13	2.9609
4295	0.705	99.295	0.31202293	2.93	0.48	-21.13	3.1251
4364	0.247	99.753	0.180334375	2.99	2.83	-21.11	3.2077
4433	5.342	94.658	0.459711768	2.66	1.69	-21.20	2.8615
4502	1.987	98.013	0.418142362	2.88	0.48	-21.15	3.1176
4571	3.267	96.733	0.356524207	2.45	0.35	-21.08	2.6129
4640	4.956	95.044	0.385543512	2.54	1.79	-21.13	2.7108
4709	14.286	85.714	0.46021388	2.15	0.88	-20.67	2.3112
4779	5.854	94.146	0.601985809	2.57	1.65	-21.10	1.9789
4848	7.235	92.765	0.494920622	2.40	1.00	-21.19	2.6773
4919	4.112	95.888	0.508009882	2.89	2.88	-21.15	3.2985

4989	4.876	95.124	0.541282344	2.81	0.73	-21.07	3.2789
5059	10.288	89.712	0.505895339	2.59	1.11	-21.16	3.0857
5130	11.672	88.328	0.466669069	2.49	0.22	-21.18	3.0045
5201	3.315	96.685	0.538867895	2.24	5.75	-21.19	2.7363
5273	9.622	90.378	0.49711247	2.42	0.48	-21.13	2.6546
5345	2.215	97.785	0.392992758	2.67	0.92	-21.29	2.9420
5417	2.783	97.217	0.292841382	3.11	0.60	-21.07	3.5026
5490	4.940	95.05995869	0.517410733	2.90	1.64	-21.04	3.2770
5563	3.082	84.281	0.73219261	3.02	0.38	-21.08	3.3085
5637	11.093	88.90674825	0.650940427	2.69	1.45	-20.90	3.0365
5711	0.289	99.711	0.247884005	3.18	0.42	-20.96	3.4579
5786	4.946	95.05397123	0.541498873	3.18	0.79	-21.03	3.5149
5862	2.685	97.31486686	0.525646489	3.27	0.67	-20.98	3.4984
5938	0.963	99.0366529	0.533967378	3.11	0.69	-21.03	3.3396
6016	0.889	99.111	0.35191754	3.04	0.67	-21.01	3.3289
6094	2.372	97.62790892	0.567343242	2.77	1.06	-20.96	3.0605
6173	7.111	92.88879455	0.622826988	2.84	0.50	-20.99	1.4663
6253	6.446	93.55415842	0.606344967	2.65	1.50	-21.19	2.9391
6334	24.540	75.460	0.621724113	2.13	1.47	-21.10	2.4958
6415	10.894	89.10636223	0.650578493	2.61	0.61	-21.20	3.0026
6497	5.681	4.839		2.93	0.28	-21.05	3.4580
6579	9.364	90.63590676	0.629501414	2.56	1.00	-21.15	3.0933
6662	8.522	91.478	0.470137291	1.41	0.39	-21.48	1.7132
6744	17.459	82.54087453	0.591760005	1.85	0.13	-21.26	2.1591
6911	16.21347084	83.787	0.635043972	2.70		-21.11	3.1359
	22.26247807	77.73752193	0.750621493	2.94		-21.16	3.4462

---