



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**$\delta^{13}\text{C}$ DE CORAIS ESCLERACTÍNEOS UMA FERRAMENTA
NA QUANTIFICAÇÃO DE $^{12}\text{CO}_2$ ABSORVIDO PELO
OCEANO SUPERFICIAL ATLÂNTICO SUL EQUATORIAL**

BRENDA LORENA SOARES DA SILVA BRAGA

SALVADOR

2019

**$\delta^{13}\text{C}$ DE CORAIS ESCLERACTÍNEOS UMA FERRAMENTA
NA QUANTIFICAÇÃO DE $^{12}\text{CO}_2$ ABSORVIDO PELO
OCEANO SUPERFICIAL ATLÂNTICO SUL EQUATORIAL**

Brenda Lorena Soares da Silva Braga

Orientador: Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar.

SALVADOR

2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e Tecnologias
Prof. Omar Catunda, SIBI - UFBA.

B813 Braga, Brenda Lorena Soares da Silva
 $\delta^{13}\text{C}$ de corais escleractíneos uma ferramenta na quantificação de $^{12}\text{CO}_2$
absorvido pelo oceano superficial atlântico sul equatorial. – Salvador, 2019.
61 f.

Orientador: Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Instituto de Geociências, 2019.

1. Geologia. 2. Isótopos. 3. Corais escleractíneos. 4.
Paleoclimatologia I. Kikuchi, Ruy Kenji Papa. II. Universidade
Federal da Bahia. III. Título.

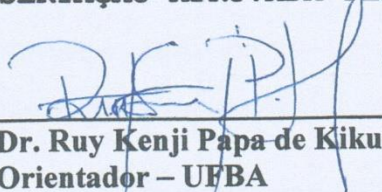
CDU 551.463

BRENDA LORENA SOARES DA SILVA BRAGA

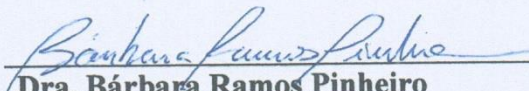
**$\delta^{13}\text{C}$ DE CORAIS ESCLERACTÍNEOS UMA FERRAMENTA NA
QUANTIFICAÇÃO DE $^{12}\text{CO}_2$ ABSORVIDO PELO OCEANO
SUPERFICIAL ATLÂNTICO SUL EQUATORIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar em 19/07/2019.

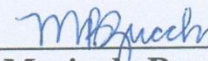
DISSERTAÇÃO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi
Orientador – UFBA



Dra. Bárbara Ramos Pinheiro
Examinador Externo



Dra. Maria do Rosário Zucchi
Examinador Interno – UFBA

Salvador – BA
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minhas mães Vanice e Edjane, meu pai Francivalton e irmãos Maria Larissa e João Pedro, a toda minha família pelo incentivo e compreensão diante de cada escolha ao longo da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Ruy Kikuchi, pela oportunidade em desenvolver este trabalho, fazer parte do grupo de pesquisa RECOR e por partilhar seu conhecimento.

Aos meus amigos Isabel Cristina e João Gabriel pelos momentos descontraídos e palavras encorajadoras. A dona Magda e seu Natanael que sempre me acolheram ao longo desses dois anos.

Aos membros do Grupo de Pesquisas Recifes de Corais e Mudanças Globais (RECOR), em especial Jane e Mariana pelas conversas, pela companhia no horário do almoço, a Lucas responsável pelo trabalho de campo e radiografias das colônias utilizadas neste trabalho e a Bárbara por todo apoio, amizade e ótimas conversas.

Aos professores por instigar a busca de conhecimento nessa área que escolhi dentro da geologia.

Ao professor José Roberto pelo aprendizado e espaço concedido para a realização das análises isotópicas no Laboratório de Física Nuclear.

A Natan pelo companheirismo, por todas as conversas, por todo o incentivo, por fazer parte de tantos momentos importantes e por dividir comigo mais esse momento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, pela bolsa conferida e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ambientes Marinhos Tropicais (INCT AmbiTropic) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Obrigada!

RESUMO

O crescente interesse em reconstruções paleoclimáticas vem promovendo um rápido avanço nos estudos que utilizam registros geoquímicos provenientes de arquivos naturais (e.g. anéis de árvores, testemunhos de gelo, corais) para acessar condições ambientais passadas. Dentre esses, os registros com base em corais se destacam como uma importante ferramenta na compreensão da variabilidade climática nos trópicos. Durante a precipitação do exoesqueleto dos corais a partir da água do mar, razões isotópicas e elementos traços (e.g. $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e Sr/Ca) são incorporados nessa estrutura. A composição isotópica do esqueleto de corais ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) têm sido frequentemente utilizada como indicador na compreensão de vários fatores ambientais (e.g. temperatura, irradiação solar, turbidez, cobertura de nuvens, carbono inorgânico dissolvido). O isótopo de oxigênio tem sido usado na reconstrução da temperatura pretérita e o isótopo de carbono tem sido usado para estimar mudanças na composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido (CID) nos oceanos, pois, as mudanças no $\delta^{13}\text{C}$ -CID estão relacionadas ao aumento de ^{12}C oriundo de queima de componentes fósseis conhecido como Efeito Suess. Aqui, relatamos dados isotópicos do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ baseados em colônias da espécie *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea stellata*, para o oceano Atlântico Sul Equatorial. Ciclos isótopos indicam idades de 15, 23 e 27 para colônias de *M. braziliensis* e 22, 32 e 41 para colônias de *S. stellata*. Os valores médios de isótopo de carbono e oxigênio foram respectivamente de $0,13 \pm 0,99$ e $2,19 \pm 0,23\text{‰}$ (SS01G), $-1,69 \pm 0,55$ e $-2,39 \pm 0,98\text{‰}$ (SS02D), $0,22 \pm 0,46\text{‰}$ e $-2,24 \pm 0,33\text{‰}$ (SS03D) e $-0,71 \pm 0,74$ e $-3 \pm 1,21\text{‰}$ (MB01_2C), $-0,58 \pm 3,09$ e $-2,67 \pm 0,08\text{‰}$ (MB02D), $-1,44 \pm 0,11$ e $-2,70 \pm 1,28\text{‰}$ (MB03B). Dados do Southern Oscillation Index (SOI) foram utilizados e comparados com os registros de isótopo de oxigênio. A espécie *S. stellata* exibiu uma tendência negativa na série temporal do $\delta^{13}\text{C}$ das três colônias, semelhantes ao empobrecimento observado em outras regiões do Atlântico Sul. O $\delta^{13}\text{C}$ das colônias de *M. braziliensis* apresentou variação a curto prazo relacionada principalmente pela fisiologia. Registro isotópico de carbono com base em corais da espécie *S. stellata* mostra-se uma ferramenta com potencial para contar historicamente a mudança isotópica que vem ocorrendo no CO_2 do oceano Atlântico Sul Equatorial. O conteúdo isotópico da espécie *M. braziliensis* necessita ser mais bem explorado.

Palavras-chave: Paleoclimatologia. Geoquímica Isotópica. CO_2 antropogênico. Ambientes recifais.

ABSTRACT

The growing interest in palaeoclimatic reconstructions has been promoting a quick advance in studies that use geochemical records from natural archives (e.g. tree rings, ice cores, corals) to access past environmental conditions. Among these, the coral-based records stand out as an important tool in understanding climate variability in the tropics. During the precipitation of the corals exoskeleton from the sea water, isotopic ratios and trace elements (e.g. $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ and Sr/Ca) are incorporated into this structure. The isotopic composition of coral skeleton ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) has often been used as an indicator in understanding various environmental factors (e.g. temperature, solar radiation, cloud cover, turbidity, dissolved inorganic carbon). The oxygen isotope has been used in the reconstruction of past temperature and carbon isotope has been used to estimate changes in the isotopic composition of dissolved inorganic carbon in the oceans, since changes in $\delta^{13}\text{C}$ -CID are related to the increase of ^{12}C come from burning of fossil components known as the Suess Effect. Here we report the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotopic data based in colonies of the species *Mussismilia braziliensis* and *Siderastrea stellata*, to the South Atlantic Ocean. Isotope cycles indicate ages of 15, 23 and 27 years for colonies of *M. braziliensis* and 22, 32 and 41 years for colonies of *S. stellata*. The average values of carbon and oxygen isotope were respectively of 0.13 ± 0.99 and $2.19 \pm 0.23\text{‰}$ (SS01G), -1.69 ± 0.55 and $-2.39 \pm 0.98\text{‰}$ (SS02D), $0.22 \pm 0.46\text{‰}$ and $-2.24 \pm 0.33\text{‰}$ (SS03D) and -0.71 ± 0.74 and $-3 \pm 1.21\text{‰}$ (MB01_2C), -0.58 ± 3.09 and $-2.67 \pm 0.08\text{‰}$ (MB02D), -1.44 ± 0.11 and $-2.70 \pm 1.28\text{‰}$ (MB03B). Data from the Southern Oscillation Index (SOI) were used and compared with the oxygen isotope records. The species *S. stellata* exhibited a negative trend in the $\delta^{13}\text{C}$ temporal series of the three colonies, similar to the impoverishment observed in other regions of the South Atlantic. The $\delta^{13}\text{C}$ of the colonies of *M. Braziliensis* presented short-term variation mainly related to physiology. Isotopic carbon record based on corals of the species *S. stellata* shows a tool with the potential to tell historically the isotope change that has been occurring in CO_2 from the Equatorial South Atlantic Ocean. The isotopic content of the species *M. braziliensis* needs to be better explored.

Keywords: Paleoclimatology. Isotopic geochemistry. Anthropogenic CO_2 . Reef environments.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL..... | 9 |
| CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1: $\delta^{13}\text{C}$ DE CORAIS ESCLERACTÍNEOS UMA FERRAMENTA NA QUANTIFICAÇÃO DE $^{12}\text{CO}_2$ ABSORVIDO PELO OCEANO SUPERFICIAL ATLÂNTICO SUL EQUATORIAL..... | 20 |
| Introdução..... | 21 |
| Área de estudo..... | 22 |
| Métodos..... | 23 |
| Resultados..... | 25 |
| Discussão..... | 33 |
| Conclusão..... | 40 |
| Agradecimentos..... | 41 |
| Referências..... | 41 |
| CAPÍTULO 3 – CONCLUSÕES..... | 46 |
| APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES..... | 48 |
| APÊNDICE B – TABELAS COM OS VALORES ISOTÓPICOS DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$..... | 44 |
| APÊNDICE C – TABELA COM VALORES MÉDIOS DE $\delta^{13}\text{C}$ POR ANO..... | 58 |
| ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA PALAEOGEOGRAPHY, PALAEOCLIMATOLOGY, PALAEOCOLOGY..... | 59 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Radiografia de uma lâmina de coral da espécie <i>Porites astreoides</i> | 10 |
| Figura 2 – Série temporal do $\delta^{13}\text{C}$ dos corais coletado nas Ilhas Fiji, do $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico e da concentração do CO_2 atmosférico..... | 12 |
| Figura 3 - Localização da área de estudo: Arquipélago de Tinharé-Boipeba (Cap 1)..... | 14 |
| Figura 4 - Localização da área de estudo: Arquipélago de Tinharé-Boipeba (Artigo)..... | 22 |
| Figura 5 - Identificação do local da amostragem e da marca de alizarina..... | 24 |
| Figura 7 - Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da colônia SS01G..... | 26 |
| Figura 8 - Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da colônia SS02D..... | 27 |
| Figura 9 - Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da colônia SS03D..... | 28 |
| Figura 10 - Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da colônia MB01_2C..... | 29 |
| Figura 11 - Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da colônia MB02D..... | 30 |
| Figura 12 - Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da colônia MB03B..... | 31 |
| Figura 13 - Série temporal do valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ das colônias do gênero <i>Mussismilia</i> | 34 |
| Figura 14 - Série temporal do valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ das colônias do gênero <i>Siderastrea</i> | 36 |
| Figura 15 - Análise do Wavelet da série temporal do SOI e de isótopos de oxigênio das colônias do gênero <i>Siderastrea</i> e <i>Mussismilia</i> | 39 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Reconstruções históricas do oceano tropical e subtropical têm fornecido importantes informações na compreensão do atual cenário físico-químico dessa porção do oceano. A limitação temporal de dados fornecidos por instrumentos evidenciou estudos utilizando arquivos naturais como: testemunho de gelo (Friedli et al., 1986), anéis de árvores (Pazdur et al., 2007), sedimentos (Verburg, 2007) e organismos com carapaças composta de carbonato de cálcio (Nozaki et al., 1978; Swart et al., 2010; Dassié; Lemley; Linsley, 2013; Deng et al., 2017; King; Howard, 2004), esses registros são fontes de informações ambientais confiáveis em todas as escalas de tempo.

Os corais da ordem Escleractínia vêm sendo frequentemente utilizados em estudos paleoclimáticos e paleoceanográficos, essa ordem se encontra dividido em dois grupos: os corais que mantêm associação com as zooxantelas (dinoflagelados simbiotes) que são conhecidos como corais hermatípicos, essa associação afeta positivamente a taxa de crescimento desses corais, por meio da fotossíntese (Swart, 1983) e também limita esse grupo a águas rasas tropicais e subtropicais. O segundo grupo, é o dos corais ahermatípicos, que são desprovidos de associações com simbiotes e por conta disso podem habitar todos os oceanos e profundidades.

As pesquisas a partir de corais aumentaram com a descoberta de Knutson; Buddemeier; Smith (1972), que mostraram que os corais formam bandamentos anuais de alta e baixa densidade (Fig. 1), sendo possível contar esses bandamentos, datar e correlacionar condições ambientais. Esses bandamentos passaram a ser vistos e estudados por meio de radiografias, servindo de calendário e despertando o interesse para as informações que poderiam ser adquiridas com as taxas e os padrões de crescimento dos corais (e.g densidade do esqueleto, taxa de calcificação e extensão linear) (Barnes; Taylor, 2005; Grottoli, 2001; Helmle; Dodge; Ketcham, 2000; Hudson et al., 1976; Lough; Barnes, 1990, 2000; Taylor; Barnes; Lough, 1993; Carricart-Ganivet et al., 2000; Carricart-Ganivet; Barnes, 2007; Dodge et al., 1993).

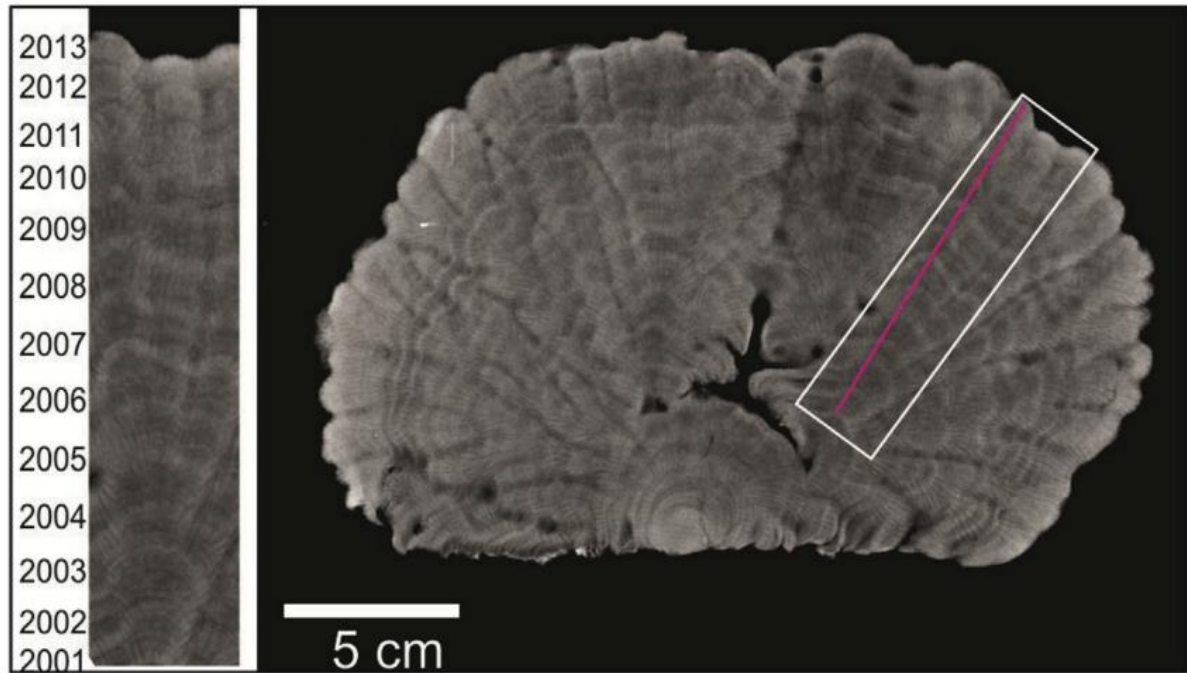


Fig. 1. Radiografia de uma fatia de 5 mm de espessura de *Porites astreoides* com o padrão de bandas de densidade em detalhe, o que revela uma idade de 12 anos na seção analisada. A linha roxa indica o transecto feito na parede do coralito usando uma broca. (Fonte: Pereira et al., 2017).

Os corais exibem padrões de crescimento anual que podem variar de um rápido espessamento combinado com uma lenta extensão, o que resulta no aumento da densidade do esqueleto, enquanto que uma rápida extensão com lento espessamento reduz a densidade do esqueleto (Sun et al., 2008).

Além da utilização de informações morfológicas do esqueleto para se conhecer as condições ambientais ao longo do tempo, foi possível obter informações da composição isotópica e elementar do esqueleto dos corais, que também variam em função dessas condições ambientais (e.g temperatura, cobertura de nuvens, descarga de rio, salinidade, ressurgência, circulação oceânica) (Allemand et al., 2004; Barnes, 1973; Cohen; Mcconnaughey, 2003; Dullo, 2005; Eakin; Grottoli, 2006; Lins-de-barros; Pires, 2006; Weber; Woodhead, 1970). Esses elementos (e.g $\delta^{18}\text{O}$, Sr/Ca, $\delta^{13}\text{C}$) servem de *proxy* para se reconstruir condições paleoceanográficas e paleoclimáticas em escalas de tempo interanual para centenária.

A composição química do esqueleto reflete como o coral retira os elementos da água do mar e os integra em sua estrutura. O principal obstáculo na utilização desse tipo de arquivo natural é a interferência de sua fisiologia (também conhecido como Efeito Vital) na composição geoquímica do esqueleto de CaCO_3 . Por exemplo, isótopos estáveis de oxigênio e

carbono não são incorporados na taxa esperada, devido ao efeito fisiológico (Keith; Weber, 1965; Swart; Grottoli, 2003; Urey et al., 1961). Este efeito vital ocasiona um fracionamento isotópico adicional, por meio de efeitos cinéticos (e.g hidratação e hidroxilação do CO₂) e processos metabólicos (e.g fotossíntese e respiração) (McConnaughey, 1989a). O isótopo de carbono é o mais influenciado pelo efeito vital, isso dificulta a distinção entre a interferência dos fatores exógenos e endógenos no esqueleto dos corais (Bohm et al., 1996).

Diversos trabalhos utilizam isótopos de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) como indicador da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (Fairbanks; Dodge, 1979; Watanabe et al., 2002) e Salinidade da Superfície do Mar (SSM) (Iijima et al., 2005; Swart et al., 1998; Watanabe et al., 2001). A proporção de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ varia em função da TSM (Sayani et al., 2011; Swart, 1983), sendo uma relação inversamente proporcional entre o $\delta^{18}\text{O}$ do coral e a temperatura, o aumento da temperatura resulta no empobrecimento do $\delta^{18}\text{O}$, enquanto que a diminuição da temperatura contribui no aumento do $\delta^{18}\text{O}$ (Eakin; Grottoli, 2006; Leder et al., 1996).

Além disso, o $\delta^{18}\text{O}$ tem sido uma ferramenta promissora na compreensão e reconstrução de eventos climáticos globais como o *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), esse evento é responsável por ocasionar importantes variabilidades interanuais na TSM e conseqüentemente se tem obtido registros dessas alterações na composição do isótopo de oxigênio que compõe o esqueleto dos corais (Cole; Fairbanks; Shen, 1993; Carriquiry; Risk; Schwarcz, 1994; Pereira et al., 2015; Felis; Rimbu, 2010; Soppa; Souza; Pezzi, 2011).

Isótopos de carbono nos corais hermatípicos exibem valores mais negativos quando comparado à água do mar e isso é decorrente do fracionamento isotópico (McConnaughey, 1989b; Parker, 1964; Sun et al., 2008). Porém, processos como a fotossíntese realizada pelas zooxantelas, preferencialmente fixa o ^{12}C , que é o carbono utilizado pelos indivíduos autotróficos (Gruber et al., 1999), deixando o ambiente mais enriquecido em ^{13}C , favorecendo a formação de um exoesqueleto com valores isotopicamente mais enriquecido em $\delta^{13}\text{C}$ (Adkins et al., 2003; Leder et al., 1996; Rodrigues; Fauth, 2013; Weber; Woodhead, 1970). Weber e Woodhead (1970) propuseram um modelo, no qual, o aumento da atividade fotossintética resulta no aumento da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e períodos de baixa atividade fotossintética resultam em menor fixação de ^{12}C pelas zooxantelas e subsequente incorporação do ^{12}C a estrutura do exoesqueleto do coral, levando a valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$.

É estabelecido que o $\delta^{13}\text{C}$ dos corais é controlado por mecanismos fisiológicos (Weber;

Woodhead, 1970), efeitos cinéticos (McConnaughey, 1989) e pH (Adkins et al., 2003). Adicionalmente, é influenciado por modificações na taxa de crescimento, insolação e outros fatores que interferem na relação simbiótica entre corais e zooxantelas (Dassié; Lemley; Linsley, 2013; Swart et al., 2010), causando assim uma variação anual no $\delta^{13}\text{C}$ do esqueleto do coral.

Tendências de longo prazo para diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ dos corais tem sido bem documentadas e relacionadas ao aumento do $^{12}\text{CO}_2$ antropogênico nos oceanos conhecido como Efeito Suess (Fig. 2) (Olsen et al., 2006). O aumento da concentração do CO_2 atmosférico, relacionado ao aumento na queima de combustíveis fósseis ao longo do tempo tem se tornado uma das principais preocupações da sociedade moderna, tendo em vista as consequências que essa alteração pode ocasionar (e.g acidificação dos oceanos), uma vez que os oceanos são um dos principais sumidouros de carbono, absorvendo cerca de $2.6 \pm 0.5 \text{ Pg C ano}^{-1}$ do dióxido de carbono que é adicionado na atmosfera (Le Quéré et al., 2014).

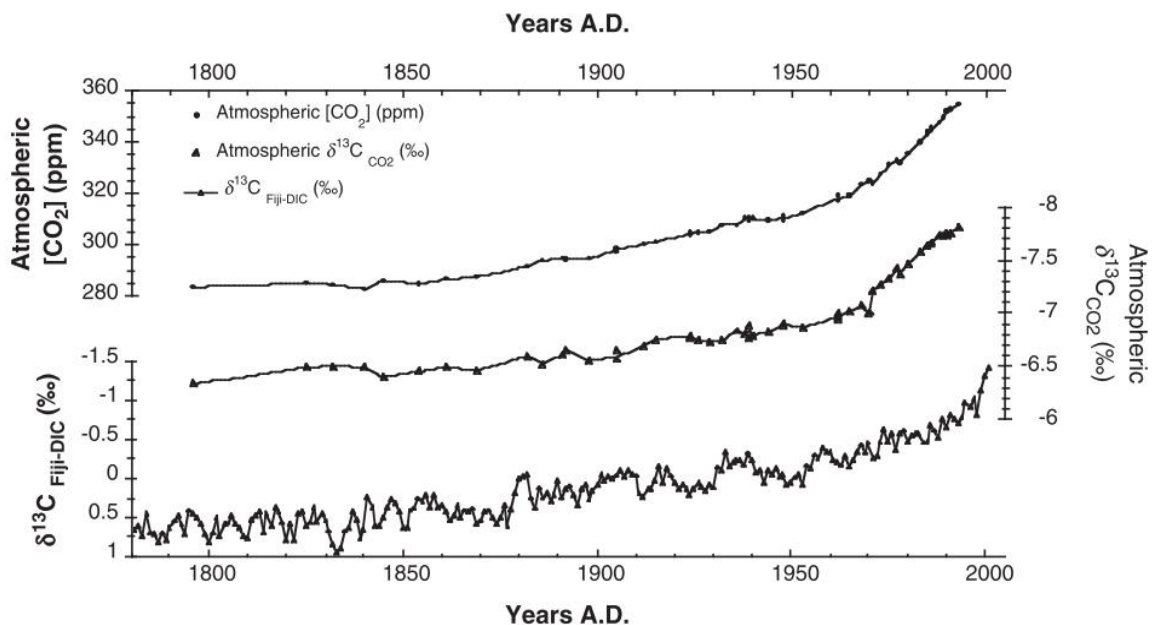


Fig. 2. Série temporal do $\delta^{13}\text{C}$ dos corais coletado nas Ilhas Fiji (painel inferior), reconstrução do $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico (painel do meio) e série temporal da concentração do CO_2 atmosférico (painel superior). (Fonte: Dassié; Lemley; Linsley, 2013).

A inserção de CO_2 extra de origem antropogênica, além de elevar a sua concentração na atmosfera, também modifica a composição isotópica do CO_2 atmosférico, uma vez que o carbono de origem fóssil é isotopicamente mais leve (i.e. valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$) (Bohm et al., 1996; Keeling, 1960, 1979, 2005; Nozaki et al., 1978; Revelle; Suess, 1957; Olsen et al., 2006; Olsen; Ninnemann, 2010; Rakowski; Nakamura; Pazdur, 2004). A série

histórica da composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$ mostra uma diminuição nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ numa magnitude entre 0.5 a 0.9‰ desde a revolução industrial (Al-Rousan; Felis, 2013).

Mudanças na composição isotópica do CO_2 atmosférico afeta diretamente a composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido (CID) dos oceanos, através da interação na interface do sistema oceano-atmosfera (Revelle; Suess, 1957), essas mudanças isotópicas podem ficar registradas no exoesqueleto de organismos marinhos que possuem potencial para serem utilizados como arquivos naturais para condições ambientais, dentre os quais os corais aparecem como fortes candidatos.

Para o Atlântico Sul, os gêneros *Mussismilia* (Verrill, 1868) e *Siderastrea* (Verrill, 1868) se destacam como arquivos paleoclimáticos em potencial, sendo os principais gêneros construtores dos recifes brasileiros, alguns estudos (e.g Mayal et al., 2009; Pereira et al., 2018) vem sendo desenvolvido com algumas espécies de ambos os gêneros comprovando a importante fonte de informações para a reconstrução das condições ambientais do passado dessa porção do oceano.

O oceano Atlântico comparado a outros como oceano Pacífico e Índico é o que mais absorve CO_2 . Para a porção Norte, existem informações robustas sobre essa absorção a partir de exoesqueleto de corais, porém para o Atlântico Sul, os dados ainda são escassos. Tendo em vista a relevância de se compreender o quanto de CO_2 vem sendo absorvido pelos oceanos ao longo do tempo e como os organismos que necessitam de carbono como é o caso dos corais estão sendo afetados. A proposta desse estudo apresenta o seguinte problema: 1º - Arquivos naturais como exoesqueletos de corais podem ser utilizados como ferramenta para quantificação do CO_2 antropogênico absorvido pelos oceanos?, 2º - O $\delta^{13}\text{C}$ incorporado pela espécie *S. stellata* e *M. braziliensis* representam registros confiáveis na determinação da taxa de absorção de CO_2 antropogênico para o oceano Atlântico Sul Equatorial?

A partir das premissas levantadas, o proposto estudo tem como objetivo quantificar a taxa de absorção do $^{12}\text{CO}_2$ de CO_2 antropogênico na porção oeste do Oceano Atlântico Sul na segunda metade do século XX, utilizando colônias de *Siderastrea stellata* e de *Mussismilia braziliensis*.

Para alcançar o objetivo proposto foi necessário:

1. Verificar a variação do $\delta^{13}\text{C}$ ao longo do eixo de crescimento da colônia de coral e

- comparar com outros registros de valores do $\delta^{13}\text{C}$ da atmosfera;
2. Analisar a variação sazonal do $\delta^{13}\text{C}$ do coral e comparar com dados de precipitação (*i.e.* cobertura de nuvens) das regiões;
 3. Comparar o padrão da série temporal do $\delta^{13}\text{C}$ entre a espécie *S. stellata* e *M. braziliensis*.

As colônias utilizadas nessa pesquisa foram coletadas na região de Tinharé-Boipeba, nos recifes de Garapuí, litoral sul do estado da Bahia, município de Cairú (Fig. 3).

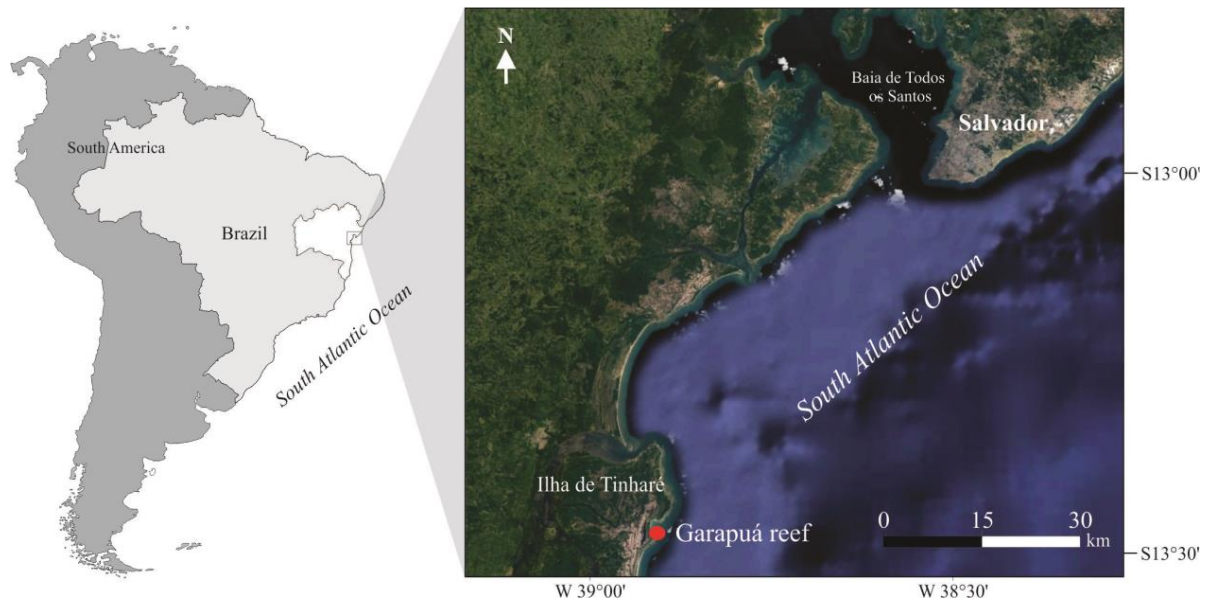


Fig. 3. Localização do Arquipélago de Tinharé-Boipeba e destacado em vermelho o recife de Garapuí (à direita).

Esse estudo se justifica pela relevância de se obter dados confiáveis sobre as modificações na composição isotópica do carbono que se encontra dissolvido no oceano Atlântico Sul Equatorial, devido ao aumento de $^{12}\text{CO}_2$ antropogênico na atmosfera. Além disso, compreender como as diferentes espécies se comportam diante dessa mudança é fundamental para consolidar as espécies que possuem potencial para serem utilizados como arquivos para o registro dessa modificação no $\delta^{13}\text{C}$ do oceano.

A revista escolhida para a submissão do presente estudo foi a *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Referências

- Adkins, J.F., Boyle, E.A., Curry, W.B., Lutringer, A., 2003. Stable Isotopes in Deep-Sea Corals and a New Mechanism for “ Vital Effects .” *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 1129–1143.
- Allemand, D., Ferrier-Pagès, C., Furla, P., Houlbréque, F., Puverel, S., Stephanie, R., Tambutté, E., Tambutté, S., Didier, Z., 2004. Biomineralisation in reef-building corals : from molecular mechanisms to environmental control. *Gen. Paleontol.* 3, 453–467.
- Al-Rousan, S.; Felis, T. 2013. Long-term variability in the stable carbon isotopic composition of Porites corals at the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 381-382, 1–14.
- Barnes, D.J., 1973. Growth in colonial Scleractinians. *Coral Reef Proj.* 23, 280–298.
- Barnes, D.J., Taylor, R.B., 2005. On the nature and causes of luminescent lines and bands in coral skeletons: II. Contribution of skeletal crystals. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 322, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.02.008>
- Bohm, F., Joachimski, M.M., Lehnert, H., Morgenroth, G., Kretschmer, W., Vacelet, J., W.-Chr, D., 1996. Carbon isotope records from extant Caribbean and South Pacific sponges : Evolution of $\delta^{13}\text{C}$ in surface water DIC. *Earth Planet. Sci. Lett.* 139, 291–303.
- Carricart-Ganivet, J.P., Barnes, D.J., 2007. Densitometry from digitized images of X-radiographs: Methodology for measurement of coral skeletal density. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 344, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.12.018>
- Carricart-Ganivet, J.P., Beltrán-Torres, A.U., Merino, M., Ruiz-Zárate, M.A., 2000. Skeletal extension, density and calcification rate of the reef building coral *Montastraea annularis* (Ellis and Solander) in the Mexican Caribbean. *Bull. Mar. Sci.* 66, 215–224.
- Carriquiry, J.D., Risk, M.J., Schwarcz, H.P., 1994. Stable isotope geochemistry of corals from Costa Rica as proxy indicator of the EL Niño/southern Oscillation (ENSO). *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 335–351. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90468-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90468-5)
- Cohen, A.L., McConnaughey, T.A., 2003. Geochemical Perspectives on Coral Mineralization. *Rev. Mineral. geochemistry* 54, 151–187. <https://doi.org/10.2113/0540151>
- Cole, J.E., Fairbanks, R.G., Shen, G.T., 1993. Recent variability in the southern oscillation: Isotopic results from a Tarawa Atoll coral. *Science* (80-.). 260, 1790–1793. <https://doi.org/10.1126/science.260.5115.1790>
- Dassié, E.P., Lemley, G.M., Linsley, B.K., 2013. The Suess effect in Fiji coral $\delta^{13}\text{C}$ and its potential as a tracer of anthropogenic CO₂ uptake. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 370, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.11.012>
- Deng, W., Chen, X., Wei, G., Zeng, T., Zhao, J -x. 2017. Decoupling of coral skeletal $\delta^{13}\text{C}$ and solar irradiance over the past millennium caused by the oceanic Suess effect. *Paleoceanography.* 32,161–71.

- Dodge, R.E., Szmant-Froelich, A., Garcia, R., Swart, P.K., Forester, A., Leder, J.J., 1993. Skeletal Structural Basis of Density Banding in the Reef Coral *Montastrea Annularis*. *Mar. Environ. Sci. Fac. Proceedings, Present. Speeches, Lect. 1*, 186–195.
- Dullo, W.-C., 2005. Coral growth and reef growth : a brief review. *Orig. Artic.* 51, 33–48. <https://doi.org/10.1007/s10347-005-0060-y>
- Eakin, C.M., Grotoli, A., 2006. Chapter 2 . Coral Reef Records of Past Climatic Change.
- Fairbanks, R.G., Dodge, R.E., 1979. Annual periodicity of the the 18O/16O and 13C/12C and ratios in the coral *Montastrea annularis*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43, 1009–1020. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(79\)90090-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90090-5)
- Felis, T., Rimbu, N., 2010. Mediterranean climate variability documented in oxygen isotope records from northern Red Sea corals-A review. *Glob. Planet. Change* 71, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.10.006>
- Friedli, H., Löttscher, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., Stauffer, B. 1986. Ice core record of the 13C/12C ratio of atmospheric CO₂ in the past two centuries. *Nature.* 324,237–8.
- Grotoli, A., 2001. Past climate from corals. *Encycl. Ocean Sci.* <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0270>
- Gruber, N., Keeling, C.D., Bacastow, R.B., Guenther, P.R., Lueker, T.J., Wahlen, M., Meijer, H.A.J., Mook, W.G., Stocker, T.F., 1999. Spatiotemporal patterns of carbon-13 in the global surface oceans and the oceanic Suess effect. *Global Biogeochem. Cycles* 13, 307–335.
- Helmle, K.P., Dodge, R.E., Ketcham, R.A., 2000. Skeletal architecture and density banding in *Diploria strigosa* by X-ray computed tomography, in: *Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium.* pp. 365–371.
- Hudson, J.H., Shinn, E.A., Halley, R.B., Lidz, B., 1976. Sclerochronology: A tool for interpreting past environments. *Geology* 4, 361–364.
- Iijima, H., Kayanne, H., Morimoto, M., Abe, O., 2005. Interannual sea surface salinity changes in the western Pacific from 1954 to 2000 based on coral isotope analysis. *Geophys. Res. Lett.* 32, 1–4. <https://doi.org/10.1029/2004GL022026>
- Keeling, C.D. 1960. The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere. *Tellus.* 12, 200–3.
- Keeling, C.D. 1979. The Suess effect: 13Carbon-14 Carbon interrelations. *Environ Int.* 4–6, 229–300.
- Keeling, C.D., Piper, S.C., Bacastow, R.B., Wahlen, M., Whorf, T.P., Heimann, M., Meijer, H. 2005. Atmospheric CO₂ and 13CO₂ Exchange with the Terrestrial Biosphere and Oceans from 1978 to 2000 Terrestrial Biosphere and Oceans from 1978 to 2000: Observations and Carbon Cycle Implications. *EPRINTS-BOOK-TITLE University of Groningen, Centre for Isotope Research.* 83–113.
- Keith, M.L., Weber, J.N., 1965. Systematic Relationships between Carbon and Oxygen

- Isotopes in Carbonates Deposited by Modern Corals and Algae. *Science* (80-.). 150, 498–501.
- King, A.L, Howard, W.R. 2004. Planktonic foraminiferal $\delta^{13}\text{C}$ records from Southern Ocean sediment traps : New estimates of the oceanic Suess effect. *globa*. 18,1–16.
- Knutson, D.W., Buddemeier, R.W., Smith, S. V., 1972. Coral Chronometers : Seasonal Growth Bands in Reef Corals. *Science* (80-.). 177, 270–272.
- Leder, J.J., Swart, P.K., Szmant, A.M., Dodge, R.E., 1996. The origin of variations in the isotopic record of scleractinian corals: I. Oxygen. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 2871–2885. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(96\)00119-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00119-6)
- Lins-de-Barros, M., Pires, D.O., 2006. Colony size-frequency distributions among different populations of the Scleractinian coral *Siderastrea stellata* in Southwestern Atlantic: implications for life history patterns. *Brazilian J. Oceanogr.* 54, 213–223.
- Lough, J.M., Barnes, D.J., 2000. Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 245, 225–243. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00168-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00168-9)
- Lough, J.M., Barnes, D.J., 1990. Intra-annual timing of density band formation of *Porites* coral from the central Great Barrier Reef. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 135, 35–57.
- Mayal, E.M., Sial, A.N., Ferreira, V.P., Fisner, M., Pinheiro, B.R., 2009. Thermal stress assessment using carbon and oxygen isotopes from Scleractinia, Rocas Atoll, northeastern Brazil. *Int. Geol. Rev.* 51, 166–188. <https://doi.org/10.1080/00206810802673834>
- McConnaughey, T, 1989. ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibrium in biological carbonates : I. Patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 151–162.
- McConnaughey, Ted, 1989. ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibrium in biological carbonates: II. In vitro simulation of kinetic isotope effects. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 163–171.
- Nozaki, Y., Rye, D.M., Turekian, K.K., Dodge, R.E. 1978. A 200 year record of carbon-13 and carbon-14 variations in a Bermuda coral. *Geophys Res Lett.* 5,10, 825–8.
- Olsen A, Ninnemann U. 2010. Large $\delta^{13}\text{C}$ gradients in the Preindustrial North Atlantic Revealed. *Science.* 330, 658–9.
- Olsen, A., Omar, A.M., Bellerby, R.G.J., Johannessen, T., Ninnemann, U., Brown, K.R., Olsson, K.A., Olafsson, J., Nondal, G., Kivima, C., Kringstad, S., Neill, C., Olafsdottir, S., 2006. Magnitude and origin of the anthropogenic CO_2 increase and Suess effect in the Nordic seas since 1981. *Global Biogeochem. Cycles* 20, 1–12. <https://doi.org/10.1029/2005GB002669>
- Parker, P.L., 1964. The biogeochemistry of the stable isotopes of carbon in a marine bay. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1155–1164.
- Pazdur, A., Nakamura, T., Pawelczyk, S., Pawlyta, J., Piotrowska, N., Rakowski, A., et al. 2007. Carbon Isotopes in tree rings: Climate and the Suess Effect interferences in the

- last 400 years. *Radiocarbon*. 49,2, 775–88.
- Pereira, N.S., Sial, A.N., Frei, R., Ullmann, C. V., Korte, C., Kikuchi, R.K.P., Ferreira, V.P., Kilbourne, K.H., 2017. The potential of the coral species *Porites astreoides* as a paleoclimate archive for the Tropical South Atlantic Ocean. *J. South Am. Earth Sci.* 77, 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.05.008>
- Pereira, N.S., Sial, A.N., Kikuchi, R.K.P., Ferreira, V.P., Ullmann, C. V., Frei, R., Cunha, A.M.C., 2015. Coral-based climate records from tropical South Atlantic : 2009 / 2010 ENSO event in C and O isotopes from *Porites* corals (Rocas Atoll , Brazil), in: *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*. pp. 1–19.
- Pereira, N.S., Sial, A.N., Kilbourne, K.H., Liu, S.C., Shen, C.C., Ullmann, C. V., Frei, R., Korte, C., Kikuchi, R.K.P., Ferreira, V.P., Braga, B.L.S.S., 2018. Carbon stable isotope record in the coral species *Siderastrea stellata*: A link to the Suess Effect in the tropical South Atlantic Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 497, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.02.007>
- Rakowski A., Nakamura T., Pazdur A. 2004. Changes in radiocarbon concentration in modern wood from Nagoya, central Japan. *Nucl Instruments Methods Phys Res Sect B Beam Interact with Mater Atoms*. 223–224, 507–10.
- Revelle, R., Suess, H.E., 1957. Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades. *Tellus* 9, 18–27.
- Rodrigues, G.B., Fauth, G., 2013. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio em ostracodes do Cretáceo : metodologias , aplicações e desafios. *Terra e Didat.* 9, 34–49.
- Sayani, H.R., Cobb, K.M., Cohen, A.L., Elliott, W.C., Nurhati, I.S., Dunbar, R.B., Rose, K.A., Zaunbrecher, L.K., 2011. Effects of diagenesis on paleoclimate reconstructions from modern and young fossil corals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 75, 6361–6373. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.08.026>
- Soppa, M.A., Souza, R.B., Pezzi, L.P., 2011. Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano atlântico sudoeste e sua relação com o fenomeno El Niño-Oscilação Sul. *Rev. Bras. Meteorol.* 26, 375–391. <https://doi.org/10.1590/s0102-77862011000300005>
- Sun, D., Su, R., McConnaughey, T.A., Blomendal, J., 2008. Variability of skeletal growth and $\delta^{13}\text{C}$ in massive corals from the South China Sea: Effects of photosynthesis, respiration and human activities. *Chem. Geol.* 255, 414–425. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.07.012>
- Swart, K., White, S., Enfield, D., Dodge, E., Milne, P., 1998. Stable oxygen isotopic composition of corals from the Gulf of Guinea as indicators of periods of extreme precipitation conditions association between Atlantic (SATL), Anomalous heating in either anomalies [Felland et al ., 1986 ' Citeau and region alon. *J. Geophys. Res.* 103, 27885–27891.
- Swart, P.K., 1983. Carbon and Oxygen Isotope Fractionation in Scleractinian Corals: a Review. *Earth-Science Rev.* 19, 51–80.

- Swart, P.K., Greer, L., Rosenheim, B.E., Moses, C.S., Waite, A.J., Winter, A., Dodge, R.E., Helmle, K., 2010. The $\delta^{13}\text{C}$ Suess effect in scleractinian corals mirror changes in the anthropogenic CO_2 inventory of the surface oceans. *Geophys. Res. Lett.* 37, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2009GL041397>
- Swart, P.K., Grottoli, A., 2003. Proxy indicators of climate in coral skeletons: a perspective. *Coral Reefs* 22, 313–315. <https://doi.org/10.1007/s00338-003-0332-3>
- Tanaka, T., Watanabe, Y. W., Watanabe, S., Noriki, S. 2003. Oceanic Suess effect of $\delta^{13}\text{C}$ in subpolar region: The North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 30, 22, 1–4.
- Taylor, R.B., Barnes, D.J., Lough, J.M., 1993. Simple models of density band formation in massive corals. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 167, 109–125.
- Urey, H.C., Lowenstam, H.A., Epstein, S., Mckinney, C.R., 1961. Measurement of paleotemperatures and temperatures and the upper Cretaceous of England, Denmark, and the Southeastern United States. *Bul. Geol. Soc. Am.* 62, 399–416.
- Verburg, P. 2007. The need to correct for the Suess effect in the application of $\delta^{13}\text{C}$ in sediment of autotrophic Lake Tanganyika , as a productivity proxy in the Anthropocene. *J. Paleolimnology.* 37,591–602.
- Watanabe, T., Minagawa, M., Oba, T., Winter, A., 2001. Pretreatment of coral aragonite for Mg and Sr analysis: Implications for coral thermometers. *Geochem. J.* 35, 265–269. <https://doi.org/10.2343/geochemj.35.265>
- Watanabe, T., Winter, A., Oba, T., Anzai, R., Ishioroshi, H., 2002. Evaluation of the fidelity of isotope records as an environmental proxy in the coral *Montastraea*. *Coral Reefs* 21, 169–178. <https://doi.org/10.1007/s00338-002-0218-9>
- Weber, J.N., Woodhead, M.J., 1970. Carbon and Oxygen isotope fractionation in the skeletal carbonate of reef-building corals. *Chem. Geol.* 6, 93–117.
- Williams, B., Halfar, J., Steneck, R.S., Wortmann, U.G., Hetzinger, S., Adey, W., Lebednik, P., Joachimski, M. 2011. Twentieth century $\delta^{13}\text{C}$ variability in surface water dissolved inorganic carbon recorded by coralline algae in the northern North Pacific Ocean and the Bering Sea. *Biogeosciences.* 8, 165–174.

CAPÍTULO 2

$\delta^{13}\text{C}$ DE CORAIS ESCLERACTÍNEOS UMA FERRAMENTA NA QUANTIFICAÇÃO DE $^{12}\text{CO}_2$ ABSORVIDO PELO OCEANO SUPERFICIAL ATLÂNTICO SUL EQUATORIAL

B.L.S.S. Braga^{a,*}, R.K.P. Kikuchi^a, N.S. Pereira^b, J.R.B. Souza^c

^aRECOR, Departamento de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador 40210-340, Brasil

^bNESP, Departamento de Biologia, Universidade do Estado da Bahia, Campus VIII, Paulo Afonso 48608-240, Brasil

^cInstituto de Física, Universidade Federal da Bahia, 40210-340 Salvador, Brasil

RESUMO

Exoesqueletos de corais são importantes fontes de informações paleoceanográficas e paleoclimáticas para as regiões tropicais e subtropicais dos oceanos. A composição isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) do esqueleto de corais tem sido frequentemente utilizados como indicador na compreensão de vários fatores ambientais. O isótopo de oxigênio tem sido usado na reconstrução da temperatura pretérita e o isótopo de carbono tem sido usado para estimar mudanças na composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido nos oceanos devido mudanças no $\delta^{13}\text{C}$ -CID relacionadas ao aumento de ^{12}C oriundo de queima de componentes fósseis, conhecido como Efeito Suess. Aqui relatamos dados isotópicos do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ baseados em colônias das espécies *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea stellata*, para o oceano Atlântico Sul Equatorial. Ciclos isótopos indicam idades de 15, 23 e 27 anos para colônias de *M. braziliensis* e 22, 32 e 41 anos para colônias de *S. stellata*. Os valores médios de isótopo de carbono e oxigênio foram respectivamente de $0,13 \pm 0,99$ e $2,19 \pm 0,23\text{‰}$ (SS01G), $-1,69 \pm 0,55$ e $-2,39 \pm 0,98\text{‰}$ (SS02D), $0,22 \pm 0,46\text{‰}$ e $-2,24 \pm 0,33\text{‰}$ (SS03D) e $-0,71 \pm 0,74$ e $-3 \pm 1,21\text{‰}$ (MB01_2C), $-0,58 \pm 3,09$ e $-2,67 \pm 0,08\text{‰}$ (MB02D), $-1,44 \pm 0,11$ e $-2,70 \pm 1,28\text{‰}$ (MB03B). A espécie *S. stellata* exibiu uma tendência negativa na série temporal do $\delta^{13}\text{C}$ das três colônias, semelhantes ao empobrecimento observado em outras regiões do Atlântico Sul. O $\delta^{13}\text{C}$ das colônias de *M. braziliensis* apresentou variação em curto prazo relacionada principalmente pela fisiologia. Registro isotópico de carbono com base em corais da espécie *S. stellata* mostra-se uma ferramenta com potencial para contar historicamente a mudança isotópica que vem ocorrendo no CO_2 do oceano Atlântico Sul Equatorial. O conteúdo isotópico da espécie *M. braziliensis* necessita ser mais bem explorado.

Palavras-chave: Geoquímica isotópica; Absorção de CO_2 ; Ambientes recifais

*Autor Correspondente: Brenda Lorena S. da S. Braga e-mail: bre.lorena@hotmail.com telefone: (75) 99963-3262

1. Introdução

A composição isotópica do exoesqueleto de corais hermatípicos da ordem Scleractinia tem sido amplamente utilizada como uma ferramenta promissora na compreensão e reconstrução da história climática e oceanográfica do oceano tropical e subtropical superficial (Pandolfi et al., 2011; Schrag; Linsley, 2002).

Isótopos estáveis de oxigênio e carbono têm sido frequentemente empregados para estimar diversos parâmetros ambientais, apesar da composição isotópica do esqueleto de carbonato de cálcio desses animais sofrer um fracionamento adicional, conhecido com efeito vital ou fisiológico (Weber; Woodhead, 1970) Esse efeito dificulta a distinção entre a influência dos fatores exógenos e endógenos (Bohm et al., 1996), principalmente na assinatura do $\delta^{13}\text{C}$. A razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ tem sido usada como proxy para se obter informações sobre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e Salinidade da Superfície do Mar (SSM) (e.g Fairbanks; Dodge, 1979; McConnaughey, 1989; Pätzold, 1984; Weber; Woodhead, 1970). A variação no $\delta^{18}\text{O}_{\text{coral}}$ é menor quando comparada a variação do $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$.

Para o $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$ os fatores que deixam assinaturas na razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ a curto e longo prazo já são conhecidos: processos metabólicos (Juillet-Leclerc; Reynaud, 2010; Swart, 1983), efeitos cinéticos (McConnaughey, 1989), pH (Adkins et al., 2003), $\delta^{13}\text{C}$ do carbono inorgânico dissolvido (CID) da água do mar circundante (Leder et al., 1996), desova (Gagan; Chivas; Isdale, 1994), taxa de crescimento (McConnaughey, 1989), profundidade da água (Fairbanks; Dodge, 1979; Swart et al., 1996), luminosidade (Weber; Woodhead 1970) e $^{12}\text{CO}_2$ antropogênico nos oceanos (Dassié; Lemley; Linsley, 2013; Swart et al., 2010). Desde 1970 (Nozaki et al., 1978), a diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ dos corais em escala centenária tem sido bem documentada e relacionada ao Efeito Suess oceânico, que resulta da crescente queima de componentes fósseis, que são isotopicamente mais leve (e.g Al-Rousan; Felis, 2013; Dassié; Lemley; Linsley, 2013; Deng et al., 2017; Goodkin et al., 2012; Quinn et al., 1998; Swart et al., 2010).

A penetração vertical do CO_2 antropogênico geralmente ocorre em profundidades mais rasas na região tropical e subtropical (Chung et al., 2003). No qual, 30% do $^{12}\text{CO}_2$ se encontra em profundidades com menos de 200 metros (Sabine et al., 2004), essa profundidade representa o limite vertical em que os corais zooxantelados se encontram. Essa distribuição, a taxa de crescimento e o conhecimento das condições ambientais necessárias para o desenvolvimento dos corais hermatípicos, os tornam fontes de dados de alta resolução, o que

possibilita reconstruções paleoambientais em escala de tempo mensal a secular (Felis et al., 2000).

Aqui relatamos dados isotópicos do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ baseados em colônias das espécies *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea stellata*, para o oceano Atlântico Sul Equatorial, ambas as espécies endêmicas e importantes construtoras dos recifes da costa brasileira.

2. Área de estudo

Os recifes de Garapuí estão situados no Arquipélago de Tinharé-Boipeba no município insular de Cairú, localizado na costa leste do Brasil, na porção sul do estado da Bahia (Fig. 4).

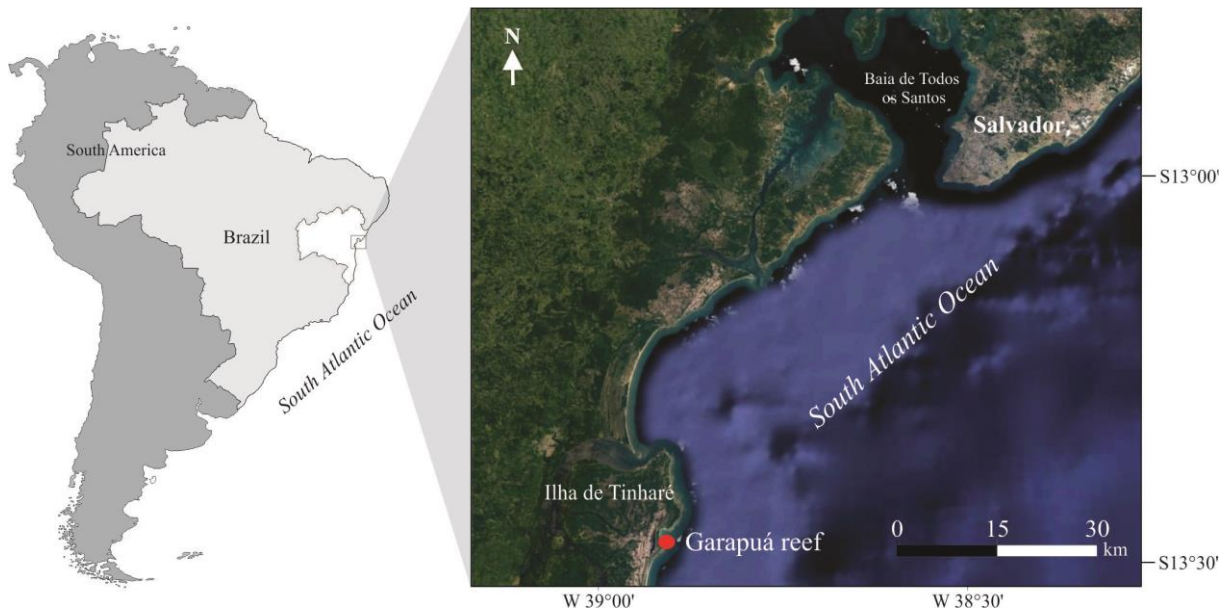


Fig. 4. Localização do Arquipélago de Tinharé-Boipeba e destacado em vermelho o recife de Garapuí (à direita).

Uma parte significativa do arquipélago se encontra inserida no conjunto geológico da Bacia de Camamu, as rochas sedimentares dessa bacia são representadas pelos Grupos Brotas (datado do Jurássico) e Camamu (datado do Cretáceo) que aflora ao sul da Ilha de Boipeba (Silva; Nascimento; Rebouças, 2009).

A enseada do Arquipélago é bordejada por recifes de corais em franja e bancos recifais rasos (5 – 10 m) e os recifes profundos (10 – 20 m) (Kikuchi et al., 2008; Leão et al., 2010), nesse mesmo local também ocorre à presença de outro ecossistema importante, o manguezal. Devido à presença dos recifes coralinos, os sedimentos variam de areia fina a grossa (Silva; Nascimento; Rebouças, 2009) e são compostos, sobretudo por fragmentos de algas calcárias, ouriços e conchas de moluscos.

A Baía de Garapuá possui 2,5 km de extensão e profundidade de até 8 m, exibe forma de sino, sendo totalmente aberta para o oceano, dividida em recifes coralinos e de arenito ao norte e sul e contornada por praia arenosa na margem costeira. Um rio ao norte e outro a sul são responsáveis pela presença de águas continentais na baía.

O clima predominante é tropical úmido, há ocorrência de chuvas ao longo de todo o ano, sendo os meses de abril e agosto os de maiores pluviosidades com média anual de 1.750 mm, chegando a 1.400 mm em anos mais secos, a temperatura média anual de 24,6 °C, a máxima varia em torno de 31,2 °C (março) e a mínima em 19,4 °C (agosto), salinidade variando entre 35-40‰. A vegetação é composta pela restinga, remanescentes da Mata Atlântica e manguezais (Mariano; Andrade Sobrinho; Cância Sobrinho, 2016; Silva; Nascimento; Rebouças, 2009).

3. Metodologia

3.1. Colônias analisadas

Foram utilizadas três colônias de *M. braziliensis* (MB01-2C, MB02-D e MB03-B) medindo entre 11,5 e 14 cm de altura, coletadas entre 0,5 e 1,5 metros de profundidade, em novembro de 2013 e três colônias de *S. stellata* (SS01-G, SS02-D e SS03-D) medindo entre 8,6 e 10 cm de altura, coletadas entre 1,4 e 2,7 metros de profundidade, em maio de 2012.

3.2. Amostragem

As colônias analisadas, foram cortadas ao longo do eixo de crescimento, sendo utilizada uma das lâminas de 0,5 mm (para as colônias de *S. stellata*) e de 1 cm (para as colônias de *M. braziliensis*) para o procedimento de amostragem. As lâminas foram posteriormente lavadas com jatos de água pressurizados para remoção do tecido vivo e secadas em temperatura ambiente. Amostras de carbonato foram retiradas na parede do coralito, em intervalos de 0,5 mm, com auxílio de uma microfuradeira (Fig. 5).

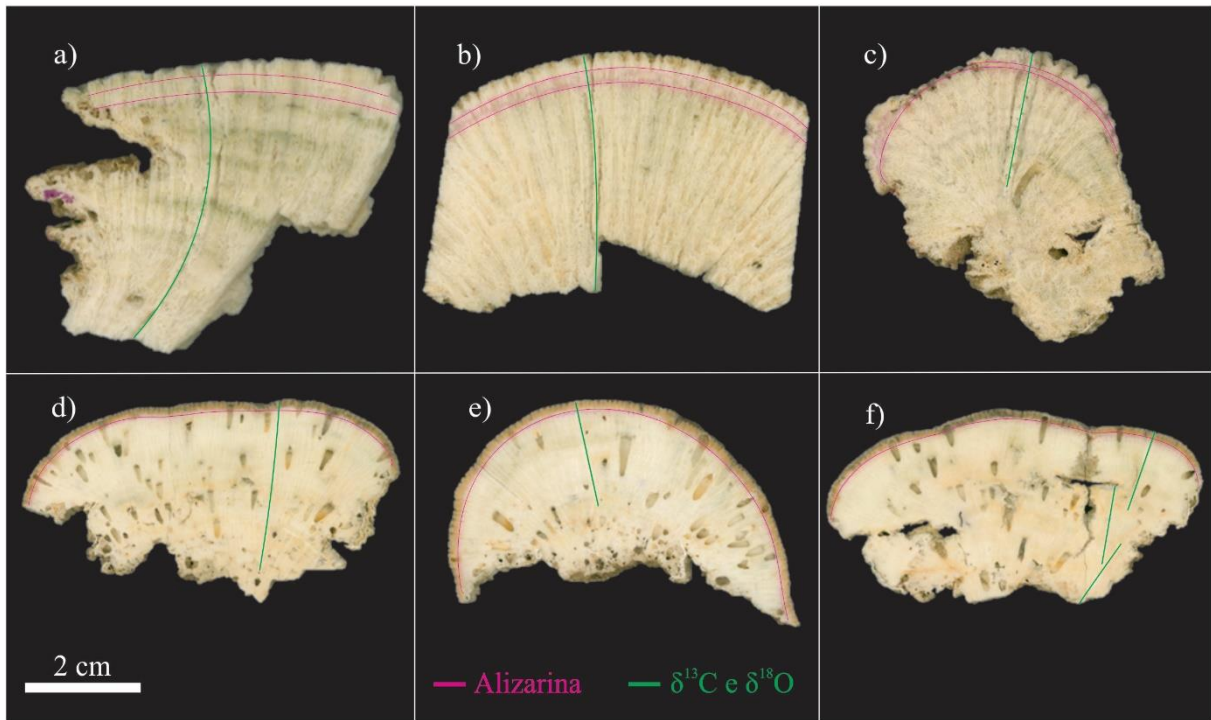


Fig. 5. Lâminas utilizadas nesse trabalho a) MB01_2C, b) MB02D, c) MB03B, d) SS01G, e) SS02D e f) SS03D. Identificação do local de amostragem para análise isotópica (linha verde) e marca de alizarina (linha rosa).

3.3. Análise geoquímica

3.3.1. Isótopo estável de Carbono e Oxigênio

Os valores do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de todas as colônias estudadas foram obtidos no Laboratório de Física Nuclear na Universidade Federal da Bahia utilizando o espectrômetro de massa Delta Plus ThermoFinnigam acoplado a um sistema de preparação online GasBench II. Foram analisadas 1179 amostras em conjuntos de 72 amostras de carbonato, mais 16 amostras contendo 8 réplicas de 2 padrões de referências, 1 externo (Borborema skarn calcite - BSC) e 1 interno (Padrão Bahia- PB). Todos os valores isotópicos estão expressados em *per mil* (‰) e em relação ao *Vienna Pee Dee Belemnite* (VPDB).

3.3.2. Esclerocronologia e Taxa de crescimento

A idade de cada colônia foi determinada por meio da contagem dos ciclos isotópicos, assim como a taxa de crescimento foi obtida medindo os ciclos isotópicos.

A cronologia determinada pelos ciclos isotópicos foi confirmada por meio da coloração das colônias com alizarina sódica, na concentração de 2 mg/L, para as colônias de *M. brasiliensis* e *S. stellata* o procedimento foi realizado duas vezes em janeiro de 2011 e maio

2012, mas nas colônias do gênero *Siderastrea* foi observado apenas uma marcação correspondente ao ano de 2011 (Fig. 5). Este procedimento consiste na preparação da solução em laboratório, para cada litro de água destilada, duas gramas de alizarina sódica foram adicionadas, *in situ*, prendeu-se o saco plástico na base do substrato de modo a engolfar toda a colônia de coral. Em seguida, a solução de alizarina sódica é liberada e iniciar-se o processo de assimilação da substância pelo organismo. As colônias permaneceram enclausuradas por um período aproximado de 6 horas, as etapas realizadas *in situ* foram repetidas por dois dias seguidos, garantindo a assimilação efetiva da alizarina sódicas por parte das colônias de coral.

A incorporação da alizarina no esqueleto do coral pode servir para estimar a taxa de crescimento, medir a deposição de carbonato durante um intervalo de tempo ou para conversão temporal por meio da extensão linear (Lamberts, 1974).

O eixo distância (mm) da série temporal de todas as colônias foi convertido em tempo por meio do software QAnalySeries (Qt C++), que é utilizado como uma ferramenta de análise de séries temporais (<https://sites.google.com/site/geokotov/software>) (Kotov S., Pälike H. (2018). Esse software permite fazer correlações estratigráficas, vários modelos de idade possíveis, ferramentas básicas de séries temporais, incluindo interpolação, amostragem integral, suavização, filtragem e também possui ferramentas de análise espectral.

4. Resultados

4.1. Isótopo de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

4.1.1. *Siderastrea stellata*

Valores do $\delta^{13}\text{C}$ e o valor médio de carbono anual nos corais foram estabelecidos para todas as colônias de *Siderastrea* spp. com base na média dos valores isotópicos para cada ano.

A colônia SS01G (n=166) (Fig. 7) apresentou um valor mínimo de $\delta^{13}\text{C}$ -2,53‰, máximo de 2,6‰ e médio ($\pm\text{DP}$) $0,13\pm 0,99\%$. O valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ anual variou entre -1,36 a 1,78‰. Os anos com o $\delta^{13}\text{C}$ mais empobrecido foram 1991 (-1,33‰), 2007 (-1,15‰), 2008 (-1,36‰) e mais enriquecidos foram 1992 (1,60‰), 2001 (1,66‰) e 2002 (1,78‰).

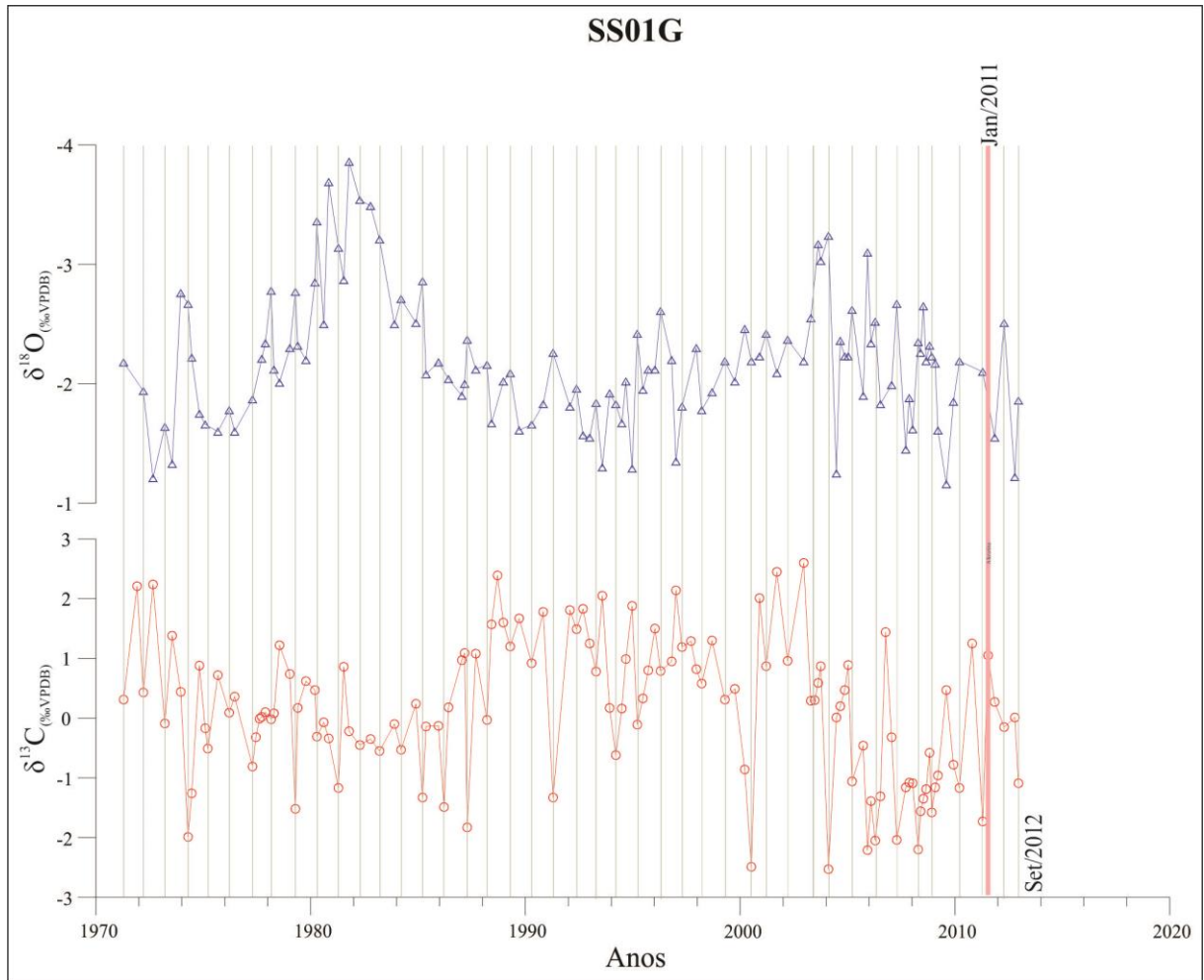


Fig. 7. Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ (azul) e $\delta^{13}\text{C}$ (vermelho) da colônia SS01G (1971-2012), ciclos anuais (linha vertical cinza) e marca da alizarina (linha vertical rosa) correspondente ao ano de 2011.

Colônia SS02D (n=90) (Fig. 8) exibiu valor mínimo de $-2,77\text{‰}$, máximo $0,35\text{‰}$ e médio ($\pm\text{DP}$) $-1,69\pm 0,55\text{‰}$ e o valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ anual variando de $-2,45$ a $-0,15\text{‰}$, os valores mais enriquecidos ocorreram nos anos de 2003 ($-2,45\text{‰}$), 2002 ($-2,28\text{‰}$) e mais enriquecido 1990 ($-0,15\text{‰}$) e 1992 ($-0,38\text{‰}$).

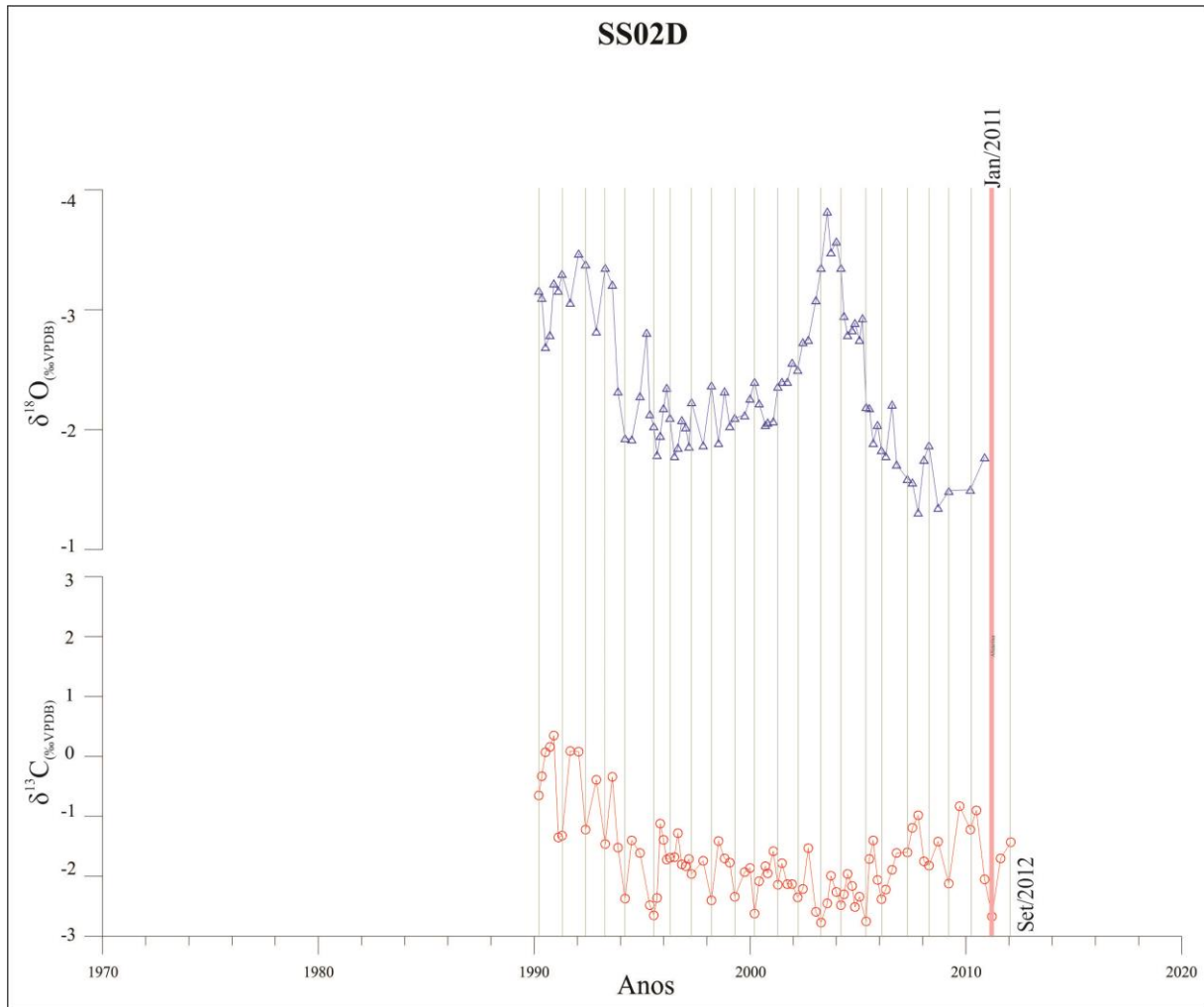


Fig. 8. Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ (azul) e $\delta^{13}\text{C}$ (vermelho) da colônia SS02D (1990-2012), ciclos anuais (linha vertical cinza) e marca da alizarina (linha vertical rosa) correspondente ao ano de 2011.

A colônia SS03D (n=131) (Fig. 9) apresentou valor mínimo de -2,27‰, máximo 2,18‰ e médio ($\pm\text{DP}$) $0,22\pm 0,46\%$, o valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ anual variou de -0,92 a 1,23‰, sendo os anos com valores negativos 1995 (-0,41‰), 1998 (-0,49‰), 2011 (-0,92‰) e mais enriquecidos 1983 (0,90‰) e 2001 (1,23‰).

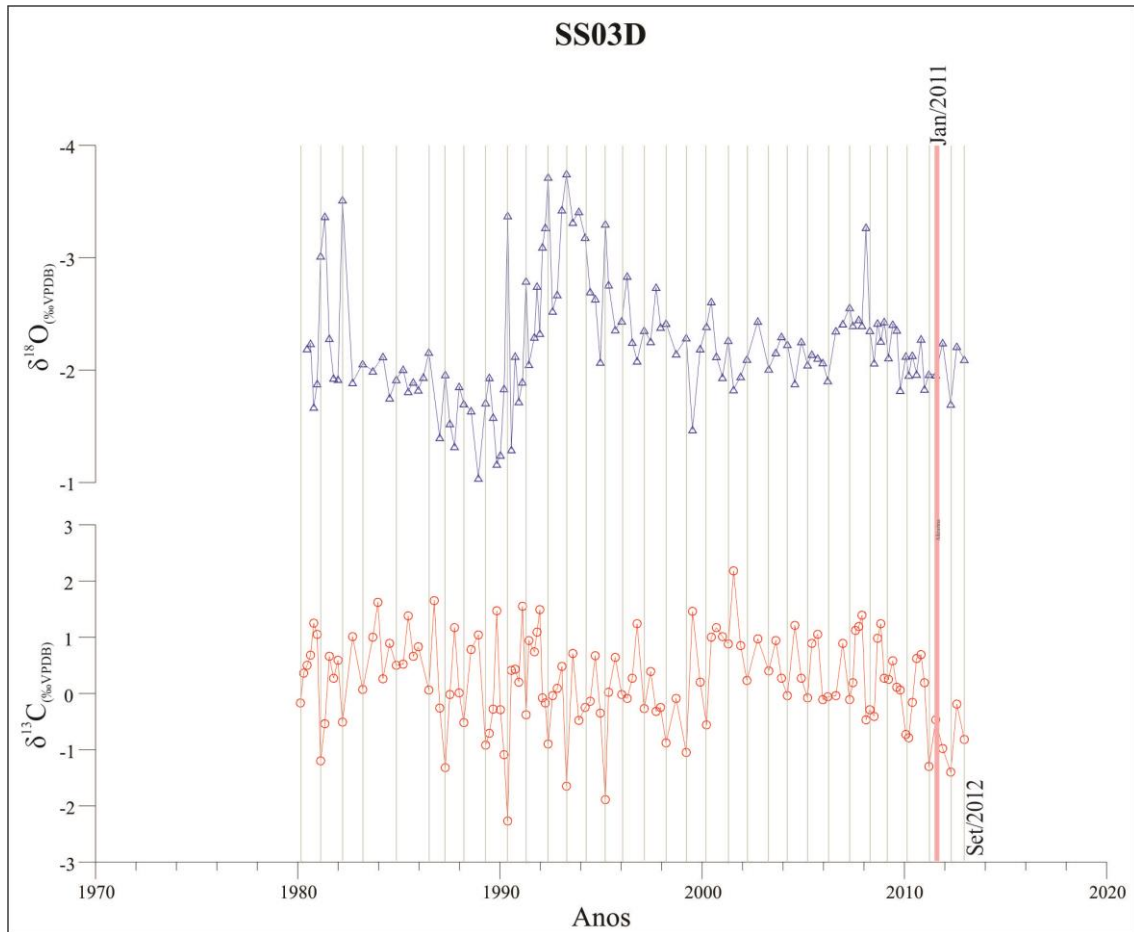


Fig. 9. Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ (azul) e $\delta^{13}\text{C}$ (vermelho) da colônia SS03D (1980-2012), ciclos anuais (linha vertical cinza) e marca da alizarina (linha vertical rosa) correspondente ao ano de 2011.

Mussismilia braziliensis

Valores do $\delta^{13}\text{C}$ e o valor médio de isótopo de carbono anual nos corais também foram estabelecidos para todas as colônias do gênero *Mussismilia* com base na média dos valores isotópicos para cada ano.

Colônia MB01-2C (n=229) (Fig. 10) apresentou valor mínimo de -3,89‰, máximo 3,56‰ e médio ($\pm\text{DP}$) $-0,71\pm 0,74\%$ e o valor médio de carbono anual variou de -3,39 a 2,31‰, sendo os valores mais negativos nos anos de 1986 (-3,39‰), 1989 (-2,43‰), 1990 (-2,65‰), 2013 (-2,52‰) e os valores mais enriquecidos 1993 (1,44‰) e 1998 (2,31‰).

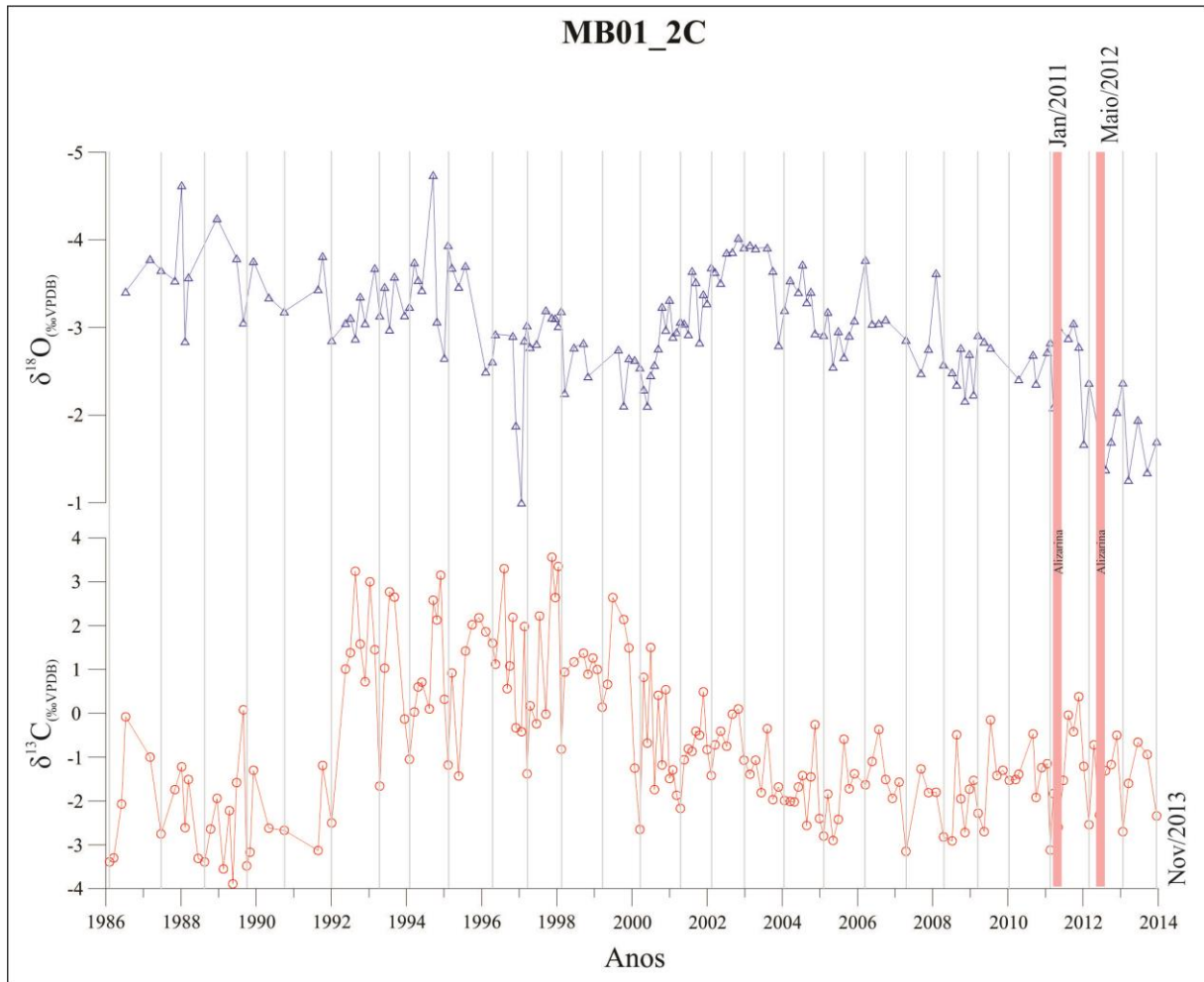


Fig. 10. Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ (azul) e $\delta^{13}\text{C}$ (vermelho) da colônia MB01_2C (1986-2013), ciclos anuais (linha vertical cinza) e duas marca de alizarina (linha vertical rosa) correspondente aos anos de 2012 e 2011.

A colônia MB02D ($n=209$) (Fig. 11) apresentou valor mínimo de $-3,78\text{‰}$, máximo $3,6\text{‰}$ e médio ($\pm\text{DP}$) $-0,58\pm 3,09\text{‰}$ e valor médio de carbono anual variando de $-2,43$ a $1,73\text{‰}$, negativo nos anos de 1993 ($-2,40\text{‰}$), 1994 ($-2,39\text{‰}$), 1995 ($-2,31\text{‰}$), 1996 ($-2,43\text{‰}$), 1997 ($-2,21\text{‰}$) e valores enriquecidos em 2009 ($1,16\text{‰}$), 2012 ($1,73\text{‰}$) e 2013 ($1,18\text{‰}$).

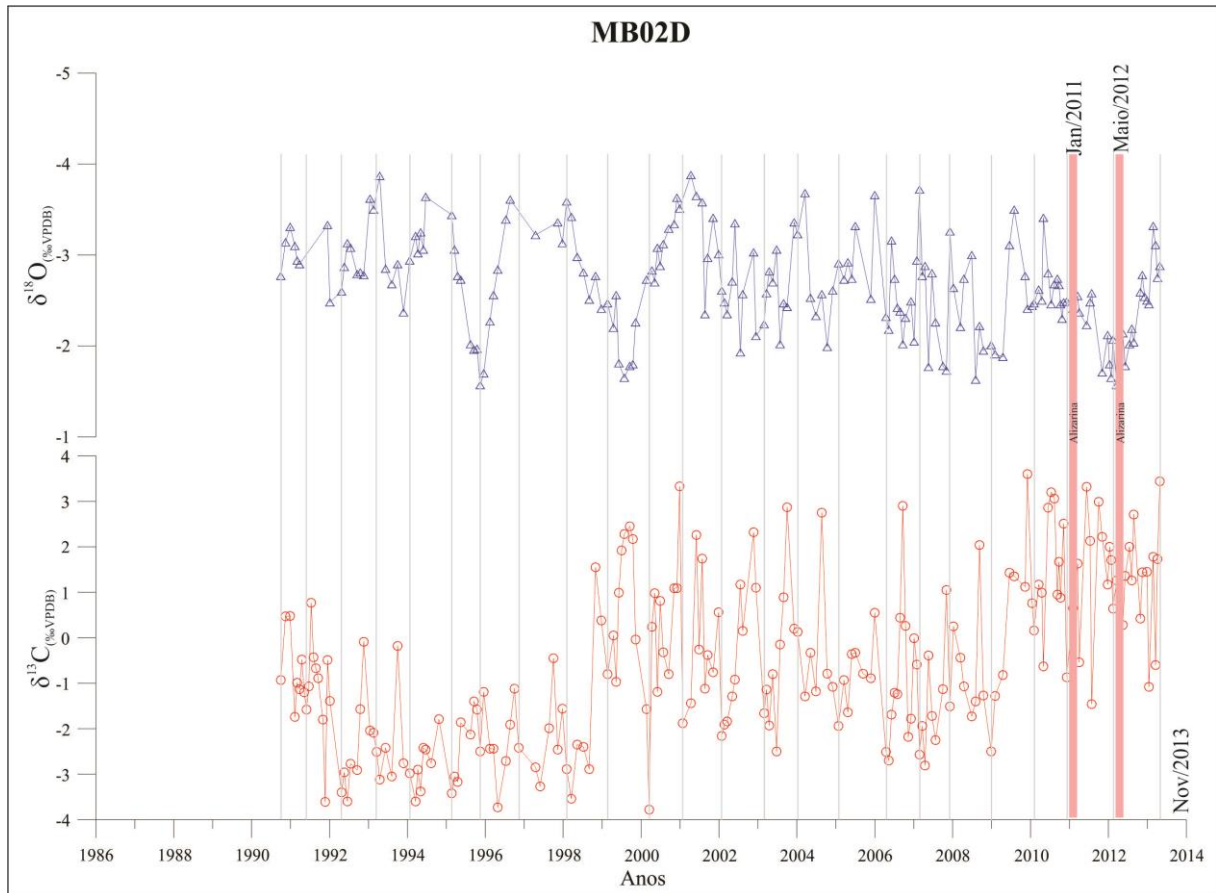


Fig. 11. Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ (azul) e $\delta^{13}\text{C}$ (vermelho) da colônia MB02D (1990-2013), ciclos anuais (linha vertical cinza) e duas marca de alizarina (linha vertical rosa) correspondente aos anos de 2012 e 2011.

A colônia MB03B (n=173) (Fig. 12) exibiu valor mínimo de -2,99‰, máximo 0,57‰ e médio ($\pm\text{DP}$) $-1,44\pm 0,11\%$ e de acordo com a estimativa de valor médio de carbono anual variou de -2,50 a -0,14‰, sendo o valor mais negativo em 1998 (-2,23‰), 1999 (-2,50‰) e os mais enriquecidos em 2003 (-0,13‰) e 2005 (-0,56‰).

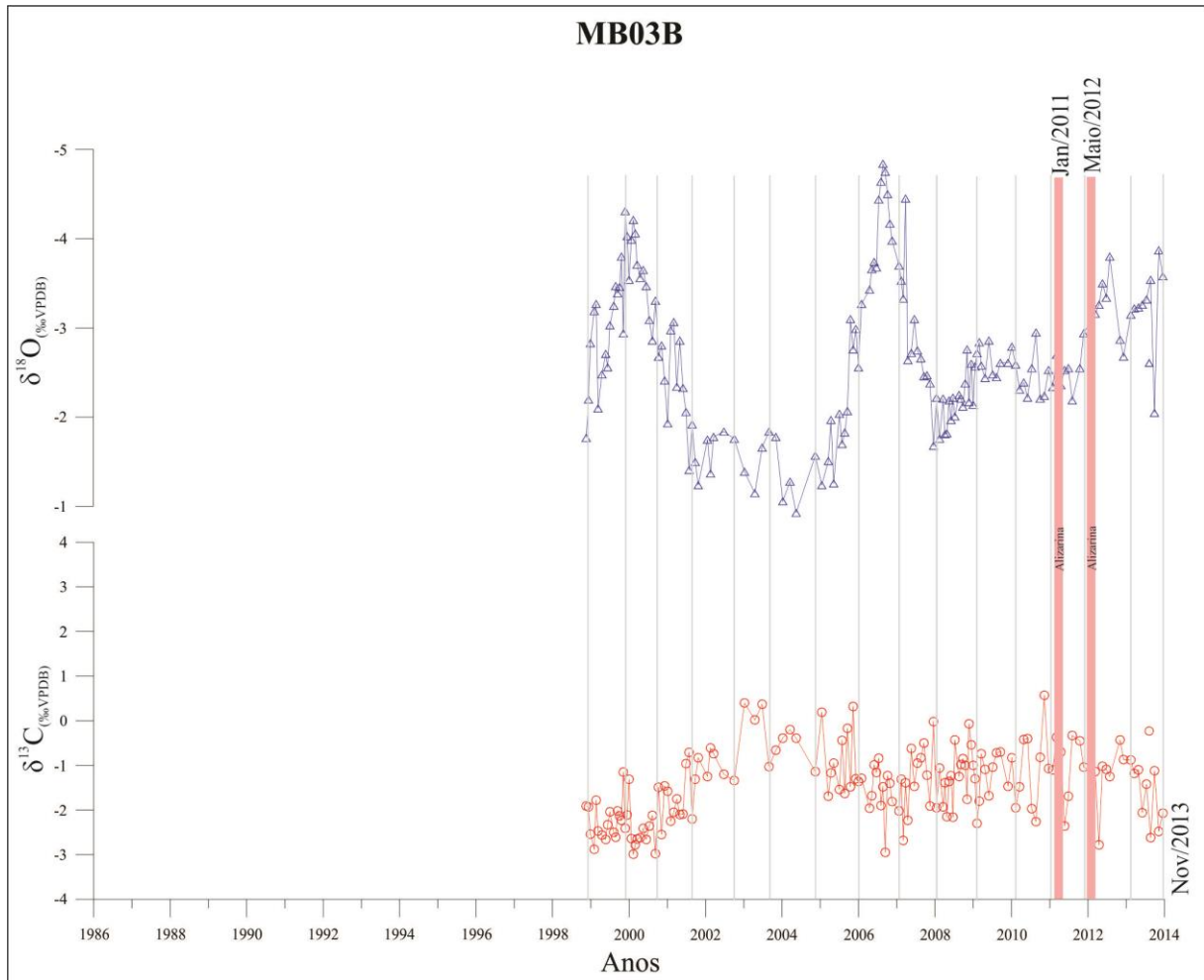


Fig. 12. Série temporal do $\delta^{18}\text{O}$ (azul) e $\delta^{13}\text{C}$ (vermelho) da colônia MB03B (1998-2013), ciclos anuais (linha vertical cinza) e duas marca de alizarina (linha vertical rosa) correspondente aos anos de 2012 e 2011.

4.2. Isótopo de Oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$)

4.2.1. *Siderastrea stellata*

Os valores do $\delta^{18}\text{O}$ para as colônias do gênero *Siderastrea*, variaram de -3,86 a -1,16‰, as três colônias apresentaram grandes ciclos com aproximadamente 15 mm, em pontos diferentes ao longo da série temporal.

A colônia SS01G (Fig. 7) exibiu mínimo de -3,86‰, máximo -1,16‰ e médio ($\pm\text{DP}$) -2,19 \pm 0,23‰ para a SS01G, além disso, a colônia apresentou um ciclo maior de 15 mm próximo à base da colônia de 1987 a 1978. Colônia SS02D (Fig.8) apresentou valor mínimo de -3,82‰, máximo -1,31‰ e médio de -2,39 \pm 0,98‰ e grande ciclo de 11 mm próximo ao início do perfil, que corresponde aos anos de 2001 a 2006. Colônia SS03D (Fig. 9), valor

mínimo -3,75‰, máximo -1,04‰ e médio $-2,24 \pm 0,33\%$, ciclo grande de 12 mm no meio da colônia de 1991 a 1997.

4.2.2. *Mussismilia braziliensis*

Os valores do $\delta^{18}\text{O}$ para as colônias do gênero *Mussismilia* variaram de -4,84 a -0,93‰, com ciclos maiores entre 10-25 mm, distribuídos ao longo da série temporal. A colônia MB01_2C (Fig. 10) apresentou mínimo -4,74‰, máximo -1,0‰ e médio $-3 \pm 1,21\%$ e um ciclo grande de 22 mm (2001-2006) localizado no início do perfil. A colônia MB02D (Fig. 11) apresentou valor mínimo de -3,88‰, máximo -1,57‰ e médio $-2,67 \pm 0,08\%$ e dois ciclos maiores, um ciclo de 18 mm (2000-2002) e um ciclo de 25 mm (1996-2000) que se encontram no meio e próximo à base do perfil respectivamente. A colônia MB03B (Fig. 12) apresentou valor mínimo de -4,84‰, máximo -1,06‰ e médio $-2,70 \pm 1,28\%$. Ela também exibiu dois ciclos maiores, um ciclo de 14 mm (2006-2008) e outro de 15 mm (1999-2002) situado no meio e na base da colônia respectivamente.

4.3. Taxa de Crescimento

Estimativas da extensão linear foram obtidas a partir da medição dos ciclos isotópicos (Tabela 1), os valores variaram de 1,0 a 3,5 mm/ano para as colônias de *S. stellata*, com média de $2,5 \pm 0,40$ mm/ano para colônia SS01G, $2,3 \pm 0,57$ mm/ano SS02D e $2,1 \pm 0,62$ mm/ano.

A taxa de extensão das colônias de *M. braziliensis* variou de 3 a 8 mm/ano, com média para a MB01-2C de $4,2 \pm 2,12$ mm/ano, $6,5 \pm 1,41$ mm/ano para MB02-D e $5,6 \pm 0,28$ mm/ano para MB03B.

Todas as colônias estudadas foram monitoradas com alizarina no período de 2011-2012, o que pode servir para avaliar a taxa de crescimento ou fazer conversão temporal por meio da extensão linear (Lamberts, 1974). Os ciclos isotópicos correspondentes ao período em que cada colônia foi marcada com alizarina foram comparados, quanto sua distancia. Para o gênero *Siderastrea* a distância da marca da alizarina do topo da colônia até a base da marca tem 3,0, 3,0 e 4,0 mm e os ciclos isotópicos correspondentes 2 (3,0 mm/ano), 2 (3,0 mm/ano), 2 (3,5 mm/ano) e para as colônias SS01G, SS02D e SS03D respectivamente, para o gênero *Mussismilia* a primeira marca da colônia MB01_2C tem 5,0 mm e a segunda 10 mm, MB02D primeira marca 12 mm e segunda 17 mm e a MB03B tem 5,0 e 9,0 mm na primeira e segunda marca respectivamente, sendo os ciclos correspondentes 2 e 3 (todos os ciclos com 3 mm/ano)

MB01_2C, 2 e 3 (6,5 e 6 mm/ano) MB02D, 2 e 3 (6,4 e 5 mm/ano) MB03B. Os dois procedimentos de tingimento com alizarina no gênero *Mussismilia*, foram realizados com 16 meses de espaço entre um procedimento e outro.

A idade das colônias foi determinada contando os ciclos isotópicos (Tabela 1), para as colônias de *S. stellata* foi definida idades de 41 (89 mm), 22 (50 mm) e 32 (67 mm) anos, para SS01-G, SS02-D e SS03-D respectivamente e para as colônias de *M. braziliensis*, 27 (114 mm), 23 (150 mm) e 15 anos (88 mm) para MB01-2C, MB02-D e MB03-B respectivamente.

Tabela 1. Valores da taxa de extensão linear das colônias dos gêneros *Siderastrea* e *Mussismilia* e suas respectivas idades baseada na quantidade de ciclos isotópicos.

| Colônia | Idade (anos) | Taxa de crescimento (mm) | | |
|---------------------------------|--------------|--------------------------|--------|----------|
| | | Mínimo | Máximo | Média |
| <i>Siderastrea stellata</i> | | | | |
| SS01G | 41 | 1,3 | 3,0 | 2,0±0,40 |
| SS02D | 22 | 1,3 | 3,1 | 2,3±0,52 |
| SS03D | 32 | 1,0 | 3,5 | 2,1±0,62 |
| <i>Mussismilia braziliensis</i> | | | | |
| MB01_2C | 27 | 3,0 | 6,0 | 4,2±0,81 |
| MB02D | 23 | 3,5 | 8,0 | 6,5±1,41 |
| MB03B | 15 | 3,0 | 7,1 | 5,6±0,28 |

5. Discussão

5.1. Isótopos estáveis

5.1.1. Alterações no $\delta^{13}C$

Neste trabalho foi encontradas alterações de curto prazo na série temporal do $\delta^{13}C$ da espécie *M. braziliensis* (Fig. 13) ao longo do seu crescimento, os picos de valores altos e baixos do $\delta^{13}C$ não seguem uma tendência linear negativa da base para o topo da colônia, mas sim, um padrão alternado ao longo do perfil, que pode esta sendo influenciado por características fisiológicas desta espécie. Enquanto, o gênero *Siderastrea* apresentou um padrão de empobrecimento no valor do $\delta^{13}C$ das três colônias ao longo do seu desenvolvimento, destacando uma mudança do $\delta^{13}C$ em escala decadal.

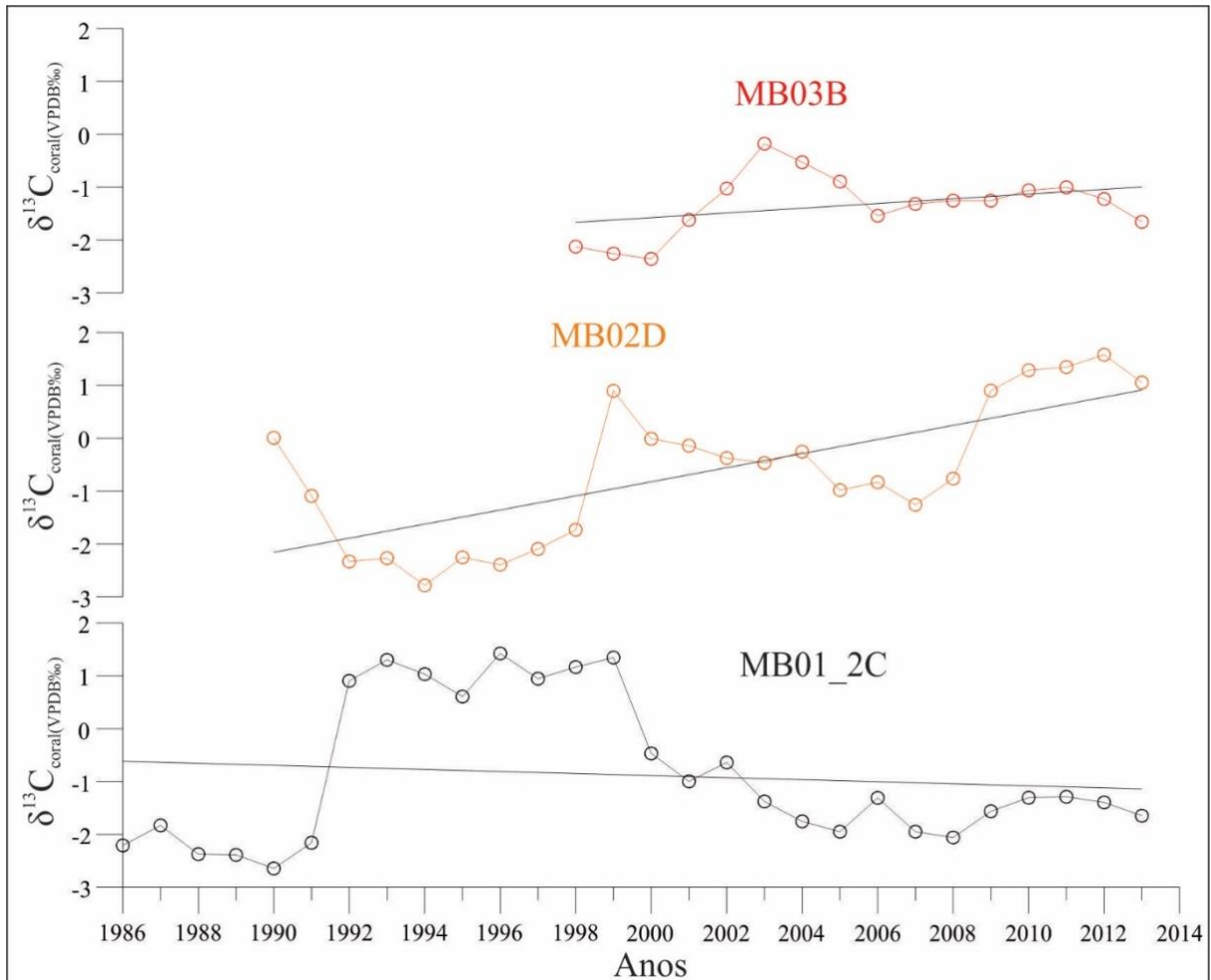


Fig. 13. Série temporal do valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ (1986-2014) das colônias de *Mussismilia braziliensis*, MB01_2C (preto), MB02D (laranja) e MB03B (vermelho).

A composição química do esqueleto dos corais é controlada por dois fatores principais: o ambiente externo e a atividade biológica, conhecidos como efeito vital (Robinson et al., 2014). McConnaughey (1989) sintetiza que o fracionamento metabólico induz a mudanças adicionais no $\delta^{13}\text{C}$ do esqueleto do coral devido, principalmente, aos processos de respiração e fotossíntese (via sistema simbiótico coral/alga). Swart (1983) também discute que as correlações variadas entre isótopos de carbono e oxigênio observados em corais hermatípicos são causadas principalmente por mudanças na relação entre a fotossíntese e a respiração, no qual se alteram em resposta às mudanças de luz e temperatura (Juillet-Leclerc; Reynaud, 2010). O processo de respiração fornece cerca de 70% do carbono metabólico para o local de calcificação (Erez, 1978), em temperaturas mais altas quando as taxas de fotossíntese em relação à respiração são reduzidas, a contribuição do carbono empobrecido da respiração aumenta.

Freitas et al., (2019) observaram diferenças nas características fisiológicas entre *M. braziliensis* e *S. stellata* nos recifes de Abrolhos, situados no sul da Bahia, no qual

comparando a taxa de fotossíntese e respiração (F/R), *M. braziliensis* apresentou um baixo valor na razão F/R (1,94). Isso é indicativo de condições como águas rasas e limpas para um bom desenvolvimento, além disso, a alta taxa de extensão foi posto como um dos principais focos para o gasto energético dessa espécie. Enquanto, *S. stellata* exibiu valores mais altos para a razão F/R (2,08), deste modo, essa espécie possui um limite maior de habitação em águas profundas, devido sua alta atividade fotossintética. Diferenças fisiológicas como a relação F/R, explicaria as diferenças nos padrões da série temporal do carbono observado aqui, as colônias de *Mussismilia* spp.

Um trabalho desenvolvido na Grande Barreira dos Corais por Uthicke et al., (2014) também discute a influência da relação F/R no conteúdo de carbono dos corais, além disso, relatam como o aumento da turbidez associada a estação chuvosa pode reduzir a disponibilidade de luz no local, limitando a autotrofia e favorecendo a heterotrofia e consequentemente alterando a razão F/R sazonalmente.

Além da fisiologia, as características morfológicas como grandes pólipos da espécie *Mussismilia braziliensis*, também indicam uma espécie ativa na captura de plâncton por meio da heterotrofia, provavelmente essas características, mais as condições ambientais em que as colônias estavam submetidas contribuíram nessa diferença em longo prazo na série temporal do $\delta^{13}\text{C}$, tanto dentro dessa espécie como entre o gênero *Mussismilia* e *Siderastrea*.

Dentre as colônias de *M. braziliensis* a colônia MB01_2C é a que apresenta à série temporal mais longa, sendo a única que exibiu uma leve inclinação na linha de tendência - 0,019‰ por ano (1986-2013) e que se assemelha aos valores observados no gênero *Siderastrea*, deixando dúvidas a respeito de seu potencial em registrar alterações ambientais em escala decadal. Sendo necessários outros estudos que explorem o conteúdo isotópico dessa espécie e os fatores ambientais de influência em colônias mais velhas, em diferentes regiões, para que padrões principalmente de longo prazo sejam mais bem compreendidos.

5.1.1.2 Efeito Suess oceânico

Embora as colônias aqui estudadas tenham idades recentes, todas as três séries temporais mostram uma diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ nas colônias de Tinharé-Boipeba (Fig. 14) a longo prazo. Embora, a taxa de diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ seja menor para as colônias SS01G (-0,010‰ por ano) 1971-2012 e SS03D (-0,009‰ por ano) 1980-2012 que possuem a idade mais próxima das utilizadas no trabalho de Pereira et al., (2018) que inicialmente registrou o Efeito Suess para o oceano Atlântico Sul Equatorial a partir do conteúdo isotópico de

Siderastrea spp., o comportamento a longo prazo dessa espécie para ambas áreas de tudo foi o mesmo. Além disso, as características entre as áreas de estudos explicam as diferenças nas taxas de diminuição obtidas: as colônias coletadas no Atol das Rocas (Pereira et al., 2018) que sendo uma ilha oceânica é desprovida de influência continental, possui uma assinatura isotópica influenciada principalmente pelas alteração na interface atmosfera-oceano, enquanto que as colônias deste estudo foram coletadas próxima à costa e estão sujeitas a influencia de fontes continentais, além das diferenças no valor do $\delta^{13}\text{C}$ da água para esses locais.. Apesar das particularidades entre ambientes costeiros e ilhas oceânicas, a sensibilidade da espécie em registrar mudanças no conteúdo do carbono em escala decadal é evidente.

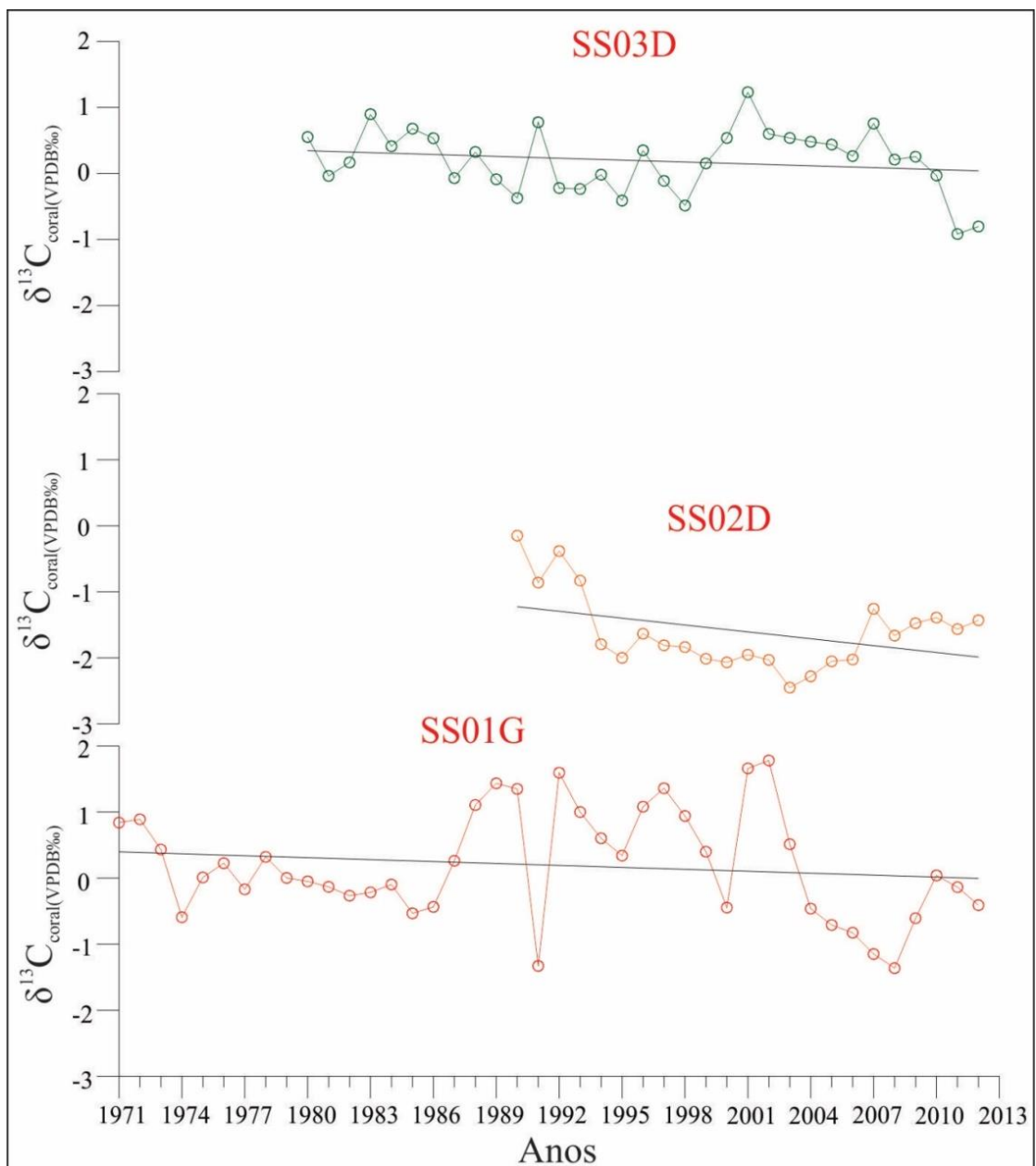


Fig. 14. Série temporal do valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ (1969-2012) das colônias de *Siderastrea stellata*, SS01G (vermelho), SS02D (laranja) e SS03D (verde).

Tendências de longo prazo para diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ dos corais têm sido bem documentadas e relacionadas ao Efeito Suess oceânico (e.g Al-Rousan; Felis, 2013; Dassié; Lemley; Linsley, 2013; Deng et al., 2017; Goodkin et al., 2012; Nozaki et al., 1978; Pereira et al., 2018; Quinn et al., 1998; Swart et al., 2010) desde a década de 1970 (Nozaki et al., 1978).

O Efeito Suess tem sido comprovado em vários trabalhos utilizando sedimentos (Verburg, 2007), anéis de árvores, escleroponjas (Druffel; Benavides, 1986), foraminíferos (King; Howard, 2004), núcleos de gelo (Friedli et al., 1986), medições diretas (Gruber et al., 1999; Keeling, 1979) e entre outros materiais.

De acordo com Friedli et al., (1986), dados obtidos a partir de testemunhos de gelo mostram que o CO_2 de origem antrópica é empobrecido em $\delta^{13}\text{C}$ (-28‰) e desde a revolução industrial a composição isotópica do carbono tem diminuído cerca de $1,14\text{‰}$.

O potencial de *S. stellata* para registrar alterações no $\delta^{13}\text{C}$ em águas do oceano Atlântico Sul já foi constatado e discutido por Pereira et al., (2018). Eles estudaram três colônias dessa espécie e mostraram que todas as colônias exibiram uma tendência negativa no conteúdo do $\delta^{13}\text{C}$. A colônia 12SFB-1 apresentou um decréscimo de $-0,0243\text{‰}$ por ano no período de 1988-2001; 13SS-1 diminuiu $-0,0208\text{‰}$ por ano) entre 1948-2013 e 13SS-2 ($-0,0214\text{‰}$ por ano) entre 1956-2013. Fontes como fotossíntese, irradiação solar e profundidade foram tratadas e descartadas como a causa das mudanças em longo prazo.

Swart et al., (2010) discutem sobre a emissão de CO_2 de origem antropogênica no Atlântico e a magnitude da diminuição do $\delta^{13}\text{C}$ ser maior do que no Oceano Índico e Pacífico. Lee et al., (2003) também confirmam através da medição do carbono inorgânico dissolvido essa distribuição irregular do CO_2 entre esses três oceanos, no qual, o Oceano Atlântico apresentou níveis de $46,9 \pm 8,6$ PgC (bilhões de toneladas) em 1994, no mesmo ano no Oceano Pacífico os níveis foram de $44,5 \pm 5$ PgC e em 1995 no Oceano Índico os níveis foram de $20,3 \pm 3$ PgC.

A tabela 2 exhibe os trabalhos que registram o Efeito Suess em corais e também ressalta o empobrecimento acentuado nos corais coletados no oceano Atlântico. As taxas de empobrecimento obtidas aqui foram menor em relação aos valores obtidos por Pereira et al., (2018) com exceção da colônia SS02D, porém estão próximo de outros valores como o CID do Atlântico Sul ($-0,013\text{‰}$ por ano). O valor e o período da colônia SS02D ($-0,034\text{‰}$ por ano) 1990-2012 está mais próximo do valor da Ilha de Ascensão ($-0,27\text{‰}$ por ano).

Tabela 2. Comparação do $\delta^{13}\text{C}$ dos corais do Atlântico Sul e outras regiões, adaptado Pereira et al., (2018).

| Dados | Localização | Coral | Período | $\delta^{13}\text{C}$ | | | | Taxa de diminuição (%/ano) |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------------------|-------|-------|-----------|----------------------------|
| | | | | média | máx | mín | amplitude | |
| | Atlântico Sul | | | | | | | |
| SS01G | Tinharé-Boipeba | <i>S. stellata</i> | 1971-2012 | 0,13 ($\pm 0,99$) | 2,6 | -2,53 | 5,13 | -0,010 |
| SS02D | Tinharé-Boipeba | <i>S. stellata</i> | 1990-2012 | -1,69 ($\pm 0,55$) | 0,35 | -2,77 | 3,12 | -0,034 |
| SS03D | Tinharé-Boipeba | <i>S. stellata</i> | 1980-2012 | 0,22 ($\pm 0,46$) | 2,18 | -2,27 | 4,45 | -0,009 |
| Pereira et al., (2018) | Atol das Rocas | <i>S. stellata</i> | 1987–2000 | -0,53 ($\pm 0,26$) | 0,13 | -1,19 | 1,32 | -0,013 |
| Pereira et al., (2018) | Atol das Rocas | <i>S. stellata</i> | 1948–2013 | -0,76 ($\pm 0,55$) | 0,58 | -2,76 | 3,34 | -0,025 |
| Pereira et al., (2018) | Atol das Rocas | <i>S. stellata</i> | 1955–2013 | -0,75 ($\pm 0,47$) | 0,51 | -2,06 | 2,57 | -0,021 |
| Dassié et al., (2013) | Fiji | <i>Porites sp.</i> | 1960–1990 | – | – | – | – | -0,014 |
| Swart et al., (2013) | Fiji | Multiplos | 1960–1999 | – | – | – | – | -0,0066 |
| Swart et al., (2013) | Fiji | Multiplos | 1900–1990 | – | – | – | – | -0,0027 |
| Wei et al., (2009) | GBR | <i>Porites sp.</i> | 1950–2004 | – | – | – | – | -0,028 |
| Swart et al., (2013) | Atlântico Norte | Multiplos | 1960–1990 | – | – | – | – | -0,019 |
| Al-Rousan e Felis (2013) | Golfo de Aqaba | <i>Porites</i> | 1974–2004 | – | – | – | – | -0,029 |
| CO ₂ Ilha de Ascensão | Atlântico Sul | – | 1992-2014 | -8,08 ($\pm 0,18$) | -7,48 | -8,87 | 1,34 | -0,027 |
| CID | Atlântico Tropical | | 1991-2003 | 1,77 ($\pm 0,82$) | 1,91 | 1,56 | 0,34 | -0,013 |

Neste trabalho o conteúdo do $\delta^{13}\text{C}$ da espécie *S. stellata* continua exibindo o potencial para registrar alterações no $\delta^{13}\text{C}$ do CO₂ atmosférico, observado por Pereira et al., (2018) em uma ilha oceânica e com valores semelhantes aos de outros trabalhos utilizando corais de outras regiões como Fiji (Dassié et al., 2013 e Swart et a., 2013).

5.1.2 Isótopo de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$)

Séries temporais podem conter sinais cíclicos dominantes que podem variar em magnitude e frequência durante extensos períodos de tempo, utilizando a análise Wavelet do software PAST (*Palaeontological Scientific Trust*) é possível analisar dados em multiescala e analisar essas oscilações dentro do cone de influência e com nível de significância $p=0,05$. Neste trabalho, essa ferramenta foi utilizada para observar as oscilações de curto e longo período do SOI (*Southern Oscillation Index*) e comparar com os registros de isótopo de oxigênio.

O dados do SOI mostram ciclos decadais (2^7) e ciclos curtos de aproximadamente 3 anos ($2^{4,5}$ e $2^{5,6}$) (Fig. 15). Todas as colônias apresentaram ciclos de períodos curtos (Fig. 15) e algumas colônias ciclos decadais: gênero *Siderastrea*: colônia SS01G (2^5 corresponde a 32 amostras) equivale aos anos de 2004, 1994, 1981 e 1971, colônia SS02D ($2^{4,5} = 24$ amostras) 2005, 2000 e 1994 e colônia SS03D ($2^5 = 32$ amostras) 2005, 1995, 1988 e 1980, as três colônias do gênero *Mussismilia* exibiram ciclos com frequência de 47 amostras ($2^{5,4}$): colônia MB01_2C (2006, 2000, 1994 e 1988) colônia MB02D (2009, 2003, 1998 e 1992) e colônia MB03B (2008, 2005 e 1999).

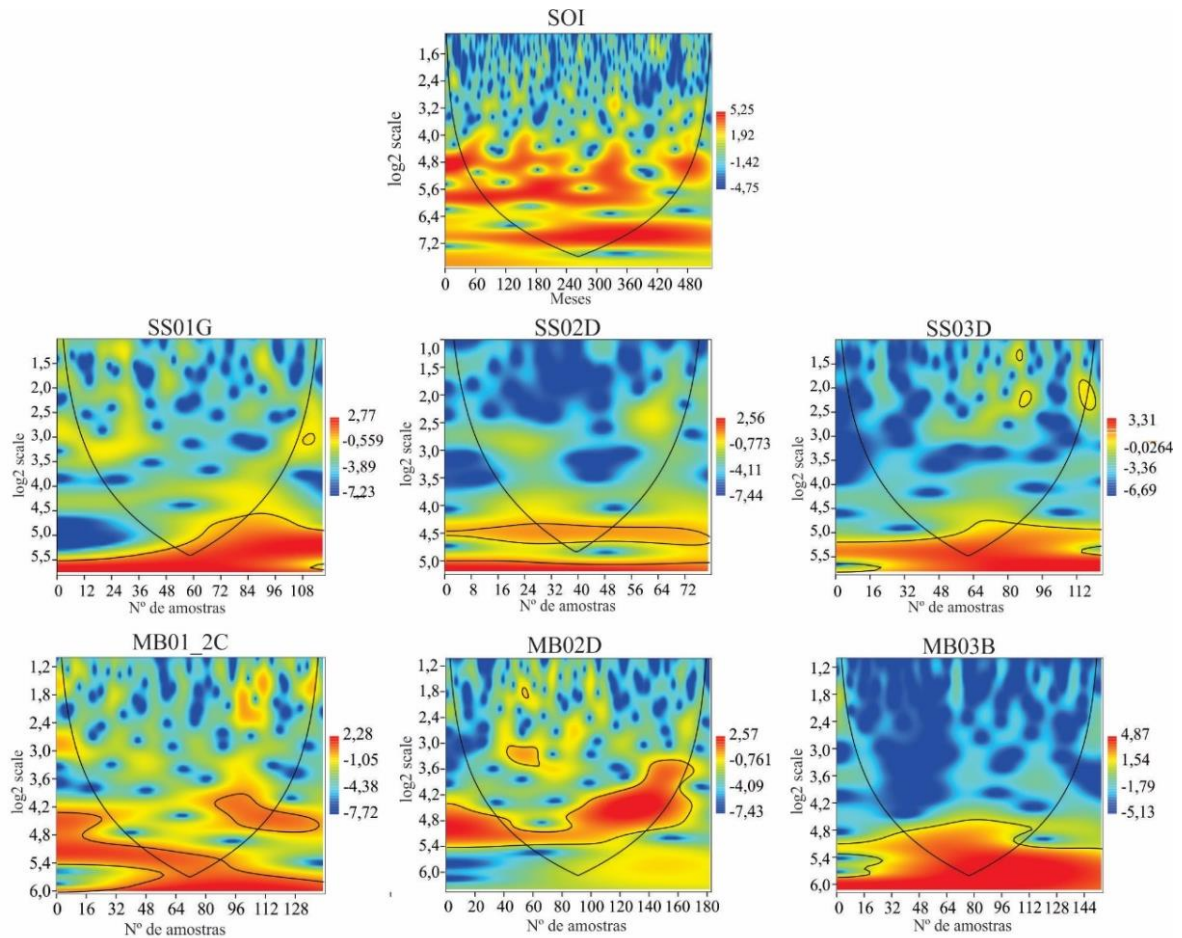


Fig. 15. Análise do Wavelet da série temporal do SOI e de isótopos de oxigênio das três colônias de *Siderastrea* (SS01G, SS02D e SS03D) e *Mussismilia* (MB01_2C, MB02D e MB03B), o espectro de potência wavelet indica as intensidades do sinal para todo o período, variando de baixa (azul) a alta (vermelho). O intervalo de significância de 95% corresponde à área dentro do contorno fechado, enquanto que o contorno em formato de cone (cone de influência) delimita a região em que o efeito de fronteira está presente.

Os ciclos de todas as colônias de ambos os gêneros *Siderastrea* e *Mussismilia* identificados a partir da Fig. 15 correspondem a alguns dos anos que abrange os ciclos maiores e com picos negativos no conteúdo do $\delta^{18}\text{O}$ observados ao longo das séries temporais do oxigênio.

5.1. Taxa de crescimento

A taxa de crescimento para a espécie *S. stellata*, vem sendo medida em algumas regiões utilizando o programa coralXDS (Helmle et al., 2002) como (Pinheiro et al., 2017) que estimaram uma taxa de $6,8 \pm 0,7$ mm/ano. Pereira et al., (2018), utilizando datação pelo método de Urânio-Tório (U/Th) obteve uma taxa com média geral de $3,13 \pm$ mm/ano, ambos os estudos desenvolvido no Atol das Rocas. Suggett et al., (2012), obteve um crescimento de $2,0 \pm 0,17$ mm/ano para uma colônia coletada no Arquipélago de Abrolhos, situado no sul da Bahia, com o programa coralXDS.. Utilizando o método escolhido neste trabalho, que

consiste na medição dos ciclos isotópicos para estimar a taxa de crescimento, ainda não há outros registros para uma comparação mais específica. O crescimento obtido por Pereira et al., (2018) e Suggett et al., (2012) foram o que mais se aproximaram do valor médio obtido nesse estudo $2,13 \pm 0,4$ mm/ano, levando em consideração os métodos diferentes e as características singulares de cada área de estudo.

Os registros que se têm da taxa de crescimento para a espécie *Mussismilia braziliensis* também foram obtidos utilizando o programa coralXDS (Helmle et al., 2002), Leão 2003, Suggett et al., (2012) e (Kikuchi; Oliveira; Leão, 2013) estimaram para colônias coletadas no Arquipélago de Abrolhos, um crescimento médio de 8,0 mm/ano, $6,5 \pm 0,16$ mm/ano e $9,3 \pm 0,16$ mm/ano respectivamente. Comparando os valores obtidos para Abrolhos com o valor médio de crescimento das colônias de Garapuí $5,4 \pm 0,8$ mm/ano nos recifes de Abrolhos, as colônias apresentaram uma taxa média de crescimento mais alta. Essa diferença pode estar relacionada não só a utilização de métodos distintos, mas também às condições locais, colônias de Garapuí estavam se desenvolvendo em profundidades mais rasas do que as dos trabalhos utilizados para comparação, e, durante o período de vida das colônias de Garapuí, essas colônias estiveram mais expostas às alterações ambientais.

Avaliar a taxa e o padrão de crescimento da colônia é fundamental para a comparação entre diferentes espécies de corais, em diferentes regiões e condições ambientais (Carricart-Ganivet; Merino, 2001; Robinson et al., 2014), além disso, possibilita correlacionar com variáveis ambientais e eventos climáticos.

As colônias MB02D e SS02D apresentaram uma taxa de crescimento alta durante o ano de 2002. Em 2004 a colônia MB02D também exibiu um crescimento elevado, sendo que no ano de 2010 as três colônias de *Siderastrea* spp. exibiram o mesmo padrão de crescimento máximo, assim como as colônias MB01_2C e MB03B da espécie *M. braziliensis*. Enquanto que o crescimento lento para as colônias SS02D e SS03D corresponde ao ano de 2012 e para as colônias MB01_2C e MB02D. Estes resultados mostram que os padrões de crescimento podem ser diferentes devido fatores como profundidade, entre colônias de um mesmo local geográfico e colônias da mesma espécie.

6. Conclusão

Nós apresentamos nesse estudo informações baseadas em duas espécies de coral *Siderastrea stellata* e *Mussismilia braziliensis* sendo o primeiro registro acerca da taxa de crescimento estimada a partir de ciclos isotópicos, bem como registros isotópicos e padrão de série temporal $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para espécie *M. braziliensis*.

As variações no $\delta^{13}\text{C}$ em curto prazo foram compreendidas como sendo regida pela fisiologia do coral, principalmente pela variação na razão Fotossíntese/Respiração e adicionalmente para a espécie *M. braziliensis*, o comportamento heterotrófico favorecido por características morfológicas.

A tendência negativa em longo prazo observado na série temporal de $\delta^{13}\text{C}$ das três colônias da espécie *S. stellata* (-0,010 a -0,034‰ por ano) está relacionada ao empobrecimento isotópico do CO_2 atmosférico conhecido como Efeito Suess, a taxa de diminuição no $\delta^{13}\text{C}$ de todas as colônias são semelhantes aos valores de outros trabalhos que registram o Efeito Suess a partir de corais e a valores de dados de CO_2 atmosférico e do Carbono inorgânico dissolvido do oceano Atlântico Tropical.

Registro isotópico de carbono com base em corais da espécie *S. stellata* mostra-se uma ferramenta com potencial para contar historicamente a mudança isotópica que vem ocorrendo no CO_2 do oceano Atlântico Sul Equatorial.

Registro a partir do conteúdo isotópico da espécie *M. braziliensis* ainda são escassos e o seu potencial em registrar alterações em longo prazo gera dúvidas, levando em consideração o comportamento observado apenas na colônia MB01_2C, obter outros registros utilizando colônias mais longas são necessários para compreender essa espécie e então consolida-la como um arquivo paleoclimático confiável para esta porção do oceano.

Agradecimentos

Agradecemos a Lucas Rocha, Lismaria Gonçalves pela assistência no desenvolvimento desse estudo. O subsidio da bolsa de mestrado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior concedida pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal da Bahia e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ambientes Marinhos Tropicais (INCT AmbiTropic) pelo apoio financeiro.

Referências

- Adkins, J.F., Boyle, E.A., Curry, W.B., Lutringer, A., 2003. Stable Isotopes in Deep-Sea Corals and a New Mechanism for “ Vital Effects .” *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 1129–1143.
- Al-Rousan, S., Felis, T., 2013. Long-term variability in the stable carbon isotopic composition of Porites corals at the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 381–382, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.03.025>
- Bohm, F., Joachimski, M.M., Lehnert, H., Morgenroth, G., Kretschmer, W., Vacelet, J., W.-Chr, D., 1996. Carbon isotope records from extant Caribbean and South Pacific sponges : Evolution of $\delta^{13}\text{C}$ in surface water DIC. *Earth Planet. Sci. Lett.* 139, 291–303.
- Carricart-Ganivet, J.P., Merino, M., 2001. Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 68, 133–146.
- Chung, S.-N., Lee, K., Feely, R. A., Sabine, C.L., Millero, F.J., Wanninkhof, R., Bullister, J.L., Key, R.M., Peng, T.-H., 2003. Calcium carbonate budget in the Atlantic Ocean based on water column inorganic carbon chemistry. *Global Biogeochem. Cycles* 17, 1–16. <https://doi.org/10.1029/2002GB002001>
- Dassié, E.P., Lemley, G.M., Linsley, B.K., 2013. The Suess effect in Fiji coral $\delta^{13}\text{C}$ and its potential as a tracer of anthropogenic CO_2 uptake. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 370, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.11.012>
- Deng, W., Chen, X., Wei, G., Zeng, T., Zhao, J. -x., 2017. Decoupling of coral skeletal $\delta^{13}\text{C}$ and solar irradiance over the past millennium caused by the oceanic Suess effect. *Paleoceanography* 32, 161–171. <https://doi.org/10.1002/2016PA003049>
- Druffel, E.R.M., Benavides, L.M., 1986. Input of excess CO_2 to the surface ocean based on $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in a banded Jamaican sclerosponges. *Lett. to Nat.* 321, 58–61.
- Erez, J., 1978. Vital effect on stable-isotope composition seen in foraminifera and coral skeletons. *Nature* 273.
- Fairbanks, R.G., Dodge, R.E., 1979. Annual periodicity of the the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and ratios in the coral *Montastrea annularis*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43, 1009–1020.

[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(79\)90090-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90090-5)

- Freitas, L.M., Oliveira, M.D.M., Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., 2019. Effects of turbidity and depth on the bioconstruction of the Abrolhos reefs. *Coral Reefs*.
<https://doi.org/10.1007/s00338-019-01770-3>
- Friedli, H., Löttscher, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., Stauffer, B., 1986. Ice core record of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO_2 in the past two centuries. *Nature* 324, 237–238.
- Gagan, M.K., Chivas, A.R., Isdale, P.J., 1994. High-resolution isotopic records from corals using ocean temperature and mass-spawning chronometers. *Earth Planet. Sci. Lett.* 121, 549–558. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(94\)90090-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(94)90090-6)
- Goodkin, N.F., Druffel, E.R.M., Hughen, K.A., Doney, S.C., 2012. Two centuries of limited variability in subtropical North Atlantic thermocline ventilation. *Nat. Commun.* 3.
<https://doi.org/10.1038/ncomms1811>
- Helmle, K.P., Kohler, K.E., Dodge, R.E. 2002. Relative Optical Densitometry and The Coral X-radiograph Densitometry System: CoralXDS Presented Poster (omitted from abstract book, but included in program), Int. Soc. Reef Studies 2002 European Meeting. Anais.Cambridge, England. Sept. 4-7.
- Juillet-Leclerc, A., Reynaud, S., 2010. Light effects on the isotopic fractionation of skeletal oxygen and carbon in the cultured zooxanthellate coral, *Acropora*: implications for coral-growth rates. *Biogeosciences* 7, 893–906.
- Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., Leão, Z.M.A.N., 2013. Density banding pattern of the south western Atlantic coral *Mussismilia braziliensis*. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 449, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.09.019>
- Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., Leão, Z.M.A.N., Silva, R.M., Martins, P.M.R., 2008. Os Recifes De Tinharé-Boipeba-Camamu, Bahia. Rio Oil Gas Expo Conf. 1–8.
- King, A.L., Howard, W.R., 2004. Planktonic foraminiferal $\delta^{13}\text{C}$ records from Southern Ocean sediment traps: New estimates of the oceanic Suess effect. *globa* 18, 1–16.
<https://doi.org/10.1029/2003GB002162>
- Lamberts, A.E., 1974. Measurement of alizarin deposited by coral. *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium 2. Great Barrier Reef Committee.* 241-247.
- Leão, Z., Kikuchi, R., Oliveira, M., Vasconcellos, V., 2010. Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes. *Panam. J. Aquat. Sci.* 5, 224–235.
<https://doi.org/10.1016/B978-044451388-5/50003-5>
- Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., 2008. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. *Biota Neotrop.* 8, 69–82. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300006>
- Leder, J.J., Swart, P.K., Szmant, A.M., Dodge, R.E., 1996. The origin of variations in the isotopic record of scleractinian corals: I. Oxygen. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 2871–2885. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(96\)00119-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00119-6)

- Lee, K., Choi, S.-D., Park, G.-H., Wanninkhof, R., Peng, T.-H., Key, R.M., Sabine, C.L., Feely, R.A., Bullister, J.L., Millero, F.J., Kozyr, A., 2003. An updated anthropogenic CO₂ inventory in the Atlantic Ocean. *Global Biogeochem. Cycles* 17, 1–17. <https://doi.org/10.1029/2003GB002067>
- Mariano, A.R., Andrade Sobrinho, R., Cândia Sobrinho, J.G., 2016. Avaliação do potencial hidrogeológico na localidade de Morro de São Paulo (Cairu-BA), in: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. pp. 1–8.
- McConnaughey, T., 1989. 13C and 18O isotopic disequilibrium in biological carbonates : I . Patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 151–162.
- McConnaughey, Ted, 1989. 13C and 18O isotopic disequilibrium in biological carbonates: II. In vitro simulation of kinetic isotope effects. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 163–171.
- Nozaki, Y., Rye, D.M., Turekian, K.K., Dodge, R.E., 1978. A 200 year record of carbon-13 and carbon-14 variations in a Bermuda coral. *Geophys. Res. Lett.* 5, 825–828. <https://doi.org/10.1029/GL005i010p00825>
- Pandolfi, J.M., Connolly, S.R., Marshal, D.J., Cohen, A.L., 2011. Projecting Coral Reef Futures Under Global Warming and Ocean Acidification. *Science* (80-). 333, 418–422. <https://doi.org/10.1126/science.1204794>
- Pätzold, J., 1984. Growth Rhythms recorded in Stable Isotopes and Density Bands in the Reef Coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines). *Coral Reefs* 3, 87–90. <https://doi.org/10.1007/BF00263758>
- Pereira, N.S., Sial, A.N., Kilbourne, K.H., Liu, S.C., Shen, C.C., Ullmann, C. V., Frei, R., Korte, C., Kikuchi, R.K.P., Ferreira, V.P., Braga, B.L.S.S., 2018. Carbon stable isotope record in the coral species *Siderastrea stellata*: A link to the Suess Effect in the tropical South Atlantic Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 497, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.02.007>
- Pinheiro, B.R., Pereira, N.S., Agostinho, P.G.F., Montes, M.J.F., 2017. Population dynamics of *Siderastrea stellata* Verrill, 1868 from Rocas Atoll, RN: Implications for predicted climate change impacts at the only south Atlantic atoll. *An. Acad. Bras. Cienc.* 89, 873–884. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160387>
- Quinn, T.M., Crowley, T.J., Taylor, F.W., Henin, C., Joannot, P., Join, Y., 1998. A multicentury stable isotope record from a New Caledonia coral : Interannual and decadal sea surface temperature variability in the southwest Pacific since 1657 A.D. *Paleoceanography* 13, 412–426.
- Robinson, L.F., Adkins, J.F., Frank, N., Gagnon, A.C., Prouty, N.G., Roark, E.B., Flierdt, T. Van De, 2014. Deep-Sea Research II The geochemistry of deep-sea coral skeletons : A review of vital effects and applications for palaeoceanography. *Deep. Res. Part II* 99, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.06.005>
- Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C.S., Wallace, D.W.R., Tilbrook, B., Millero, F.J., Peng, T.-H., Kozyr, A., Ono, T., Rios, A.F., 2004. The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science* (80-). 305, 367–371.

- Schrag, D.P., Linsley, B.K., 2002. analogous to total in- Applications for photonic crystal fibers ternal reflection, in abound, and are presently being commer-. *Science* (80-.). 296, 277–278.
- Silva, I.R., Nascimento, H.M., Rebouças, R.C., 2009. Avaliação da sensibilidade ambiental das praias localizadas no arquipélago Tinharé/Boipeba, litoral sul do estado da Bahia. *Geociencias* 28, 193–201.
- Suggett, D.J., Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., Spanó, S., Carvalho, R., Smith, D.J., 2012. Photobiology of corals from Brazil's near-shore marginal reefs of Abrolhos. *Mar. Biol.* 159, 1461–1473. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1925-6>
- Swart, P.K., 1983. Carbon and Oxygen Isotope Fractionation in Scleractinian Corals: a Review. *Earth-Science Rev.* 19, 51–80.
- Swart, P.K., Greer, L., Rosenheim, B.E., Moses, C.S., Waite, A.J., Winter, A., Dodge, R.E., Helmle, K., 2010. The ^{13}C Suess effect in scleractinian corals mirror changes in the anthropogenic CO_2 inventory of the surface oceans. *Geophys. Res. Lett.* 37, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2009GL041397>
- Swart, P.K., Leder, J.J., Szmant, A.M., Dodge, R.E., 1996. The origin of variations in the isotopic record of skeractinian corals : II . *Carbon. Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 2871–2885.
- Verburg, P., 2007. The need to correct for the Suess effect in the application of $\delta^{13}\text{C}$ in sediment of autotrophic Lake Tanganyika , as a productivity proxy in the Anthropocene. *J. Palleolimnology* 37, 591–602. <https://doi.org/10.1007/s10933-006-9056-z>
- Weber, J.N., Woodhead, M.J., 1970. Carbon and Oxygen isotope fractionation in the skeletal carbonate of reef-building corals. *Chem. Geol.* 6, 93–117.
- Wei, G., McCulloch, M.T., Mortimer, G., Deng, W., Xie, L., 2009. Evidence for ocean acidification in the Great Barrier Reef of Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta* 73.

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES

A área de estudo forma um importante ecossistema que são os recifes de coral em franja e bancos recifais rasos que estão expostos a variações nas condições ambientais como temperatura, salinidade, ph, CID, turbidez e entre outros.

A análise de isótopos a partir do carbonato de esqueleto de corais possibilita estudar e compreender os parâmetros ambientais que regem o conteúdo geoquímico que é incorporado no esqueleto dos corais. Dessa forma os corais se destacam como importantes arquivos paleoclimático, armazenando informações que possibilitam reconstruir cenários oceanográficos e climáticos do passado em escala centenária.

As espécies utilizadas nesse trabalho *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea stellata* são importantes construtoras dos recifes brasileiros, possuem características distintas que refletem na composição do conteúdo isotópico dos seus esqueletos.

S. stellata é uma espécie, no qual seu conteúdo geoquímico vem sendo mais estudada. Apresentando um potencial em registrar mudanças na composição isotópica do CID da água do mar devido à ação antrópica, esse padrão na série temporal do isótopo de carbono foi inicialmente observado no Atol das Rocas (Pereira et al., 2018) local desprovido de influencias continentais e neste estudo é observado em uma área de estudo próximo a costa.

M. braziliensis é uma espécie que tem seu conteúdo isotópico pouco explorado, apesar de sua limitação geográfica é uma espécie de crescimento rápido que possibilita obter informações com ótima resolução. As séries temporais dessa espécie não registraram tendências a longo prazo, mas a curto prazo processos fisiológicos exercem um forte controle nas taxas de isótopos incorporados.

O presente trabalho mostra que além das fontes naturais, fontes antropogênicas interferem na composição isotópica do esqueleto de corais, as espécies naturais do Atlântico Sul podem servir de importantes arquivos na compreensão histórica do clima dessa porção do oceano. *M. braziliensis* ainda precisa ser melhor estudada e *S. stellata* continua exibindo potencial como ferramenta confiável para registrar o aumento do CO₂ antropogênico mesmo se desenvolvendo em locais com características oceanográficas diferentes.

A área de estudo é um local que possui uma importância social e econômica, sendo um local onde ocorre turismo e pesca, somando com sua importância quanto ecossistema complexo e sensível a mudanças nas condições ambientais, obter dados confiáveis sobre as modificações na composição isotópica do CID do oceano Atlântico Sul Equatorial anterior as medições instrumentais, devido ao aumento de $^{12}\text{CO}_2$ antropogênico na atmosfera é vital para entender e promover ações que preservem esse ecossistema.

APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES

O coautor Dr. José Roberto B. de Souza é físico e coordenador do Laboratório de Espectrometria de Massa do Instituto de Física Nuclear da Universidade Federal da Bahia (UFBA), desenvolve pesquisa com Isótopos Estáveis, sendo responsável pelo treinamento em operar o equipamento e nas correções dos dados durante todo o período de análise.

O coautor Dr. Natan Silva Pereira é biólogo com pós-graduação em Geologia, coordenador do Projeto de Pesquisa Arquivos de corais e Paleoclimatologia do Atlântico Sul projeto integrado ao INCTAmbitropic. Desenvolve pesquisa na área de geoquímica em registros com base em exoesqueleto de corais para estudos paleoclimatológicos no Atlântico Sul, contribuindo na estruturação desta pesquisa, na elaboração do desenho amostral e nas análises estatísticas.

Ambos os pesquisadores citados anteriormente são importantes colaboradores para o desenvolvimento deste artigo.

APÊNDICE B – TABELA COM VALORES ISOTÓPICOS DO CARBONO ($\delta^{13}\text{C}$) E OXIGÊNIO ($\delta^{18}\text{O}$)

| MB01_2C | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
| 1 | 0,5 | -2,34 | 0,06 | -1,70 | 0,05 | 51 | 30,0 | -0,59 | 0,05 | -2,66 | 0,04 |
| 2 | 1,0 | -0,94 | 0,08 | -1,35 | 0,08 | 52 | 30,5 | -2,42 | 0,12 | -2,96 | 0,12 |
| 3 | 1,5 | -0,66 | 0,07 | -1,95 | 0,07 | 53 | 31,0 | -2,90 | 0,08 | -2,55 | 0,09 |
| 4 | 2,0 | -1,60 | 0,09 | -1,26 | 0,07 | 54 | 31,5 | -1,84 | 0,09 | -3,18 | 0,15 |
| 5 | 2,5 | -2,70 | 0,09 | -2,37 | 0,07 | 55 | 32,0 | -2,80 | 0,10 | -2,92 | 0,10 |
| 6 | 3,0 | -0,50 | 0,09 | -2,04 | 0,10 | 56 | 32,5 | -2,40 | 0,06 | | |
| 7 | 3,5 | -1,17 | 0,08 | -1,70 | 0,07 | 57 | 33,0 | -0,26 | 0,06 | -2,93 | 0,06 |
| 8 | 4,0 | -1,31 | 0,08 | -1,38 | 0,06 | 58 | 33,5 | -1,45 | 0,07 | -3,41 | 0,09 |
| 9 | 4,5 | -2,32 | 0,14 | | | 59 | 34,0 | -2,56 | 0,10 | -3,29 | 0,10 |
| 10 | 5,0 | -0,72 | 0,09 | | | 60 | 34,5 | -1,42 | 0,07 | -3,72 | 0,10 |
| 11 | 5,5 | -2,54 | 0,10 | -2,37 | 0,10 | 61 | 35,0 | -1,68 | 0,08 | -3,40 | 0,09 |
| 12 | 6,0 | -1,21 | 0,07 | -1,67 | 0,12 | 62 | 35,5 | -2,02 | 0,10 | | |
| 13 | 6,5 | 0,38 | 0,09 | -2,78 | 0,08 | 63 | 36,0 | -2,01 | 0,10 | -3,54 | 0,10 |
| 14 | 7,0 | -0,42 | 0,14 | -3,05 | 0,15 | 64 | 36,5 | -1,99 | 0,07 | -3,20 | 0,10 |
| 15 | 7,5 | -0,04 | 0,09 | -2,88 | 0,10 | 65 | 37,0 | -1,68 | 0,10 | -2,80 | 0,11 |
| 16 | 8,0 | -1,53 | 0,10 | | | 66 | 37,5 | -1,97 | 0,09 | -3,65 | 0,07 |
| 17 | 8,5 | -2,60 | 0,10 | -3,01 | 0,09 | 67 | 38,0 | -0,35 | 0,07 | -3,91 | 0,08 |
| 18 | 9,0 | -1,83 | 0,09 | -2,09 | 0,08 | 68 | 38,5 | -1,81 | 0,08 | | |
| 19 | 9,5 | -3,12 | 0,09 | -2,83 | 0,09 | 69 | 39,0 | -1,07 | 0,09 | -3,90 | 0,11 |
| 20 | 10,0 | -1,15 | 0,09 | -2,72 | 0,10 | 70 | 39,5 | -1,39 | 0,07 | -3,94 | 0,10 |
| 21 | 11,0 | -1,24 | 0,10 | | 0,07 | 71 | 40,0 | -1,07 | 0,10 | -3,91 | 0,10 |
| 22 | 12,0 | -1,92 | 0,09 | -2,36 | 0,10 | 72 | 40,5 | 0,10 | 0,05 | -4,02 | 0,09 |
| 23 | 12,5 | -0,47 | 0,10 | -2,69 | 0,12 | 73 | 41,0 | -0,02 | 0,09 | -3,86 | 0,10 |
| 24 | 15,0 | -1,39 | 0,09 | -2,41 | 0,10 | 74 | 41,5 | -0,75 | 0,09 | -3,85 | 0,08 |
| 25 | 15,5 | -1,51 | 0,13 | | | 75 | 42,0 | -0,41 | 0,07 | -3,51 | 0,08 |
| 26 | 16,0 | -1,53 | 0,04 | | | 76 | 42,5 | -0,72 | 0,09 | -3,63 | 0,09 |
| 27 | 16,5 | -1,30 | 0,07 | | | 77 | 43,0 | -1,42 | 0,10 | -3,69 | 0,08 |
| 28 | 17,0 | -1,42 | 0,05 | | | 78 | 43,5 | -0,83 | 0,09 | -3,28 | 0,05 |
| 29 | 17,5 | -0,15 | 0,10 | -2,77 | 0,10 | 79 | 44,0 | 0,49 | 0,11 | -3,28 | 0,09 |
| 30 | 18,0 | -2,70 | 0,10 | -2,84 | 0,09 | 80 | 44,5 | -0,50 | 0,11 | -2,83 | 0,07 |
| 31 | 18,5 | -2,28 | 0,12 | -2,92 | 0,10 | 81 | 45,0 | -0,41 | 0,13 | -3,52 | 0,08 |
| 32 | 19,0 | -1,53 | 0,08 | -2,24 | 0,10 | 82 | 45,5 | -0,87 | 0,09 | -3,65 | 0,09 |
| 33 | 19,5 | -1,73 | 0,10 | -2,70 | 0,10 | 83 | 46,0 | -0,81 | 0,09 | -2,92 | 0,08 |
| 34 | 20,0 | -2,72 | 0,08 | -2,17 | 0,10 | 84 | 46,5 | -1,06 | 0,10 | -3,05 | 0,09 |
| 35 | 20,5 | -1,95 | 0,07 | -2,77 | 0,10 | 85 | 47,0 | -2,17 | 0,09 | -3,07 | 0,10 |
| 36 | 21,0 | -0,49 | 0,09 | -2,35 | | 86 | 47,5 | -1,87 | 0,09 | -2,95 | 0,08 |
| 37 | 21,5 | -2,91 | 0,08 | -2,49 | 0,12 | 87 | 48,0 | -1,29 | 0,08 | -2,89 | 0,10 |
| 38 | 22,0 | -2,82 | 0,10 | -2,58 | 0,15 | 88 | 48,5 | -1,49 | 0,10 | -3,32 | 0,10 |
| 39 | 22,5 | -1,80 | 0,09 | -3,62 | 0,10 | 89 | 49,0 | 0,54 | 0,10 | -2,97 | 0,09 |
| 40 | 23,0 | -1,81 | 0,09 | -2,76 | 0,09 | 90 | 48,5 | -1,18 | 0,09 | -3,24 | 0,07 |
| 41 | 23,5 | -1,27 | 0,09 | -2,48 | 0,10 | 91 | 50,0 | 0,41 | 0,08 | -2,76 | 0,09 |
| 42 | 24,0 | -3,15 | 0,14 | -2,86 | 0,06 | 92 | 50,5 | -1,74 | 0,08 | -2,57 | 0,10 |
| 43 | 25,0 | -1,57 | 0,07 | | | 93 | 51,0 | 1,50 | 0,09 | -2,46 | 0,11 |
| 44 | 25,5 | -1,94 | 0,08 | | | 94 | 51,5 | -0,68 | 0,10 | -2,11 | 0,09 |
| 45 | 26,0 | -1,51 | 0,10 | -3,09 | 0,10 | 95 | 52,0 | 0,82 | 0,07 | -2,29 | 0,07 |
| 46 | 26,5 | -0,37 | 0,09 | -3,05 | 0,09 | 96 | 52,5 | -2,65 | 0,11 | -2,55 | 0,09 |
| 47 | 27,0 | -1,10 | 0,09 | -3,04 | 0,06 | 97 | 53,0 | -1,25 | 0,09 | -2,63 | 0,10 |
| 48 | 27,5 | -1,63 | 0,07 | -3,77 | 0,10 | 98 | 53,5 | 1,49 | 0,08 | -2,65 | 0,08 |
| 49 | 28,0 | -1,38 | 0,09 | -3,08 | 0,09 | 99 | 54,0 | 2,14 | 0,09 | -2,11 | 0,08 |
| 50 | 29,0 | -1,72 | 0,10 | -2,91 | 0,09 | 100 | 54,5 | | | -2,75 | 0,09 |

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 101 | 55,0 | 2,64 | 0,09 | | | 160 | 88,5 | -2,50 | 0,09 | -2,86 | 0,14 |
| 102 | 55,5 | 0,66 | 0,10 | | | 161 | 89,5 | -1,19 | 0,10 | -3,82 | 0,07 |
| 103 | 56,0 | 0,14 | 0,09 | | | 162 | 90,0 | -3,13 | 0,10 | -3,44 | 0,11 |
| 104 | 56,5 | 1,00 | 0,09 | | | 163 | 91,5 | | | | |
| 105 | 57,0 | 1,26 | 0,08 | | | 164 | 92,0 | | | | |
| 106 | 57,5 | 0,89 | 0,11 | -2,44 | 0,10 | 165 | 93,0 | | | | |
| 107 | 58,0 | 1,37 | 0,06 | -2,82 | 0,09 | 166 | 93,5 | -2,67 | 0,08 | -3,18 | 0,09 |
| 108 | 59,0 | 1,17 | 0,08 | -2,77 | 0,07 | 167 | 94,0 | -2,62 | 0,10 | -3,34 | 0,10 |
| 109 | 60,0 | 0,94 | 0,08 | -2,25 | 0,09 | 168 | 94,5 | | | | |
| 110 | 60,5 | -0,82 | 0,11 | -3,19 | 0,12 | 169 | 95,0 | | | | |
| 111 | 61,0 | 3,35 | 0,09 | -3,02 | 0,08 | 170 | 95,5 | | | | |
| 112 | 61,5 | 2,64 | 0,07 | -3,11 | 0,09 | 171 | 96,0 | | | | |
| 113 | 62,0 | 3,56 | 0,18 | -3,11 | 0,12 | 172 | 96,5 | | | | |
| 114 | 62,5 | | | | | 173 | 97,0 | -1,30 | 0,09 | -3,76 | 0,12 |
| 115 | 63,0 | -0,02 | 0,13 | -3,20 | 0,17 | 174 | 97,5 | -3,17 | 0,11 | | |
| 116 | 64,0 | 2,22 | 0,05 | | | 175 | 98,0 | -3,48 | 0,12 | | |
| 117 | 64,5 | -0,24 | 0,14 | -2,81 | 0,16 | 176 | 98,5 | 0,08 | 0,09 | -3,06 | 0,06 |
| 118 | 65,5 | 0,17 | 0,10 | -2,78 | 0,11 | 177 | 99,5 | -1,58 | 0,06 | -3,79 | 0,10 |
| 119 | 66,0 | -1,38 | 0,10 | -3,03 | 0,10 | 178 | 100,0 | -3,89 | 0,07 | | |
| 120 | 66,5 | 1,98 | 0,09 | -2,85 | 0,08 | 179 | 100,5 | -2,22 | 0,07 | | |
| 121 | 67,0 | -0,42 | 0,16 | -1,00 | 0,18 | 180 | 101,0 | -3,55 | 0,13 | | |
| 122 | 68,0 | -0,33 | 0,13 | -1,88 | 0,14 | 181 | 101,5 | -1,94 | 0,10 | -4,25 | 0,09 |
| 123 | 68,5 | 2,19 | 0,10 | -2,91 | 0,09 | 182 | 102,0 | -2,64 | 0,10 | | |
| 124 | 69,0 | 1,08 | 0,09 | | | 183 | 102,5 | -3,39 | 0,11 | | |
| 125 | 69,5 | 0,56 | 0,11 | | | 184 | 103,0 | -3,31 | 0,11 | | |
| 126 | 70,0 | 3,30 | 0,07 | | | 185 | 103,5 | | | | |
| 127 | 70,5 | | | | | 186 | 104,0 | -1,51 | 0,07 | -3,57 | 0,09 |
| 128 | 71,0 | | | | | 187 | 104,5 | -2,61 | 0,12 | -2,84 | 0,10 |
| 129 | 71,5 | 1,12 | 0,12 | -2,92 | 0,23 | 188 | 105,0 | -1,22 | 0,10 | -4,62 | 0,08 |
| 130 | 72,0 | 1,60 | 0,09 | -2,61 | 0,09 | 189 | 105,5 | -1,74 | 0,10 | -3,54 | 0,09 |
| 131 | 72,5 | 1,86 | 0,09 | -2,50 | 0,09 | 190 | 106,0 | -2,75 | 0,13 | -3,66 | 0,09 |
| 132 | 73,0 | 2,18 | 0,08 | | | 191 | 108,0 | | | | |
| 133 | 73,5 | 2,02 | 0,07 | | | 192 | 109,0 | -1,00 | 0,09 | -3,78 | 0,09 |
| 134 | 74,0 | 1,42 | 0,08 | -3,70 | 0,10 | 193 | 111,5 | | | | |
| 135 | 74,5 | -1,43 | 0,10 | -3,46 | 0,11 | 194 | 112,5 | -0,08 | 0,08 | -3,41 | 0,06 |
| 136 | 75,0 | 0,92 | 0,05 | -3,68 | 0,08 | 195 | 113,0 | -2,07 | 0,08 | | |
| 137 | 75,5 | -1,18 | 0,09 | -3,94 | 0,08 | 196 | 114,0 | -3,30 | 0,14 | | |
| 138 | 76,0 | 0,32 | 0,07 | -2,65 | 0,06 | 197 | 114,5 | -3,39 | 0,12 | | |
| 139 | 76,5 | 3,15 | 0,06 | | | | | | | | |
| 140 | 77,0 | 2,13 | 0,08 | -3,07 | 0,09 | | | | | | |
| 141 | 77,5 | 2,58 | 0,11 | -4,74 | 0,08 | | | | | | |
| 142 | 78,0 | 0,10 | 0,13 | | | | | | | | |
| 143 | 79,0 | 0,71 | 0,05 | -3,43 | 0,08 | | | | | | |
| 144 | 79,5 | 0,60 | 0,14 | -3,54 | 0,20 | | | | | | |
| 145 | 80,0 | 0,03 | 0,07 | -3,74 | 0,06 | | | | | | |
| 146 | 80,5 | -1,05 | 0,09 | -3,24 | 0,08 | | | | | | |
| 147 | 81,0 | -0,13 | 0,09 | -3,14 | 0,13 | | | | | | |
| 148 | 81,5 | | | | | | | | | | |
| 149 | 82,0 | 2,65 | 0,09 | -3,58 | 0,10 | | | | | | |
| 150 | 82,5 | 2,77 | 0,09 | -2,98 | 0,10 | | | | | | |
| 151 | 83,0 | 1,03 | 0,08 | -3,46 | 0,10 | | | | | | |
| 152 | 83,5 | -1,66 | 0,09 | -3,14 | 0,11 | | | | | | |
| 153 | 84,0 | 1,45 | 0,10 | -3,68 | 0,10 | | | | | | |
| 154 | 84,5 | 3,00 | 0,10 | | | | | | | | |
| 155 | 85,0 | 0,72 | 0,10 | -3,05 | 0,10 | | | | | | |
| 156 | 85,5 | 1,58 | 0,08 | -3,35 | 0,09 | | | | | | |
| 157 | 86,0 | 3,24 | 0,08 | -2,87 | 0,06 | | | | | | |
| 158 | 86,5 | 1,38 | 0,09 | -3,11 | 0,09 | | | | | | |
| 159 | 87,0 | 1,01 | 0,06 | -3,05 | 0,08 | | | | | | |

| MB02D | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
| 1 | 0,5 | 3,44 | 0,07 | -2,88 | 0,08 | 59 | 51,0 | -2,25 | 0,09 | -2,26 | 0,10 |
| 2 | 1,0 | 1,73 | 0,07 | -2,75 | 0,10 | 60 | 51,5 | -1,72 | 0,08 | -2,8 | 0,09 |
| 3 | 1,5 | -0,6 | 0,10 | -3,11 | 0,09 | 61 | 52,0 | -0,39 | 0,11 | -1,77 | 0,09 |
| 4 | 2,0 | 1,78 | 0,10 | -3,32 | 0,08 | 62 | 52,5 | -2,81 | 0,08 | -2,88 | 0,07 |
| 5 | 3,0 | -1,08 | 0,09 | -2,46 | 0,11 | 63 | 53,0 | -1,94 | 0,10 | -2,77 | 0,12 |
| 6 | 3,5 | 1,45 | 0,10 | -2,5 | 0,07 | 64 | 53,5 | -2,57 | 0,09 | -3,72 | 0,10 |
| 7 | 4,0 | 3,99 | 0,09 | -2,54 | 0,09 | 65 | 54,0 | -0,59 | 0,11 | -2,94 | 0,08 |
| 8 | 4,5 | 1,44 | 0,10 | -2,78 | 0,09 | 66 | 54,5 | -0,01 | 0,12 | -2,05 | 0,18 |
| 9 | 5,0 | 0,42 | 0,09 | -2,59 | 0,11 | 67 | 55,0 | -1,78 | 0,09 | -2,49 | 0,09 |
| 10 | 6,5 | 2,71 | 0,09 | -2,04 | 0,07 | 68 | 55,5 | -2,18 | 0,08 | | |
| 11 | 7,0 | 1,26 | 0,08 | -2,19 | 0,10 | 69 | 56,0 | 0,26 | 0,10 | -2,31 | 0,10 |
| 12 | 7,5 | 2,00 | 0,09 | -2,02 | 0,10 | 70 | 56,5 | 2,9 | 0,07 | -2,02 | 0,09 |
| 13 | 8,5 | 1,36 | 0,07 | -1,78 | 0,09 | 71 | 57,0 | 0,44 | 0,09 | -2,38 | 0,09 |
| 14 | 9,0 | 0,28 | 0,14 | -2,14 | 0,10 | 72 | 57,5 | -1,24 | 0,11 | -2,42 | 0,07 |
| 15 | 10,5 | 1,26 | 0,07 | -1,57 | 0,08 | 73 | 58,0 | -1,21 | 0,09 | -2,74 | 0,08 |
| 16 | 11,5 | 0,64 | 0,08 | -2,07 | 0,09 | 74 | 58,5 | -1,69 | 0,09 | -3,16 | 0,09 |
| 17 | 12,0 | 1,71 | 0,10 | -1,65 | 0,10 | 75 | 59,0 | -2,7 | 0,16 | -2,18 | 0,09 |
| 18 | 12,5 | 2,00 | 0,09 | -1,8 | 0,10 | 76 | 59,5 | -2,51 | 0,07 | -2,32 | 0,12 |
| 19 | 13,0 | 1,17 | 0,10 | 2,12 | 0,09 | 77 | 60,0 | | | | |
| 20 | 14,5 | 2,22 | 0,12 | -1,71 | 0,13 | 78 | 61,0 | 0,55 | 0,07 | -3,66 | 0,08 |
| 21 | 15,5 | 2,99 | 0,10 | | | 79 | 61,5 | -0,89 | 0,10 | -2,52 | 0,10 |
| 22 | 17,5 | -1,46 | 0,15 | -2,58 | 0,11 | 80 | 62,5 | -0,79 | 0,12 | | |
| 23 | 18,0 | 2,13 | 0,07 | -2,48 | 0,09 | 81 | 63,5 | -0,33 | 0,08 | -3,32 | 0,08 |
| 24 | 19,0 | 3,32 | 0,08 | -2,23 | 0,10 | 82 | 64,0 | -0,36 | 0,10 | -2,74 | 0,10 |
| 25 | 21,0 | -0,54 | 0,11 | -2,37 | 0,11 | 83 | 64,5 | -1,64 | 0,12 | -2,92 | 0,10 |
| 26 | 21,5 | 1,63 | 0,10 | -2,55 | 0,10 | 84 | 65,0 | -0,93 | 0,10 | -2,73 | 0,10 |
| 27 | 23,0 | 0,65 | 0,09 | -2,41 | 0,09 | 85 | 65,5 | -1,94 | 0,06 | -2,91 | 0,09 |
| 28 | 25,0 | -0,87 | 0,09 | -2,49 | 0,07 | 86 | 66,0 | -1,08 | 0,10 | -2,61 | 0,10 |
| 29 | 26,0 | 2,51 | 0,06 | -2,48 | 0,14 | 87 | 66,5 | -0,79 | 0,08 | -1,99 | 0,09 |
| 30 | 26,5 | | | -2,3 | 0,11 | 88 | 67,0 | 2,75 | 0,08 | -2,57 | 0,08 |
| 31 | 27,0 | 0,88 | 0,08 | -2,46 | 0,10 | 89 | 67,5 | -1,18 | 0,09 | -2,33 | 0,08 |
| 32 | 27,5 | 1,67 | 0,14 | -2,67 | 0,10 | 90 | 68,0 | -0,33 | 0,08 | -2,53 | 0,10 |
| 33 | 28,0 | 0,95 | 0,08 | -2,74 | 0,09 | 91 | 68,5 | -1,29 | 0,07 | -3,68 | 0,09 |
| 34 | 29,0 | 3,06 | 0,09 | -2,68 | 0,08 | 92 | 69,5 | 0,13 | 0,06 | -3,23 | 0,09 |
| 35 | 30,0 | 3,2 | 0,09 | -2,46 | 0,08 | 93 | 70,0 | 0,2 | 0,08 | -3,36 | 0,08 |
| 36 | 31,0 | 2,86 | 0,17 | -2,8 | 0,13 | 94 | 71,0 | 2,87 | 0,05 | -2,43 | 0,09 |
| 37 | 32,5 | -0,63 | 0,11 | -3,41 | 0,15 | 95 | 71,5 | 0,89 | 0,10 | -2,47 | 0,07 |
| 38 | 33,0 | 0,99 | 0,23 | -2,5 | 0,09 | 96 | 72,0 | -0,15 | 0,08 | -2,02 | 0,06 |
| 39 | 34,0 | 1,17 | 0,09 | -2,62 | 0,09 | 97 | 72,5 | -2,5 | 0,10 | -3,06 | 0,14 |
| 40 | 35,0 | 0,16 | 0,14 | -2,47 | 0,10 | 98 | 73,0 | -0,8 | 0,14 | -2,7 | 0,10 |
| 41 | 35,5 | 0,76 | 0,43 | -2,44 | 0,34 | 99 | 73,5 | -1,93 | 0,06 | -2,82 | 0,09 |
| 42 | 36,5 | 3,6 | 0,09 | -2,41 | 0,09 | 100 | 74,0 | -1,14 | 0,11 | -2,58 | 0,09 |
| 43 | 37,0 | 1,12 | 0,09 | -2,77 | 0,09 | 101 | 74,5 | -1,66 | 0,10 | -2,24 | 0,09 |
| 44 | 39,5 | 1,35 | 0,03 | -3,5 | 0,76 | 102 | 76,0 | 1,1 | 0,04 | -2,11 | 0,09 |
| 45 | 40,5 | 1,43 | 0,10 | -3,11 | 0,08 | 103 | 76,5 | 2,32 | 0,12 | -3,03 | 0,14 |
| 46 | 42,0 | -0,82 | 0,08 | -1,88 | 0,10 | 104 | 78,5 | 0,15 | 0,14 | -2,57 | 0,13 |
| 47 | 43,0 | -1,28 | 0,08 | -1,91 | 0,09 | 105 | 79,0 | 1,17 | 0,10 | -1,93 | 0,16 |
| 48 | 43,5 | -2,5 | 0,11 | -2,01 | 0,14 | 106 | 80,0 | -0,92 | 0,16 | -3,35 | 0,10 |
| 49 | 44,5 | -1,27 | 0,09 | -1,95 | 0,10 | 107 | 80,5 | -1,29 | 0,07 | -2,71 | 0,08 |
| 50 | 45,0 | 2,04 | 0,08 | -2,22 | 0,09 | 108 | 81,5 | -1,84 | 0,07 | -2,35 | 0,10 |
| 51 | 45,5 | -1,4 | 0,14 | -1,63 | 0,11 | 109 | 82,0 | -1,91 | 0,08 | -2,48 | 0,08 |
| 52 | 46,0 | -1,73 | 0,14 | -3 | 0,15 | 110 | 82,5 | -2,16 | 0,10 | -2,61 | 0,09 |
| 53 | 47,0 | -1,07 | 0,13 | -2,74 | 0,12 | 111 | 83,0 | 0,56 | 0,09 | -3,01 | 0,11 |
| 54 | 47,5 | -0,44 | 0,08 | -2,21 | 0,10 | 112 | 84,0 | -0,76 | 0,12 | -3,41 | 0,14 |
| 55 | 48,5 | 0,25 | 0,09 | -2,64 | 0,08 | 113 | 85,0 | -0,38 | 0,10 | -2,97 | 0,09 |
| 56 | 49,0 | -1,51 | 0,10 | -3,26 | 0,07 | 114 | 85,5 | -1,12 | 0,07 | -2,35 | 0,08 |
| 57 | 49,5 | 1,05 | 0,08 | -1,73 | 0,10 | 115 | 86,0 | 1,74 | 0,09 | -3,58 | 0,09 |
| 58 | 50,0 | -1,13 | 0,12 | -1,78 | 0,12 | 116 | 86,5 | -0,26 | 0,15 | | |

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 117 | 87,0 | 2,26 | 0,09 | -3,65 | 0,11 | 172 | 126,5 | -2,42 | 0,08 | -3,06 | 0,10 |
| 118 | 88,0 | -1,44 | 0,14 | -3,88 | 0,09 | 173 | 127,0 | -3,38 | 0,12 | -3,25 | 0,07 |
| 119 | 89,5 | -1,88 | 0,10 | | | 174 | 127,5 | -2,9 | 0,09 | -3,02 | 0,09 |
| 120 | 90,0 | 3,33 | 0,09 | -3,51 | 0,09 | 175 | 128,0 | -3,6 | 0,14 | -3,21 | 0,12 |
| 121 | 90,5 | 1,09 | 0,08 | -3,63 | 0,15 | 176 | 128,5 | -2,98 | 0,07 | -2,94 | 0,09 |
| 122 | 91,0 | 1,09 | 0,08 | -3,34 | 0,08 | 177 | 129,0 | -2,76 | 0,08 | -2,37 | 0,09 |
| 123 | 92,0 | -0,8 | 0,09 | -3,29 | 0,09 | 178 | 129,5 | -0,18 | 0,08 | -2,9 | 0,08 |
| 124 | 93,0 | -0,32 | 0,08 | -3,12 | 0,08 | 179 | 130,0 | -3,05 | 0,09 | -2,68 | 0,08 |
| 125 | 93,5 | 0,81 | 0,14 | -2,88 | 0,09 | 180 | 130,5 | -2,42 | 0,08 | -2,85 | 0,09 |
| 126 | 94,0 | -1,19 | 0,12 | -3,08 | 0,16 | 181 | 131,0 | -3,12 | 0,07 | -3,87 | 0,10 |
| 127 | 94,5 | 0,98 | 0,12 | -2,7 | 0,12 | 182 | 131,5 | -2,51 | 0,12 | | |
| 128 | 95,0 | 0,24 | 0,08 | -2,83 | 0,07 | 183 | 132,0 | -2,09 | 0,06 | -3,5 | 0,09 |
| 129 | 95,5 | -3,78 | 0,06 | | | 184 | 132,5 | -2,04 | 0,08 | -3,62 | 0,09 |
| 130 | 96,0 | -1,57 | 0,09 | -2,73 | 0,10 | 185 | 133,5 | -0,09 | 0,05 | -2,78 | 0,12 |
| 131 | 98,0 | -0,04 | 0,08 | -2,26 | 0,12 | 186 | 134,0 | -1,57 | 0,06 | -2,81 | 0,07 |
| 132 | 98,5 | 2,17 | 0,08 | -1,8 | 0,07 | 187 | 134,5 | -2,91 | 0,08 | -2,79 | 0,08 |
| 133 | 99,0 | 2,45 | 0,09 | -1,78 | 0,09 | 188 | 135,5 | -2,77 | 0,14 | -3,08 | 0,10 |
| 134 | 100,0 | 2,28 | 0,07 | -1,65 | 0,05 | 189 | 136,0 | 3,6 | 0,06 | -3,13 | 0,09 |
| 135 | 100,5 | 1,92 | 0,09 | | | 190 | 136,5 | -2,96 | 0,11 | -2,87 | 0,13 |
| 136 | 101,0 | 0,99 | 0,09 | -1,81 | 0,09 | 191 | 137,0 | -3,4 | 0,10 | -2,6 | 0,09 |
| 137 | 101,5 | -0,97 | 0,11 | -2,56 | 0,12 | 192 | 139,5 | -1,39 | 0,04 | -2,48 | 0,11 |
| 138 | 102,0 | 0,05 | 0,08 | -2,2 | 0,08 | 193 | 140,0 | -0,49 | 0,04 | -3,33 | 0,07 |
| 139 | 102,5 | -0,8 | 0,12 | -2,47 | 0,10 | 194 | 140,5 | -3,61 | 0,14 | | |
| 140 | 103,0 | 0,38 | 0,13 | -2,41 | 0,07 | 195 | 141,0 | -1,8 | 0,06 | | |
| 141 | 103,5 | 1,55 | 0,15 | -2,77 | 0,10 | 196 | 142,0 | -0,89 | 0,09 | | |
| 142 | 104,0 | -2,89 | 0,10 | -2,51 | 0,06 | 197 | 142,5 | -0,67 | 0,09 | | |
| 143 | 104,5 | -2,4 | 0,09 | -2,91 | 0,08 | 198 | 143,0 | -0,43 | 0,10 | | |
| 144 | 105,0 | -2,35 | 0,08 | -2,98 | 0,09 | 199 | 143,5 | 0,77 | 0,09 | | |
| 145 | 105,5 | -3,54 | 0,12 | -3,42 | 0,13 | 200 | 144,0 | -1,07 | 0,09 | | |
| 146 | 106,0 | -2,89 | 0,10 | -3,59 | 0,10 | 201 | 144,5 | -1,58 | 0,08 | | |
| 147 | 106,5 | -1,56 | 0,09 | -3,13 | 0,09 | 202 | 145,0 | -1,2 | 0,06 | | |
| 148 | 107,0 | -2,46 | 0,09 | -3,36 | 0,12 | 203 | 145,5 | -0,48 | 0,08 | | |
| 149 | 107,5 | -0,45 | 0,09 | | | 204 | 146,0 | -1,13 | 0,09 | -2,9 | 0,09 |
| 150 | 108,0 | -1,99 | 0,03 | | | 205 | 146,5 | -0,99 | 0,09 | -2,94 | 0,06 |
| 151 | 109,0 | -3,27 | 0,08 | | | 206 | 147,0 | -1,74 | 0,09 | -3,1 | 0,11 |
| 152 | 109,5 | -2,85 | 0,12 | -3,22 | 0,11 | 207 | 148,0 | 0,48 | 0,07 | -3,31 | 0,06 |
| 153 | 111,5 | -2,42 | 0,09 | | | 208 | 149,0 | 0,47 | 0,09 | -3,14 | 0,07 |
| 154 | 112,0 | -1,12 | 0,09 | | | 209 | 150,0 | -0,93 | 0,09 | -2,77 | 0,09 |
| 155 | 112,5 | -1,91 | 0,09 | -3,61 | 0,10 | | | | | | |
| 156 | 113,0 | -2,71 | 0,13 | -3,39 | 0,08 | | | | | | |
| 157 | 114,0 | -3,73 | 0,09 | -2,84 | 0,08 | | | | | | |
| 158 | 114,5 | -2,44 | 0,09 | -2,56 | 0,14 | | | | | | |
| 159 | 115,0 | -2,44 | 0,09 | -2,27 | 0,09 | | | | | | |
| 160 | 116,0 | -1,19 | 0,08 | -1,7 | 0,09 | | | | | | |
| 161 | 116,5 | -2,5 | 0,12 | -1,57 | 0,10 | | | | | | |
| 162 | 117,0 | -1,58 | 0,09 | -1,97 | 0,12 | | | | | | |
| 163 | 117,5 | -1,4 | 0,11 | -1,96 | 0,08 | | | | | | |
| 164 | 118,0 | -2,13 | 0,14 | -2,02 | 0,11 | | | | | | |
| 165 | 119,5 | -1,86 | 0,09 | -2,73 | 0,09 | | | | | | |
| 166 | 120,0 | -3,17 | 0,14 | -2,77 | 0,07 | | | | | | |
| 167 | 120,5 | -3,05 | 0,10 | -3,06 | 0,08 | | | | | | |
| 168 | 121,0 | -3,42 | 0,09 | -3,44 | 0,09 | | | | | | |
| 169 | 123,5 | -1,79 | 0,07 | | | | | | | | |
| 170 | 125,0 | -2,76 | 0,12 | | | | | | | | |
| 171 | 126,0 | -2,46 | 0,14 | -3,64 | 0,18 | | | | | | |

| MB03B | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
| 1 | 0,5 | -2,07 | 0,08 | -3,58 | 0,07 | 59 | 33,5 | -1,93 | 0,09 | -2,21 | 0,09 |
| 2 | 1,0 | -2,48 | 0,10 | -3,87 | 0,09 | 60 | 34,0 | -1,06 | 0,08 | -1,76 | 0,05 |
| 3 | 1,5 | -1,12 | 0,09 | -2,05 | 0,08 | 61 | 34,5 | -1,95 | 0,06 | -2,22 | 0,09 |
| 4 | 2,0 | -2,62 | 0,09 | -3,54 | 0,10 | 62 | 35,0 | -0,02 | 0,10 | -1,68 | 0,08 |
| 5 | 2,5 | -1,42 | 0,09 | -3,32 | 0,09 | 63 | 35,5 | -1,91 | 0,10 | -2,38 | 0,10 |
| 6 | 3,0 | -2,06 | 0,10 | -3,26 | 0,09 | 64 | 36,0 | -1,22 | 0,10 | -2,47 | 0,09 |
| 7 | 3,5 | -1,1 | 0,10 | -3,23 | 0,09 | 65 | 36,5 | -0,5 | 0,06 | -2,46 | 0,08 |
| 8 | 4,0 | -1,18 | 0,09 | -3,22 | 0,09 | 66 | 37,0 | -0,83 | 0,06 | -2,66 | 0,06 |
| 9 | 4,5 | -0,88 | 0,09 | -3,15 | 0,11 | 67 | 37,5 | -0,95 | 0,09 | -2,75 | 0,09 |
| 10 | 5,5 | -0,87 | 0,09 | -2,68 | 0,07 | 68 | 38,0 | -1,47 | 0,07 | -3,1 | 0,06 |
| 11 | 6,0 | -0,43 | 0,09 | -2,87 | 0,09 | 69 | 38,5 | -0,62 | 0,09 | -2,72 | 0,08 |
| 12 | 7,5 | -1,25 | 0,12 | -3,8 | 0,10 | 70 | 39,0 | -2,23 | 0,06 | -2,64 | 0,08 |
| 13 | 8,0 | -1,09 | 0,09 | -3,34 | 0,06 | 71 | 39,5 | -1,39 | 0,09 | -4,45 | 0,08 |
| 14 | 8,5 | -1,02 | 0,09 | -3,5 | 0,09 | 72 | 40,0 | -2,68 | 0,09 | -3,33 | 0,09 |
| 15 | 9,0 | -2,78 | 0,09 | -3,26 | 0,08 | 73 | 40,5 | -1,31 | 0,08 | -3,53 | 0,07 |
| 16 | 9,5 | -1,14 | 0,06 | -3,16 | 0,06 | 74 | 41,0 | -2,02 | 0,08 | -3,7 | 0,05 |
| 17 | 11,0 | -1,04 | 0,09 | -2,94 | 0,09 | 75 | 42,5 | -1,81 | 0,08 | -3,98 | 0,09 |
| 18 | 11,5 | -0,45 | 0,09 | -2,55 | 0,06 | 76 | 43,0 | -1,4 | 0,09 | -4,17 | 0,07 |
| 19 | 12,5 | -0,33 | 0,09 | -2,19 | 0,06 | 77 | 43,5 | -1,23 | 0,07 | -4,5 | 0,06 |
| 20 | 13,0 | -1,69 | 0,06 | -2,55 | 0,09 | 78 | 44,0 | -2,95 | 0,09 | -4,75 | 0,09 |
| 21 | 13,5 | -2,36 | 0,09 | -2,53 | 0,06 | 79 | 44,5 | -1,48 | 0,08 | -4,84 | 0,09 |
| 22 | 14,0 | -0,7 | 0,08 | -2,36 | 0,08 | 80 | 45,0 | -1,9 | 0,09 | -4,64 | 0,08 |
| 23 | 14,5 | -0,37 | 0,08 | -2,7 | 0,09 | 81 | 45,5 | -0,84 | 0,06 | -4,44 | 0,08 |
| 24 | 15,0 | -1,1 | 0,08 | -2,34 | 0,04 | 82 | 46,0 | -1,16 | 0,09 | -3,68 | 0,09 |
| 25 | 15,5 | -1,07 | 0,08 | -2,53 | 0,09 | 83 | 46,5 | -0,99 | 0,10 | -3,74 | 0,10 |
| 26 | 16,0 | 0,57 | 0,05 | -2,24 | 0,07 | 84 | 47,0 | -1,68 | 0,06 | -3,66 | 0,10 |
| 27 | 16,5 | -0,82 | 0,07 | -2,21 | 0,08 | 85 | 47,5 | -1,96 | 0,08 | -3,43 | 0,08 |
| 28 | 17,0 | -2,26 | 0,07 | -2,95 | 0,07 | 86 | 49,0 | -1,29 | 0,06 | -3,27 | 0,05 |
| 29 | 17,5 | -1,97 | 0,05 | -2,55 | 0,08 | 87 | 49,5 | -1,36 | 0,11 | -2,56 | 0,09 |
| 30 | 18,0 | -0,4 | 0,08 | -2,22 | 0,09 | 88 | 50,0 | -1,3 | 0,10 | -2,99 | 0,10 |
| 31 | 18,5 | -0,42 | 0,05 | -2,39 | 0,06 | 89 | 50,5 | 0,32 | 0,06 | -2,76 | 0,07 |
| 32 | 19,0 | -1,48 | 0,08 | -2,31 | 0,07 | 90 | 51,0 | -1,48 | 0,08 | -3,1 | 0,08 |
| 33 | 19,5 | -1,95 | 0,08 | -2,59 | 0,09 | 91 | 51,5 | -0,17 | 0,06 | -2,07 | 0,09 |
| 34 | 20,0 | -0,83 | 0,09 | -2,79 | 0,09 | 92 | 52,0 | -1,63 | 0,08 | -1,83 | 0,09 |
| 35 | 20,5 | -1,47 | 0,07 | -2,61 | 0,07 | 93 | 52,5 | -0,44 | 0,07 | -1,7 | 0,09 |
| 36 | 21,5 | -0,7 | 0,07 | -2,61 | 0,08 | 94 | 53,0 | -1,54 | 0,08 | -2,04 | 0,09 |
| 37 | 22,0 | -0,72 | 0,09 | -2,45 | 0,09 | 95 | 54,0 | -0,95 | 0,07 | -1,26 | 0,08 |
| 38 | 22,5 | -1,04 | 0,08 | -2,48 | 0,06 | 96 | 54,5 | -1,17 | 0,07 | -1,97 | 0,08 |
| 39 | 23,0 | -1,68 | 0,06 | -2,86 | 0,05 | 97 | 55,0 | -1,69 | 0,09 | -1,51 | 0,09 |
| 40 | 23,5 | -1,09 | 0,09 | -2,44 | 0,07 | 98 | 55,5 | 0,19 | 0,08 | -1,24 | 0,08 |
| 41 | 24,0 | -0,74 | 0,05 | -2,58 | 0,09 | 99 | 56,0 | -1,14 | 0,07 | -1,57 | 0,06 |
| 42 | 24,5 | -1,8 | 0,08 | -2,84 | 0,09 | 100 | 57,5 | -0,39 | 0,10 | -0,93 | 0,09 |
| 43 | 25,0 | -2,3 | 0,08 | -2,72 | 0,08 | 101 | 58,0 | -0,2 | 0,10 | -1,28 | 0,08 |
| 44 | 25,5 | -1,3 | 0,09 | -2,57 | 0,08 | 102 | 58,5 | -0,39 | 0,05 | -1,06 | 0,08 |
| 45 | 26,0 | -1,00 | 0,06 | -2,14 | 0,05 | 103 | 59,0 | -0,66 | 0,07 | -1,78 | 0,08 |
| 46 | 26,5 | -0,54 | 0,07 | -2,6 | 0,09 | 104 | 59,5 | -1,03 | 0,09 | -1,84 | 0,08 |
| 47 | 27,0 | -0,07 | 0,08 | -2,17 | 0,09 | 105 | 60,0 | 0,37 | 0,09 | -1,66 | 0,07 |
| 48 | 27,5 | -1,76 | 0,10 | -2,76 | 0,10 | 106 | 60,5 | 0,02 | 0,06 | -1,15 | 0,08 |
| 49 | 28,0 | -1,00 | 0,09 | -2,38 | 0,08 | 107 | 61,0 | 0,4 | 0,06 | -1,39 | 0,10 |
| 50 | 28,5 | -0,85 | 0,10 | -2,12 | 0,09 | 108 | 61,5 | -1,34 | 0,06 | -1,76 | 0,09 |
| 51 | 29,0 | -0,98 | 0,04 | -2,21 | 0,07 | 109 | 62,0 | -1,2 | 0,07 | -1,84 | 0,09 |
| 52 | 29,5 | -1,25 | 0,05 | -2,25 | 0,07 | 110 | 62,5 | -0,74 | 0,08 | -1,78 | 0,09 |
| 53 | 30,5 | -0,43 | 0,09 | -2,01 | 0,09 | 111 | 63,0 | -0,61 | 0,05 | -1,37 | 0,08 |
| 54 | 31,0 | -2,16 | 0,08 | -2,25 | 0,08 | 112 | 63,5 | -1,25 | 0,09 | -1,75 | 0,10 |
| 55 | 31,5 | -1,23 | 0,09 | -2,01 | 0,10 | 113 | 65,0 | -0,83 | 0,07 | -1,24 | 0,10 |
| 56 | 32,0 | -1,36 | 0,06 | -2,22 | 0,06 | 114 | 65,5 | -1,31 | 0,08 | -1,5 | 0,09 |
| 57 | 32,5 | -2,15 | 0,06 | -1,97 | 0,09 | 115 | 66,0 | -2,2 | 0,09 | -1,92 | 0,08 |
| 58 | 33,0 | -1,39 | 0,09 | -2,19 | 0,09 | 116 | 66,5 | -0,71 | 0,14 | -1,41 | 0,07 |

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 117 | 67,0 | -0,96 | 0,07 | -2,06 | 0,04 | 137 | 77,0 | -1,31 | 0,10 | -3,54 | 0,09 |
| 118 | 67,5 | -2,09 | 0,10 | -2,33 | 0,10 | 138 | 77,5 | -2,11 | 0,08 | -4,03 | 0,09 |
| 119 | 68,0 | -2,1 | 0,09 | -2,86 | 0,07 | 139 | 78,0 | -2,41 | 0,08 | -4,31 | 0,09 |
| 120 | 68,5 | -1,75 | 0,10 | -2,34 | 0,10 | 140 | 78,5 | -1,15 | 0,09 | -2,94 | 0,07 |
| 121 | 69,0 | -2,05 | 0,09 | -3,07 | 0,08 | 141 | 79,0 | -2,23 | 0,09 | -3,80 | 0,07 |
| 122 | 69,5 | -2,25 | 0,08 | -2,98 | 0,07 | 142 | 79,5 | -2,13 | 0,08 | -3,46 | 0,08 |
| 123 | 70,0 | -1,58 | 0,06 | -1,93 | 0,10 | 143 | 80,0 | -2,02 | 0,08 | -3,39 | 0,06 |
| 124 | 70,5 | -1,46 | 0,10 | -2,41 | 0,10 | 144 | 80,5 | -2,61 | 0,07 | -3,47 | 0,09 |
| 125 | 71,0 | -2,55 | 0,09 | -2,81 | 0,10 | 145 | 81,0 | -2,5 | 0,09 | -3,25 | 0,08 |
| 126 | 71,5 | -1,49 | 0,10 | -2,68 | 0,11 | 146 | 82,0 | -2,04 | 0,04 | -3,03 | 0,07 |
| 127 | 72,0 | -2,98 | 0,09 | -3,31 | 0,09 | 147 | 82,5 | -2,33 | 0,09 | -2,56 | 0,09 |
| 128 | 72,5 | -2,12 | 0,10 | -2,86 | 0,07 | 148 | 83,0 | 2,66 | 0,09 | -2,71 | 0,09 |
| 129 | 73,0 | -2,36 | 0,08 | -3,09 | 0,06 | 149 | 84,0 | -2,56 | 0,06 | -2,48 | 0,06 |
| 130 | 73,5 | -2,66 | 0,11 | -3,47 | 0,11 | 150 | 85,0 | -2,47 | 0,08 | -2,10 | 0,10 |
| 131 | 74,0 | -2,41 | 0,09 | -3,65 | 0,08 | 151 | 85,5 | -1,78 | 0,07 | -3,27 | 0,08 |
| 132 | 74,5 | -2,62 | 0,08 | -3,56 | 0,07 | 152 | 86,0 | -2,88 | 0,09 | -3,19 | 0,08 |
| 133 | 75,0 | -2,65 | 0,08 | -3,71 | 0,10 | 153 | 87,0 | -2,54 | 0,07 | -2,83 | 0,07 |
| 134 | 75,5 | -2,78 | 0,07 | -4,06 | 0,08 | 154 | 87,5 | -1,93 | 0,09 | -2,20 | 0,07 |
| 135 | 76,0 | -2,99 | 0,07 | -4,21 | 0,09 | 155 | 88,0 | -1,91 | 0,09 | -1,77 | 0,14 |
| 136 | 76,5 | -2,64 | 0,09 | -3,99 | 0,10 | | | | | | |

SS01G

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 1 | 0,5 | -1,09 | 0,08 | -1,86 | 0,10 | 35 | 19,6 | -2,53 | 0,10 | -3,24 | 0,10 |
| 2 | 0,7 | 0,01 | 0,05 | -1,22 | 0,07 | 36 | 20,8 | 0,87 | 0,10 | -3,03 | 0,12 |
| 3 | 1,3 | -0,15 | 0,09 | -2,51 | 0,08 | 37 | 21,2 | 0,59 | 0,10 | -3,17 | 0,10 |
| 4 | 2,0 | 0,27 | 0,08 | -1,55 | 0,10 | 38 | 21,7 | 0,3 | 0,10 | | |
| 5 | 2,5 | 1,05 | 0,10 | | | 39 | 22,3 | 0,29 | 0,10 | -2,55 | 0,12 |
| 6 | 2,9 | -1,73 | 0,11 | -2,1 | 0,10 | 40 | 23,0 | 2,6 | 0,10 | -2,19 | 0,11 |
| 7 | 3,4 | 1,25 | 0,09 | | | 41 | 24,6 | 0,96 | 0,08 | -2,37 | 0,14 |
| 8 | 4,0 | -1,17 | 0,13 | -2,19 | 0,12 | 42 | 25,1 | 2,45 | 0,12 | -2,09 | 0,10 |
| 9 | 4,5 | -0,78 | 0,09 | -1,85 | 0,10 | 43 | 25,6 | 0,87 | 0,10 | -2,42 | 0,08 |
| 10 | 5,1 | 0,47 | 0,08 | -1,16 | 0,05 | 44 | 26,1 | 2,01 | 0,08 | -2,23 | 0,10 |
| 11 | 5,8 | -0,96 | 0,08 | -1,61 | 0,09 | 45 | 26,7 | -2,49 | 0,15 | -2,19 | 0,14 |
| 12 | 6,3 | -1,16 | 0,09 | -2,17 | 0,11 | 46 | 27,2 | -0,86 | 0,11 | -2,46 | 0,13 |
| 13 | 6,9 | -1,58 | 0,09 | -2,23 | 0,06 | 47 | 27,7 | 0,49 | 0,08 | -2,02 | 0,08 |
| 14 | 7,3 | -0,58 | 0,06 | -2,32 | 0,09 | 48 | 28,2 | 0,31 | 0,10 | -2,19 | 0,12 |
| 15 | 7,9 | -1,19 | 0,09 | -2,19 | 0,07 | 49 | 29,7 | 1,3 | 0,08 | -1,93 | 0,10 |
| 16 | 8,4 | -1,35 | 0,11 | -2,65 | 0,10 | 50 | 30,9 | 0,58 | 0,13 | -1,78 | 0,13 |
| 17 | 8,9 | -1,56 | 0,09 | -2,26 | 0,09 | 51 | 31,5 | 0,82 | 0,12 | -2,3 | 0,13 |
| 18 | 9,3 | -2,2 | 0,09 | -2,35 | 0,10 | 52 | 32,1 | 1,29 | 0,09 | | |
| 19 | 9,8 | -1,09 | 0,05 | -1,62 | 0,10 | 53 | 33,1 | 1,19 | 0,10 | -1,81 | 0,10 |
| 20 | 10,1 | -1,08 | 0,12 | -1,88 | 0,10 | 54 | 33,8 | 2,14 | 0,12 | -1,35 | 0,10 |
| 21 | 10,4 | -1,16 | 0,10 | -1,45 | 0,10 | 55 | 34,3 | 0,95 | 0,10 | -2,2 | 0,08 |
| 22 | 11,2 | -2,04 | 0,07 | -2,67 | 0,10 | 56 | 35,6 | 0,79 | 0,10 | -2,61 | 0,09 |
| 23 | 11,7 | -0,32 | 0,09 | -1,99 | 0,08 | 57 | 36,1 | 1,5 | 0,09 | -2,12 | 0,10 |
| 24 | 12,3 | 1,44 | 0,07 | | | 58 | 36,7 | 0,8 | 0,13 | -2,12 | 0,12 |
| 25 | 12,8 | -1,31 | 0,09 | -1,83 | 0,09 | 59 | 37,2 | 0,33 | 0,07 | -1,95 | 0,09 |
| 26 | 13,3 | -2,05 | 0,09 | -2,52 | 0,10 | 60 | 37,7 | -0,11 | 0,09 | -2,42 | 0,11 |
| 27 | 13,8 | -1,39 | 0,06 | -2,34 | 0,10 | 61 | 38,2 | 1,88 | 0,09 | -1,29 | 0,11 |
| 28 | 14,2 | -2,21 | 0,12 | -3,1 | 0,12 | 62 | 38,8 | 0,99 | 0,12 | -2,02 | 0,10 |
| 29 | 14,7 | -0,46 | 0,10 | -1,9 | 0,11 | 63 | 39,2 | 0,16 | 0,14 | -1,67 | 0,08 |
| 30 | 16,0 | -1,06 | 0,07 | -2,62 | 0,08 | 64 | 39,8 | -0,62 | 0,10 | -1,83 | 0,10 |
| 31 | 16,6 | 0,89 | 0,09 | -2,23 | 0,10 | 65 | 40,3 | 0,17 | 0,09 | -1,92 | 0,09 |
| 32 | 17,1 | 0,47 | 0,08 | -2,23 | 0,10 | 66 | 40,9 | 2,05 | 0,11 | -1,3 | 0,08 |
| 33 | 17,8 | 0,2 | 0,13 | -2,36 | 0,05 | 67 | 41,4 | 0,78 | 0,09 | -1,84 | 0,10 |
| 34 | 18,4 | 0,01 | 0,08 | -1,25 | 0,09 | 68 | 41,9 | 1,25 | 0,09 | -1,55 | 0,07 |

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 69 | 42,4 | 1,83 | 0,08 | -1,57 | 0,09 | 100 | 65,1 | -0,07 | 0,08 | -2,5 | 0,11 |
| 70 | 42,9 | 1,49 | 0,09 | -1,96 | 0,07 | 101 | 65,8 | -0,31 | 0,10 | -3,36 | 0,09 |
| 71 | 43,4 | 1,81 | 0,08 | -1,81 | 0,09 | 102 | 66,2 | 0,47 | 0,11 | -2,85 | 0,08 |
| 72 | 44,7 | -1,33 | 0,09 | -2,26 | 0,11 | 103 | 68,1 | 0,62 | 0,12 | -2,2 | 0,08 |
| 73 | 45,3 | 1,78 | 0,10 | -1,83 | 0,14 | 104 | 69,8 | 0,17 | 0,13 | -2,32 | 0,15 |
| 74 | 46,0 | 0,92 | 0,09 | -1,66 | 0,08 | 105 | 70,3 | -1,52 | 0,09 | -2,77 | 0,10 |
| 75 | 46,7 | 1,67 | 0,04 | -1,61 | 0,09 | 106 | 70,9 | 0,74 | 0,08 | -2,3 | 0,08 |
| 76 | 47,2 | 1,2 | 0,09 | -2,09 | 0,08 | 107 | 72,0 | 1,22 | 0,12 | -2,01 | 0,12 |
| 77 | 47,8 | 1,6 | 0,07 | -2,02 | 0,11 | 108 | 72,6 | 0,08 | 0,10 | -2,12 | 0,11 |
| 78 | 48,3 | 2,39 | 0,09 | | | 109 | 73,1 | -0,02 | 0,14 | -2,78 | 0,08 |
| 79 | 48,8 | 1,57 | 0,13 | -1,67 | 0,14 | 110 | 74,1 | 0,1 | 0,09 | -2,34 | 0,11 |
| 80 | 49,2 | -0,03 | 0,12 | -2,16 | 0,09 | 111 | 74,7 | 0,02 | 0,09 | -2,21 | 0,12 |
| 81 | 50,5 | 1,08 | 0,14 | -2,12 | 0,09 | 112 | 75,1 | -0,01 | 0,09 | | |
| 82 | 51,5 | -1,83 | 0,11 | -2,37 | 0,12 | 113 | 75,7 | -0,32 | 0,09 | | |
| 83 | 51,9 | 1,09 | 0,10 | -2 | 0,12 | 114 | 76,3 | -0,81 | 0,11 | -1,87 | 0,10 |
| 84 | 52,3 | 0,97 | 0,09 | -1,9 | 0,09 | 115 | 77,6 | 0,36 | 0,09 | -1,6 | 0,09 |
| 85 | 54,3 | 0,18 | 0,09 | -2,04 | 0,07 | 116 | 78,0 | 0,09 | 0,08 | -1,78 | 0,09 |
| 86 | 55,0 | -1,49 | 0,10 | | | 117 | 79,7 | 0,72 | 0,09 | -1,6 | 0,10 |
| 87 | 55,5 | -0,13 | 0,10 | -2,18 | 0,11 | 118 | 81,2 | -0,51 | 0,13 | | |
| 88 | 56,6 | -0,14 | 0,09 | -2,08 | 0,09 | 119 | 81,7 | -0,17 | 0,10 | -1,66 | 0,10 |
| 89 | 56,9 | -1,33 | 0,09 | -2,86 | 0,11 | 120 | 82,8 | 0,88 | 0,09 | -1,75 | 0,14 |
| 90 | 57,4 | 0,24 | 0,09 | -2,51 | 0,07 | 121 | 84,3 | -1,26 | 0,10 | -2,22 | 0,10 |
| 91 | 58,5 | -0,53 | 0,08 | -2,71 | 0,03 | 122 | 85,0 | -1,99 | 0,09 | -2,67 | 0,10 |
| 92 | 59,0 | -0,1 | 0,12 | -2,5 | 0,14 | 123 | 85,5 | 0,44 | 0,11 | -2,76 | 0,07 |
| 93 | 60,1 | -0,55 | 0,07 | -3,21 | 0,12 | 124 | 86,1 | 1,38 | 0,09 | -1,33 | 0,10 |
| 94 | 60,6 | -0,35 | 0,12 | -3,49 | 0,12 | 125 | 86,6 | -0,09 | 0,09 | -1,64 | 0,10 |
| 95 | 61,2 | -0,45 | 0,09 | -3,54 | 0,08 | 126 | 87,2 | 2,24 | 0,12 | -1,21 | 0,10 |
| 96 | 62,4 | -0,22 | 0,09 | -3,86 | 0,11 | 127 | 87,7 | 0,43 | 0,13 | -1,94 | 0,12 |
| 97 | 63,0 | 0,86 | 0,10 | -2,87 | 0,07 | 128 | 88,2 | 2,21 | 0,10 | | |
| 98 | 63,6 | -1,17 | 0,08 | -3,14 | 0,11 | 129 | 89,3 | 0,31 | 0,13 | -2,18 | 0,10 |
| 99 | 64,6 | -0,34 | 0,15 | -3,69 | 0,11 | | | | | | |

SS02D

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 1 | 0,5 | | | | | 23 | 14,0 | -1,4 | 0,09 | -1,89 | 0,08 |
| 2 | 1,1 | | | | | 24 | 14,6 | -1,71 | 0,08 | -2,18 | 0,08 |
| 3 | 1,6 | -1,43 | 0,08 | | | 25 | 15,1 | -2,75 | 0,08 | -2,19 | 0,08 |
| 4 | 2,2 | -1,7 | 0,10 | | | 26 | 15,7 | | | -2,93 | 0,08 |
| 5 | 2,7 | -2,67 | 0,05 | | | 27 | 16,1 | -2,34 | 0,08 | -2,75 | 0,08 |
| 6 | 3,3 | -2,05 | 0,08 | -1,77 | 0,06 | 28 | 16,7 | -2,51 | 0,07 | -2,89 | 0,08 |
| 7 | 4,0 | -0,9 | 0,09 | | | 29 | 17,1 | -2,16 | 0,06 | -2,83 | 0,09 |
| 8 | 4,5 | -1,22 | 0,07 | -1,5 | 0,09 | 30 | 17,7 | -1,96 | 0,07 | -2,79 | 0,09 |
| 9 | 5,1 | -0,83 | 0,11 | | | 31 | 18,2 | -2,3 | 0,07 | -2,95 | 0,08 |
| 10 | 5,7 | -2,12 | 0,05 | -1,49 | 0,03 | 32 | 18,6 | -2,48 | 0,07 | -3,35 | 0,06 |
| 11 | 6,4 | -1,42 | 0,08 | -1,35 | 0,08 | 33 | 19,1 | -2,26 | 0,09 | -3,57 | 0,08 |
| 12 | 7,0 | -1,82 | 0,09 | -1,87 | 0,06 | 34 | 19,7 | -1,99 | 0,07 | -3,48 | 0,08 |
| 13 | 7,5 | -1,75 | 0,09 | -1,75 | 0,09 | 35 | 20,1 | -2,45 | 0,09 | -3,82 | 0,08 |
| 14 | 8,1 | -0,98 | 0,06 | -1,31 | 0,04 | 36 | 20,8 | -2,77 | 0,05 | -3,35 | 0,10 |
| 15 | 8,7 | -1,19 | 0,08 | -1,56 | 0,07 | 37 | 21,3 | -2,59 | 0,10 | -3,08 | 0,09 |
| 16 | 9,2 | -1,6 | 0,09 | -1,59 | 0,10 | 38 | 22,0 | -1,53 | 0,06 | -2,75 | 0,03 |
| 17 | 10,0 | | | | | 39 | 22,5 | -2,21 | 0,06 | -2,73 | 0,06 |
| 18 | 10,6 | -1,61 | 0,10 | -1,71 | 0,14 | 40 | 23,0 | -2,35 | 0,08 | -2,5 | 0,09 |
| 19 | 11,2 | -1,89 | 0,10 | -2,21 | 0,06 | 41 | 23,7 | -2,13 | 0,09 | -2,56 | 0,09 |
| 20 | 12,0 | -2,22 | 0,08 | -1,78 | 0,08 | 42 | 24,3 | -2,13 | 0,09 | -2,4 | 0,09 |
| 21 | 12,7 | -2,38 | 0,09 | -1,83 | 0,08 | 43 | 25,0 | -1,78 | 0,07 | -2,4 | 0,09 |
| 22 | 13,3 | -2,06 | 0,08 | -2,04 | 0,09 | 44 | 25,5 | -2,14 | 0,09 | -2,36 | 0,09 |

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 45 | 26,1 | -1,58 | 0,09 | -2,07 | 0,09 | 67 | 39,5 | -1,12 | 0,06 | -1,95 | 0,07 |
| 46 | 26,8 | -1,95 | 0,09 | -2,06 | 0,07 | 68 | 40,0 | -2,36 | 0,09 | -1,79 | 0,07 |
| 47 | 27,1 | -1,83 | 0,09 | -2,04 | 0,08 | 69 | 40,5 | -2,65 | 0,10 | -2,03 | 0,10 |
| 48 | 27,9 | -2,08 | 0,08 | -2,22 | 0,09 | 70 | 41,1 | -2,48 | 0,10 | -2,13 | 0,09 |
| 49 | 28,5 | -2,62 | 0,09 | -2,4 | 0,09 | 71 | 41,6 | | | -2,81 | 0,08 |
| 50 | 29,0 | -1,86 | 0,08 | -2,26 | 0,10 | 72 | 42,1 | -1,61 | 0,08 | -2,28 | 0,08 |
| 51 | 29,6 | -1,93 | 0,07 | -2,12 | 0,09 | 73 | 42,7 | -1,4 | 0,09 | -1,92 | 0,08 |
| 52 | 30,7 | -2,34 | 0,09 | -2,1 | 0,13 | 74 | 43,2 | -2,37 | 0,08 | -1,93 | 0,09 |
| 53 | 31,2 | -1,77 | 0,09 | -2,03 | 0,14 | 75 | 43,8 | -1,52 | 0,09 | -2,32 | 0,14 |
| 54 | 31,7 | -1,7 | 0,08 | -2,32 | 0,14 | 76 | 44,3 | -0,34 | 0,07 | -3,21 | 0,13 |
| 55 | 32,3 | -1,41 | 0,05 | -1,89 | 0,06 | 77 | 44,9 | -1,46 | 0,07 | -3,35 | 0,09 |
| 56 | 33,0 | -2,4 | 0,11 | -2,37 | 0,09 | 78 | 45,3 | -0,39 | 0,07 | -2,82 | 0,04 |
| 57 | 33,7 | -1,74 | 0,07 | -1,87 | 0,09 | 79 | 45,8 | -1,22 | 0,08 | -3,38 | 0,06 |
| 58 | 34,7 | -1,96 | 0,06 | -2,23 | 0,09 | 80 | 46,3 | 0,08 | 0,12 | -3,47 | 0,10 |
| 59 | 35,1 | -1,71 | 0,08 | -1,86 | 0,09 | 81 | 46,9 | 0,09 | 0,09 | -3,06 | 0,08 |
| 60 | 35,6 | -1,83 | 0,06 | -2,02 | 0,09 | 82 | 47,5 | -1,32 | 0,08 | -3,3 | 0,09 |
| 61 | 36,2 | -1,8 | 0,05 | -2,08 | 0,09 | 83 | 48,0 | -1,35 | 0,12 | -3,16 | 0,10 |
| 62 | 36,8 | -1,28 | 0,09 | -1,85 | 0,07 | 84 | 48,6 | 0,35 | 0,07 | -3,22 | 0,07 |
| 63 | 37,3 | -1,68 | 0,09 | -1,78 | 0,05 | 85 | 49,1 | 0,16 | 0,09 | -2,79 | 0,08 |
| 64 | 38,0 | -1,69 | 0,10 | -2,1 | 0,12 | 86 | 49,7 | 0,07 | 0,08 | -2,69 | 0,09 |
| 65 | 38,5 | -1,72 | 0,05 | -2,35 | 0,09 | 87 | 50,2 | -0,33 | 0,06 | -3,1 | 0,09 |
| 66 | 39,0 | -1,39 | 0,09 | -2,18 | 0,09 | 88 | 50,6 | -0,65 | 0,09 | -3,16 | 0,09 |

| SS03D | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
| 1 | 0,5 | -0,82 | 0,09 | -2,10 | 0,10 | 31 | 16,7 | -0,11 | 0,10 | -2,07 | 0,09 |
| 2 | 1,0 | -0,19 | 0,10 | -2,21 | 0,10 | 32 | 17,3 | 1,05 | 0,09 | -2,11 | 0,09 |
| 3 | 1,4 | -1,4 | 0,10 | -1,70 | 0,10 | 33 | 18,0 | 0,89 | 0,08 | -2,14 | 0,09 |
| 4 | 2,0 | -0,98 | 0,08 | -2,25 | 0,08 | 34 | 18,5 | -0,08 | 0,12 | -2,05 | 0,10 |
| 5 | 2,5 | -0,47 | 0,07 | -1,96 | 0,08 | 35 | 19,0 | 0,27 | 0,10 | -2,26 | 0,09 |
| 6 | 3,0 | -1,3 | 0,10 | -1,96 | 0,14 | 36 | 19,5 | 1,21 | 0,08 | -1,88 | 0,10 |
| 7 | 3,6 | 0,19 | 0,14 | -1,83 | 0,15 | 37 | 20,1 | -0,04 | 0,09 | -2,23 | 0,10 |
| 8 | 4,1 | 0,69 | 0,08 | -2,28 | 0,08 | 38 | 20,6 | 0,27 | 0,15 | -2,30 | 0,10 |
| 9 | 4,7 | 0,62 | 0,10 | -1,97 | 0,10 | 39 | 21,1 | 0,94 | 0,08 | -2,16 | 0,17 |
| 10 | 5,3 | -0,16 | 0,10 | -2,13 | 0,12 | 40 | 21,7 | 0,4 | 0,09 | -2,01 | 0,09 |
| 11 | 5,8 | -0,79 | 0,08 | -1,96 | 0,10 | 41 | 22,2 | 0,97 | 0,10 | -2,44 | 0,09 |
| 12 | 6,2 | -0,73 | 0,10 | -2,13 | 0,10 | 42 | 22,7 | 0,23 | 0,08 | -2,10 | 0,09 |
| 13 | 7,0 | 0,06 | 0,10 | -1,82 | 0,10 | 43 | 23,3 | 0,85 | 0,15 | -1,95 | 0,06 |
| 14 | 7,5 | 0,11 | 0,10 | -2,36 | 0,09 | 44 | 24,0 | 2,18 | 0,11 | -1,83 | 0,09 |
| 15 | 8,1 | 0,58 | 0,10 | -2,41 | 0,09 | 45 | 24,5 | 0,88 | 0,09 | -2,27 | 0,10 |
| 16 | 8,7 | 0,25 | 0,10 | -2,11 | 0,10 | 46 | 25,1 | 1,01 | 0,09 | -1,94 | 0,11 |
| 17 | 9,3 | 0,27 | 0,09 | -2,43 | 0,11 | 47 | 25,7 | 1,17 | 0,12 | -2,12 | 0,08 |
| 18 | 9,8 | 1,24 | 0,10 | -2,26 | 0,10 | 48 | 26,2 | 1,0 | 0,10 | -2,61 | 0,10 |
| 19 | 10,3 | 0,98 | 0,10 | -2,42 | 0,14 | 49 | 26,7 | -0,56 | 0,12 | -2,39 | 0,12 |
| 20 | 10,8 | -0,41 | 0,09 | -2,07 | 0,10 | 50 | 27,2 | 0,2 | 0,10 | -2,19 | 0,09 |
| 21 | 11,4 | -0,29 | 0,09 | -2,36 | 0,10 | 51 | 27,8 | 1,46 | 0,15 | -1,47 | 0,09 |
| 22 | 12,0 | -0,47 | 0,05 | -3,27 | 0,10 | 52 | 28,3 | -1,05 | 0,14 | -2,29 | 0,15 |
| 23 | 12,6 | 1,39 | 0,10 | -2,40 | 0,10 | 53 | 28,8 | -0,09 | 0,10 | -2,15 | 0,12 |
| 24 | 13,1 | 1,19 | 0,09 | -2,45 | 0,11 | 54 | 29,3 | -0,88 | 0,15 | -2,42 | 0,11 |
| 25 | 13,6 | 1,12 | 0,09 | | | 55 | 29,8 | -0,25 | 0,06 | -2,38 | 0,07 |
| 26 | 14,0 | 0,19 | 0,10 | -2,40 | 0,13 | 56 | 30,2 | -0,32 | 0,08 | -2,74 | 0,13 |
| 27 | 14,5 | -0,11 | 0,09 | -2,56 | 0,11 | 57 | 30,7 | 0,39 | 0,10 | -2,26 | 0,08 |
| 28 | 15,0 | 0,89 | 0,09 | -2,41 | 0,09 | 58 | 31,3 | -0,27 | 0,15 | -2,36 | 0,12 |
| 29 | 15,5 | -0,04 | 0,10 | -2,35 | 0,09 | 59 | 32,0 | 1,24 | 0,10 | -2,08 | 0,10 |
| 30 | 16,1 | -0,06 | 0,08 | -1,91 | 0,08 | 60 | 32,5 | 0,27 | 0,13 | -2,25 | 0,15 |

| Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD | Amostra | Distância | $\delta^{13}\text{C}$ | SD | $\delta^{18}\text{O}$ | SD |
|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 61 | 33 | -0,09 | 0,11 | -2,84 | 0,09 | 96 | 51,0 | 0,78 | 0,10 | -1,64 | 0,09 |
| 62 | 33,5 | -0,02 | 0,12 | -2,44 | 0,10 | 97 | 51,5 | -0,52 | 0,09 | -1,70 | 0,10 |
| 63 | 34,1 | 0,64 | 0,09 | -2,36 | 0,10 | 98 | 52,0 | 0,01 | 0,10 | -1,86 | 0,13 |
| 64 | 34,7 | | | -2,76 | 0,09 | 99 | 52,5 | 1,17 | 0,12 | -1,32 | 0,10 |
| 65 | 35,0 | -1,89 | 0,10 | -3,30 | 0,10 | 100 | 53,0 | -0,02 | 0,10 | -1,53 | 0,09 |
| 66 | 35,5 | -0,35 | 0,09 | -2,07 | 0,09 | 101 | 53,5 | -1,32 | 0,10 | -1,96 | 0,11 |
| 67 | 36,0 | 0,67 | 0,10 | -2,64 | 0,09 | 102 | 54,0 | -0,26 | 0,10 | -1,40 | 0,10 |
| 68 | 36,5 | -0,14 | 0,13 | -2,70 | 0,12 | 103 | 54,5 | 1,65 | 0,10 | | |
| 69 | 37,0 | -0,25 | 0,09 | -3,18 | 0,09 | 104 | 55,0 | 0,06 | 0,07 | -2,16 | 0,08 |
| 70 | 37,5 | -0,48 | 0,13 | -3,41 | 0,19 | 105 | 55,5 | 0 | 0,09 | -1,94 | 0,09 |
| 71 | 38,0 | 0,71 | 0,10 | -3,32 | 0,09 | 106 | 56,0 | 0,83 | 0,10 | -1,83 | 0,12 |
| 72 | 38,5 | -1,65 | 0,11 | -3,75 | 0,10 | 107 | 56,5 | 0,66 | 0,07 | -1,90 | 0,10 |
| 73 | 39,0 | 0,48 | 0,09 | -3,43 | 0,09 | 108 | 57,0 | 1,38 | 0,10 | -1,81 | 0,08 |
| 74 | 39,5 | 0,09 | 0,10 | -2,67 | 0,11 | 109 | 57,5 | 0,52 | 0,16 | -2,01 | 0,22 |
| 75 | 40,0 | -0,04 | 0,06 | -2,53 | 0,11 | 110 | 58,0 | 0,5 | 0,13 | -1,92 | 0,10 |
| 76 | 40,5 | -0,9 | 0,13 | -3,72 | 0,12 | 111 | 58,5 | 0,89 | 0,12 | -1,76 | 0,10 |
| 77 | 41,0 | -0,17 | 0,13 | -3,27 | 0,10 | 112 | 59,0 | 0,26 | 0,10 | -2,12 | 0,14 |
| 78 | 41,5 | -0,08 | 0,11 | -3,10 | 0,07 | 113 | 59,5 | 1,62 | 0,05 | | |
| 79 | 42,0 | 1,49 | 0,09 | -2,33 | 0,10 | 114 | 60,0 | 1 | 0,12 | -1,99 | 0,10 |
| 80 | 42,5 | 1,09 | 0,08 | -2,75 | 0,07 | 115 | 61,0 | 0,07 | 0,10 | -2,06 | 0,13 |
| 81 | 43,0 | 0,74 | 0,10 | -2,30 | 0,08 | 116 | 61,5 | 1,01 | 0,10 | -1,89 | 0,10 |
| 82 | 44,0 | 0,94 | 0,10 | -2,05 | 0,09 | 117 | 62,0 | -0,51 | 0,13 | -3,52 | 0,11 |
| 83 | 44,5 | -0,38 | 0,10 | -2,79 | 0,09 | 118 | 62,5 | 0,59 | 0,10 | -1,92 | 0,12 |
| 84 | 45,0 | 1,55 | 0,12 | -1,90 | 0,10 | 119 | 63,0 | 0,27 | 0,09 | -1,93 | 0,10 |
| 85 | 45,5 | 0,2 | 0,14 | -1,72 | 0,14 | 120 | 63,5 | 0,66 | 0,11 | -2,28 | 0,22 |
| 86 | 46,0 | 0,43 | 0,08 | -2,13 | 0,09 | 121 | 64,0 | -0,54 | 0,08 | -3,37 | 0,15 |
| 87 | 46,5 | 0,41 | 0,07 | -1,30 | 0,12 | 122 | 64,5 | -1,2 | 0,09 | -3,02 | 0,10 |
| 88 | 47,0 | -2,27 | 0,10 | -3,38 | 0,11 | 123 | 65,0 | 1,05 | 0,09 | -1,88 | 0,10 |
| 89 | 47,5 | -1,09 | 0,10 | -1,84 | 0,11 | 124 | 65,5 | 1,25 | 0,10 | -1,67 | 0,11 |
| 90 | 48,0 | -0,29 | 0,13 | -1,25 | 0,10 | 125 | 66,0 | 0,68 | 0,14 | -2,24 | 0,12 |
| 91 | 48,5 | 1,47 | 0,09 | -1,17 | 0,10 | 126 | 66,5 | 0,5 | 0,10 | -2,19 | 0,10 |
| 92 | 49,0 | -0,28 | 0,14 | -1,58 | 0,07 | 127 | 67,0 | 0,36 | 0,07 | | |
| 93 | 49,5 | -0,71 | 0,14 | -1,94 | 0,10 | 128 | 67,5 | -0,17 | 0,11 | -2,56 | 0,14 |
| 94 | 50,0 | -0,92 | 0,08 | -1,71 | 0,10 | | | | | | |
| 95 | 50,5 | 1,04 | 0,08 | -1,04 | 0,08 | | | | | | |

APÊNDICE C - TABELA COM VALORES MÉDIOS DE $\delta^{13}\text{C}$ POR ANO

| ANO | Gênero Mussismilia | | | Gênero Siderastrea | | |
|------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | MB01_2C $\delta^{13}\text{C}$ | MB02D $\delta^{13}\text{C}$ | MB03B $\delta^{13}\text{C}$ | SS01G $\delta^{13}\text{C}$ | SS02D $\delta^{13}\text{C}$ | SS03D $\delta^{13}\text{C}$ |
| 2013 | -1,65 | -1,05 | -1,66 | | | |
| 2012 | -1,40 | 1,58 | -1,23 | -0,41 | -1,43 | -0,80 |
| 2011 | -1,29 | 1,35 | -1,01 | -0,14 | -1,57 | -0,92 |
| 2010 | -1,31 | 1,29 | -1,06 | 0,04 | -1,39 | -0,03 |
| 2009 | -1,56 | 0,90 | -1,26 | -0,61 | -1,48 | 0,25 |
| 2008 | -2,06 | -0,77 | -1,26 | -1,36 | -1,66 | 0,21 |
| 2007 | -1,95 | -1,26 | -1,32 | -1,15 | -1,26 | 0,76 |
| 2006 | -1,31 | -0,83 | -1,54 | -0,83 | -2,03 | 0,26 |
| 2005 | -1,95 | -0,98 | -0,90 | -0,71 | -2,05 | 0,44 |
| 2004 | -1,75 | -0,26 | -0,53 | -0,46 | -2,28 | 0,48 |
| 2003 | -1,38 | -0,47 | -0,18 | 0,51 | -2,45 | 0,54 |
| 2002 | -0,64 | -0,38 | -1,03 | 1,78 | -2,03 | 0,60 |
| 2001 | -1,00 | -0,14 | -1,62 | 1,66 | -1,95 | 1,23 |
| 2000 | -0,47 | -0,01 | -2,36 | -0,45 | -2,07 | 0,54 |
| 1999 | 1,35 | 0,89 | -2,26 | 0,40 | -2,01 | 0,15 |
| 1998 | 1,17 | -1,73 | -2,13 | 0,94 | -1,84 | -0,49 |
| 1997 | 0,95 | -2,10 | | 1,36 | -1,81 | -0,11 |
| 1996 | 1,42 | -2,40 | | 1,08 | -1,63 | 0,35 |
| 1995 | 0,61 | -2,26 | | 0,34 | -2,00 | -0,41 |
| 1994 | 1,03 | -2,79 | | 0,60 | -1,79 | -0,02 |
| 1993 | 1,30 | 2,27 | | 1,00 | -0,83 | -0,24 |
| 1992 | 0,91 | -2,34 | | 1,60 | -0,38 | -0,22 |
| 1991 | -2,16 | -1,09 | | -1,33 | -0,86 | 0,78 |
| 1990 | -2,65 | 0,01 | | 1,35 | -0,15 | -0,37 |
| 1989 | -2,39 | | | 1,44 | | -0,09 |
| 1988 | -2,37 | | | 1,11 | | 0,33 |
| 1987 | -1,83 | | | 0,26 | | -0,07 |
| 1986 | -2,21 | | | -0,44 | | 0,53 |
| 1985 | | | | -0,53 | | 0,68 |
| 1984 | | | | -0,10 | | 0,41 |
| 1983 | | | | -0,22 | | 0,90 |
| 1982 | | | | -0,27 | | 0,17 |
| 1981 | | | | -0,13 | | -0,04 |
| 1980 | | | | -0,05 | | 0,55 |
| 1979 | | | | 0,00 | | |
| 1978 | | | | 0,32 | | |
| 1977 | | | | -0,17 | | |
| 1976 | | | | 0,23 | | |
| 1975 | | | | 0,01 | | |
| 1974 | | | | -0,59 | | |
| 1973 | | | | 0,43 | | |
| 1972 | | | | 0,89 | | |
| 1971 | | | | 0,84 | | |

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA PALAEOGEOGRAPHY, PALAEOCLIMATOLOGY, PALAEOECOLOGY

Editors

Thomas J. Algeo
Thierry Corrège
Howard Falcon-Lang
Paul Hesse
Isabel Montanez

Author Guidelines

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions. If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes. Divide the article into clearly defined sections.

Please ensure the text of your paper is double-spaced and has consecutive line numbering - this is an essential peer review requirement.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Article structure

Subdivision – numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Essential title page information

- **Title**
- **Author names and affiliations**
- **Corresponding author**
- **Present/permanente address**

Abstract

A concise and factual abstract with a maximum limit of 300 words is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Keywords – maximum of 6

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).