

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

NOEMI RESENDE MARRONI

**VARIAÇÕES DA TERMOCLINA NA BACIA DE CAMPOS
MODULADA POR VARIAÇÃO ORBITAIS DURANTE OS ÚLTIMOS
50.000 ANOS**

NITERÓI

2019

NOEMI RESEDE MARRONI

**VARIAÇÕES DA TERMOCLINA NA BACIA DE CAMPOS
MODULADA POR VARIAÇÃO ORBITAIS DURANTE OS ÚLTIMOS
50.000 ANOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Fluminense como requisito parcial do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra para obtenção do título de Mestre na área de Biogeoquímica.

Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Ana Luiza Spadano Albuquerque

Co-orientador: Dr. Douglas Villela de Oliveira Lessa

NITERÓI – RJ

2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M361v Marroni, Noemi Resende
VARIAÇÕES DA TERMOCLINA NA BACIA DE CAMPOS MODULADA POR
VARIAÇÃO ORBITAIS DURANTE OS ÚLTIMOS 50.000 ANOS / Noemi
Resende Marroni ; Ana Luiza Spadano Albuquerque, orientadora ;
Douglas Villela de Oliveira Lessa, coorientador. Niterói,
2019.
54 f.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2019.m.02570363189>

1. Geociências. 2. Paleoceanografia. 3. Micropaleontologia.
4. Produção intelectual. I. Albuquerque, Ana Luiza Spadano,
orientadora. II. Lessa, Douglas Villela de Oliveira,
coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto
de Geociências. IV. Título.

CDD -

NOEMI RESENDE MARRONI

**VARIAÇÕES DA TERMOCLINA NA BACIA DE CAMPOS
MODULADA POR VARIAÇÃO ORBITAIS DURANTE OS ÚLTIMOS
50.000 ANOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Fluminense como requisito parcial do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra para obtenção do título de Mestre na área de Biogeoquímica.

Aprovada em de de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. ANA LUIZA SPADANO ALBUQUERQUE (Orientadora)

Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

Dr. DOUGLAS VILLELA DE OLIVEIRA LESSA (Co-orientador)

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Prof. Dr. ANDRÉ LUIS BELEM

Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

Dr. LÁZARO LUIZ MATTOS LAUT

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

NITERÓI

2019

AGRADECIMENTOS

A minha família, minha mãe Virginia, minha irmã Ananda e meu marido Thiago que me apoiaram na decisão de fazer um mestrado.

A minha orientadora Ana Luiza por abrir as portas do laboratório para mim, e me receber tão bem.

Ao meu co-orientador Douglas pelos ensinamentos e paciência. Por me treinar na metodologia e identificação de foraminíferos planctônicos, e também por me ensinar e auxiliar no processamento de dados.

Ao projeto SAMBA, responsável pela coleta do testemunho e a Universidade de Heidelberg (Alemanha) por disponibilizar as amostras do testemunho

À CAPES pela bolsa de estudos concedida durante os dois anos do meu mestrado.

Ao meu colega de laboratório Thiago Pereira pelo processamento dos dados de datação das amostras e por tirar minhas dúvidas quando necessário.

Ao colega Igor Venâncio pela disponibilidade e boa vontade em nos ensinar como usar a ferramenta Grapher.

Ao colega Matheus Paiva por lavar minhas amostras, me ajudando muito e adiantando meu trabalho.

Aos meus colegas de laboratório pelos momentos de descontração durante as várias horas de lupa e companhia durante os almoços.

Aos professores e funcionários dos Departamentos de Dinâmica dos Oceanos e da Terra e de Geoquímica da UFF.

Muito obrigada a todos!

“Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível”.

(Charles Chaplin).

RESUMO

Os estudos oceanográficos vêm sendo amplamente empregados para um maior entendimento das mudanças climáticas da Terra, entretanto no Oceano Atlântico grande parte desses estudos se concentram no hemisfério norte. Ainda existem poucos estudos no Atlântico Sul, principalmente no que diz respeito às variações da camada da termoclina. O presente trabalho teve o objetivo de reconstruir a paleoceanografia da Bacia de Campos nos últimos 50.000 anos, relacionando às variações da camada da termoclina, utilizando como ferramenta assembleias de foraminíferos planctônicos. Para isso foi utilizado o testemunho M125-29 coletado no talude continental da Bacia de Campos. Com o resultado obtido através dos dados de abundância relativa da assembleia foi realizada uma ordenação das espécies, onde duas fases distintas foram identificadas. A primeira fase corresponde ao intervalo entre 50 e 43,4 ka anterior ao presente (AP), na qual a abundância relativa reflete um ambiente marinho mais frio e produtivo, devido a camada da termoclina mais rasa. A segunda fase corresponde ao intervalo de 43,4 ka até o presente, onde as espécies de águas frias e espécies indicadoras de produtividade tem uma queda de abundância, com um aumento das espécies de águas quentes, caracterizando um ambiente mais quente e oligotrófico. Para a reconstrução do posicionamento da termoclina nos últimos 50.000 anos na Bacia de Campos, foi criado o índice $I_{Gt+Gs/Gg} = \frac{Globorotalia\ truncatulinoides + Globorotalia\ scitula}{Globorotalia\ truncatulinoides + Globorotalia\ scitula + Globigerinita\ glutinata}$. O índice criado corroborou as características ambientais observadas na primeira fase. Em contrapartida o índice indicou condições oligotróficas com uma coluna d'água fortemente estratificada, porém com condições mais produtivas ocorrendo entre 14 e 6 ka AP. As interpretações paleoambientais e paleoceanográficas dos dados mostraram que na primeira fase a termoclina mais rasa foi decorrente das condições mais frias do oceano, onde águas da Frente Polar Antártica estavam mais avançadas em direção ao norte nesse período de tempo, além da resposta a alta obliquidade da Terra. A variação da termoclina presente na segunda fase é explicada pela ocorrência dessa alta obliquidade, também nesse período, que resultou em um aumento da insolação em altas latitudes, ocasionando em um derretimento das calotas de gelo que gerou uma injeção de águas frias no Oceano Atlântico Sul, causando a subida da camada da termoclina na Bacia de Campos.

Palavras-chave: Termoclina. Paleoceanografia. Glacial. Bacia de Campos. Foraminíferos planctônicos.

ABSTRACT

Oceanographic studies had been widely used to have a better understanding about climate changes of Earth, however at the Atlantic Ocean large part of those studies focus on north hemisphere. There are still few studies at the south Atlantic, mainly in regards to the changes on the thermocline layer. The goal of the present study was reconstruct the paleoceanography of Campos Basin over the last 50.000 years, relating those changes to the variations on the thermocline layer, using ecologic proxies (assemblages) of planktonic foraminifera. For this was used the core M125-29 that was collected on the continental slop of Campos Basin. With the result obtained through the data of relative abundance of assemblage was fulfilled a species ordination, where two distinct stages were identify. The first stage corresponds to the interval between 50 to 43.4 ky before present (BP), in which the relative abundance reflects a marine environment colder and productive, due the shallower position of the thermocline layer. The second stage corresponds to the interval between 43.4 until the present, where the species of colder water e species that indicated productivity has the abundance lower, with an increase of the hotter water and oligotrophic species. To the reconstruction of the thermocline position over the last 50.000 years in the Campos Basin, was created the ratio $R_{Gt+Gs/Gg} = \frac{Globorotalia\ truncatulinoides + Globorotalia\ scitula}{Globorotalia\ truncatulinoides + Globorotalia\ scitula + Globigerinita\ glutinata}$. The ratio created corroborated with de environmental characteristics observed on the first stage. On the other hand, the ratio indicated oligotrophic conditions with a water column highly stratified, however with conditions of higher productivity occurring between 14 to 6 ky BP. The paleoenvironmental and paleoceanographic interpretations of the data shown that the first stage the shallower thermocline layer was due the colder conditions of the ocean, where the Antarctic Polar Front waters were forward in to the north during this period of time, beyond the response to the high Earth obliquity. The thermocline variation present on the second stage are explained by the occurrence of the high obliquity, also in this period, that result in increase of insolation at high latitudes, causing an snow brake of ice caps witch generated an injection of colder waters in South Atlantic Ocean, provoking the rise of the thermocline layer in Campos Basin.

Key words: Thermocline. Paleoceanography. Glacial. Campos Basin. Planktonic Foraminifera.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Províncias biogeográficas de foraminíferos planctônicos no oceano moderno com a média de intervalo em °C. (A) Distribuição e abundância das espécies de foraminíferos planctônicos nas províncias. (B) Distribuição das províncias nos oceanos. Extraído e modificado de (KUCERA, 2007).....19
- Figura 2: Esquema idealizando a distribuição vertical de espécies de foraminíferos planctônicos. A variação da profundidade-habitat média das espécies de foraminíferos planctônicos é representada pelas linhas azuis. A variação de acordo com a latitude e províncias biogeográficas é representada na parte superior da figura. Extraído e modificado de SCHIEBEL; HEMLEBEN (2017).....23
- Figura 3: (A) Visão da área de estudo mostrando a batimetria, localização do testemunho M125-29 usado neste trabalho (ponto vermelho), localização das bacias de Santos e Campos e os Altos de Cabo frio e Vitória. (B) Mapa da circulação de superfície do Atlântico Sul (baseado em PETERSON; STRAMMA, 1991) e distribuição de TSM. Siglas: CB – Corrente do Brasil; CM – Corrente das Malvinas; CNB – Corrente Norte do Brasil; CSE – Corrente Sul Equatorial.....24
- Figura 4: Circulação das correntes do Atlântico Sul (Fonte: modificado de PETERSON; STRAMMA, 1991).....26
- Figura 5: Circulação e estrutura vertical dos três quilômetros superiores da coluna d'água na margem continental Sudeste a Leste do Brasil. AC- Água Costeira (verde); AT – Água Tropical (vermelho); ACAS – Água Central Atlântico Sul (verde escuro); AIA – Água Intermediária Antártica (azul claro); APAN – Água Profunda Atlântico Norte (azul escuro); CSE – Corrente Sul Equatorial; CNB – Corrente Norte do Brasil. (Fonte: modificado de SOUSA et al. (2013), baseado em STRAMMA; ENGLAND, (1999).....26
- Figura 6: Modelo de idade obtido através da datação ¹⁴C por espectrometria de aceleração de massa (AMS), idade calibrada em milhares de anos anterior ao presente e taxa de sedimentação (cm/ka).....33
- Figura 7: Comparativo das variações densidade, fluxo total e taxa de sedimentação ao longo dos 215 cm superiores do testemunho M125-29.....34
- Figura 8: Agrupamento com restrição estratigráfica das assembleias de foraminíferos planctônicos ao longo dos 215 cm superiores do testemunho M125-29. Divisão em dois grupos (marcada pela linha tracejada) que ocorre próximo a 0,75, onde o grupo 2 domina entre 49,3 a 43,4 ka e o grupo 1 entre 43,4 a 0 ka36

Figura 9: Variação da abundância relativa das espécies de foraminíferos planctônicos ao longo dos 215 cm superiores do testemunho M125-29. A escolha de cores foi feita de acordo com a distribuição das espécies em sedimentos do Oceano Atlântico Sul (KUCERA, 2007). A linha tracejada marca a divisão de dois grupos baseada na análise de agrupamento, mostrado no dendrograma da Figura 8.....37

Figura 10: Comparativo entre Obliquidade (A) o índice $I_{Gt+Gs/Gg}$ (B), os dados de $\delta^{13}C$ de foraminíferos planctônicos (TOLEDO et al., 2007) (C). A barra cinza representa o período Holoceno.....41

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1: Divisão das espécies de foraminíferos planctônicos de acordo com as províncias biogeográficas latitudinais de acordo com (BÉ, 1977a).....	21
Tabela 2: Resultados da datação de radiocarbono e calendário de idades calibradas pelo software BACON V.2.2 para o testemunho M125-29.	32
Tabela 3: Contagem de espécies de foraminíferos planctônicos por amostra do testemunho M125-29.	52

LISTA DE ABREVIACÕES

- AC – Água Costeira
- ACAS – Água Central do Atlântico S
- ACS – Água Circumpolar Superior
- AIA – Água Intermediária Antártica
- AMOC – *Atlantic Meridional Overturning Circulation*
- AMS – Espectrofotometria de Aceleração de Massa
- AP – Antes do Presente
- APAN – Água Profunda Atlântico Norte
- AT – Água Tropical
- CB – Corrente do Brasil
- CG – Corrente do Golfo
- CM – Corrente das Malvinas
- CNB – Corrente Norte do Brasil
- CSE – Corrente Sul Equatorial
- KA – Mil anos
- MIS – *Marine Isotopic Stage*
- PCA – *Principal Component Analysis*
- PMC – Profundidade de Máximo de Clorofila
- TSM – Temperatura de Superfície do Mar
- UGM – Último Máximo Glacial
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. BASE TEÓRICA	18
3.1. FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS	18
3.1.1. Distribuição latitudinal	19
3.1.2. Distribuição Vertical	22
4. ÁREA DE ESTUDO	24
4.1. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO	24
4.2. HIDROLOGIA E CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS	24
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1. AMOSTRAGEM	27
5.2. ATIVIDADES LABORATORIAIS	27
5.2.1. Geocronologia	27
5.2.2. Análise Micropaleontológica De Foraminíferos Planctônicos	28
5.3. TRATAMENTO DE DADOS	28
5.3.1. Abundância Absoluta	28
5.3.2. Abundância Relativa	29
5.3.3. Índice da Profundidade da Termoclina	30
6. RESULTADOS	32
6.1. GEOCRONOLOGIA DO TESTEMUNHO M125-29	32
6.2. ASSEMBLEIA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS	33
6.2.1. Abundância Absoluta e Fluxo Total	33
6.2.2. Abundância Relativa	34
6.2.3. Dendrograma	35

6.2.4. Índice da Profundidade da Camada da Termoclina.....	38
7. DISCUSSÃO	39
7.1. ABUNDÂNCIA ABSOLUTA TOTAL E FLUXO DE ESPÉCIES.....	39
7.2. VARIAÇÕES DA ASSEMBLEIA AO LONGO DOS ULTIMOS 50 KA.....	39
7.3. MIGRAÇÃO VERTICAL DO LIMITE DAS CAMADAS DE MISTURA E TERMOCLINA	41
8. CONCLUSÕES	43
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
10. ANEXOS	51

1. INTRODUÇÃO

Os oceanos, juntamente com a atmosfera, empregam um papel crucial no equilíbrio térmico do planeta, onde o clima global é afetado pela circulação oceânica a qual controla as flutuações de temperaturas diárias, sazonais e interanuais. Isso se dá porque o oceano é responsável pela distribuição de calor das baixas para as altas latitudes em resposta às grandes variações orbitais da Terra. No Atlântico Norte, as águas superficiais tendem a acelerar em direção aos polos em consequência do aquecimento solar diferente entre altas e baixas latitudes. Por outro lado, esse fluxo enfraquece devido à entrada de água doce em altas latitudes, juntamente com a evaporação em baixas latitudes (GANACHAUD; WUNSCH, 2000).

A circulação termohalina no Oceano Atlântico desempenha um papel fundamental na manutenção do clima global. Essa circulação é denominada *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC – sigla em inglês), que é movida pela mudança de densidade (BURNS; MASLIN, 1999). A variação orbital causa um impacto não só na circulação termohalina, mas também em outras forçantes climáticas, promovendo os ciclos glaciais/interglaciais. O fluxo da AMOC apresenta dois setores, onde o primeiro é superficial formado por águas quentes provenientes do Atlântico Sul que, ao alcançar altas latitudes no Atlântico Norte afunda e forma a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). O segundo setor é a circulação fria e profunda da APAN que flui para sul em profundidade batipelágica (1500 – 3500 m), alcançando a circulação austral e sendo distribuída para as bacias dos demais oceanos (BURNS; MASLIN, 1999). Compilações de faixas de tempos dos últimos 140.000 anos mostraram três configurações distintas da AMOC no Atlântico, de acordo com sua intensidade, sendo eles o modo frio (aproximadamente 20.000 anos duração), quente (aproximadamente 100.000 anos duração) e desligado (ocorre em alguns eventos milenares próximos à deglaciações) (BOHM et al., 2015). A ocorrência dos três modos da AMOC depende primariamente da entrada de águas de baixa densidade no oceano, provenientes do continente ou degelo de calotas. Um grande aporte de água doce perturba o equilíbrio de densidade da circulação, causando enfraquecimento de todo o sistema, tanto na região equatorial, como nas altas latitudes (GOELZER et al., 2006). Como consequência dessas alterações, ocorreria o efeito “gangorra bipolar termal” (*thermal bipolar seesaw*, em inglês), onde as temperaturas da superfície do mar (TSM) e do ar no Atlântico Norte tendem a diminuir, e as do Atlântico Sul tende a aumentar (BARKER et al., 2009; STOCKER; JOHNSEN, 2005).

A interface oceano-atmosfera conecta baixas e altas latitudes, causando impactos nos padrões climáticos tropicais (DEMENDOCAL et al., 2000). O maior impacto desse gradiente térmico entre os Oceanos Atlântico Norte e Sul é o movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e alterações nos campos dos ventos alísios de NE e SE. Devido essas alterações, as configurações das correntes de contorno da margem do Brasil também sofrem variações. Entretanto, a maior parte dos estudos a respeito da variação da AMOC e suas implicações vêm sendo empregados no Atlântico Norte.

Para um melhor entendimento das variações passadas da AMOC, aplica-se o estudo da migração da termoclina. Estudos mostram que através das evidências de termoclina é possível entender melhor a proveniência das águas trazidas pelas correntes, assim como a forma que foi feito esse transporte. Evidências paleoceanográficas da penúltima terminação glacial (136 – 129 ka AP) na Cadeia central de Walvis (Atlântico Sudeste) mostraram que a salinidade aumenta na camada da termoclina, diminuindo em direção a superfície, e como consequência a estratificação de densidade glacial da AMOC seria afetada, impedindo a convecção profunda do norte do Atlântico Norte (SCUSSOLINI et al., 2015). A mudança de salinidade na termoclina coincide com a passagem de água na corrente das Agulhas, mostrando que a água da corrente das Agulhas é incorporada ao Atlântico através da termoclina (SCUSSOLINI et al., 2015). Estudos de isótopos estáveis de oxigênio e carbono indicaram que as condições na termoclina são consideravelmente distintas em relação à camada de superfície no Atlântico Subtropical Sudoeste, durante a última e penúltimas terminações glaciais (SANTOS et al., 2017a). Foi observado que no período de 130-123 ka AP ocorreram altos valores de $\delta^{18}\text{O}$ de *Globorotalia inflata*, característicos de clima glacial, associando esses altos valores a um resfriamento de $\sim 3^\circ\text{C}$ na termoclina. Por fim Santos et al. (2017a) concluíram que houve uma diminuição do calor na região durante a ascensão do último interglacial, juntamente com o fortalecimento da corrente das Agulhas, resultando em uma termoclina mais densa.

No entanto, grande parte dos trabalhos a respeito da AMOC é focada no Atlântico Norte, sendo poucos os trabalhos que visam entender o papel do Atlântico Sul nesse sistema de circulação. O estudo da AMOC no Atlântico Sul é importante para entender as consequências que a variação do padrão de circulação da AMOC traria para a Corrente do Brasil (CB). Entender melhor o papel do Atlântico Sul nessa circulação é necessário, já que a ligação entre os oceanos Índico e Pacífico são feitos através dele. O entendimento das mudanças da AMOC durante o Quaternário são essenciais para gerar modelos mais precisos sobre o seu comportamento atual e futuro.

Alguns poucos estudos abordando reconstruções paleoclimáticas e paleoambientais baseados em *proxies*¹ vêm sendo realizadas no Atlântico Sul para entender melhor as consequências das variações da AMOC, e do transporte de calor em direção ao norte. Um destes *proxies* são os foraminíferos planctônicos que são amplamente empregados nas reconstruções de processos paleoceanográficos. Tal utilização se deve pela resposta faunística às variações de salinidade, temperatura, disponibilidade de alimento e estratificação da água superficial, e devido ao alto potencial de preservação de suas testas de calcita no sedimento (BÉ, 1977a; KUCERA, 2007; WAELBROECK et al., 1998). Devido a tais fortes relações, várias técnicas estatísticas vêm sendo empregadas.

¹ Qualquer marcador (biológico, físico ou químico) o qual se pode relacionar diretamente à uma variável ambiental (HILLAIRES-MARCEL; DE VERNAL, 2007).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho foi reconstruir as variações paleoceanográficas da Corrente do Brasil (CB) na Bacia de Campos ao longo dos últimos 50.000 anos, através da paleoecologia de foraminíferos planctônicos.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar o posicionamento do limite entre a camada de mistura e de termoclina na Bacia de Campos nos últimos 50.000 anos utilizando bioindicadores
- Identificar possíveis fatores em escala regional e global que influenciaram a circulação da CB durante os últimos 50.000 anos.

3. BASE TEÓRICA

3.1. FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS

Os foraminíferos são protozoários rizópodes marinhos, unicelulares e heterotróficos. Caracterizados por secretarem uma testa que pode ser composta por carbonato de cálcio, sílica e que pode ou não ser de aglutinação de sedimentos. Essas testas apresentam formas variadas, podendo conter uma ou mais câmaras. A testa possui uma ou mais aberturas, sendo que a principal abertura é chamada de forâmen, por onde os prolongamentos citoplasmáticos (chamados reticulópodes) se comunicam com o meio externo. Os reticulópodes são responsáveis pela locomoção, flutuação, alimentação e construção da testa. As testas dos foraminíferos possuem alta capacidade de se preservarem em sedimentos devido a alta saturação de CaCO_2 nos oceanos, tornando-as excelentes ferramentas para estudos paleoceanográficos (SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2017).

Os foraminíferos são divididos em dois grupos principais. O primeiro grupo é dos foraminíferos bentônicos e o segundo grupo são os foraminíferos planctônicos, os quais são mais recentes no registro geológico, com a primeira ocorrência no Período Jurássico (há aproximadamente 180 milhões de anos). Os foraminíferos planctônicos apresentam atualmente cerca de 40 espécies divididas em três famílias: Globorotalidae (testas não espinhosas) Globigerinidae (testas espinhosas) e Hantkeninidae (BÉ, 1977a; KUCERA, 2007).

As espécies de foraminíferos planctônicos apresentam necessidades ecológicas que faz deles excelentes indicadores de mudanças ambientais que refletem diretamente na composição das assembleias, fazendo com que alterações climáticas e oceanográficas resultem em uma mudança da comunidade sendo, portanto, um indicador ideal para tais eventos (BÉ, 1977a; VINCENT; BERGUER, 1981 apud KUCERA, 2007). Devido a isso, a distribuição das espécies no oceano varia latitudinalmente formando províncias biogeográficas, seguindo gradientes de temperatura da superfície marinha na ocorrência das espécies (BÉ, 1977a; VINCENT; BERGUER, 1981 apud KUCERA, 2007) (Figura 1). As províncias biogeográficas apresentam limites latitudinais de distribuição relacionados à temperatura e salinidade de águas superficiais dos oceanos, podendo ser influenciadas por outros fatores, tais como, estratificação da coluna d'água, distribuição vertical das espécies, presença de organismos endossimbiontes, disponibilidade de CO_2 , O_2 e alimento, assim como predação (BÉ, 1977a; KUCERA, 2007; KUCERA et al., 2005; UFKES; JANSEN; BRUMMER, 1998).

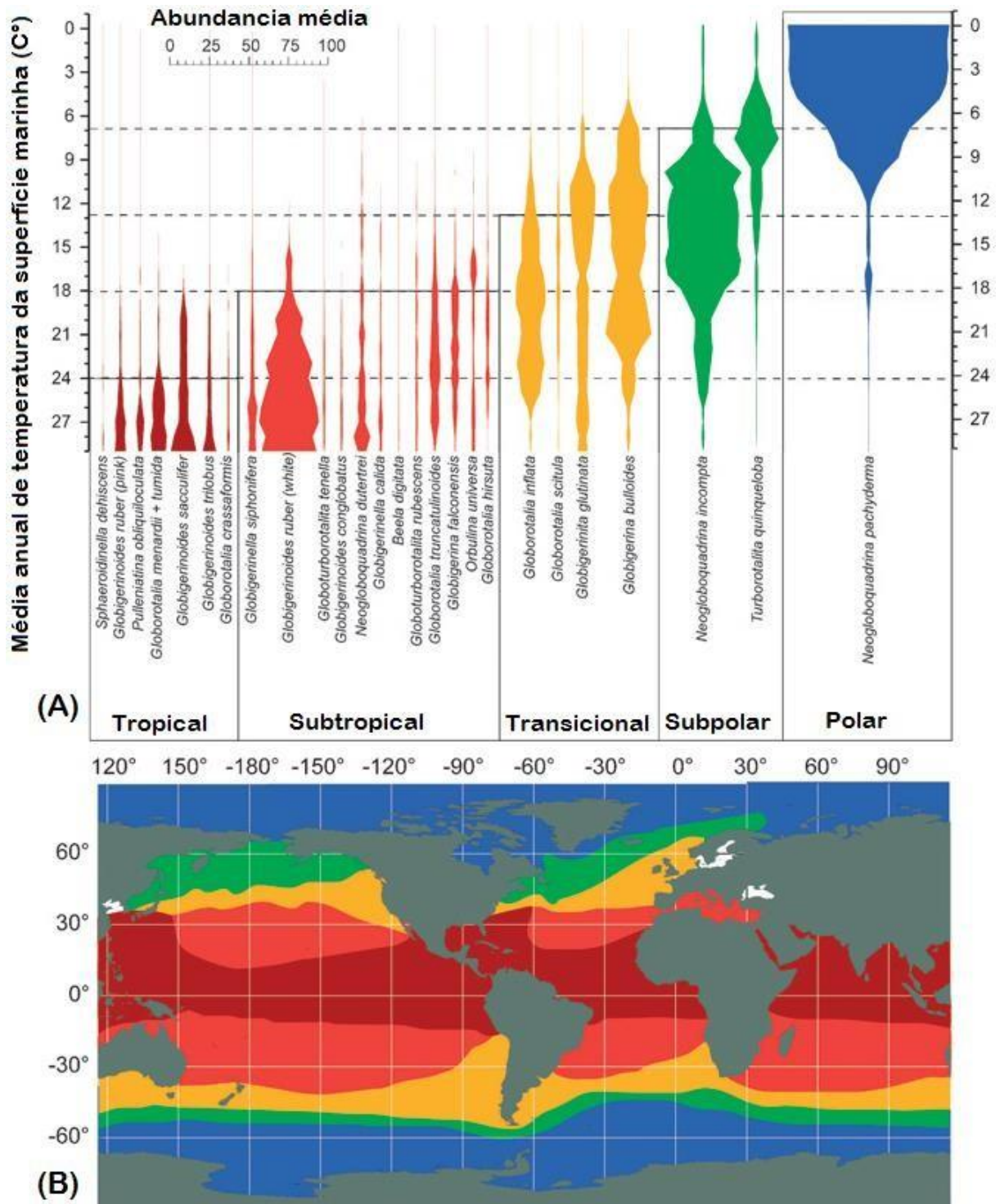


Figura 1: Províncias biogeográficas de foraminíferos planctônicos no oceano moderno com a média de intervalo em °C. (A) Distribuição e abundância das espécies de foraminíferos planctônicos nas províncias. (B) Distribuição das províncias nos oceanos. Extraído e modificado de (KUCERA, 2007).

3.1.1. Distribuição latitudinal

A província biogeográfica tropical é composta, em sua maioria, por águas quentes e oligotróficas. Nessa região são predominantes as espécies *Globigerinoides ruber* (variedade branca) e *Trilobatus sacculifer*. Essas espécies são adaptadas às condições de baixa

produtividade, hospedando endossimbiontes e se alimentando de uma dieta onívora. Próximo ao equador, locais com alta produtividade biológica são observados, os quais a termoclina é mais rasa devido ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que ocorre devido à convergência dos ventos alísios associados às células de Hadley (PERSSON, 2006). Isto induz ao afastamento das águas superficiais dando espaço para as águas de fundo, as quais preenchem esse espaço. Nessas áreas são mais abundantes as espécies *Globorotalia menardii*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Beella digitata*, e *Trilobatus sacculifer* (BÉ, 1977a; KUCERA, 2007; KUCERA et al., 2005; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2017). Algumas espécies de águas tropicais habitam a camada da termoclina, especificamente *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia hirsuta*, *Globorotalia crassaformis* e *Globorotalia scitula* (SCHIEBEL et al., 2002; LONČARIĆ et al., 2006; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2000, 2017).

A província subtropical apresenta águas ligeiramente mais frias em relação às águas da província tropical, com a temperatura variando de 14.5° a 28°C, sendo que a temperatura aumente em direção ao equador, conseqüentemente diminui em direção aos polos. A salinidade também é variada com valores em torno de 34.9 (PETERSON; STRAMMA, 1991). As espécies mais abundantes nessa região são *Globigerinella siphonifera*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinella calida*, *Orbulina universa*, *Globoturborotalia tenella*, *Globigerina falconensis* e *Globoturborotalia rubescens*. Entre essas espécies uma é mais frequente em ambientes de maior produtividade, especificamente *G. falconensis* (BÉ, 1977a; KUCERA et al., 2005; KUCERA, 2007; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2017).

A província biogeográfica transicional se localiza entre as províncias subtropical e subpolar, apresentando uma transição de temperatura e salinidade entre ambas. As espécies que dominam essa província são *Globigerinita glutinata*, *Globorotalia inflata* e *Globigerina bulloides* (BÉ, 1977a; KUCERA et al., 2005; KUCERA, 2007; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2017). Como as espécies *G. glutinata*, *G. inflata*, *G. bulloides* são mais comumente encontradas em águas transicionais, sua presença em baixas latitudes representa a entrada de águas mais frias e produtivas. Em contrapartida a *G. glutinata* é uma espécie de superfície e pode apresentar grandes abundâncias em decorrência do aumento da produção de fitoplâncton nas camadas de mistura, provenientes de entrada de águas mais profundas ricas em nutrientes. As espécies *G. truncatulinoides*, *G. hirsuta* e *G. scitula*, ocorrem em águas mais rasas que em baixas latitudes devido ao aumento da disponibilidade de alimento e a termoclina mais próxima a superfície (SCHIEBEL; HILLER; HEMLEBEN, 1995; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2000; CHAPMAN, 2010;)

Quadro 1: Divisão das espécies de foraminíferos planctônicos de acordo com as províncias biogeográficas latitudinais de acordo com (BÉ, 1977a).

Províncias Antártica e Ártica (Polar)	
Espécies dominantes	Espécies co-ocorrentes
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> (enrolamento sinistral)	<i>Globigerina bulloides</i> <i>Turborotalia quinqueloba</i> <i>Globigerinita uvula</i> <i>Globigerinita glutinata</i>
Província Subantártica e Subártica (Subpolar)	
Espécies dominantes	Espécies co-ocorrentes
<i>Globigerina bulloides</i> <i>Neogloboquadrina pachyderma</i> (enrolamento dextral) <i>Turborotalia quinqueloba</i> <i>Globigerinita uvula</i>	<i>Globorotalia scitula</i> <i>Globorotalia inflata</i> <i>Globigerinita glutinata</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i>
Província Transicional ou Temperada	
Espécies dominantes	Espécies co-ocorrentes
<i>Globorotalia inflata</i>	espécies subpolares espécies subtropicais
Província Subtropical	
Espécies dominantes	Espécies co-ocorrentes
<i>Globigerinoides ruber</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i> <i>Globorotalia hirsuta</i> <i>Globigerinella siphonifera</i> <i>Globigerina falconensis</i> <i>Hastigerina plagica</i> <i>Globigerinoides conglobatus</i> <i>Globigerinita glutinata</i> <i>Turborotalia humilis</i> <i>Orbulina universa</i> <i>Globorotalia crassaformis</i> <i>Globorotalia menardii gibberula</i> (apenas oceanos Índico e Atlântico Sul) <i>Globorotalia crotonensis</i> (exclusiva do Indo-Pacífico)	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i> <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> <i>Globigerinita bulloides</i> <i>Globoturborotalia rubescens</i> <i>Globorotalia menardii menardii</i> <i>Trilobatus sacculifer</i> <i>Globorotalia inflata</i>
Província Tropical	
Espécies dominantes	Espécies co-ocorrentes

<i>Trilobatus sacculifer</i> <i>Pulleniatina obliquiculata</i> <i>Globorotalia menardii menardii</i> <i>Globorotalia tumida</i> <i>Globoturborotalia rubescens</i> <i>Candeina nitida</i> <i>Neogloboquadrina dutertrei</i> <i>Sphaerodinella dehiscens</i> <i>Beella digitata</i> <i>Globigerinella adamsi</i> (exclusiva do Indo-Pacífico) <i>Globoquadrina conglomerata</i> (exclusiva do Indo-Pacífico) <i>Globorotaloides hexagona</i> (exclusiva do Indo-Pacífico) <i>Hastigerina digitata</i> (exclusiva do Indo-Pacífico) <i>Globorotalia theyeri</i> (exclusiva do Indo-Pacífico) <i>Globorotalia menardii neoflexuosa</i>	<i>Globigerinoides ruber</i> <i>Globigerinella siphonifera</i> <i>Globigerinoides conglobatus</i> <i>Hastigerina pelagica</i> <i>Globigerinita glutinata</i> <i>Globigerinita bulloides</i> (restrita as áreas de ressurgência) <i>Orbulina universa</i> <i>Globorotalia crassaformis</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i>
---	--

3.1.2. Distribuição Vertical

A abundância de foraminíferos planctônicos em escala vertical é comumente associada à Profundidade de Máximo de Clorofila (PMC), situada em torno da termoclina sazonal e termoclina nos 100 metros superiores da coluna d'água (FAIRBANKS; WIEBE; BÉ, 1980; SCHIEBEL et al., 2001). O entendimento a respeito da distribuição vertical das espécies de foraminíferos planctônicos é fundamental para uma reconstrução confiável da temperatura e da produtividade na coluna d'água (PHLEGER, 1945; WANG, 2000).

A profundidade de habitat varia de acordo com as condições ambientais e biológicas, afetando a profundidade relativa de diferentes espécies.

Espécies de comportamento simbiótico dependem da luz e vivem na zona eufótica do oceano, enquanto espécies que não apresentam esse comportamento podem habitar camadas mais profundas, abaixo da zona eufótica. A maior parte das espécies de foraminíferos planctônicos vive acima da camada da termoclina, exceto por algumas espécies que vivem abaixo dela (Figura 2). Entre as espécies que vivem acima da camada da termoclina, serão citadas aqui as que são de maior importância para o presente estudo, sendo elas *G. ruber*, *T. sacculifer*, *G. bulloides*, *G. siphonifera*, *O. universa*, *G. inflata*, *G. conglobatus*, *N. dutertrei*, *G. glutinata* e *G. rubescens*. A profundidade comumente habitada pela espécie *G. ruber* (branca) geralmente é no intervalo acima da termoclina, porém dependendo das condições hidrográficas o alcance de ambas as variedades de *G. ruber* pode estar dentro da termoclina. A espécie *Neogloboquadrina dutertrei* pode residir em diferentes profundidades, onde essa variação de profundidade é a resposta aos gradientes de turbidez e/ou salinidade. (SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2005, 2017).

Entre as espécies que vivem abaixo da camada da termoclina a que mais varia de profundidade é *G. truncatulinoides* que pode habitar profundidades extremas de até 2.000 metros, porém para se reproduzir a espécie fica próxima à superfície (HEMLEBEN et al.,

1985). Outra espécie que varia amplamente a profundidade em que habita é *G. menardii*, que habita a camada da termoclina mas pode chegar a 400 metros de profundidade. Normalmente abaixo da camada da termoclina a habita a espécie *P. obliquiloculata*, que ocorre preferencialmente entre 100 e 200 metros a profundidade. Abaixo desta profundidade habitam as espécies *G. crassaformis*, *G. tumida* e *G. hirsuta* que se distribuem preferencialmente entre 200 e 400 metros de profundidade.

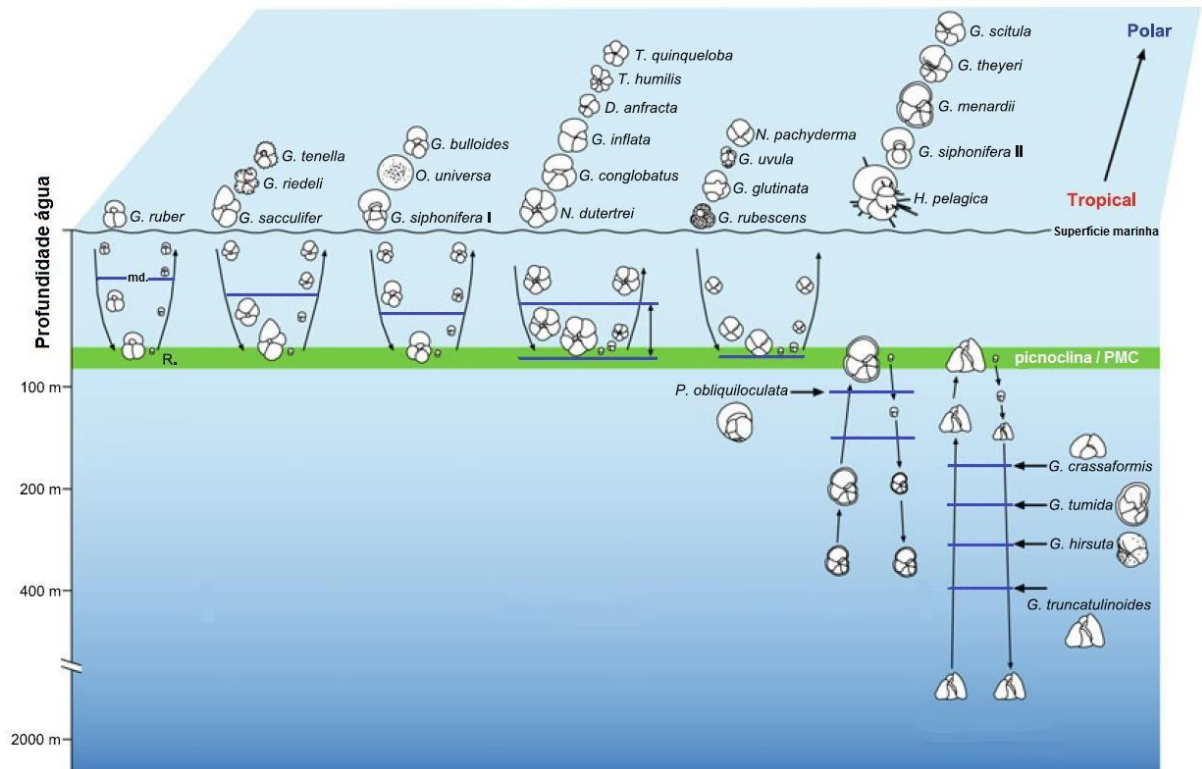


Figura 2: Esquema idealizando a distribuição vertical de espécies de foraminíferos planctônicos. A variação da profundidade-habitat média das espécies de foraminíferos planctônicos é representada pelas linhas azuis. A variação de acordo com a latitude e províncias biogeográficas é representada na parte superior da figura. Extraído e modificado de SCHIEBEL; HEMLEBEN (2017).

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO

A área de estudo compreende o talude continental da Bacia de Campos, ao largo da foz do rio Paraíba do Sul. A Bacia de Campos se estende por mais de 100.000 km² entre as latitudes 21° e 23°S, sendo que ao norte seu limite com a Bacia do Espírito Santo é o Alto de Victória e ao sul seu limite com a Bacia de Santos é o Alto de Cabo Frio (Figura 3). A camada superficial da Bacia de Campos tem sua característica sedimentar composta por arenitos na linha de costa passando gradativamente para calcário à medida que fica mais próxima a quebra de plataforma. Conforme os sedimentos passam da quebra de plataforma e se estendem em direção ao fundo do mar a bacia apresenta lamas marinhas com lentes de areias turbidídicas (WINTER, W. R.; JAHERT, R. J.; FRANÇA, 2007).

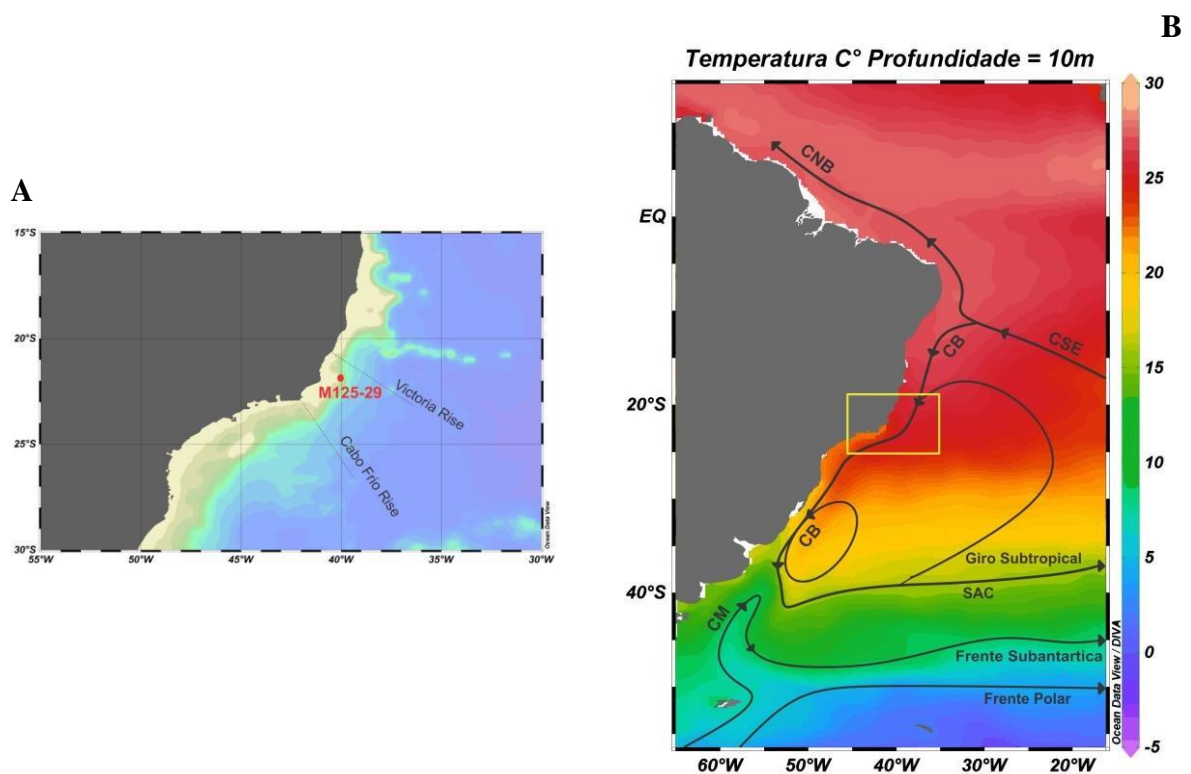


Figura 3: (A) Visão da área de estudo mostrando a batimetria, localização do testemunho M125-29 usado neste trabalho (ponto vermelho), localização das bacias de Santos e Campos e os Altos de Cabo frio e Vitória. (B) Mapa da circulação de superfície do Atlântico Sul (baseado em PETERSON; STRAMMA, 1991) e distribuição de TSM. Siglas: CB – Corrente do Brasil; CM – Corrente das Malvinas; CNB – Corrente Norte do Brasil; CSE – Corrente Sul Equatorial.

4.2. HIDROLOGIA E CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

Os três quilômetros superiores da coluna d'água da Bacia de Campos apresentam as seguintes massas de água: Água Tropical (AT), a Água Central Do Atlântico Sul (ACAS),

Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (Figura 3). Três destas massas de água (AT, ACAS e AIA) compõem a CB.

A AT foi descrita por (EMÍLSSON, 1961) como parte da massa d'água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Tropical Sul, a qual compõe os primeiros 200 m da CB. Ela é formada pela intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação. Em resumo apresenta características de temperaturas acima de 20°C e salinidade acima de 36 ao largo do sudeste brasileiro (EMÍLSSON, 1961).

A ACAS flui na profundidade da termoclina (entre 200 e 800 m de profundidade), com temperaturas entre 6° a 20°C e salinidade entre 34,6 a 36. O índice termohalino para determinar a presença da ACAS no sudeste brasileiro é de 20°C para temperatura e 36,20 para salinidade (MIRANDA, 1985). A ACAS entra como parte do giro subtropical, circulando abaixo da AT com as correntes do Atlântico Sul, Oceânica de Benguela, atingindo a costa da América do Sul ao ser transportada pela Corrente Sul equatorial (CSE). A CSE se bifurca próximo a 18°S, com um dos ramos se incorporando à CB que flui para sul. O outro ramo flui para o norte sendo incorporado a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB), a qual é mais forte que a Corrente do Brasil, e continua fluindo para o hemisfério norte, sendo responsável por parte do transporte de águas superficiais do Atlântico Sul para o Atlântico Norte (DA SILVEIRA; DE MIRANDA; BROWN, 1994; PETERSON; STRAMMA, 1991; SILVEIRA et al., 2000).

A AIA flui a nível subpicnoclinal apresentando limites de temperatura entre 3° a 6°C e de salinidade de 34,2 a 34,6. A AIA se incorpora à CB em 28°S oriunda do ramo sul da bifurcação da CSE em nível subpicnoclinal. O outro ramo oriundo da CSE transporta a AIA na direção do equador através da Corrente de Borda Oeste Intermediária ao norte de 25°S (MÜLLER et al., 1998; SILVEIRA et al., 2000).

A APAN apresenta valores de temperatura entre 3 a 4°C e salinidade entre 34,6-35, sendo subjacente à AIA. Ao largo do sudeste brasileiro, sua profundidade varia entre 1500 a 3000 metros, é transportada pela Corrente de Borda Oeste Profunda até atingir a latitude 32°S, onde parte da corrente retorna em direção ao equador através do Giro Equatorial do Oceano Atlântico (REID, 1989; SILVEIRA et al., 2000; WEATHERLY, 1993).

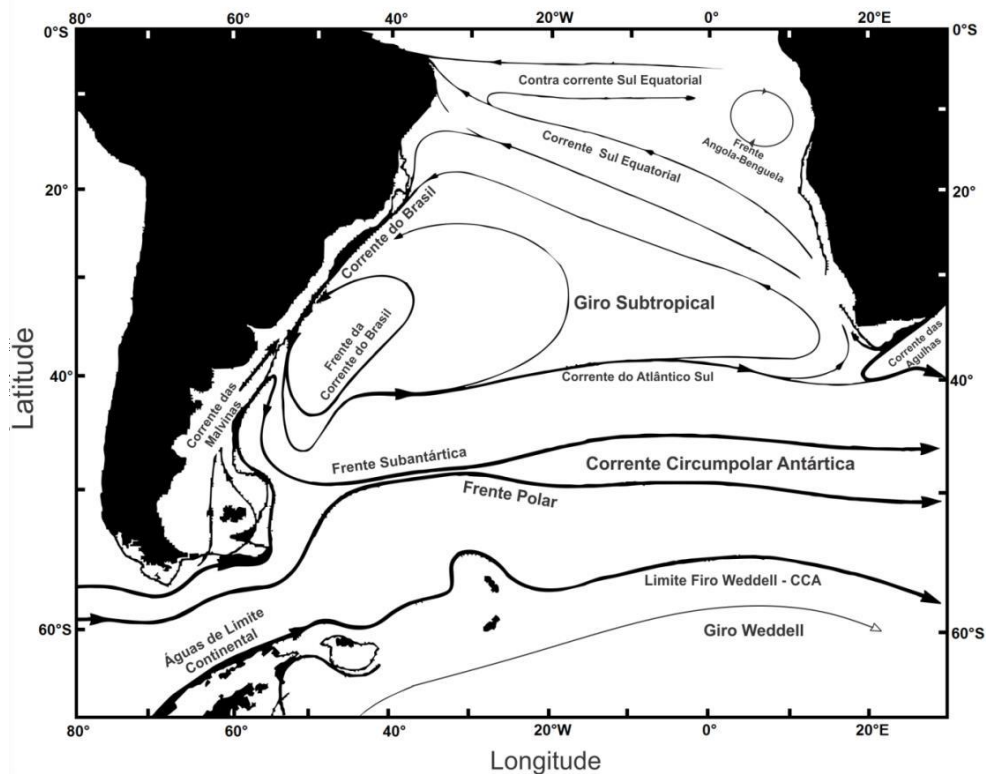


Figura 4: Circulação das correntes do Atlântico Sul (Fonte: modificado de PETERSON; STRAMMA, 1991).

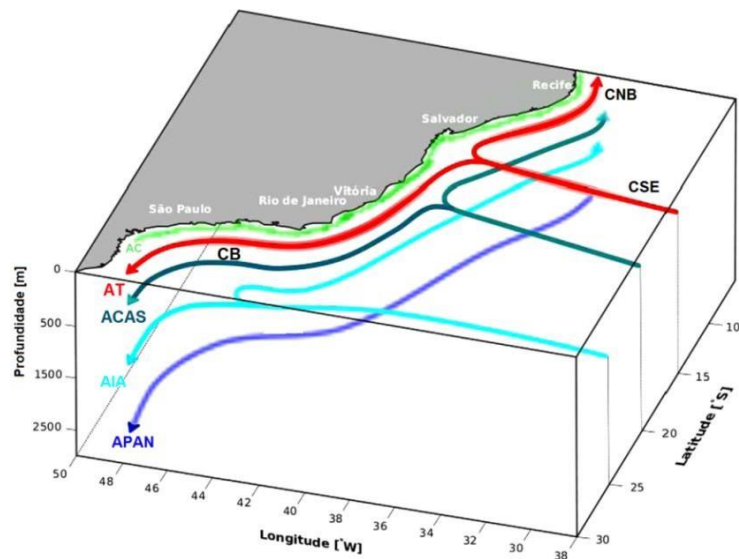


Figura 5: Circulação e estrutura vertical dos três quilômetros superiores da coluna d'água na margem continental Sudeste a Leste do Brasil. AC- Água Costeira (verde); AT – Água Tropical (vermelho); ACAS – Água Central Atlântico Sul (verde escuro); AIA – Água Intermediária Antártica (azul claro); APAN – Água Profunda Atlântico Norte (azul escuro); CSE – Corrente Sul Equatorial; CNB – Corrente Norte do Brasil. (Fonte: modificado de SOUSA et al. (2013), baseado em STRAMMA; ENGLAND, (1999).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. AMOSTRAGEM

O presente estudo foi realizado no escopo do Projeto SAMBA – Balanço hidrológico da margem leste do Brasil (cooperação Universidade Federal Fluminense – Universidade de Heidelberg-Alemanha) durante o Cruzeiro Oceanográfico M125 do Navio Meteor (abril de 2016) no talude continental da Bacia de Campos ao largo da foz do Rio Paraíba do Sul. Este estudo utilizou o testemunho à gravidade M125-29 (21,8122°S; 39,53385°W), com 682 cm de recuperação sedimentar, sob uma coluna d'água de 2.019,4 m. Neste estudo foram usados somente os primeiros 215 cm, correspondentes ao intervalo datável por radiocarbono (ver seção 5.2.1). Para a obtenção das subamostras, foram usadas seringas de 20ml, a cada 2 cm. As seringas foram devidamente identificadas e armazenadas até o processo de análise sob refrigeração a 4°C.

5.2. ATIVIDADES LABORATORIAIS

5.2.1. Geocronologia

Foram feitas sete datações ^{14}C nos 215 cm superiores do testemunho através do carbonato de múltiplas espécies de foraminíferos planctônicos de superfície. Tal procedimento foi adotado para evitar erros associados às diferenças de efeito reservatório entre a AT e a ACAS. As amostras foram analisadas através de Espectrometria de Massa com Acelerador (AMS, sigla em inglês) no laboratório Beta Analytic (Estados Unidos da América). Para a calibração das idades radiocarbônicas e construção do modelo cronológico, foi usado o software BACON V. 2.2 (BLAAUW; CHRISTENY, 2011), que utiliza a estatista Bayesiana. Foi utilizada a curva de calibração *Marine13* (REIMER et al., 2013), com um reservatório regional $\Delta R = 96 \pm 17$ (ALVES et al., 2015).

Com base nas interpolações produzidas pelo modelo cronológico, foi calculada a taxa de sedimentação para cada subamostra através da fórmula:

$$TS(cm/ka) = \frac{(P_n - P_{n-1})}{(I_n - I_{n-1})} \quad \text{Eq.1}$$

onde P_n é a profundidade (em cm) da amostra em análise; P_{n-1} é a profundidade (em cm) da amostra anterior (célula acima); I_n é a idade (em ka AP) da amostra em análise; I_{n-1} é a idade (em ka AP) da amostra anterior (célula acima).

5.2.2. Análise Micropaleontológica De Foraminíferos Planctônicos

A assembleia de foraminíferos planctônicos foi realizada a cada quatro cm, totalizando 56 amostras. Foram lavados 5cm³ de cada amostra em uma peneira de malha 63 µm para remover argila e silte. O sedimento residual foi colocado em uma placa de petri e levado para secagem em estufa a 50°C por 24 horas. Após seca, as amostras foram peneiradas novamente em uma peneira de malha 150 µm. Então cada amostra foi dividida de uma a cinco vezes com o auxílio de um microquarteador, até sobraarem aproximadamente 300-500 espécimes para identificação a nível específico.

Para a triagem/contagem dos espécimes, o sedimento quarteado foi uniformemente espalhado em uma bandeja para análise de microfósseis. Em seguida sob um microscópio estereoscópico foi feita a triagem de todas as testas com o auxílio de um pincel molhado. Os espécimes foram armazenados em lâminas micropaleontológicas, onde eles foram separados a cada dez espécimes por quadrado da lâmina, para facilitar a contagem. Após a triagem foi feita a identificação das espécies de acordo com LOEBLICH; TAPPAN, (1988) e SCHIEBEL; HEMLEBEN (2017). No presente trabalho as variedades de *T. sacculifer* (com e sem saco) foram quantificadas separadamente, assim como as variedades de *G. ruber* branca e rosa. A espécie *G. truncatulinoides* foi quantificada separando os tipos de enrolamento (dextral e sinistral). Por não representarem diferenças na interpretação ambiental os morfotipos com e sem bula da *G. glutinata* foram quantificados juntos.

5.3. TRATAMENTO DE DADOS

5.3.1. Abundância Absoluta

Para o cálculo da abundância absoluta dos foraminíferos planctônicos em indivíduos por centímetro cúbico (ind.cm⁻³), foi aplicado o método descrito em LESSA (2009). A fórmula leva em conta o número de indivíduos (total de cada espécie de foraminífero planctônico), o denominador da fração de quarteamento e o volume de sedimento lavado:

$$AA(ind. cm^{-3}) = n * f * \frac{1}{v}$$

Eq. 2

onde “AA” é a abundância absoluta; “n” é o número total de foraminíferos contados; “f” é o denominador da fração de quarteamento; e “v” é o volume de sedimento lavado.

Para determinar a quantidade de testas que sedimentaram em uma determinada área dentro de um determinado tempo é feito um cálculo de taxa de acumulação de massa ou fluxo (F) de foraminíferos. Esse cálculo é usado em testemunhos para excluir a influencia da compactação do sedimento sobre a abundância absoluta real. O cálculo do fluxo é feito segundo a formula (LESSA, 2009):

$$F = AA * TS$$

Eq. 3

onde *F* é o fluxo (testas/cm²/ano), AA é a abundância absoluta e TS é a taxa de sedimentação (cm/ano).

5.3.2. Abundância Relativa

A abundância relativa representa a contribuição percentual de uma espécie em relação à assembleia total da amostra. Para o cálculo da abundância relativa, foi empregada uma equação proposta por (LESSA, 2009):

$$p_i(\%) = 100 * \frac{n_i}{n}$$

Eq. 4

onde *n_i* é o número total de indivíduos pertencentes a um determinado táxon e *n* é o número total de foraminíferos planctônicos contados na amostra.

Analises estatísticas multivariadas foram empregadas considerando as alterações relacionadas a varias propriedades ambientais. Na presente pesquisa foi empregada a análise de agrupamento através por Cluster (dendrograma).

A análise de cluster leva em consideração o grau de similaridade entre as espécies e/ou amostras, gerando um dendrograma que permite a classificação de conjuntos (grupos) de espécies e/ou amostra mais similares. Foi aplicado o método não ponderado de conjunto de pares usando média aritmética (UPGMA – sigla em inglês), para fazer a ligação entre os grupos. Essa análise foi feita com o auxilio do software PAST 3.2 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), onde dentro do programa, foi escolhida a matriz de dissimilaridade de Bray Curtis, método mais utilizado para dados biológicos. Com a finalidade de manter a ordem estratigráfica e definir os eventos de mudança da assembleia, foi empregado o método CONISS (sigla em inglês) (GRIMM, 1987).

533. Índice da Profundidade da Termoclina

Levando em consideração as características das espécies descritas no capítulo da base teórica e a abundância das espécies ao longo dos primeiros 215 cm do testemunho M125-29, as espécies *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia scitula* e *Globigerinita glutinata* foram escolhidas para a criação do índice a ser usado como *proxy* para estimar a migração da profundidade limítrofe entre as camadas de mistura e de termoclina.

A espécie *G. truncatulinoides* apresenta sua maior concentração entre 125 a 175 m de profundidade (FAIRBANKS; WIEBE; BÉ, 1980). Estudos sugerem que há diferenças na profundidade de vida de cada um dos ecofenótipos desta espécie. A forma não incrustada vive em profundidades em torno de 66 metros (com uma variação de ± 9 metros), enquanto a forma incrustada habita aproximadamente 379 (com uma variação de ± 76 metros) (REYNOLDS et al., 2018). As altas abundâncias de *G. truncatulinoides* sinistral foram associadas a uma termoclina muito profunda, enquanto a variação dextral apresentou-se como mais tolerante ao aumento da estratificação e a termoclina mais rasa (LOHMANN; SCHWEITZER, 1989; MARTÍNEZ, 1994).

A espécie *G. scitula* é mais abundante em períodos de aumento de produtividade primária, e em médias latitudes, estando comumente associada a águas frias e profundas (BÉ, 1977b; CHAPMAN, 2010; SCHIEBEL et al., 2002; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2000).

Em contrapartida, a espécie *G. glutinata* habita a camada de mistura (LONČARIĆ et al., 2006), apresentando um aumento de abundância em decorrência do aumento da produtividade na zona fótica (CHAPMAN, 2010; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2000; SCHIEBEL; HILLER; HEMLEBEN, 1995). Enquanto *G. glutinata* responde ao aumento do fitoplâncton e tolera condições oligotróficas onde a produtividade é caracterizada pela reciclagem de nutrientes, as *G. truncatulinoides* e *G. scitula* são associadas à produtividade proveniente da entrada nova de nutrientes (proveniente da camada de termoclina) que ocorre em águas menos estratificadas (SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2017).

Após feita a escolha das espécies foi pensada a seguinte fórmula:

$$I_{Gt+Gs/Gg} = \frac{(Gt+Gs)}{(Gt+Gs+Gg)}$$

onde I é o índice proposto para rastrear profundidade limítrofe, Gt é a espécie *G. truncatulinoides*, Gs é *G. scitula* e Gg é a espécie *G. glutinata*.

6. RESULTADOS

6.1. GEOCROLOGIA DO TESTEMUNHO M125-29

O modelo de idade obtido através da datação de ^{14}C mostra que os 215 cm superiores do testemunho M125-29 cobrem o intervalo de idade de 0,43-49,27 quiloanos antes do presente (ka AP) (Tabela 2). Os dados também mostraram uma taxa de sedimentação média de 228,5 cm/ka, porém com um intervalo de sedimentação mais acentuada entre 161-185 cm (41,8 - 43,9 ka) de 84,8 cm/ka (Figura 6) e com um a sedimentação mais baixa nos intervalos entre 215-181 (49,3 – 43,4 ka) e 153-3 cm (40,6 – 0,4 ka).

Tabela 2: Resultados da datação de radiocarbono e calendário de idades calibradas pelo software BACON V.2.2 para o testemunho M125-29.

Material	Profundidade (cm)	Código do lab.	Idade ^{14}C (ka AP)	Erro (anos)	Idade calibrada 95% intervalo (Ma)		
					Min.	Max.	Idade Cal (AP)
<i>G. ruber; T. sacculifer</i>	3	BETA-458484	1,33	30	0,33	0,49	0,43
<i>G. ruber</i>	37	BETA-468376	6,33	30	6,35	6,83	6,64
Multispecies *	75	BETA-468377	14,78	50	16,44	17,75	17,23
<i>G. ruber; T. sacculifer</i>	107	BETA-468378	24,76	100	26,98	28,88	28,12
Multispecies*	153	BETA-468379	37,09	350	39,52	41,53	40,59
Multispecies*	181	BETA-468380	38,85	440	42,73	44,27	43,45
<i>G. ruber; T. sacculifer; O. universa</i>	215	BETA-458485	42,68	2870	46,86	52,46	49,27

*Espécies de águas superficiais

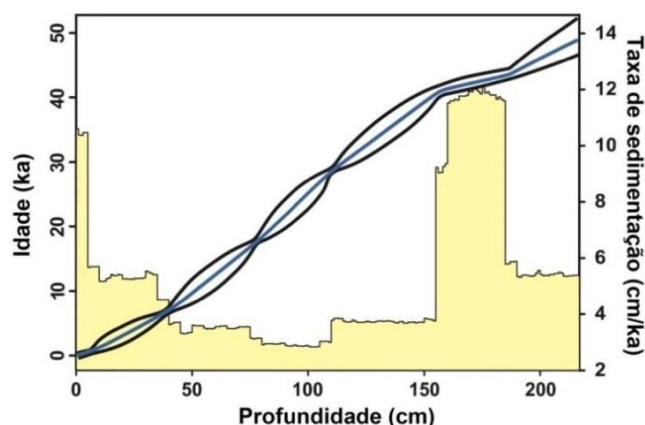


Figura 6: Modelo de idade obtido através da datação ^{14}C por espectrometria de aceleração de massa (AMS), idade calibrada em milhares de anos anterior ao presente e taxa de sedimentação (cm/ka).

6.2. ASSEMBLEIA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS

6.2.1. Abundância Absoluta e Fluxo Total

A densidade nas amostras do testemunho M125-29 foi mais baixa na metade inferior do testemunho (Figura 7). Os maiores valores ocorreram no intervalo entre 30 ka AP até o presente. Entre as idades 50 a 30 ka AP os valores de densidade foram baixos, com valores de 170 testas/cm^3 em média. A partir de 30 ka AP, os valores começam a aumentar, com o maior pico em 22 ka AP, apresentando valores aproximadamente 2000 testas/cm^3 . Logo após esse pico o gráfico mostra uma queda brusca, alcançando valores de 360 testas em 16,5 ka AP. Subsequentemente ocorrem valores altos com maior variação.

Os dados de fluxo total de foraminíferos planctônicos variam de zero a $10 \text{ testas/cm}^2/\text{ano}$ aproximadamente no testemunho M125-29. Entre as idades de 50 a 9 ka AP o número de $\text{testas/cm}^2/\text{ano}$ apresenta valores que variam de 0,5 a $6 \text{ testas/cm}^2/\text{ano}$ com um aumento de 9 ka AP até o presente. O maior valor está nos últimos 1000 anos, entretanto esse alto valor foi fortemente influenciado pela alta taxa de sedimentação sendo, portanto, excluído para interpretações.

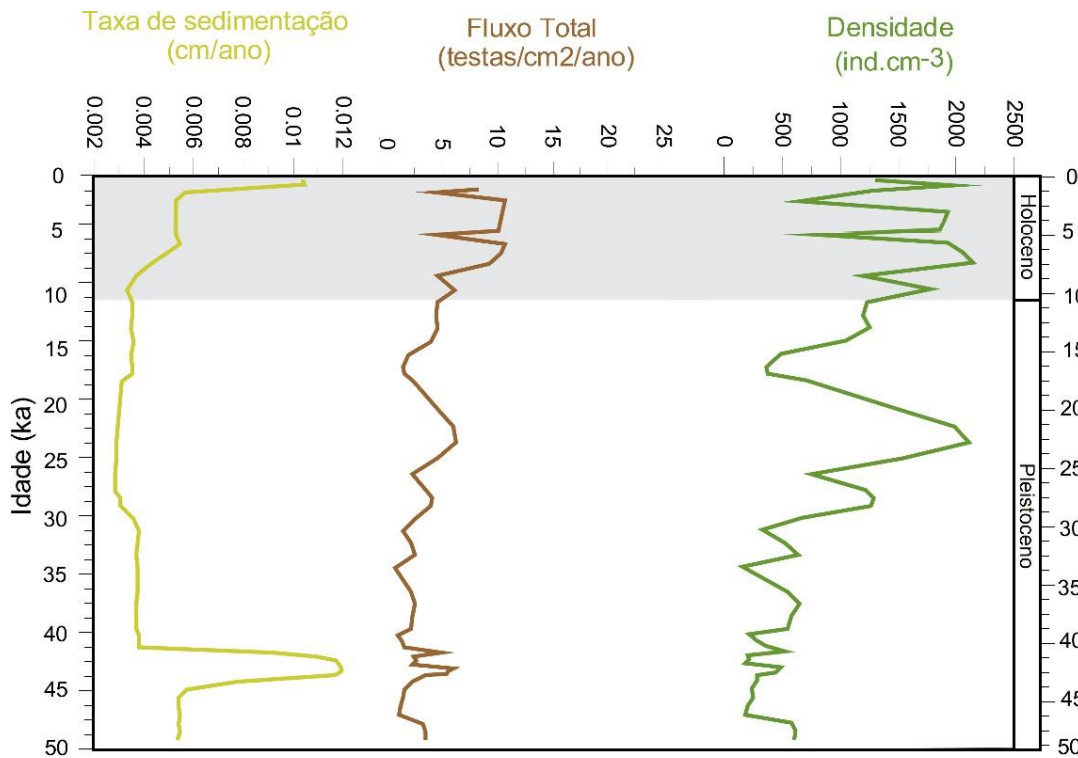


Figura 7: Comparativo das variações densidade, fluxo total e taxa de sedimentação ao longo dos 215 cm superiores do testemunho M125-29.

6.2.2. Abundância Relativa

Nas 56 amostras analisadas, foram identificadas ao todo 35 espécies de foraminíferos planctônicos. As espécies de foraminíferos planctônicos tropicais foram as mais abundantes no testemunho M125-29 entre 43,4 ka AP com dominância de *G. ruber* e *T. sacculifer*. A variação rosa da *G. ruber* apresentou um aumento significativo entre 50-43,4 ka AP, enquanto a variação branca tem uma diminuição de aproximadamente 20% nesse mesmo período. As demais espécies desse grupo (*G. conglobatus*, *G. siphonifera* e *B. digitata*) apresentam uma média de abundância relativa entre 0 a 4%, mostrando-se mais abundante no segundo intervalo, com uma tendência de aumento em direção ao Holoceno.

As espécies do grupo de águas subtropicais quentes apresentaram padrões relativamente distintos. As espécies *G. calida* e *O. universa* apresentaram baixas abundâncias no intervalo de 50 a 28 ka AP, e que a partir de 28 ka AP essas espécies apresentam uma curva de crescimento de abundância até o presente, apenas com uma leve diminuição entre 11 e 9 ka AP. A espécie *G. tenella* oscilou bastante, com seus picos de maior abundância em nas idades 48; 37; 34; 17 e nos últimos 9 ka, e um desaparecimento das espécies no intervalo 11 a 9 ka AP. As espécies *G. rubescens* e *G.*

falconensis apresentaram um padrão similar, onde os maiores picos de abundância encontraram-se no intervalo 50 a 43,4 ka AP, passando por uma diminuição levemente gradativa até seus menores valores no Holoceno.

A espécie cosmopolita *G. glutinata* apresentou baixas abundâncias no primeiro intervalo (50-43,4 ka AP) e no Holoceno, tendo seu maior pico de abundância em 34 ka AP com máximo entre 36 e 18 ka AP.

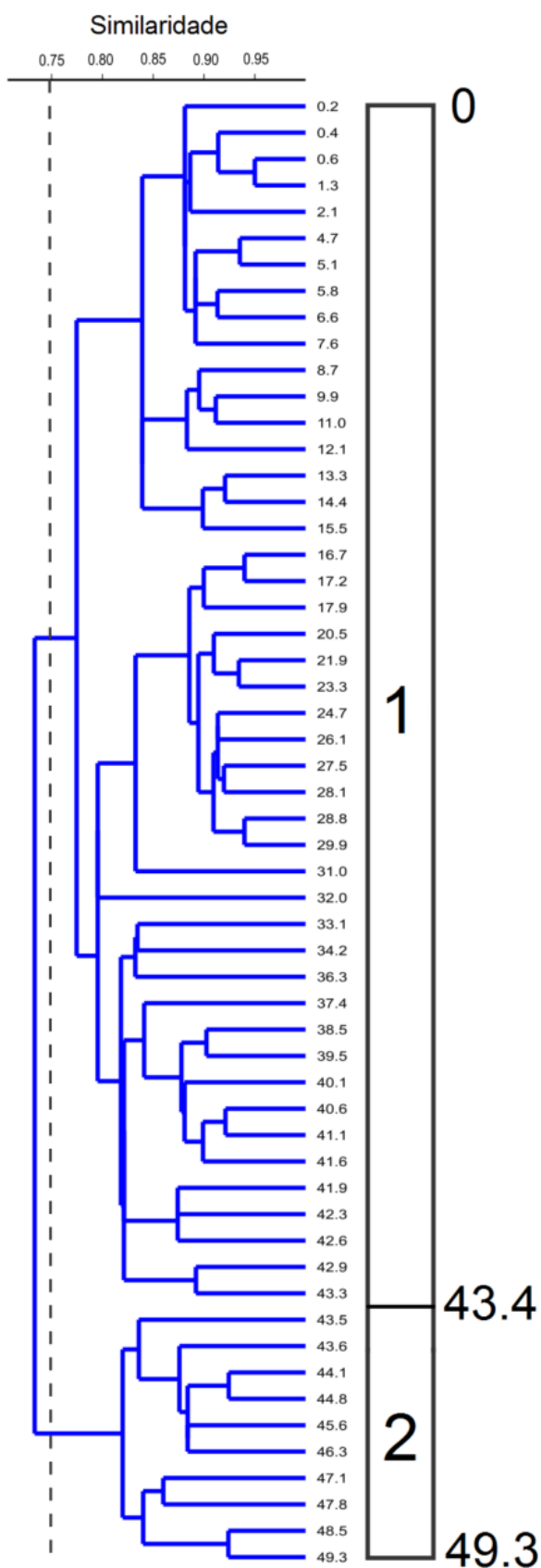
Entre as espécies do grupo de águas tropicais (mais abundantes na porção leste do Atlântico Sul) as espécies do Plexo menardii só estiveram presentes nos últimos 12 ka AP, porém em número significativo somente durante intervalo entre 9 ka AP até o presente. A espécie *P. obliquiloculata* apareceu em maior abundância no intervalo de 50 a 45 ka AP aproximadamente, desaparecendo logo depois e reaparecendo somente em 17 ka AP, mas com baixíssima abundância. A espécie *G. crassaformis* também apresentou maiores abundâncias na porção mais antiga do registro, entre 50-40 ka AP aproximadamente, com um ligeiro aumento durante o intervalo de 27-15 ka AP, e poucos pontos de aparecimento no Holoceno. A espécie *N. dutertrei* apresentou alta abundância no intervalo de 42 a 32 ka AP e a no restante do registro apresentou uma abundância baixa.

Foram observadas três espécies que habitam a camada da termoclina permanente: *G. scitula*, *G. hirsuta* e *G. truncatulinoides* (dextral e sinistral). Essas espécies foram mais abundantes entre a base do registro e 27 ka AP, com valores máximos entre 50-43,4 ka AP. Por outro lado as variações da *G. truncatulinoides* tem uma diminuição brusca de abundância após 42 ka AP, com a variação dextral apresentando um aumento expressivo entre 16-6 ka AP.

Por fim são presentes as espécies da região sul da frente subtropical, *G. inflata* e *G. bulloides*, onde ambas apresentaram suas maiores abundâncias no período entre 50 e 43,4 ka AP, com uma diminuição gradativa aproximam-no sentido do Holoceno. Porém é observável que a espécie *G. inflata* desaparece logo após o início do Holoceno, enquanto a espécie *G. bulloides* persiste até o presente com valores inferiores a 2% a partir de 14 ka AP.

6.2.3. Dendrograma

Para a identificação de eventos de mudança na composição da assembleia ao longo do tempo estudado, uma análise de agrupamento com constrição estratigráfica foi utilizada. A análise de agrupamento indicou duas diferentes composições principais de



assembleias nos 215 cm superiores do testemunho M125-29 assumindo um corte em 0,75 de similaridade (Figura 8). A primeira fase compreende o intervalo entre 49,3 e 43,4 ka AP, sendo marcado por maiores abundâncias nas espécies *G. bulloides*, *G. truncatulinoides* (ambos enrolamentos), *G. inflata*, *G. scitula* e *G. hirsuta*, a qual indica uma configuração de um oceano mais frio e mais produtivo. A segunda fase, que compreende o intervalo 43,4 ka AP até o presente, é marcada por apresentar dominância das espécies *G. ruber* (branca e rosa), *T. sacculifer*, *G. conglobatus* e *G. siphonifera*, sugerindo um ambiente marinho mais quente e oligotrófico.

Figura 8: Agrupamento com restrição estratigráfica das assembleias de foraminíferos planctônicos ao longo dos 215 cm superiores do testemunho M125-29. Divisão em dois grupos (marcada pela linha tracejada) que ocorre próximo a 0,75, onde o grupo 2 domina entre 49,3 a 43,4 ka e o grupo 1 entre 43,4 a 0 ka.

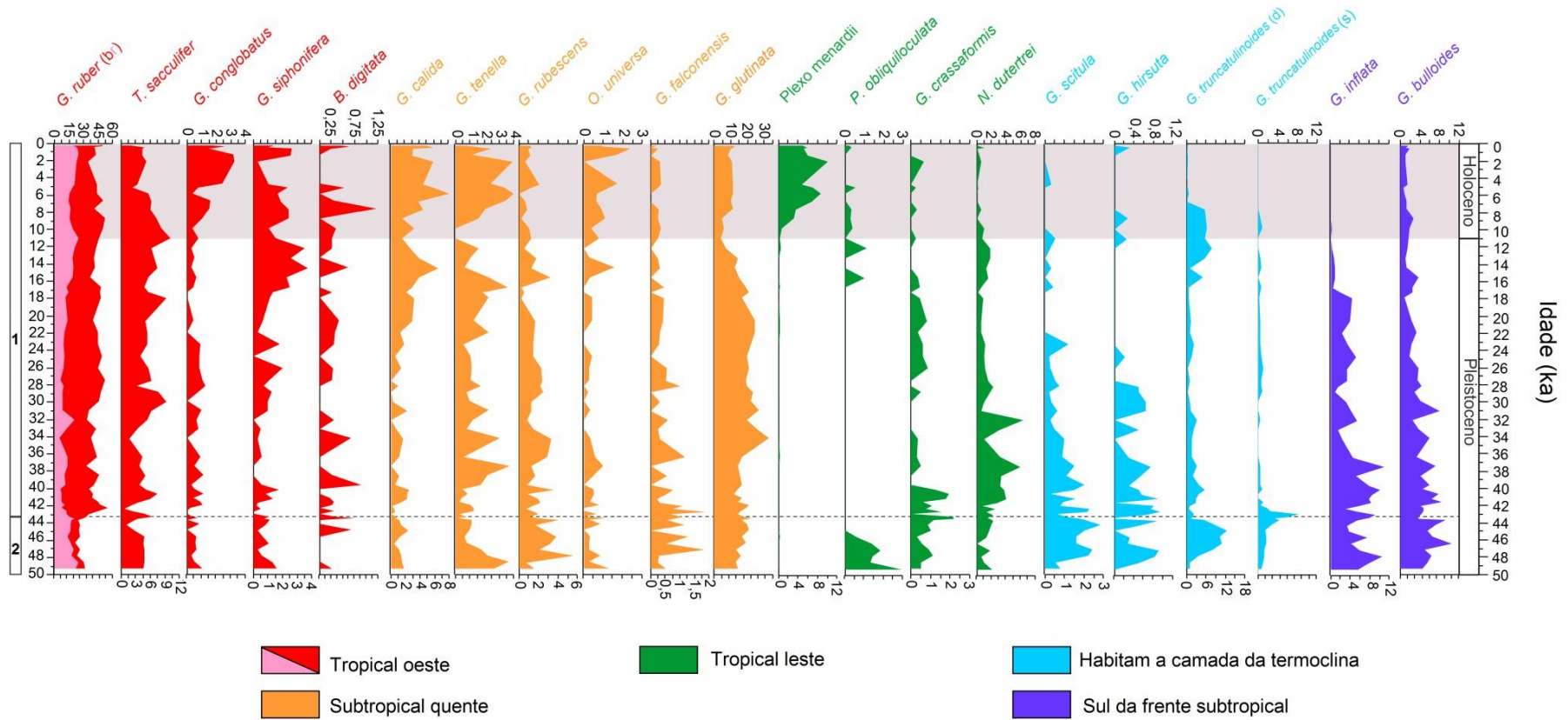
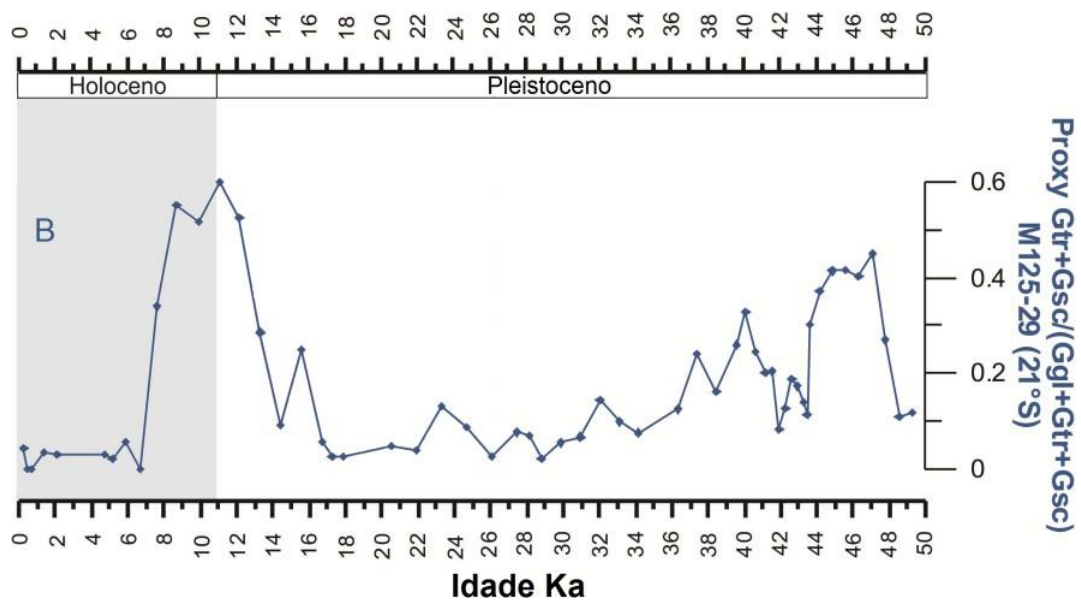


Figura 9: Variação da abundância relativa das espécies de foraminíferos planctônicos ao longo dos 215 cm superiores do testemunho M125-29. A escolha de cores foi feita de acordo com a distribuição das espécies em sedimentos do Oceano Atlântico Sul (KUCERA, 2007). A linha tracejada marca a divisão de dois grupos baseada na análise de agrupamento, mostrado no dendrograma da Figura 8.

624. Índice da Profundidade da Camada da Termoclina

Os valores do índice $I_{Gt+Gs/Gg}$ apresentaram duas tendências de crescimento, uma entre 49 a 43 ka AP e a outra entre 14 a 6 ka AP, com pico de valores em 48 ka AP no Pleistoceno e 11 ka AP no Pleistoceno-Holoceno. Isocronicamente os dados de obliquidade mostra uma tendência similar ao dado do proxy, com ambos tendo seus maiores valores no mesmo intervalo, assim como os valores mais baixos.



7. DISCUSSÃO

7.1. ABUNDÂNCIA ABSOLUTA TOTAL E FLUXO DE ESPÉCIES

Períodos com baixa densidade e fluxo das espécies sugerem eventos de baixa acumulação de calcita (REFERENCIA?). O primeiro evento ocorre no período de 45 ka AP (Figura 9), onde os mínimos de densidade, fluxo total e taxa de sedimentação correspondem a uma queda na TSM no Atlântico Sul que se deve à presença de águas antárticas que em resposta ao enfraquecimento da AMOC. Essa penetração de águas antárticas se deve a uma diferente geometria de massas de água, devido à mudança de força da AMOC (SANTOS et al., 2017a). O intervalo entre 17 e 15 ka AP, onde ocorre outro mínimo de densidade, pode ser relacionado com o evento Heinrich, que também causa um enfraquecimento da AMOC (ALVAREZ-SOLAS et al., 2010).

Os períodos de baixa densidade são relacionados ao enfraquecimento da AMOC causado pela incidência maior de águas Antárticas, o que causaria uma diminuição das águas ricas em carbonatos. Com a entrada de águas Antárticas no giro subtropical, devido ao avanço das frentes subtropical e subantártica, as águas do Atlântico Tropical Sul ficariam empobrecidas em carbonatos (BOHM et al., 2015). O transporte dessas águas pobres em carbonatos para a CB seria feito através da SEC e por fim ocasionando em uma baixa preservação dos carbonatos da Bacia de Campos.

7.2. VARIAÇÕES DA ASSEMBLEIA AO LONGO DOS ULTIMOS 50 KA

As espécies de foraminíferos planctônicos obtidas no presente estudo foram classificadas de acordo com sua distribuição em sedimentos do Oceano Atlântico Sul de acordo com KUCERA et al. (2005). Ao todo são quatro classificações: tropical oeste, tropical leste, subtropical quente e sul da frente subtropical. Além desses quatro grupos as espécies que habitam a camada da termoclina permanente também foram classificadas separadamente (FERREIRA et al., 2014; PHLEGER, 1945; SCHIEBEL; HEMLEBEN, 2017).

As variações apresentadas pela assembleia de foraminíferos planctônicos, principalmente os dados das espécies *G. bulloides*, *G. falconensis*, *G. inflata* e *G. truncatulinoides* (dextral) mostram uma oscilação da produtividade na primeira fase.

Durante a primeira fase a abundância relativa das espécies *G. bulloides* e *G. inflata* foi maior em relação ao restante do testemunho estudado, sugerindo maior influência de águas de origem antárticas, corroborando os baixos valores de fluxo observados durante esta fase (figura 9). Outra espécie que apresentou um aumento de abundância significativo foi a espécie

G. falconensis. Por outro lado, a abundância da espécie *G. ruber* (branca), de águas tropicais e oligotróficas, esteve baixa. Assim como *G. ruber* (branca) a espécie *N. dutertrei* mostrou-se com baixos valores, o que ocorre devido à sua fonte de alimento estar ligada a PMC, que no caso desse intervalo apresentou uma condição trófica pobre em nutrientes (RAVELO; FAIRBANKS; PHILANDER, 1990). Entretanto, outras espécies de águas quentes tiveram a abundância elevada (*G. ruber* (rosa) e *T. sacculifer*) para o mesmo intervalo. O aumento dos valores das espécies *G. ruber* (rosa) e *T. sacculifer* pode ser atribuído ao aumento da disponibilidade de nutrientes nesse intervalo, caracterizando águas tropicais com maior grau de produtividade.

Tais variações podem ser interpretadas como mudanças nas propriedades das massas d'água da camada de mistura e termoclina. Sendo assim, o primeiro intervalo pode ser caracterizado por um ambiente mais frio e produtivo, com a presença de uma termoclina permanente mais rasa.

Na segunda fase as espécies de águas tropicais oeste (*G. ruber* e *T. sacculifer*) apresentaram uma tendência de aumento, assim como a espécie cosmopolita e de produtividade *G. glutinata*. Essa fase teve um padrão de abundância similar entre as espécies de águas tropicais e subtropicais, assim como as espécies de águas frias e termoclina apresentaram baixos valores. Entretanto no Intervalo entre 14 e 6 ka AP ocorreu uma baixa dos valores das espécies de águas quente, ocorrendo um pico bem claro da espécie *G. truncatulinoides* (dextral), mostrando que nesse intervalo ocorreu uma subida da camada da termoclina, gerada por condições mais frias.

A segunda fase, de uma maneira geral, representa um ambiente marinho com águas mais quentes, devido à presença maior de águas tropicais e subtropicais, como mostrado pela abundância relativa das espécies tipicamente de águas tropicais e subtropicais, tais como *G. ruber* (ambas as variedades), *T. sacculifer*, *G. conglobatus*, *G. siphonifera*, *G. calida* e *Plexo menardii*.

Ainda na segunda fase as espécies de águas tropicais oeste (*G. ruber* e *T. sacculifer*) apresentaram uma tendência de aumento, assim como a espécie cosmopolita e de produtividade *G. glutinata*. Essa fase teve um padrão de abundância similar entre as espécies de águas tropicais e subtropicais, assim como as espécies de águas frias e termoclina apresentaram baixos valores. Entretanto no Intervalo entre 14 e 6 ka AP ocorreu uma baixa dos valores das espécies de águas quente, ocorrendo um pico bem claro da espécie *G. truncatulinoides* (dextral), mostrando que nesse intervalo ocorreu uma subida da camada da termoclina, gerada por condições mais frias.

Nessa fase ocorre um aumento de temperatura nas águas do Oceano Atlântico Sul Subtropical Oeste, em decorrência aquecimento gradual precoce que ocorreu devido ao efeito gangorra, que ocorre quando a TSM do hemisfério sul durante os estágios glaciais ocorrem fora de fase com o hemisfério norte, ou seja, com a AMOC em “modo frio” os subtropicais poderiam estar armazenando águas quentes e salgadas (SANTOS et al., 2017a).

7.3. MIGRAÇÃO VERTICAL DO LIMITE DAS CAMADAS DE MISTURA E TERMOCLINA

Ao analisar os dados gerados pelo índice, é possível observar que seus valores apresentaram valores altos entre 49 e 43 ka AP e entre 14 e 6 ka AP, com máximo de 0,5 em 48 ka e 0,6 11 ka AP (Figura 10).

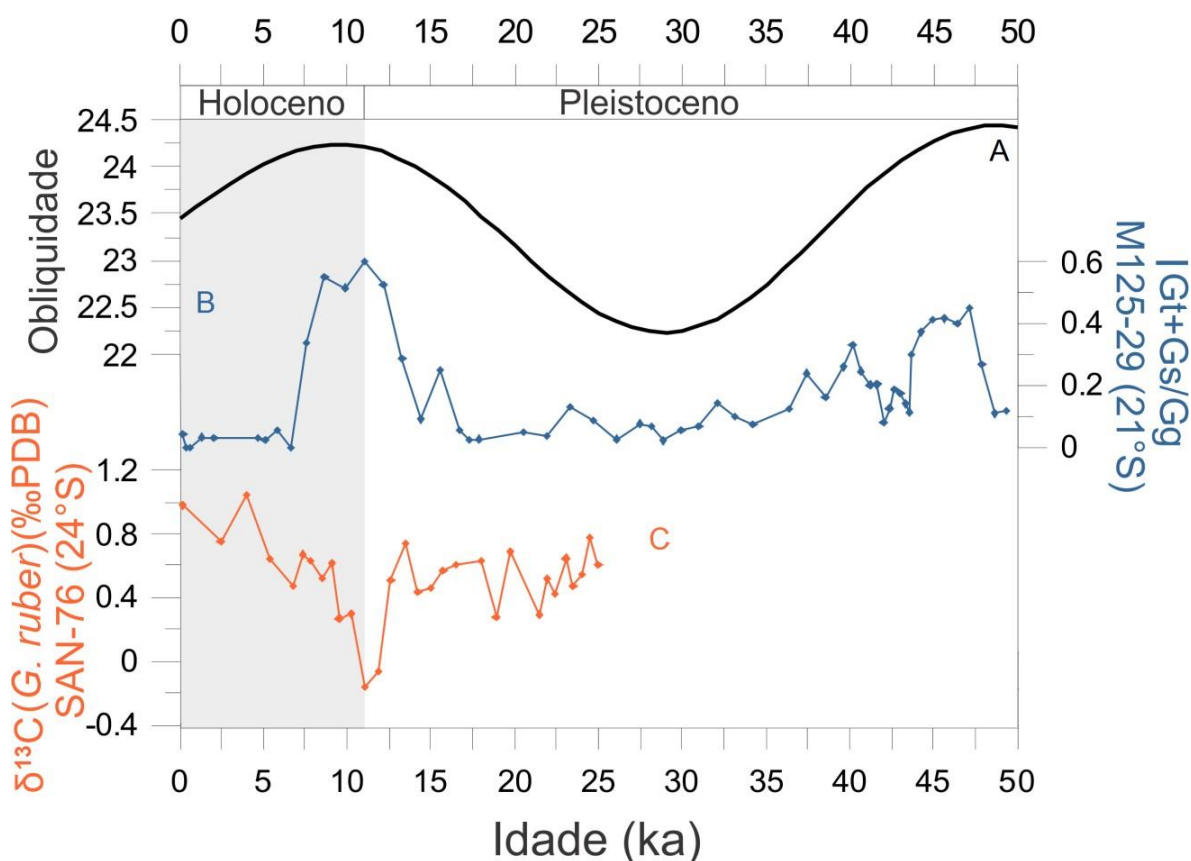


Figura 10: Comparativo entre Obliquidade (A) o índice $I_{Gt+Gs/Gg}$ (B), os dados de $\delta^{13}C$ de foraminíferos planctônicos (TOLEDO et al., 2007) (C). A barra cinza representa o período Holoceno.

Estes citados eventos de termoclina mais rasas e menor estratificação coincidem com períodos de máximos de obliquidade. A obliquidade máxima causa um aumento de insolação média anual em altas latitudes, consequentemente nos polos, ocasionando em derretimento de camadas de gelo. O derretimento das camadas de gelo, juntamente com a convergência dos ventos alísios associados às células de Hadley (PERSSON, 2006), resultam em um

movimento da ZCIT e da frente polar Antártica para o norte (TOLEDO et al., 2007), resultando em uma entrada maior de águas polares nas frentes subtropicais, causando também o movimento dessas frentes subtropicais para o norte. Essa água mais fria é transportada para o norte pela Corrente do Atlântico Sul e CSE, sendo então inserida na CB, margeando a costa do Brasil, e chegando assim a Bacia de Campos. Estas mudanças de circulação justificam o aumento de espécies relacionadas ao Sul da Frente Subtropical, tais quais *G. inflata* e *G. bulloides*.

A ocorrência do segundo evento de termoclina rasa e menor estratificação também coincide com um evento de redução do $\delta^{13}\text{C}$ de *G. ruber* no testemunho SAN-76 (24°S) (TOLEDO et al., 2007), cujos autores sugeriram a presença de águas enriquecidas em nutrientes associadas a mudanças na profundidade da termoclina e nutriclina (MARTIN et al., 1997). Dessa forma, é sugerido que a maior oferta de nutrientes observada nos estudos prévios durante estes períodos se deu por uma redução da estratificação da água, em resposta às mudanças N-S da ZCIT do Atlântico (TOLEDO et al., 2007).

No trabalho de LESSA et al. (2017) os autores sugeriram que existe uma estreita relação entre variações na amplitude de excentricidade e expansões offshore dos sistemas de ressurgência costeira entre 20° e 28°S. Foi observado pelos autores que a alta excentricidade durante o período de entre 130 a 90 ka AP aproximadamente acarretou em um aumento de sazonalidade regional, fortalecendo os ventos de NE, fazendo com que houvessem episódios de ressurgência fortes além da plataforma continental. A mecanismo de expansão-offshore das áreas de ressurgência costeira do sudeste brasileiros relacionados aos ciclos orbitais da Terra foi comprovado por (LESSA et al., in review), mostrando que padrões de ressurgência expandida (restrita a costa) se mantiveram em interglaciais com alta (baixa) excentricidade nos últimos 772 ka. Sendo assim, para os períodos de subida da termoclina estudados no presente trabalho, relacionados a obliquidade, mostram que pode ser um ciclo orbital importante para levantar a termoclina na Bacia de Campos, mesmo sem ressurgência na Bacia.

8. CONCLUSÕES

- A distribuição das espécies de foraminíferos planctônicos no talude continental da Bacia de Campos é composta por 35 espécies identificadas nos 215 cm superiores do testemunho M125-29 que apresentam sedimentos dos últimos 50.000 anos. As espécies dominantes são espécies tropicais, sendo que as espécies *G. ruber* (branca e rosa) e *T. sacculifer* representam os maiores valores de abundância relativa. Também foram identificadas espécies subtropicais, que habitam a camada da termoclina e sul da frente subtropical. Duas fases distintas foram identificadas de acordo com a variação da abundância relativa das espécies de foraminíferos planctônicos:
 - A primeira fase entre 49,3 a 43,4 ka AP apresentou um aumento de abundância das espécies *G. bulloides*, *G. truncatulinoides*, *G. inflata*, *G. scitula* e *G. hirsuta*.
 - A segunda fase entre 43,4 ka até o presente é marcada por apresentar as espécies *G. ruber* (branca e rosa), *T. sacculifer*, *G. conglobatus* e *G. Siphonifera*.
- O posicionamento do limite entre a camada de mistura e de termoclina foi feita através de um índice com as espécies indicadoras de ambas as camadas, onde as espécies *Globorotalia truncatulinoides* e *Globorotalia scitula* representam a camada da termoclina e a espécie *Globigerinita glutinata* representa a camada de mistura. Foi mostrado que em dois momentos diferentes dos últimos 50.000 anos houve a subida da camada da termoclina, nos intervalos entre 49 e 43 ka AP e entre 14 e 6 ka AP.
- Tanto nas fases idenfificadas, quanto nos momentos de subida da termoclina foram interpretadas feições oceanográficas e atmosféricas diferentes. A primeira fase (49,3 a 43,4 ka AP), que também compreende o primeiro intervalo de subida da termolcina mostra que a região passava por condições de águas da CB mais frias, e ricas em nutrientes devido a uma menor estratificação da camada de mistura. Na segunda fase (43,4 ka AP até o presente) temos uma caracterização de águas gradualmente mais quentes da camada de mistura mais espessa e oligotrófica, com uma interrupção destas condições entre 14 a 6 ka AP. Durante o período glacial, a ocorrência de águas quentes se associou à retenção de calor no Oceano Atlântico Sul devido à diminuição da AMOC. Essa mudança gradual entre 14 a 6 ka AP

entre as abundâncias relativas das espécies de camada da termoclina mostra que houve um degelo decorrente da obliquidade máxima próxima a 10 ka AP, que foi resultado de um aumento da insolação em altas latitudes, causando derretimento de camadas de gelo Antárticas, fazendo com que houvesse uma maior intrusão polar para norte em decorrência do início da deglaciação. À medida que a deglaciação continuou ocorreu uma entrada maior de águas quentes provenientes do Oceano Índico, fazendo com que a termoclina sofresse um rebaixamento, e com que houvesse um recuo das frentes polares. Podemos traçar um ambiente de características similares as atuais, porém com um período de entrada de águas mais frias e produtivas (14 a 6 ka AP), geradas pelo início da deglaciação. As ideias apresentadas nesse estudo podem ser suportadas pelas evidências apresentadas pelo índice aqui proposto. O índice mostra o aparecimento da termoclina em baixas profundidades, as quais são bem relacionadas com os padrões de obliquidade máxima.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ-SOLAS, J. et al. Links between ocean temperature and iceberg discharge during Heinrich events. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 2, p. 122–126, 2010.

ALVES, E. et al. Radiocarbon reservoir corrections on the Brazilian coast from pre-bomb marine shells. **Quaternary Geochronology**, v. 29, p. 30–35, 2015.

BARKER, S. et al. Interhemispheric Atlantic seesaw response during the last deglaciation. **Nature**, v. 457, n. 7233, p. 1097–1102, 2009.

BÉ, A. W. H. Ecology of Recent Planktonic Foraminifera: Part 2: Bathymetric and Seasonal Distributions in the Sargasso Sea off Bermuda. **Micropaleontology**, v. 6, n. 4, p. 373–392, 1960.

BÉ, A. W. H. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. **Oceanic micropaleontology**, v. 1, p. 1–100, 1977a.

BÉ, A. W. H. Ecology of Planktonic Foraminifera and Biogeographic Patterns of Life and Fossil Assemblages in the Indian Ocean. **Micropaleontology**, v. 23, n. 4, p. 369, 1977b.

BE, A. W. H.; TOLDERLUND, D. S. **Seasonal distribution of in western Atlantic**. [s.l: s.n.]. v. 17

BLAAUW, M.; CHRISTENY, J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. **Bayesian Analysis**, v. 6, n. 3, p. 457–474, 2011.

BOHM, E. et al. Strong and deep Atlantic meridional overturning circulation during the last glacial cycle. **Nature**, v. 517, n. 7532, p. 73–76, 2015.

BURNS, S. J.; MASLIN, M. A. Composition and circulation of bottom water in the western Atlantic Ocean during the last glacial, based on pore-water analyses from the Amazon Fan. **Geology**, v. 27, n. 11, p. 1011–1014, 1999.

CHAPMAN, M. R. Seasonal production patterns of planktonic foraminifera in the NE Atlantic Ocean: Implications for paleotemperature and hydrographic reconstructions. **Paleoceanography**, v. 25, n. 1, 2010.

DA SILVEIRA, I. C. A.; DE MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. **On the origins of the North Brazil Current** *Journal of Geophysical Research*, 1994. Disponível em:

<<http://doi.wiley.com/10.1029/94JC01776>>

DEMENDOCAL, P. et al. Coherent High- and Low-Latitude Climate Variability During the Holocene Warm Period. **Science**, v. 288, n. June, p. 2198–2202, 2000.

EMÍLSSON, I. The shelf and coastal waters off southern Brazil. **Boletim do instituto oceanográfico**, v. 11, n. 2, p. 101–112, 1961.

FAIRBANKS, R. G.; WIEBE, P. H.; BÉ, A. W. H. Vertical Distribution and Isotopic Composition of Living Planktonic Foraminifera in the Western North Atlantic. **Science**, v. 73, p. 61–63, 1980.

FERREIRA, F. et al. Changes in the water column structure and paleoproductivity in the western South Atlantic Ocean since the middle Pleistocene: Evidence from benthic and planktonic foraminifera. **Quaternary International**, v. 352, n. 1, p. 111e123, 2014.

GANACHAUD, A.; WUNSCH, C. Improved estimates of global ocean circulation, heat transport and mixing from hydrographic data. **Nature**, p. 453–457, 2000.

GOELZER, H. et al. Tropical versus high latitude freshwater influence on the Atlantic circulation. **Climate Dynamics**, v. 27, p. 715–725, 2006.

GRIMM, E. C. Constrained Cluster Analysis by the Method of Incremental Sum of Squares. **Computers and Geosciences**, v. 13, n. 1, p. 13–35, 1987.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, D. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica 178kb. T. Harper. Geological Museum**, v. 4, n. 4, p. 5–7, 2001.

KUCERA, M. et al. Reconstruction of sea-surface temperatures from assemblages of planktonic foraminifera: Multi-technique approach based on geographically constrained calibration data sets and its application to glacial Atlantic and Pacific Oceans. **Quaternary Science Reviews**, v. 24, n. 7- 9 SPEC. ISS., p. 951–998, 2005.

KUCERA, M. Planktonic foraminifera as tracers of past oceanic environmentstle. In: CLAUDE, H.M., ANNE DE, V. (Ed.). . **Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography**. Montreal: Elsevier, 2007. p. 213–262.

LESSA, D. V. DE O. **VARIABILIDADE DA RESSURGÊNCIA NA REGIÃO DE**

CABO FRIO (RJ) DURANTE OS ÚLTIMOS 1000 ANOS COM BASE NA ASSOCIAÇÃO DE FORAMINÍFEROS PLANCTÔNICOS. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2009.

LESSA, D. V. O. et al. Offshore expansion of the Brazilian coastal upwelling zones during Marine Isotope Stage 5. **Global and Planetary Change**, v. 158, n. September, p. 13–20, 2017.

LESSA, D. V. O. et al. Eccentricity-induced expansions of Brazilian coastal upwelling zones. **Global and Planetary Change**, 2018.

LOEBLICH, A.; TAPPAN, H. **Foraminiferal Genera and Their Classification.** [s.l.] Nostrand Reinhold Company Publisher, 1988.

LOHMANN, G. P.; SCHWEITZER, P. N. Globorotalia Truncatulinoides, GROWTH AND CHEMISTRY AS PROBES OF THE PAST THERMOCLINE: 1. SHELL CIZE. **Paleoceanography**, v. 5, n. 1, p. 55–75, 1989.

LONČARIĆ, N. et al. Oxygen isotope ecology of recent planktic foraminifera at the central Walvis Ridge (SE Atlantic). **Paleoceanography**, v. 21, n. 3, p. 1–18, 2006.

LONČARIĆ, N. et al. Seasonal export and sediment preservation of diatomaceous, foraminiferal and organic matter mass fluxes in a trophic gradient across the SE Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 73, n. 1, p. 27–59, 2007.

MARTIN, L. et al. Astronomical Forcing of Contrasting Rainfall Changes in Tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr B . P. **Quaternary Research**, v. 47, p. 117–122, 1997.

MARTÍNEZ, J. I. Late Pleistocene palaeoceanography of the Tasman Sea: Implications for the dynamics of the warm pool in the western Pacific. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 112, n. 1–2, p. 19–62, 1994.

MIRANDA, L. B. DE. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, n. 2, p. 105–19, 1985.

MÜLLER, J. et al. Direct measurements of the western boundary currents between 20°S and 28°S. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. 97, p. 5429–5437, 1998.

PAHNKE, K.; SACHS, J. P. Sea surface temperatures of southern midlatitudes 0-160 kyr B.P. **Paleoceanography**, v. 21, n. 2, p. 1–17, 2006a.

PAHNKE, K.; SACHS, J. P. Sea surface temperatures of southern midlatitudes 0 – 160 kyr B. P. v. 21, n. July 2005, p. 1–17, 2006b.

PERSSON, A. Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds. **History of Meteorology**, v. 3, p. 17–42, 2006.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South-Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1–73, 1991.

PHLEGER, F. B. Vertical Distribution of Pelagic Foraminifera. **Am. Jour. Sci**, v. 243, n. 7, p. 377–383, 1945.

RAVELO, A. C.; FAIRBANKS, R. G.; PHILANDER, S. G. H. Reconstructing tropical Atlantic hydrography using planktonic foraminifera and an ocean model. **Paleoceanography**, v. 5, n. 3, p. 409–431, 1990.

REID, J. L. On the total geostrophic flow of the Indian Ocean: Flow patterns, tracers, and transports. **Progr. Oceanogr.**, v. 23, p. 149–244, 1989.

REIMER, P. J. et al. Intcal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0 – 50,000 years cal bp. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p. 1869–1887, 2013.

RETAILLEAU, S.; SCHIEBEL, R.; HOWA, H. Population dynamics of living planktic foraminifers in the hemipelagic southeastern Bay of Biscay. **Marine Micropaleontology**, v. 80, n. 3–4, p. 89–100, 2011.

REYNOLDS, C. E. et al. Environmental controls on the geochemistry of Globorotalia truncatulinoides in the Gulf of Mexico: Implications for paleoceanographic reconstructions Authors Environmental controls on the geochemistry of Globorotalia truncatulinoides in the Gulf of Mexico: Implications for paleoceanographic reconstructions. **Marine Micropaleontology**, v. 142, p. 92–104, 2018.

SANTOS, T. P. et al. The Impact of the AMOC Resumption in the Western South Atlantic Thermocline at the Onset of the Last Interglacial. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 22, p. 11,547-11,554, 2017a.

- SANTOS, T. P. et al. Prolonged warming of the Brazil Current precedes deglaciations. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 463, p. 1–12, 2017b.
- SCHIEBEL, R. et al. Planktic foraminiferal production stimulated by chlorophyll redistribution and entrainment of nutrients. v. 48, p. 721–740, 2001.
- SCHIEBEL, R. et al. Tracking the recent and late Pleistocene Azores front by the distribution of planktic foraminifers. **Journal of Marine Systems**, v. 37, n. 1–3, p. 213–227, 2002.
- SCHIEBEL, R.; HEMLEBEN, C. Interannual variability of planktic foraminiferal populations and test flux in the eastern North Atlantic Ocean (JGOFS). **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 47, n. 9–11, p. 1809–1852, 2000.
- SCHIEBEL, R.; HEMLEBEN, C. Modern planktic foraminifera. **Paläontologische Zeitschrift**, v. 79, n. 1, p. 135–148, 2005.
- SCHIEBEL, R.; HEMLEBEN, C. **Planktic Foraminifers in the Modern Ocean**. [s.l.: s.n.].
- SCHIEBEL, R.; HILLER, B.; HEMLEBEN, C. Impacts of storms on Recent planktic foraminiferal test production and CaCO₃ flux in the North Atlantic at 47 °N, 20 °W (JGOFS). **Marine Micropaleontology**, v. 26, n. 1–4, p. 115–129, 1995.
- SCHMUKER, B.; SCHIEBEL, R. Planktic foraminifers and hydrography of the eastern and northern Caribbean Sea. **Marine Micropaleontology**, v. 46, n. 3–4, p. 387–403, 2002.
- SCUSSOLINI, P. et al. Saline Indian Ocean waters invaded the South Atlantic thermocline during glacial termination II. **Geology**, v. 43, n. 2, p. 139–142, 2015.
- SEARS, H. A.; DARLING, K. F.; WADE, C. M. Ecological partitioning and diversity in tropical planktonic foraminifera. **BMC Evolutionary Biology**, v. 12, n. 1, 2012.
- SILVEIRA, I. C. A. DA et al. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000.
- SOUSA, S. H. M. et al. Distribution of living planktonic foraminifera in relation to oceanic processes on the southeastern continental Brazilian margin (23°S–25°S and 40°W–44°W). **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 76–87, 2013.

STOCKER, T. F.; JOHNSEN, S. J. A minimum thermodynamic model for the bipolar seesaw. **Paleoceanography**, v. 18, n. 4, p. 1–9, 2005.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean***Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1999. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/1999JC900139>>

TOLEDO, F. A. L. et al. Planktonic foraminifera, calcareous nannoplankton and ascidian variations during the last 25 kyr in the Southwestern Atlantic: A paleoproductivity signature? **Marine Micropaleontology**, v. 64, n. 1–2, p. 67–79, 2007.

UFKES, E.; JANSEN, J. H. F.; BRUMMER, G. J. A. Living planktonic foraminifera in the eastern South Atlantic during spring: Indicators of water masses, upwelling and the Congo (Zaire) river plume. **Marine Micropaleontology**, v. 33, n. 1–2, p. 27–53, 1998.

WAELEBROECK, C. et al. Improving past sea surface temperature estimates based on planktonic fossil faunas Abstract. A new method of past sea surface temperature reconstruction based on the modern analog technique on the indirect approach has been developed : the revised analog. **Atlantic**, v. 13, n. 3, p. 272–283, 1998.

WANG, L. Isotopic signals in two morphotypes of *Globigerinoides ruber* (white) from the South China Sea: implications for monsoon climate change during the last glacial cycle. v. 161, p. 381–394, 2000.

WEATHERLY, G. L. On deep-current and hydrographic observations from a mudwave region and elsewhere in the Argentine Basin. **Deep-Sea Research Part II**, v. 40, n. 4–5, p. 939–961, 1993.

WINTER, W. R.; JAHERT, R. J.; FRANÇA, A. B. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*. v. 15, n. 2, p. 511–529, 2007.

10. ANEXOS

Anexo 1: Dados de contagem micropaleontológica de foraminíferos planctônicos do testemunho M125-29. Classe de tamanho $>150 \mu\text{m}$.

Fração da amostra (1/x) – representa o denominador da fração de quarteamento da amostra cuja assembleia foi quantificada.

Volume lavado – volume de sedimento lavado para as análises micropaleontológicas.

Não identificadas – espécies que não puderam ser identificadas.

Tabela 3: Contagem de espécies de foraminíferos planctônicos por amostra do testemunho M125-29.

Amostra, Prof. (cm)	Idade (Bacon)	Volume (cm³)	Fração (1/...)	G. ruber	G. ruber rosa	G. glutinata	G. cãlida	G. menardii	G. conglobatus	O. univversa	F. sacculifer (c)	F. sacculifer (s)	G. rubescens	G. siphonifera	G. truncatulinoides (d)	G. truncatulinoides (s)	G. bulloides	G. tenella	P. obliquiloculata	G. falconensis	B. digitata	C. nitida	N. duterrei	G. hirsuta	G. inflata	G. tumida	G. crassaformis	G. tumida flexuosa	G. scitula	Fenutella	N. pachyderma (d)	G. unguilata	G. uvula	D. Anfracta	B. pumilio	T. humilis	T. quinqueloba	O. suturalis	não identificada	total		
1	244	5	16	213	81	45	21	21	7	4	1	7	5	6	2	0	7	3	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	429
3	436.7	5	32	125	68	39	18	18	8	3	4	11	4	3	0	0	3	4	1	0	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	315
5	627.7	5	16	173	99	43	13	21	6	10	5	13	4	11	0	0	7	10	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	420
9	1331	5	10,67	148	86	29	10	18	11	6	5	10	4	9	1	0	3	4	0	0	0	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	349
13	2086	5	32	106	70	33	18	28	10	0	5	11	2	1	1	0	3	12	0	1	0	0	2	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	309	
27	4721.1	5	32	124	61	33	13	13	7	5	2	8	6	3	0	0	4	7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	290
29	5099.8	5	10,67	164	73	44	22	25	3	5	2	7	5	9	1	0	2	13	2	1	2	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	384
33	5834.3	5	32	131	46	33	24	25	1	2	4	13	0	5	2	0	2	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301
37	6646.3	5	32	157	46	32	12	20	5	2	8	12	2	6	0	0	4	11	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	320
41	7586.7	5	32	135	56	37	15	11	5	3	2	18	3	8	19	0	4	7	1	1	4	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	335
45	8668.7	5	16	192	57	18	6	10	4	4	6	21	1	9	22	1	10	6	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	372
49	9873.5	5	32	136	52	16	9	1	1	1	4	19	3	3	17	2	5	0	1	1	1	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	278
53	11007	5	16	174	94	16	6	0	3	3	11	28	5	6	22	0	6	0	0	1	1	0	3	1	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	385
57	12137.8	5	16	159	77	27	10	2	1	0	7	16	2	13	29	0	5	6	4	0	1	1	7	0	1	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	373
61	13279.1	5	16	157	73	55	15	0	2	1	10	17	7	10	22	1	4	4	0	1	0	0	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	390
65	14398.4	5	16	134	63	40	21	0	1	5	8	16	4	12	3	2	4	2	0	1	2	0	4	0	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	327
69	15545.5	5	8	110	57	45	12	0	2	1	5	12	10	7	15	0	11	7	3	0	0	1	5	0	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	308
73	16675.9	5	4	212	57	85	13	1	2	0	5	16	1	11	3	2	11	16	0	2	0	1	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	448
75	17239.1	2,6	2,67	171	54	76	8	0	0	0	8	13	2	5	2	1	9	7	0	0	1	2	1	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	369
77	17877	5	8	206	49	72	14	0	0	2	12	29	1	5	2	1	3	10	0	2	0	7	4	0	19	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	440
85	20530.7	5	16	185	63	117	14	1	2	2	8	16	8	3	6	2	10	6	0	2	2	7	3	0	19	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	480
89	21887.7	5	32	138	31	76	4	1	0	0	5	12	5	1	3	1	10	7	0	1	1	0	2	0	7	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	309
93	23269.4	5	32	145	29	73	6	0	3	0	6	12	5	6	7	1	7	2	0	1	1	4	4	0	12	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330
97	24658.6	5	16	233	51	93	3	0	4	2	5	14	7	0	8	3	8	5	0	0	0	5	5	1	25	0	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	480	

211	48534.3	5	8	116	94	49	6	0	2	1	5	13	3	5	4	4	21	14	5	1	0	1	4	2	29	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	384
215	49279.5	5	8	116	83	53	7	0	4	5	8	9	6	6	4	2	17	10	11	2	1	0	8	0	21	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	379
