



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Saulo Israel Barros Lamounier

Microanálise e geoquímica em testemunhos de corais como elementos de interpretação dos impactos das forçantes naturais e antrópicas sobre a costa do Brasil

Rio de Janeiro

2015

Saulo Israel Barros Lamounier

Microanálise e geoquímica em testemunhos de corais como elementos de interpretação dos impactos das forçantes naturais e antrópicas sobre a costa do Brasil

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Biociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CB-A

L236 Lamounier, Saulo Israel Barros
Microanálise e geoquímica em testemunhos de corais como elementos de interpretação dos impactos das forçantes naturais e antrópicas sobre a costa do Brasil / Saulo Israel Barros Lamounier. – 2015.
212 f.

Orientador: Heitor Evangelista da Silva.

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. Pós-graduação em Biociências.

1. Corais - Teses. 2. Paleoclimatologia - Teses. 3. Atlântico, Oceano, Costa (Brasil) – Teses. 4. Microestrutura - Teses. I. Silva, Heitor Evangelista da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. III Título.

CDU 593.6

Autorizo apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Saulo Israel Barros Lamounier

Microanálise e geoquímica em testemunhos de corais como elementos de interpretação dos impactos das forçantes naturais e antrópicas sobre a costa do Brasil

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Biociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 30 de julho de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva (Orientador)

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Prof.^a Dra. Ana Luiza Spadano Albuquerque

Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Dra. Carla Regina Alves Carvalho

Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Dra. Letícia Cotrim da Cunha

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

Aos meus amados e amorosos Saulo de Tarso Lamounier, pai e companheiro incondicional, e Francisca Argentina Gois Barros, mãe carinhosa e disciplinada, por acreditarem e encorajarem os meus ideais, por jamais me deixaram fraquejar nos momentos incertos e por respeitarem as minhas decisões e o meu tempo, sempre.

E ao meu querido Thor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva, pela orientação, incentivos, ensinamentos e carinho a mim dispensados durante todo o processo de elaboração desse estudo.

A Profa. Dra. Beatriz Grosso Fleury por revisar este trabalho.

A CAPES e CNPq como órgãos financiadores de auxílios a pesquisa.

Este trabalho constitui-se em um esforço multidisciplinar e multi-institucional que envolve os seguintes parceiros: Cooperação científica Brasil-França (IRD), visando as análises geoquímicas e isotópicas. Cooperação científica Brasil-França-Taiwan visando análise elementar e Projeto PRIMOs (CNPq-IRD). A Faculdade de Geologia-LGPA-UERJ e ao técnico Luís C. C. Melo no corte das subamostras coralinas. A Profa. Dra. Flávia Fioruci, Josely Koury e a técnica em Radiologia Lívia Maria Loureiro do Instituto Interdisciplinar de Avaliação Nutricional-UERJ na densitometria com raios-X. Ao Prof. Dr. Ricardo Godoi, José Manoel, Clarice Marchese e Ângela Lopes do Laboratório de Análises de Minerais e Rochas-LAMIR-UFPR, pela disponibilização do equipamento de microtomografia com raios-X. Ao Prof. Dr. Filipe O. Chaves (PED). E a Priscila Lange pela figura da TSM/Ressurgência.

Aos Prof. Drs. Abdelfettah Sifeddine, Ricardo Pollery, Adriana Dalto, Lauro Xavier Filho e Edílson Divino de Araújo pelo aprendizado e oportunidades.

Aos professores e colegas do Doutorado em Biociências, em especial a Mônica Chagas, Rose Alves e Stênio Abreu da secretaria. Do Departamento de Biofísica e Biometria, do Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais-LARAMG, Antônio C. Freitas, Elaine Alves, Alexandre Castagna, Eduardo Sodré, Márcia Franco, Alexandre Alencar, Lorna Rubenich, Newton Magalhães, Marcio Cataldo, Heloísa Guillobel e Bruno Ximenes pela força nos trabalhos em laboratório e aos funcionários da Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ pela atenção, aprendizado e disponibilidade.

Agradeço imensamente aos meus pais Saulo de Tarso Lamounier e Francisca Argentina Gois Barros pelo apoio incondicional na realização deste sonho.

À minha esposa e companheira Graciela Sarasqueta, por compartilhar minhas alegrias, aturar minhas angústias e sempre me transmitir esperança e otimismo nos momentos difíceis.

Aos meus amigos e familiares, pelo apoio sempre presente.

RESUMO

LAMOUNIER, Saulo Israel Barros. **Microanálise e geoquímica em testemunhos de corais como elementos de interpretação dos impactos das forçantes naturais e antrópicas sobre a costa do Brasil**. 2015. 212 f. Tese (Doutorado em Biociências) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Corais pétreos são formadores de recifes. Por secretarem carbonato de cálcio pela base de seus pólipos, esses corais zooxantelados formam um exoesqueleto, composto geralmente por cristais de aragonita. Os padrões de crescimento coralinos variam desde a escala sazonal a centenária e podem ser caracterizados pela medida da taxa de crescimento, a variabilidade dos isótopos estáveis de oxigênio e carbono e pelas razões elementares Sr/Ca, Mg/Ca, U/Ca, Cd/Ca, Ra/Ca (entre outras) em seu esqueleto. Em um contexto global, os recifes cumprem importante papel como sumidouros de carbono atmosférico. Diante das evidências de um oceano mais quente na era moderna, a temperatura da superfície do mar (TSM) tem sido considerada um importante fator de controle da calcificação e crescimento coralino. Geralmente, a calcificação tende a aumentar com a elevação da TSM dentro de uma estreita faixa aceitável para o funcionamento pleno do metabolismo coralino. Neste trabalho, desenvolveu-se uma re-análise das taxas de crescimento de testemunhos de corais amostrados na costa brasileira (Salvador-Ba - Baía de Todos os Santos, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-Ba e Armação dos Búzios-RJ) empregando-se uma combinação de bandas de crescimento (alta e baixa densidades) auxiliado pelo método de luminescência e datação por radioisótopos de U e Th. As diferenças nas cronologias para os dois métodos variou de 1 ano para o caso de Abrolhos até 7,4 anos para Búzios (em seções específicas do testemunho). Foram analisadas variações de calcificação no esqueleto coralino e interpretadas à luz das razões Sr/Ca e U/Ca (ambos próxios da TSM), séries climáticas de AMO e PDO, e pH pelágico oceânico. Identificamos uma diminuição na taxa de calcificação do exoesqueleto no tempo estudado na amostra de Salvador de $0,4 \text{ g/cm}^2$, e um aumento em Abrolhos de $0,4 \text{ g/cm}^2$ e Búzios $0,3 \text{ g/cm}^2$, exceto nos anos de 1950 ao final de 1980 e de 1910 ao final de 1930, respectivamente. Uma microtomografia de raio-X foi empregada para determinar micro-estruturas coralinas, sendo os parâmetros mais relevantes a microporosidade e a anisotropia. Para Abrolhos e Búzios, foi identificado um aumento na porosidade total do exoesqueleto, principalmente no começo de 1940 até o fim da década de 1980 e entre 1890 a 1930 respectivamente. Notou-se forte associação entre a redução do padrão de calcificação com o aumento da porosidade. Os testemunhos da espécie *Siderastrea stellata* coletados em Abrolhos e Búzios mostraram alta associação das razões Sr/Ca e U/Ca com a taxa de calcificação, caracterizando uma resposta similar a de outros autores para a Grande Barreira na Austrália (DE'ATH *et al.*, 2009) e para a região central do Mar Vermelho (CANTIN *et al.*, 2010). Em relação as razões Ba/Ca, Salvador e Abrolhos evidenciaram variáveis que contribuíram para este aumento como a forçante de produção de petróleo e aumento populacional (economia), e TSM (oceano). Para Búzios, a TSM (oceano), produção de petróleo, aumento populacional e NDVI (economia). Após os anos de 1990, o impacto dos fatores econômicos, além das variáveis oceânicas respondem mais significativamente o aumento da razão Ba/Ca em todos os sítios quase que concomitantemente na costa brasileira.

Palavras-chave: Corais. Brasil. Atlântico Sul. Microestrutura. Paleoclima.

ABSTRACT

LAMOUNIER, Saulo Israel Barros. **Microanalysis and geochemistry in coral testimonies as an interpretation of the impacts of natural and anthropogenic forcings on the Brazil coast.** 2015. 212 f. Tese (Doutorado em Biociências) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Stony corals are forming reefs. By secreting calcium carbonate from the bottom of their polyps, these zooxanthellae corals form an exoskeleton, usually composed of aragonite crystals. The coral growth patterns vary from seasonal to centennial scale and can be characterized by measuring the growth rate, the variability of the stable isotopes of oxygen and carbon, and the elemental ratios Sr/Ca, Mg/Ca, U/Ca, Cd/Ca, Ra/Ca (among others) in its skeleton. In a global context, reefs play a key role as atmospheric carbon sinks. Faced with the evidence of a warmer ocean in the modern era, the sea surface temperature (SST) has been considered an important control factor in calcification and coral growth. Generally, calcification tends to increase with increasing SST within a narrow acceptable range for the full functioning of coral metabolism. In this work, a reanalysis of the growth rates of sampled corals cores on the Brazilian coast has developed (Salvador-Ba - Bahia de Todos os Santos, Abrolhos Marine National Park-Ba and Armação dos Búzios-RJ) employing a combination of growth bands (high and low density) aided by the luminescence method, and radioisotope dating of U and Th. The differences in time lines for the two methods varied from 1 year to the case Abrolhos to 7.4 years to Búzios (in specific sections of the core). Calcification variations were analyzed in the coral skeleton and interpreted by using ratios Sr/Ca and U/Ca (both proxies of TSM), climate series of AMO and PDO, and pelagic oceanic pH. We have identified a decrease in calcification rate exoskeleton time studied in Salvador sample of 0.4 g/cm^2 and an increase in Abrolhos 0.4 g/cm^2 and Búzios 0.3 g/cm^2 except in the 1950s to the late 1980s and 1910 to the late 1930s, respectively. A X-ray microtomography was used for the determination of coralline micro-structures, which are the most relevant parameters to the microporosity and anisotropy. To Abrolhos and Búzios, it was identified an increase in total porosity of the exoskeleton, especially at the beginning of 1940 until the end of the 1980s and between 1890-1930 respectively. It was noted a strong association between reduced calcification pattern with increasing porosity. The cores of *Siderastrea stellata* species collected in Abrolhos and Búzios showed high association of the ratios Sr/Ca and U/Ca with calcification rate, featuring a similar response to other authors to the Great Barrier in Australia (DE'ATH *et al.*, 2009) and the central region of the Red Sea (CANTIN *et al.*, 2010). Regarding the ratios Ba/Ca, Salvador and Abrolhos showed the variables that contributed to this increase as oil production and population growth forcings (economy) and SST (ocean). At Búzios, SST (ocean), oil production, population growth and NDVI forcings (economy). After the 1990s, the impact of economic factors, in addition to oceanic variables respond more significantly the increase on the ratio Ba/Ca in all places almost simultaneously on the Brazilian coast.

Keywords: Corals. Brazil. South Atlantic. Microstructure. Paleoclimate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Morfologia do pólipó coralino e diagrama esquemático dos principais processos meteorológicos de controladores da calcificação, da fotossíntese e sobrevivência do coral.....	22
Figura 2 –	Acidificação global oceânica.....	34
Figura 3 –	Estado de saturação de aragonita e calcificação.....	35
Figura 4 –	Relações entre a média anual da TSM (°C) e a calcificação coralina mostrado em dois estudos separados com colônias de <i>Porite</i>	36
Figura 5 –	Impacto do estresse térmico acumulado sobre o crescimento do coral....	37
Figura 6 –	Modelo inverso estatístico para prever as taxas de crescimento do coral no futuro com base na ascensão da taxa atual da TSM.....	39
Figura 7 –	Relação do registro coralinos com Índices Climáticos.....	41
Figura 8 –	Comparação de Índices Climáticos com curva da razão Sr/Ca.....	42
Figura 9 –	Registro de crescimento de coral <i>Montastrea cavernosa</i> de Bermuda/América Central comparada com registros de manchas solares (atividade solar).....	43
Figura 10 –	Evento de branqueamento dos corais causado por aumento da TSM e Série temporal que mostra o aquecimento das águas do sul do Oceano Atlântico.....	45
Figura 11 –	Comparação da razão Ba/Ca coralino de sedimentos em suspensão na Grande Barreira de Coral pelo rio Burdekin ao longo de 250 anos.....	47
Figura 12 –	Comparação do fluxo de sedimentação entre os períodos verão - inverno em três locais de recifes de coral no Banco de recife coralino do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Brasil.....	49
Figura 13 –	Balança comercial brasileira de ano de 1950 a 2009 e gráfico da evolução da exportação mundial no mesmo intervalo.....	57
Figura 14 –	Visão esquemática da perturbação antrópica do ciclo do carbono na qual parte do CO ₂ emitido a partir da queima de combustíveis fósseis e desmatamento é absorvido pelos oceanos.....	59
Figura 15 –	Localização dos pontos de coleta empregados neste estudo.....	64
Figura 16 –	Testemunhador pneumático e coleta de amostras de coral <i>Siderastrea</i>	

	<i>stellata</i> para as regiões de Salvador-Ba, Abrolhos-Ba e Armação dos Búzios-RJ realizada neste trabalho.....	71
Figura 17 –	Imagem do coral no oceano de uma colônia de <i>Siderastrea stellata</i> e sua amostragem no laboratório.....	73
Figura 18 –	Imagem de raio-X da amostra coralina e imagem da radiografia digitalizada em escala cinza.....	73
Figura 19 –	Raio-X da representação da inclinação do Eixo de crescimento em relação ao Eixo de perfuração coralino das três amostras (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-CS1, Salvador-PA1 e Armação dos Búzios-B1).....	74
Figura 20 –	Densitômetro de raios-X (iDXA-Lunar).....	77
Figura 21–	Saída de dados de uma amostra de testemunho de coral através das ROIs com os dados da Densidade Mineral Óssea (em inglês <i>BMD</i>), e a calcificação mineral expressadas em g/cm^2 ; e perfilação de tons de cinza de toda a extensão da amostra coralina.....	78
Figura 22 –	Regressões entre calcificação e tons médios de cinza das imagens radiográficas dos testemunhos de coral.....	79
Figura 23 –	Detalhamento do Micro-CT SkyScan 1172 e periféricos instalados no LAMIR/UFPR.....	81
Figura 24 –	Representação gráfica dos materiais isotrópicos e anisotrópico.....	83
Figura 25 –	Sequência na análise dos parâmetros morfológicos da amostra de coral.....	84
Figura 26 –	Linhas luminescentes (faixas brancas) para as amostras coralinas.....	90
Figura 27 –	Imagens de raios-X e luminescência, como ferramenta de auxílio para a contagem de bandas.....	91
Figura 28 –	Imagens de raio-X, luminescência e bandas estratigráficas de crescimento do testemunho Salvador-PA1.....	93
Figura 29 –	Imagens de raio-X, luminescência e bandas estratigráficas de crescimento do testemunho Abrolhos-CS1.....	93
Figura 30 –	Imagens de raio-X, luminescência e bandas estratigráficas de crescimento do testemunho Búzios-B1.....	93
Figura 31 –	Comparação da cronologia radiométrica U/Th e estratigráficas dos corais de Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação	

	dos Búzios.....	94
Figura 32 –	Séries temporais de crescimento coralino e tendências (linha cheia em preto).....	95
Figura 33 –	Imagem de densitometria e taxa de calcificação do coral da espécie <i>Siderastrea stellata</i> cronologicamente sobrepostos e o comprimento (cm).....	97
Figura 34 –	Microtomografia de regiões (retângulos ampliados) subamostradas do coral para o testemunho de Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.....	98
Figura 35 –	Variabilidade da anisotropia e Número de Poros Fechados da microestrutura coralina para B1 e CS1.....	99
Figura 36 –	Curvas da razão Ba/Ca das três localidades amostradas: Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Armação dos Búzios e o <i>z-Score</i>	101
Figura 37 –	Domínio de precipitação com as estações meteorológicas correspondentes e <i>z-Score</i> dos dados de precipitação para Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios.....	102
Figura 38 –	Regiões hidrográficas da Bacia do Atlântico Leste e da Bacia do Atlântico Sudeste, com seus respectivos rios e áreas de medidas de vazão em represas e hidrelétricas. E as áreas de ocorrência dos corais...	103
Figura 39 –	Curvas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI das regiões das três localidades amostradas: Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios.....	104
Figura 40 –	Comparação da frequência da taxa de crescimento anual cm/ano.....	107
Figura 41 –	“Wavelets” (ondeletas) para os testemunhos coralinos com cones de confiança (95%); e “Redfit” onde as linhas sólidas indicam os intervalos de confiabilidade.....	108
Figura 42 –	Série temporal de Niño 3 e o espectro de potência <i>wavelet</i> do Niño 3 usando <i>wavelet Morlet</i> , normalizado.....	109
Figura 43 –	Resultado da análise de <i>cluster</i> para os índices climáticos considerados neste trabalho e o crescimento dos três testemunhos coralinos.....	110
Figura 44 –	Séries temporais de crescimento coralino e TSM. E a regressão da <i>z-Score</i> do crescimento coralino e da média da TSM.....	112
Figura 45 –	Variabilidade temporal e tendências lineares da anomalia de	

	crescimento coralino anual.....	114
Figura 46 –	Comparação da frequência da taxa de calcificação entre as amostras coralinas de Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios.....	115
Figura 47 –	Densitometria (Taxa de Calcificação) do coral da espécie <i>Siderastrea stellata</i> encontradas no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA e na Armação dos Búzios-RJ, os valores das razões Sr/Ca e U/Ca cronologicamente sobrepostos e o comprimento (cm).....	117
Figura 48 –	Densitometria (Taxa de Calcificação) do testemunho de coral da espécie <i>Siderastrea stellata</i> encontrada em Salvador-BA com os valores das razões Sr/Ca e U/Ca sobrepostos.....	118
Figura 49 –	Sobreposição das séries climáticas de AMO, PDO e AMO+PDO com as taxas de calcificação dos corais.....	119
Figura 50 –	Comparação das curvas dos índices climáticos (PDO e AMO) com a taxa de calcificação dos corais de Armação dos Búzios e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.....	120
Figura 51 –	Curvas do índice médio da PDO em comparação com o pH pelágicos do oceano global e da taxa de calcificação do coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.....	122
Figura 52 –	Comparação das curvas de calcificação dos corais da Grande Barreira de Coral (GBC) na Austrália com a amostra do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.....	123
Figura 53 –	Comparação da curva do Índice de ressurgência com a calcificação do exemplar de Armação dos Búzios.....	125
Figura 54 –	Comparação do número de poros fechados em subamostras do exoesqueleto coralino e os padrões de calcificação para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios.....	128
Figura 55 –	Dispersão da anisotropia com a idade do coral (anos) das amostras coralinas.....	130
Figura 56 –	Comparação da curva da razão Ba/Ca com o número de ocorrência de ressurgência e o lag temporal com o grau de significância para a amostra de Armação dos Búzios.....	132
Figura 57 –	Mapa de temperatura superficial do mar (TSM) e rotacional médio de	

	verão das tensões cisalhantes do vento na costa sudeste brasileira.....	133
Figura 58 –	Agrupamento das áreas de Domínio com as estações meteorológicas e <i>z-Score</i> dos dados de precipitação (mm) da área de ocorrência dos corais e série temporal da concentração da razão Ba/Ca das amostras coralinas (Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios).....	135
Figura 59 –	Regiões hidrográficas da Bacia do Atlântico Leste, a do Atlântico Sudeste, e as áreas de ocorrência dos corais com a série temporal da concentração da razão Ba/Ca coralino e as <i>z-Score</i> dos dados dos rios das bacias.....	137
Figura 60 –	Diagrama do desmatamento da Mata Atlântica e o <i>z-Score</i> da razão Ba/Ca das amostras coralinas.....	138
Figura 61 –	Região da malha hidrográfica de Salvador com NDVI da região de influência e curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral de Salvador e curva do NDVI.....	139
Figura 62 –	Região da malha hidrográfica proximal ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com NDVI da região de influência e curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e curva do NDVI.....	140
Figura 63 –	Região da malha hidrográfica de Armação dos Búzios com NDVI da região de influência e curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral de Armação dos Búzios e curva do NDVI.....	140
Figura 64 –	Comparação das curvas da razão Ba/Ca com o NDVI e o lag temporal com o grau de significância para as três localidades amostras.....	142
Figura 65 –	Curva de Ba/Ca comparada com o diagrama do desmatamentos no sul do Estado da Bahia.....	143
Figura 66 –	Curva de Ba/Ca comparada com os dados populacionais das três localidades amostradas.....	144
Figura 67 –	Gradiente de concentração de bário em sedimento de fundo da Baía de Guanabara-RJ (CORDEIRO <i>et al.</i> , 2015) e tráfego marítimo de plataformas entre a área de exploração da Bacia de Campos e a Baía de Guanabara.....	147
Figura 68 –	Curvas das razões Ba/Ca, Produção de Petróleo e <i>z-Score</i> de cada	

	localidade de interesse.....	148
Figura 69 –	Comparação das razões Ba/Ca dos corais asiáticos e brasileiros com suas economias locais em dólar americano (USD).....	150
Figura 70 –	Curvas das razões Ba/Ca, TSM e <i>z-Score</i> de cada localidade de interesse.....	151
Figura 71 –	Análise de ACP para as razões Ba/Ca e os forçantes continental e marinho. O período considerado de forma que todas as variáveis tivessem a mesma escala de tempo foi entre 1992 a 2005.....	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Sumário dos compostos químicos nos esqueletos coralinos e seus fatores ambientais correlatos.....	25
Tabela 2 –	Seleção dos tipos de análises de dados realizadas pelo software CTAn da mesma marca do fabricante do Micro-CT SkyScan 1172 instalado no LAMIR/UFPR.....	82
Tabela 3 –	Resultados da microtomografia nas amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (CS1) e Armação dos Búzios-RJ (B1).....	99
Tabela 4 –	Comparação do crescimento coralino das espécies <i>Siderastrea stellata</i> (VERRILL, 1868).....	105
Tabela 5 –	Localidade, média anual, máxima e mínima da (TSM), registro coralino estudado (tempo), taxa de crescimento e a taxa de calcificação de <i>Montastrea annularis</i>	116
Tabela 6 –	Taxas de calcificação de várias espécies de corais derivados de dados de peso flutuantes ou calculados do exoesqueleto.....	126
Tabela 7 –	Comparação das curvas das razões Ba/Ca (locais) e z-Score (regionais) de cada área de interesse do crescimento coralino com as séries temporais das variáveis ambientais estatisticamente significativas para nível de confiança de 5%.....	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATA	Anticiclone Tropical Atlântico
BTS	Baía de Todos os Santos
B1	Coral de Armação dos Búzios
DEXA	Densitometria por dupla emissão de raio X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAG	Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes
AB	Abrolhos
ACAS	Corrente de Água Central do Atlântico Sul
AMO	<i>“Atlantic Multidecadal Oscillation”</i> Oscilação Multidecadal do Atlântico
AO	<i>“Antarctic Oscillation”</i> Oscilação Ártica
BA	Estado da Bahia
BZ	Armação dos Búzios
CAS	Corrente do Atlântico Sul
CB	Corrente do Brasil
CBE	Corrente de Benguela
CCA	Corrente Circumpolar Antártica
CM	Corrente das Malvinas
CNB	Corrente Norte do Brasil
CSE	Corrente Sul Equatorial
CS1	Coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos
dir	direção
DMO	Densida Mineral Óssea
ENSO	<i>“El Niño Southern Oscillation”</i> El Niño Oscilação do Sul
ETM	Região estuarina de Turbidez Máxima
GBC	Grande Barreira de Corais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
ICP-MS	<i>“Inductively - Coupled Plasma Mass Spectrometry”</i>
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRD	<i>“Institut de Recherche pour le Développement”</i>
LARAMG	Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais

μCT	Microtomografia Computadorizada de raios-X
MTA	Massa Tropical Atlântica
MEI	“ <i>Multivariate ENSO Index</i> ” Índice Multivariado do El Niño
N	Norte
NAO	“ <i>North Atlantic Oscillation</i> ” Oscilação do Atlântico Norte
NDT	Ensaio Não Destrutivo
NDVI	“ <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ” Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NE	Nordeste
NOAA	“ <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> ”
PA1	Coral de Salvador (Pedra Alva)
ACP	Análise de Componente Principal
PDO	“ <i>Pacific decadal Oscillation</i> ” Oscilação Decadal do Pacífico
PNM	Pressão ao Nível do Mar
RJ	Estado do Rio de Janeiro
ROI	“ <i>Region of Interest</i> ” Região de interesse
S	Sul
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
SOI	“ <i>South Oscillation Index</i> ” Índice de Oscilação Sul
SSE	Sul-Sudeste
TAV	“ <i>Tropical Atlantic Variability</i> ” Variabilidade do Atlântico Tropical
TSM	Temperatura Superficial da Água do Mar
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNEP	Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas
UV	Ultra-Violeta
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
±	Mais ou menos
×	Multiplicação
β	Beta
H ₂ O	Molécula da água
mL	Mililitro
Ca	cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
cm	Centímetro
cm ³	Centímetros cúbicos
rpm	Rotações por minute
α	Alfa
δ ¹⁸ O	Delta O ¹⁸
°C	Grau Celsius
°E	Longitude Leste
°N	Latitude Norte
°W	Longitude Oeste
°S	Latitude Sul
Sr	estrôncio
Sr/Ca	Razão estrôncio/cálcio
U	urânio
U/Ca	Razão urânio/cálcio
Ba	bário
Ba/Ca	Razão bário/cálcio
Cd	cádmio
Cd/Ca	Razão cádmio/cálcio
CO ₂	dióxido de carbono
HNO ₃	Ácido Nítrico
In	índio
Km ²	Quilômetro Quadrado

Th	tório
kV	Quilo Volts
m	Metro
Mg	magnésio
Mg/Ca	Razão magnésio/cálcio
Mn	manganês
Mn/Ca	Razão manganês/cálcio
p	Pressão parcial
r	Valor de Correlação de Pearson
Sc	escândio
Y	ítrio

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	20
1	OBJETIVOS	62
1.1	Geral	62
1.2	Específicos	62
2	MATERIAL E MÉTODOS	63
2.1	Área de estudo	63
2.1.1	<u>Salvador – Bahia</u>	64
2.1.2	<u>O Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos – Bahia</u>	66
2.1.3	<u>Armação dos Búzios – Rio de Janeiro</u>	67
2.2	Amostragem dos testemunhos de corais	70
2.3	Cronologia de Crescimento das colônias de corais	72
2.3.1	<u>Contagem de bandas de crescimento</u>	72
2.3.1.1	<u>Radiografia e processamento de imagem</u>	72
2.3.2	<u>Luminescência de imagem do coral</u>	74
2.3.3	<u>Datação U/Th</u>	74
2.4	Análise da calcificação (Densitometria)	76
2.5	Microporosidade	80
2.6	Mensuração das razões elementares (Sr/Ca, U/Ca e Ba/Ca)	84
2.7	Análise do impacto costeiro	85
2.7.1	<u>Ressurgência</u>	85
2.7.2	<u>Precipitação continental</u>	86
2.7.3	<u>Vazão de rios</u>	86
2.7.4	<u>Aumento populacional humano</u>	86
2.7.5	<u>NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)</u>	87
2.7.6	<u>Atividade petrolífera</u>	88
2.8	Análises estatísticas	88
2.8.1	<u>Análise de similaridade (cluster)</u>	88
2.8.2	<u>Análises espectrais</u>	89
3	RESULTADOS	90
3.1	Cronologia dos testemunhos de corais pelo método da contagem de	

	bandas	90
3.2	Cronologia dos testemunhos de corais pelo método de datação U/Th	92
3.3	Análise das séries temporais de crescimento	95
3.4	Calcificação dos corais	96
3.5	Padrão de microporosidade dos corais	97
3.6	Relação Ba/Ca e indicadores de aporte sedimentar	100
4	DISCUSSÃO	105
	CONCLUSÕES	157
	REFERÊNCIAS	164
	ANEXO A - Gráficos de sobreposição das séries climáticas da AMO, PDO e AMO+PDO com as taxas de calcificação dos corais do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios. Curvas com 15 σ anos média móvel.....	202
	ANEXO B - Urânio e Tório, composições isotópicas e idades para amostras de corais de Pedra Alva-Salvador-BA (PA1, 2, 3 e 4), Chapeirão-Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (CS1, 2, 3 e 4) e Praia da Tartaruga-Armação dos Búzios-RJ (TAI1, 2 e 3).....	203
	ANEXO C - Linhas de tendências obtidas com os diferentes resultados da análise de dados da microestrutura coralina da amostra CS1 feito no software CTAn da marca Skyskan.....	204
	ANEXO D - Linhas de tendências obtidas com os diferentes resultados da análise de dados da microestrutura coralina da amostra B1 feito no software CTAn da marca Skyskan.....	205
	ANEXO E - Série temporal da precipitação por área de coleta dos corais (mm/mês).....	206
	ANEXO F - Série temporal da vazão dos rios de represas e hidrelétricas da Bacia Atlântico Leste (m ³ /s).....	207
	ANEXO G - Série temporal da vazão dos rios de represas e hidrelétricas da Bacia Atlântico Sudeste (m ³ /s).....	209

INTRODUÇÃO

A maior concentração de vida nos oceanos é encontrada nas zonas de recifes de corais, comparáveis, em termos de biodiversidade, às florestas tropicais em terra firme. O ecossistema criado pelos corais protege os peixes, as algas, os moluscos e outros da força das correntes marítimas, ao mesmo tempo em que fornece tanto alimentos em abundância quanto refúgios contra predadores (CASTRO *et al.*, 1995). Recifes de corais ocorrem em regiões tropicais entre 30°N e 30°S (VERON, 2000), formados através de acreção biológica de cristais de aragonita, esta uma das formas cristalinas do carbonato de cálcio (CaCO₃) (WOOD, 1999), secretam carbonato de cálcio pela base de seus pólipos, constituindo um esqueleto externo (exoesqueleto) (SOROKIN, 1995). A busca de compreensão dos processos responsáveis pela riqueza, diversidade e estrutura deste sistema têm levado, nas últimas décadas, a um crescente número de pesquisas tentando dar conta de sua complexidade (SEGAL & CASTRO, 2000). Em um contexto global, os recifes desempenham um importante papel, pois operam como sumidouros de carbono e cálcio, em escala de tempo geológica, controladores do balanço biogeoquímico dos oceanos (SOPPA *et al.*, 2007), além de exercerem a função de proteger os manguezais, as pradarias e os bancos de macroalgas em algumas localidades (DUTRA, 2000).

Sob o ponto de vista geomorfológico, recifes biológicos são estruturas rochosas construídas por organismos marinhos (animais e vegetais) portadores de esqueleto calcário (LEÃO, 1994; BUDDEMEIER *et al.*, 2004). Recifes do Indo-Pacífico possuem maior diversidade, apresentando cerca do dobro de espécies de corais pétreos existentes nos ricos recifes do Caribe que, por sua vez, são mais diversificados que aqueles encontrados no Brasil (PAULAY, 1997). Os recifes de coral brasileiros estão distribuídos ao longo de 3000 km da costa nordeste do país e representam o único sistema recifal verdadeiro do Atlântico Sul, conhecido pelo seu elevado grau de endemismo (FERREIRA & MAIDA, 2006). O Complexo Recifal do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, no estado da Bahia (18°S, 38°W) é o maior e mais diversificado no Atlântico Sul de registros de recifes verdadeiros, o que faz do litoral deste estado o representante do maior número de espécies de corais descritos da costa Nordeste (CASTRO & PIRES, 2001). Além destes recifes verdadeiros que se distribuem desde o sul da Bahia até o norte do Maranhão, comunidades coralinas foram registradas no Brasil desde o Parcel Manuel Luiz, no estado do Maranhão (0° 53'S, 44° 16'W) até Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro (23°S, 42°W), além do Atol das Rocas-RN e do

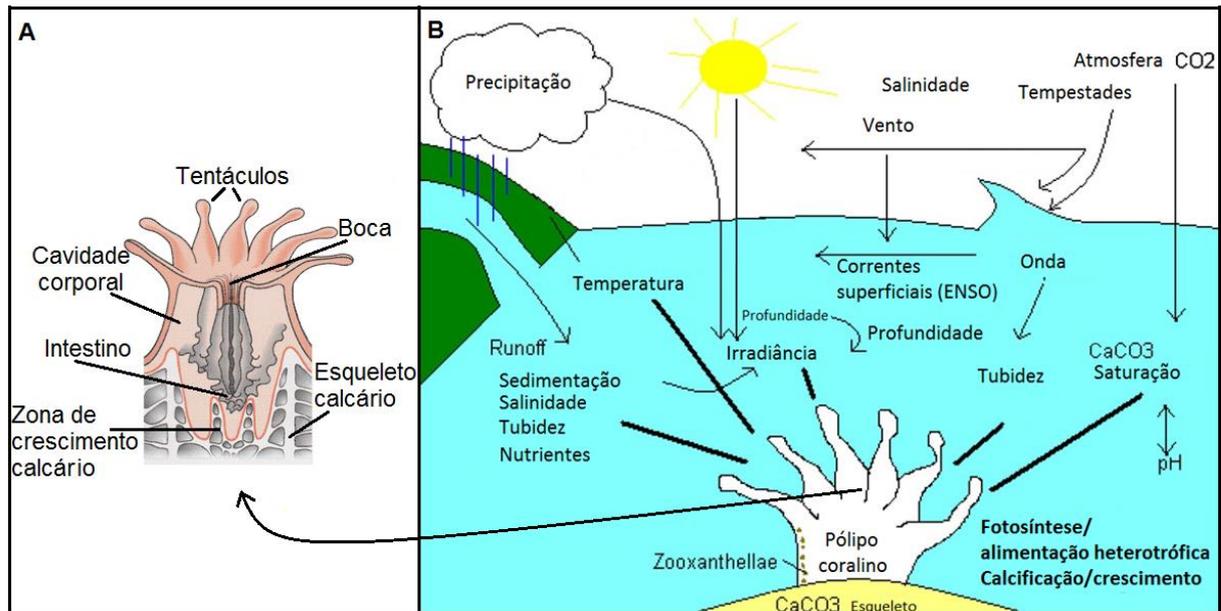
arquipélago oceânico de Fernando de Noronha-PE (CASTRO & PIRES, 2001). Acredita-se que no litoral do estado Sergipe, por exemplo, que os sedimentos descarregados sobre a plataforma continental pelo rio São Francisco inibem a presença de corais no litoral sergipano, e apesar do desenvolvimento de corais não ser tão notável como em outros estados nordestinos, a ocorrência desses organismos já foi observada através de mergulhos, em profundidades entre 8 m e 50 m.

Comparado a outras regiões do mundo, o Brasil possui uma variedade pequena de corais pétreos formadores de recifes: são apenas quinze espécies. O litoral da Bahia tem exemplares de todas elas. Deste total, sete são endêmicas do Brasil e apresentam grande importância biológica. Uma das sete espécies de coral-pétreo endêmica do Brasil é a *Siderastrea stellata* (VERRIL, 1868), que pode ser encontrada no Atol das Rocas (RN), em Fernando de Noronha (PE), e ao longo do litoral, desde o Ceará até o Rio de Janeiro. Em geral, as colônias pequenas aglomeradas em formato esférico ou achatadas, não ultrapassam vinte centímetros de diâmetro. Porém, na Praia da Tartaruga, em Armação dos Búzios, no Rio de Janeiro, é possível ver grandes colônias desta espécie cobrindo vários metros quadrados do fundo do mar próximo da costa (HETZEL & CASTRO, 1994; OIGMAN-PSZCZOL *et al.*, 2004).

Os Cnidários são divididos em dois grandes grupos, de acordo com seu ciclo de vida: os antozoários e os medusozoários. Nos antozoários, os indivíduos são sempre do tipo pólipos, isto é, vivem fixos em algum substrato, com a boca voltada para cima. Neste grupo encontram-se os corais pétreos, os octocorais e os corais-negros (HETZEL & CASTRO, 1994). Pertencentes ao filo Cnidaria, os corais são animais invertebrados, cuja característica mais marcante é a de apresentar o corpo cilíndrico como um saco, aberto em uma única extremidade, identificada como sendo a boca. É através desta abertura, ou seja, da boca, que o coral ingere o alimento e elimina os resíduos. A boca é rodeada por um ou mais círculos de tentáculos que, por sua vez, possuem ação urticante e são utilizados para captura de presa (HETZEL & CASTRO, 1994) (figura 1 A). Essas colônias de corais, cujas estruturas não ultrapassam três centímetros de diâmetro, vivem em águas relativamente quentes e de pouca profundidade. A TSM, a irradiância, a saturação de carbonato de cálcio, a turbidez, a sedimentação, a salinidade e os nutrientes são parâmetros de quem os corais dependem para o seu crescimento e a sua subsistência. Estas variáveis influenciam nos processos fisiológicos da fotossíntese e da calcificação das colônias coralinas. A TSM e, em menor grau, a radiação

solar têm sido altamente correlacionadas com as taxas de calcificação e de crescimento do exoesqueleto (CRABBE, 2007) (figura 1 B).

Figura 1 – Morfologia do pólip coralino e diagrama esquemático dos principais processos meteorológicos de controladores da calcificação, da fotossíntese e sobrevivência do coral



Legenda: (A) Morfologia do pólip coralino e (B) diagrama esquemático resumindo os principais processos meteorológicos e requisitos de controladores da calcificação, da fotossíntese e sobrevivência do coral.

Fonte: A- <http://oceanfu.netai.net/> e B- Adaptado de CRABBE *et al.* (2008a).

Acredita-se que a saúde dos ecossistemas de recifes de corais ao redor do mundo tem diminuído ao longo das últimas décadas e que tais declínios irão continuar no futuro próximo (WILKINSON, 2000, 2008; GARDNER *et al.*, 2003; HUGHES *et al.*, 2003; WILKINSON & SOUTER, 2008).

Ecossistemas de recifes de corais proporcionam benefícios econômicos, sociais e culturais (MOBERG & FOLKE 1999; HUGHES *et al.*, 2003). COSTANZA *et al.* (1997) e colaboradores, estimaram que os ecossistemas de recifes de corais fornecem U\$ 375 bilhões em bens e serviços em escala global. No entanto, distúrbios naturais e antrópicos sinergicamente degradam os ecossistemas de recifes de coral e ameaçam a sua existência (HUGHES, 1994; GARDNER *et al.*, 2003; PANDOLFI *et al.*, 2003). WILKINSON (2008) estimou que nos próximos 10 a 20 anos 15% dos recifes estarão seriamente ameaçados e 19% poderão morrer. Já para os próximos 20 a 40 anos, dados apontam para a ameaça de desaparecimento de 20%. Considerando-se dados sobre as recentes quedas nos ecossistemas

de recifes de coral e previsão de declínio no futuro próximo, devido à mudança climática, não é nenhuma surpresa que HUGHES *et al.* (2003).

a) geoquímica dos corais;

As composições geoquímicas e isotópicas na aragonita de corais de água rasa têm sido amplamente utilizadas como indicadores “proxies” para reconstruir as condições paleoclimáticas (e.g., SHEN *et al.*, 1996; BECK *et al.*, 1997; GAGAN *et al.*, 1998; McCULLOCH *et al.*, 1999, 2003; HENDY *et al.*, 2002; CUTLER *et al.*, 2003; SHEN *et al.*, 2005; THOMPSON & GOLDSTEIN, 2005). De um modo geral a cronologia para corais fósseis e modernos, tinham incertezas variando entre 1 a 5 anos, o que limitava a capacidade de determinar precisamente o registro de eventos climáticos e adotá-los como *proxies*. Atualmente, registros climáticos em corais com resoluções desde a semanal a milenar tem sido extensamente reportados (e.g., GAGAN & CHIVAS, 1995; URBAN *et al.*, 2000; HENDY *et al.*, 2002; COBB *et al.*, 2003a; McCULLOCH *et al.*, 2003; KILBOURNE *et al.*, 2004; SUN *et al.*, 2004; NYBERG *et al.*, 2007).

A cronologia coralina pode ser inferida pela contagem de bandas de crescimento no esqueleto coralino (e.g., DODGE & BRASS, 1984; LINSLEY *et al.*, 1999; KILBOURNE *et al.*, 2004), por meio de ajustes dos registros a partir de métodos adaptados da dendrocronologia e sedimentos como a cronoestratigrafia (e. g., GAGAN & CHIVAS, 1995; LINSLEY *et al.*, 1999; COBB *et al.*, 2003b; HENDY *et al.*, 2003), ou através da medição $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ (Tório e Urânio) utilizando-se espectrometria de massa por ionização térmica (EDWARDS *et al.*, 1987). A dificuldade surge quando se faz uso destes métodos cronológicos para o controle de precisão absoluta nos seguintes casos: (1) corais vivos com descontinuidades nas bandas de crescimento provocadas por condições climáticas abruptas e/ou anomalias tectônicas (e.g., SIEH *et al.*, 1999; HENDY *et al.*, 2003; NATAWIDJAJA *et al.*, 2004) e (2) corais mortos e fósseis sem idades absolutas e/ou mortalidade relacionados com a idade dos marcadores (GLYNN *et al.*, 1983; YU *et al.*, 2004).

O intemperismo e os processos erosivos em diferentes zonas climáticas podem resultar em produtos inorgânicos característicos da rocha originária. Quando estes elementos são carregados para os oceanos (pela ação dos ventos, pelo fluxo dos rios ou pelo gelo flutuante) e depositados no sedimento do fundo, eles transmitem informações sobre o clima das regiões continentais adjacentes, ou sobre a circulação oceânica e/ou atmosférica, no período da

deposição. Nas margens continentais, parte do volume de sedimento é depositado pelos rios, mas nas áreas mais remotas do oceano, por exemplo, a ação dos ventos favorece o carreamento de partículas muito finas em suspensão na atmosfera, que se depositam e se acumulam no substrato oceânico. Os estudos com corais focam principalmente o registro ambiental obtido através de suas razões de crescimento, dos isótopos e elementos traços. Isso levou a novas informações sobre a paleotemperatura, chuva, descarga de rios, circulação oceânica e sistemas de ventos (BRADLEY, 1999).

Dentre os diversos marcadores químicos, o oxigênio, o estrôncio, o urânio, o bário e o magnésio são comumente utilizados para identificar as variabilidades oceânicas, por serem absorvidos pelos corais pétreos em diferentes concentrações de acordo com as variações sazonais ou eventos que controlam sua disponibilidade na coluna d'água (SWART *et al.*, 1998). Estes traçadores podem refletir a Temperatura da Superfície da Água do Mar (TSM) ($\delta^{18}\text{O}$, Sr/Ca, U/Ca, Mg/Ca) (MITSUGUCHI *et al.*, 1997; GUZMÁN & TUDHOPE, 1998; TOLER *et al.*, 2001; REN *et al.*, 2002), a salinidade ($\delta^{18}\text{O}$) (REN *et al.*, 2002; CORRÈGE, 2006), as alterações das concentrações de partículas em suspensão na coluna d'água devido principalmente a processos de ressuspensão e drenagem de rios (Ba/Ca, Cd/Ca, Mn/Ca) (TUDHOPE *et al.*, 1997), ser controlados por fatores como, por exemplo, insolação, atividade fotossintética das algas simbiotes (zooxantelas), respiração entre outros ($\delta^{18}\text{O}$) (GUZMÁN & TUDHOPE, 1998) e indicadores da paleotemperatura são fornecidos pelas razões Sr/Ca, U/Ca e Mg/Ca nos corais (McCULLOCH *et al.*, 1994; MITSUGUCHI *et al.*, 1997).

Por alguns elementos traços possuem semelhança química ao Ca (cálcio), estes são facilmente incorporados pelos corais, possível e/ou normalmente encontrados em seu esqueleto, como: Sr, Ba, Mn, Cd, Mg. Contudo, alguns estudos mostraram que a razão Sr/Ca nem sempre se ajusta bem à variação da TSM (OURBAK *et al.*, 2006) por ser dependente da razão de crescimento do coral. A razão U/Ca provavelmente é controlada tanto pela TSM quanto por outros parâmetros, como o aporte de material continental. Assim, essa razão nem sempre é usada nos estudos como um *proxy* da TSM (OURBAK, *op. cit.*), no entanto, em alguns casos foi provado que é mais sensível às variações de temperatura do que o Sr/Ca (OURBAK, *op. cit.*).

Estudos anteriores sugeriram que a razão Ba/Ca está inversamente relacionada com a TSM. A concentração do bário na água do mar é muito variável e aumenta com a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água, sendo encontrada em maiores quantidades em águas mais profundas. Isso indica que esta razão pode fornecer informações sobre a

ocorrência do fenômeno da ressurgência (OURBAK, op. cit.). Ba/Ca também refletem o aporte sedimentar continental ocasionado pelas chuvas, já que o material terrígeno é rico em bário quando comparado às concentrações naturais na camada de mistura oceânica (TUDHOPE *et al.*, 1997; BRADLEY, 1999).

Na Tabela 1 observa-se um resumo dos compostos químicos nos esqueletos coralinos e seus fatores ambientais correlatos que indicam fortes sinais com aplicabilidade conhecida em áreas geográficas e sinais fortemente correlacionados com eventos em determinados sítios.

Tabela 1 – Sumário dos compostos químicos nos esqueletos coralinos e seus fatores ambientais correlatos

	TSM	Salinidade	Dinâmica de nutrientes	Descarga fluvial	Lumino-sidade	Produção primária	Ressuspensão Aporte
B/Ca	X						
F/Ca	X						
Mg/Ca	X						X
Mn/Ca			X				
Sr/Ca	XX						
Cd/Ca			XX				
Ba/Ca			XX	X		X	
U/Ca	XX						
$\delta^{18}\text{O}$	XX	XX		X			
$\delta^{13}\text{C}$			X		X	X	
Luminescência				X			

Legenda: Temperatura da superfície do mar-TSM, (XX) Indica fortes sinais com aplicabilidade conhecida em áreas geográficas e (X) indica sinais fortemente correlacionados com fatores em determinados sítios.
Fonte: Adaptado de MITSUGUCHI, 2000.

- Biogeoquímica do estrôncio (Sr);

O ciclo biogeoquímico do Sr, de forma resumida, pode ser definido da seguinte maneira: aporte de material originário de intemperismo terrestre ao oceano, sedimentação no assoalho oceânico por precipitação inorgânica, e absorção pelos organismos, diagênese levando a formação de rocha sedimentar e, eventualmente, rocha ígnea, e por fim, o retorno ao continente através de erupções vulcânicas.

Os íons do elemento Sr possuem duas características semelhantes aos íons de Ca: a mesma valência (+2) e o raio iônico com valores muito próximos ($\text{Ca}^{2+} = 1,00 \text{ \AA}$, $\text{Sr}^{2+} = 1,18$

Å) (KRAUSKROPF & BIRD, 1995). De tal modo, o Sr em minerais como calcita e aragonita, pode substituir o Ca segundo a seguinte equação (1),



enquanto que o montante substituído é uma função do coeficiente de particionamento entre o mineral (aragonita ou calcita) e o fluido de onde precipitam Ca e Sr, neste caso a água do mar. Portanto, equação (2),

$$[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}} = D_{\text{Sr}}[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{água}} \quad (2)$$

onde D_{Sr} representa o coeficiente de particionamento entre a razão Sr/Ca do material carbonático e a água do mar circundante. A dedução da TSM a partir dos valores de $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ baseia-se na dependência de D_{Sr} com a temperatura. Como a aragonita biogênica geralmente não está em equilíbrio termodinâmico com a água do mar, o mecanismo exato de dependência entre D_{Sr} e TSM deve ser determinado empiricamente (MARTIN *et al.*, 2004). Outra premissa importante para um traçador de TSM é que sua concentração no oceano seja razoavelmente constante ao longo do tempo. As variações de Sr/Ca no oceano são tidas como estáveis ao longo do tempo (CORRÈGE, 2006), porém já foram reportadas variações temporais (STOLL & SCHRAG, 1998) e espaciais (DEVILLIERS *et al.*, 1995) que podem levar a incertezas de 2-3°C.

Os estudos de SMITH *et al.* (1979), foram um dos primeiros capazes de validar a dependência de D_{Sr} em relação à temperatura, com experimentos *in situ* e em laboratório. Entretanto, o estudo realizado por BECK *et al.* (1992) foi o que difundiu o interesse pelo uso da razão Sr/Ca de corais como um traçador confiável de temperatura. Este estudo utilizou a técnica de Espectrometria de Massa por Ionização Térmica para medir valores da razão Sr/Ca anual em uma resolução quase mensal. A precisão da TSM reconstruída pelos autores chegava a 0,5°C, o suficiente para registrar variações anuais de águas tropicais.

Numerosos estudos utilizando $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ como traçador de TSM, desde então, vêm sendo desenvolvidos, porém sempre se discutiu a respeito da relação entre o crescimento e a incorporação de Sr no esqueleto (WEBER, 1973; CORRÈGE, 2006). Algumas pesquisas apontam que os valores de $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ são mais afetados pelo crescimento do que pela TSM (WEBER, 1973; DEVILLIERS *et al.*, 1995 e outros), enquanto outros estudos apontam que

apenas as flutuações TSM interferem nos valores de $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ (BECK *et al.*, 1992; SHEN *et al.*, 1996; ALIBERT *et al.*, 1997).

Existe ainda discussão sobre se $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ está mais relacionada ao crescimento ou à TSM. Há dúvida se os processos fisiológicos dos corais estariam envolvidos na incorporação do Sr, e se este processo é espécie-específico (COHEN *et al.*, 2004). Por isto, estudos recentes têm utilizado calibrações de TSM a partir dos valores de $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$, levando-se em consideração os efeitos do crescimento dos corais (GOODKIN *et al.*, 2005; SAENGER *et al.*, 2008). Desta forma, são capazes de melhorar consideravelmente as estimativas de temperatura inferidas pelos corais.

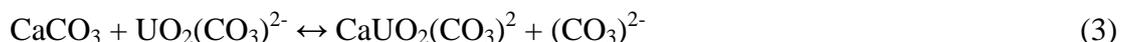
O emprego da razão Sr/Ca como traçador da TSM em corais também apresenta certas vantagens em relação a outros traçadores, como a razão Mg/Ca e o $\delta^{18}\text{O}$. Boa parte do Mg presente no esqueleto coralíneo pode estar associado a matéria orgânica e não à substituição na estrutura do esqueleto calcário (WATANABE *et al.*, 2001). Já em relação ao $\delta^{18}\text{O}_{\text{água}}$, seus valores tendem a flutuar em função dos regimes de evaporação/precipitação, enquanto que $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{água}}$ tende a ser mais estável (CORRÈGE, 2006), o que o torna um traçador mais confiável. Para que a correlação entre TSM e $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ seja precisa, deve-se obter *in situ* os valores de TSM (i.e. BECK *et al.*, 1992; QUINN & SAMPSON, 2002), havendo algumas exceções de estudos que se utilizam de modelagens (i.e. CARDINAL *et al.*, 2001). Neste caso, podemos assumir que a precisão do modelo, sua resolução espaço-temporal e a continuidade de seus registros sejam fundamentais para a coerência entre $[\text{Sr}/\text{Ca}]_{\text{coral}}$ e TSM.

-Biogeoquímica do urânio (U);

O intemperismo continental é considerado a maior fonte de urânio para o oceano, que recebe um aporte de cerca de 53 $\mu\text{mol}/\text{ano}$, sendo quase 80% desta carga ($\sim 42 \mu\text{mol}/\text{ano}$) transportada através de rios (DUNK *et al.*, 2002). O tempo de residência do U no oceano é grande (400 mil anos) quando comparado ao aporte anual, acarretando um sistema de tamponamento que restringe a fluatibilidade dos níveis de U no oceano, ao longo do tempo, (SHEN & DUNBAR, 1995).

Em meios aquosos oxidantes, U ocorre principalmente no estado hexavalente como o estável grupo uranil, $(\text{UO}_2)^{2+}$ (raio iônico 0,9 Å), e em complexos formados por este grupo. Na água do mar a forma dominante é o ânion uranil-carbonato $(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3)^{4-}$ (SHEN & DUNBAR, 1995). O estudo realizado por SHEN & DUNBAR (1995) sugere que a forma

mais provável de incorporação de U pela aragonita do esqueleto coralino pode ser descrita pela seguinte equação (3),

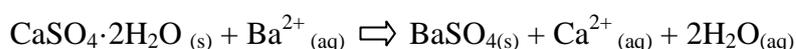


demonstrando que a disponibilidade do ânion uranil-carbonato na água influencia na incorporação do elemento U na matriz cristalina da aragonita.

A precisão da razão U/Ca em relação à TSM é tida como cerca de 5x superior à razão Sr/Ca (MIN *et al.*, 1995; SHEN & DUNBAR, 1995; CORRÈGE, 2006). MIN *et al.* (1995) realizaram um dos primeiros estudos correlacionando TSM e $[\text{U/Ca}]_{\text{coral}}$, porém esta correlação baseou-se apenas em evidências empíricas semelhantes às encontradas por SHEN & DUNBAR (1995), sendo que os mecanismos responsáveis pela incorporação e flutuação da razão U/Ca no esqueleto coralíneo permanecem desconhecidos. Por este motivo, a razão U/Ca tende a ser utilizada como um complemento em relação a outros traçadores de TSM (Sr/Ca, Mg/Ca e $\delta^{18}\text{O}$) em abordagens “*multiproxy*” (i.e. WEI *et al.*, 2000; QUINN & SAMPSON, 2002).

-Biogeoquímica do bário (Ba);

O bário é um elemento abundante na crosta terrestre, é um importante componente em muitos tipos de rochas ígneas e siliciclásticas e está tipicamente presente nas rochas em concentrações entre 200 - 900 ppm (HANOR, 2000). A maioria do bário na superfície terrestre existe na forma de impurezas em K-transporte de minerais tais como o K-feldspato e K-mica tal como muscovita, que é um mineral do grupo dos filossilicatos (micas). Isto é porque os íons Ba^{2+} têm um raio iônico semelhante e eletronegatividade de íons K^+ , e pode substituir o K^+ em muitos minerais. No entanto, algum bário também substitui os íons de cálcio no Ca-silicato (HANOR, 2000). O bário também pode ser encontrado formando óxidos em rochas ígneas e, como hidróxidos de produtos de intemperismo (KABATA-PENDIAS, 2011). Reações de íons bário com anidrita, CaSO_4^{2-} faz o mineral barita substituir o “gesso” ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou anidrita, através da mecanismo (HANOR, 2000):



Argilas em estratos sedimentares também podem favorecer a adsorção de bário. A proximidade relativa do bário com o estrôncio em comparação ao cálcio na tabela periódica, sugere que o bário, BaSO_4 , seja capaz de formar soluções sólidas completas com celestina, SrSO_4 , e soluções sólidas incompletas com anidrita, CaSO_4 (HANOR, 2000). Mesmo que não haja uma diferença significativa iônica nos raios entre Ba^{2+} e Sr^{2+} , íons de 1,34Å e 1,18Å, barita e celestina ainda formam soluções sólidas completas (HANOR, 2000).

Na biosfera, o bário é encontrado através de biomineralização por microorganismos. Íons de bário lixiviados de rochas e minerais são disponibilizados às plantas e animais através do solo ou de água do mar. Minerais de bário autigênicos, que ocorrem onde são originários, são menos abundantes em ambientes terrestres, do que em solos, praias e sistemas de águas subterrâneas de acordo com os mesmos princípios químicos que norteiam a geoquímica do bário nos oceanos. O bário é liberado do intemperismo químico de rochas sedimentares em ambos os sistemas, terrestres e marinhos. Há certa sobreposição entre a precipitação de bário no sistema oceânico e em sistemas terrestres. No entanto, é importante observar ambos os ciclos terrestres e oceânicos separadamente. Isto porque, após a precipitação, o bário comporta-se diferentemente nos oceanos em comparação ao solo (KAUR, 2013).

Uma das principais fontes de bário na atmosfera provém de solos áridos devido à erosão eólica do sedimento praial, por exemplo e posteriormente, à deposição de minerais como sedimentos, processo pelo qual os elementos na atmosfera são depositados na superfície da Terra (MANAHAN, 2000). A adição de íons de bário no solo a partir da atmosfera ocorre através de precipitação ou poeira. A adição líquida é especialmente visível em solos áridos onde a chuva combina com solo alcalino e flutuações da umidade aumentam a mobilidade do bário no solo (ROBINS *et al.*, 2012).

O bário incorporado no oceano através de águas superficiais frias, penetra na crosta e reage com lava, magma, ou rocha fresca basáltica (HANOR, 2000). E também através da precipitação da água intersticial, ou seja, água contida em espaços entre as partículas do sedimento (CHURCH & KENNETH, 1972). Infiltrando por movimentos de água salgada ao longo de falhas e fraturas permeáveis no fundo do mar (HANOR, 2000). Esta água é aquecida e pressurizada, o que facilita a dissolução e lixiviação de íons incluindo Ba^{2+} a partir das rochas. Quando a temperatura da água está quente, a água do mar hidrotermal por exemplo, eventualmente, se eleva e é liberada de volta para a coluna de água mais fria, e a precipitação (cristalização) de íons em vários minerais ocorre (HANOR, 2000). Talvez por isso depósitos de barita marinhos ocorram em falhas na maioria das margens divergentes.

Reações de bário com estrôncio e sulfato produzem sais insolúveis de tal modo que Ba, Sr e sulfato não tendem a permanecer em conjunto, quando dissolvido na água do mar (HANOR, 2000). Isto causa a reprecipitação de bário a partir de soluções aquosas, sob a forma de sais insolúveis como sulfato de bário e carbonato de bário. Por exemplo, em soluções de estrôncio-bário, uma pequena constante de equilíbrio é observada entre K_{Sr-Ba} em baixas temperaturas, o que leva a uma forte partição preferencial de bário para a fase sólida, e a do estrôncio para o fase aquosa (HANOR, 2000).

A solubilidade do bário nos oceanos, em solo alcalino ou soluções de água subterrânea, depende de vários fatores, incluindo o pH, a concentração de outros íons tais como o carbonato, cloreto e sulfato e em complexos orgânicos formados (CHURCH & KENNETH, 1972). A solubilidade do bário aumenta à medida que o pH diminui de pH=11 para pH=7, sendo aproximadamente constante para $pH < 7$ (NEUBRAND, 2000). Em pH mais elevado, com $pH \geq 8$ (NEUBRAND, 2000), e dependendo da presença de outros íons, a solubilidade do bário diminui e precipita em diferentes formas. Quando o pH é 9,3 ou menor, a cristalização do sulfato de bário limita tipicamente a concentração de bário em água (BODEK *et al.*, 1988). Por outro lado, quando o pH é 9,3 ou superior, a presença de carbonato, minerais de bário, como carbonato de bário pode ser dominante na água do mar (BODEK *et al.*, 1988). No entanto, íons como cloreto, o nitrato e o carbonato podem aumentar a solubilidade do sulfato de bário em solos, na água do mar e nas águas subterrâneas, quando pH está abaixo de 9,3 (YEE-WAN *et al.*, 2012). A oxidação de elementos como enxofre pode aumentar as concentrações de SO_4^{2-} , promovendo reações entre íons bário e sulfato, e da rápida precipitação de barita. Este fenômeno é especialmente provável em áreas com um excesso de sulfato, como na água do mar (CHURCH & KENNETH, 1972). Se a solubilidade do bário diminui provoca sua sedimentação. O aumento da sedimentação pode aumentar o risco de acumulação de grandes quantidades de bário, que pode formar perigosos compostos orgânicos e sais de metais pesados (MANAHAN, 2000).

Estuários e deltas também são áreas de importantes contribuições adicionais de bário no oceano. A precipitação de sais de bário é acelerada especificamente no ponto onde rios desaguam no oceano, devido ao elevado teor de sulfato em oceanos, cerca de aproximadamente 905 mg/L (BOWEN, 1966). A combinação de diferentes íons e minerais em estuários torna a área com excessiva precipitação e atividade biológica. A precipitação de barita e outros minerais ocorre porque os estuários formam uma região estuarina de turbidez máxima - ETM, (GREYER, 1993). As regiões ETM são vistas como um limite terrestre de

intrusão salina em estuários (GREYER, op. cit.). Na região de ETM, existem níveis elevados de partículas em suspensão devido à presença de variações das marés e circulação estuarina (GREYER, op. cit.). A força de maré, talvez, empurre a água salina para dentro do rio, e vemos resuspensão de sedimentação com a maré, que é a convergência horizontal de sedimento (GREYER, op. cit.). Greyer desenvolveu um modelo numérico que suporta a hipótese de que um aumento na estratificação reduz a turbulência e aumenta a taxa de captura de sedimentos em suspensão que ocorre na ETM. Juntamente com a precipitação, a maioria do bário encontrada em águas superficiais marinhas vem de sedimentos terrígenos em vez de ter origens biogênicas (PIRRUNG *et al.*, 2008). Sedimentos terrígenos são sedimentos que se originam de ambientes terrestres por erosão de rochas da Terra (PINET, 1996), e são transportados para o mar principalmente pelos rios, mas o gelo e vento também desempenham papel na sua deslocação.

É importante compreender a mobilidade de bário em soluções no solo (água no solo com íons dissolvidos), rios e estuários, como parte dos sistemas terrestres. Depois disso, o bário é liberado via intemperismo das rochas e minerais, a sua mobilidade depende da capacidade de troca de cátions do solo e seu teor de carbonato de cálcio (YEE-WAN *et al.*, 2012). A troca de cátions é um processo pelo qual íons metálicos incluindo Ba^{2+} são absorvidos pelas plantas em troca de íons de hidrogênio (MANAHAN, 2000) e é essencialmente dependente do tipo e da abundância de minerais de argila e matéria orgânica no solo. Aumento de minerais de argila e matéria orgânica do solo leva a adsorção temporária de íons bário em minerais de argila. A taxa de adsorção depende da solução e o tipo de filossilicatos; aumento da taxa de íons acresce a força de adsorção (DIXON & WEED, 1989; BRADY & WEIL, 1999). Solos com alta taxa de capacidade de troca de cátions e teor de carbonato de cálcio elevado limitam a mobilidade de bário (YEE-WAN *et al.*, 2012). Este é, talvez, o motivo pelo qual a alta troca de cátions significa maior absorção de bário para plantas, o que diminui a mobilidade de bário em solos. No entanto, o alto teor de cloreto e/ou baixo pH aumentará a mobilidade do bário em solos (YEE-WAN *et al.*, 2012).

A decomposição da matéria orgânica também afeta de maneira complexa a mobilidade do bário em solo. Ou porque o processo de deterioração é uma reação comum de oxi-redução, provocando o aumento dos níveis de CO_2 dissolvido na água subterrânea, ao tempo em que reduz o pH acrescentando o intemperismo aos carbonatos (MANAHAN, 2000). Ou devido ao aumento na dissolução de CO_2 (redução do pH) no solo que aumentaria a mobilidade de bário, pois os solos ácidos tornam mais difíceis a sua liberação pelas plantas (KABATA-

PENDIAS, 2011). O possível mecanismo de absorção do bário pelas plantas pode ser demonstrado pela seguinte equação (MANAHAN, 2000):



No entanto, o aumento de intemperismo de carbonatos como a calcita iria reduzir a acidez, diminuindo assim a mobilidade. Altas concentrações de íons dissolvidos de Cl^- ou Mg^{2+} podem aumentar a mobilidade de bário no solo (HANOR, 2000; ROBINS *et al.*, 2012).

Diversas atividades humanas tais como a perfuração de poços de petróleo influenciam o ciclo biogeoquímico global de bário. Alguns minerais de bário, como os sais de bário, a barita, também por ser facilmente transformada em pó, tem um amplo uso industrial (HANOR, 2000). O carbonato de bário (BaCO_3) é matéria-prima para produtos químicos que são usados na fabricação de vidro, cerâmicas, tubos de TV, tintas, plásticos e papel fotográfico de impressão (HANOR, 2000). A barita também é utilizada como um componente de fluidos de perfuração de poços de petróleo. As principais fontes de liberação antropogênica de bário na biosfera incluem fluidos de perfuração e resíduos agrícolas, que podem conter bário dissolvido e a emissão de partículas de bário no ar também ocorre devido à poeira derivada de atividades tais como mineração, refino e produção (YEE-WAN *et al.*, 2012).

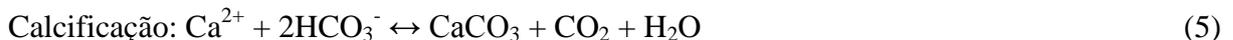
Na literatura, os procedimentos adotados para o ajuste cronológico das séries geoquímicas (Sr/Ca, U/Ca, B/Ca) são realizados a partir da estratigrafia do esqueleto coralino (DODGE & VAISNYS, 1980), ou pela calibração desta com uma série de temperatura da água do mar para o mesmo período (SWART *et al.*, 2002; OURBAK *et al.*, 2006). A estratigrafia consiste na contagem visual das bandas de crescimento, a partir da imagem radiográfica da placa do coral. Foi estabelecido através de testes radiométricos que um ano de crescimento do coral corresponde a, aproximadamente, um par de bandas de alta e baixa densidade observadas nas radiografias (KNUTSON *et al.*, 1972). No entanto, neste trabalho, mesmo as melhores imagens radiográficas não apresentavam com nitidez todas as bandas. Por isso, para garantir o melhor ajuste cronológico dos resultados geoquímicos, utilizou-se uma série temporal de temperatura superficial da água do mar para cada região. De maneira que os picos mínimos e máximos de temperatura, que correspondem a uma variação sazonal, servissem de referência de ajuste aos mínimos e máximos dos resultados das razões, como descrito por SWART *et al.* (2002).

b) processo de calcificação em corais;

Em recifes de coral, os processos de fotossíntese e calcificação estão fisiologicamente ligados. Os corais escleractíneos vivem em associação simbiótica com as zooxantelas, dinoflagelados do gênero *Symbiodinium*, que apresentam capacidade fotossintética. O metabolismo líquido destes organismos é determinado, portanto, pelo balanço entre a produção fotossintética das zooxantelas e o consumo heterotrófico pelos corais. Além disso, corais escleractíneos, macroalgas calcárias e comunidades recifais, sob luminosidade, exibem uma maior taxa de calcificação. A partir desta observação, concluiu-se que o processo fotossintético, de algum modo, atua como intensificador da calcificação nestes organismos (LECLERCQ *et al.*, 2002; BUDDEMEIER *et al.*, 2004; BYTHELL, 2010).

No entanto, ainda é pouco conhecido o mecanismo que norteia este processo. Uma das hipóteses defendidas por pesquisadores é a de que o aumento das taxas de calcificação ocorre devido à diminuição da pressão parcial de CO₂ extracelular no tecido do coral, decorrente da assimilação de CO₂ pelas zooxantelas durante o processo fotossintético. Este consumo de CO₂ acarreta aumento do pH e, conseqüentemente, da disponibilidade de íons carbonatos, aumentando as taxas de calcificação (OKAMOTO *et al.*, 2010).

Os processos biológicos de fotossíntese e calcificação em recifes de coral estão intrinsecamente relacionados com o ciclo global do carbono, uma vez que ambos são consumidores de carbono inorgânico dissolvido (LECLERCQ *et al.*, 2002), como pode ser observado nas equações simplificadas (4), (5) e (6).



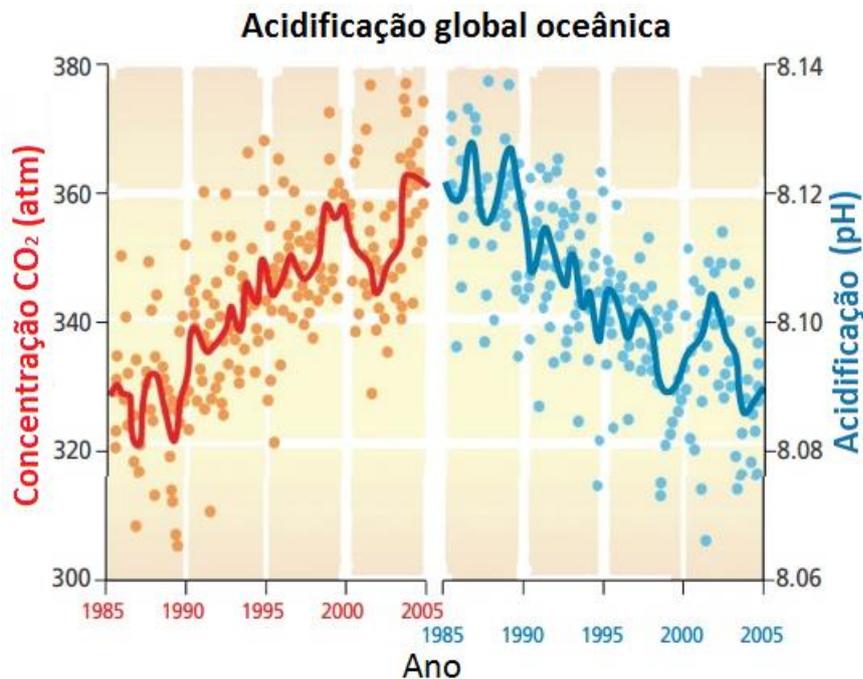
Interações complexas existem entre a calcificação e o carbono inorgânico dissolvido. Os organismos calcificantes utilizam para a deposição de carbonato de cálcio (CaCO₃) íons carbonato e bicarbonato em conjunto com o cálcio (Ca²⁺), elemento com grande concentração e tempo de residência na água do mar (REYNAUD *et al.*, 2003).

Os íons carbonato (CO₃²⁻) e bicarbonato (HCO₃⁻) são produtos da solubilização do dióxido de carbono na água do mar (LECLERCQ *et al.*, 2000; ZEEBE & WOLFGADROW, 2001) como pode ser observado na reação (7):



A especiação química do CO_2 na água do mar e as concentrações dos íons produzidos por sua dissociação dependem, principalmente, da alteração do pH (figura 2) e consequentemente, dos fatores que atuam para esta variação. Processos que conduzem ao aumento das concentrações de CO_2 (respiração e entrada deste gás por difusão) diminuem o pH da água. O oposto ocorre através de processos assimiladores de CO_2 como a fotossíntese. Na faixa de pH “normal” da água do mar (por volta de 8 – 8,2), a forma predominante é o íon bicarbonato (HCO_3^-) (ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001), o que torna a reação de calcificação a partir do bicarbonato, equação (5), mais consistente que a reação com carbonato, apresentada na equação (6).

Figura 2 – Acidificação global oceânica



Fonte: Pravettoni, R. UNEP/GRID-Arendal (IPCC 2007).

Outro fator determinante para que haja a calcificação coralina é o estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}) (LECLERQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003). A aragonita é a forma de carbonato de cálcio que os corais utilizam para a precipitação do esqueleto calcário. Seu estado de saturação está relacionado com o equilíbrio de solubilidade deste sólido na água do mar. Se a saturação estiver acima da capacidade corrosiva da água do mar, então há uma supersaturação da aragonita e poderá ocorrer precipitação de CaCO_3 . No entanto, se o potencial de solubilidade da água for maior que a saturação do sólido, existe uma

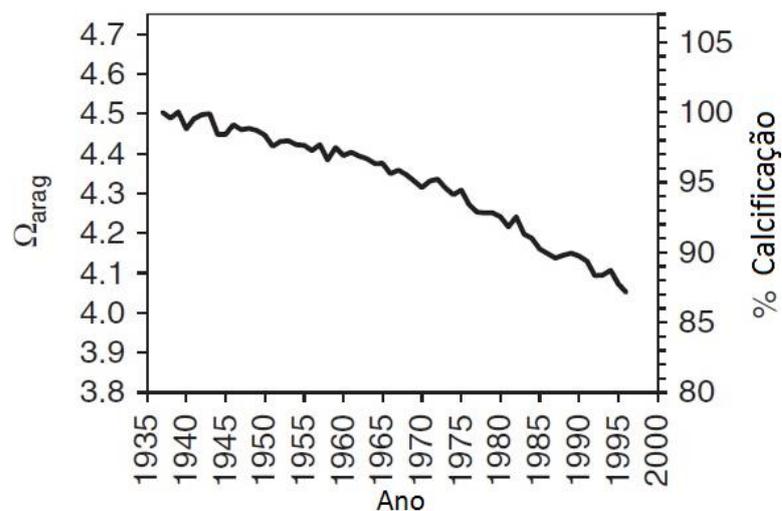
subsaturação da água com relação à aragonita resultando na dissolução de CaCO_3 . Ω_{arag} pode ser quantificado a partir da equação (8):

$$\Omega_{\text{arag}} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] / K_{\text{arag}} \quad (8)$$

onde K_{arag} é o produto da solubilidade de CaCO_3 na forma de aragonita. Como o cálcio é um elemento conservativo na água do mar, a concentração de íons carbonato é o maior determinante para o estado de saturação da aragonita.

Declínios na calcificação dos corais foram estimados em torno de 10% para o século XX, com previsão para dobrar a redução da calcificação durante o século XXI (GATTUSO *et al.*, 1999; KLEYPAS *et al.*, 1999; HELMLE, *et al.*, 2011) (figura 3). Muitos estudos experimentais demonstram que as reduções no pH e de concentração íons carbonato (CO_3^{2-}) (similar ao esperado devido aumento da $p\text{CO}_{2\text{ar}}$) (onde p é igual a pressão parcial) causaram declínios substanciais e previsíveis na calcificação do coral (LANGDON, 2002; KLEYPAS & LANGDON, 2006). Estes resultados laboratoriais são baseados em fatores limitantes para restringir os valores conhecidos de pH, estados de saturação de aragonita (Ω_{arag}), ou concentração de CO_3^{2-} . A calcificação coralina *in situ* está sujeita a interações complexas e limitadas por variáveis ambientais, tais como temperatura, luz, nutriente e química da água (LANGDON & ATKINSON, 2005; COHEN & HOLCOMB, 2009).

Figura 3 – Estado de saturação de aragonita e calcificação

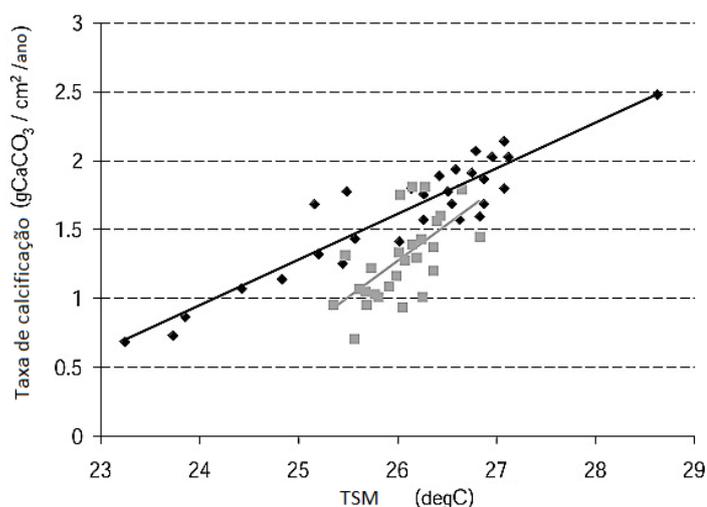


Nota: Estado de saturação de aragonita Modelada, Ω_{arag} , (eixo y à esquerda) é apresentado para o período do registro de crescimento de corais (1937-1996) que abrange a área de estudo (24° - 25°N e 80° - 81°W) Florida Keys-EUA, juntamente com o cálculo da variação percentual na calcificação (eixo y à direita) assumindo 100% de calcificação em 1937.

Fonte: HELMLE, *et al.*, 2011.

Variações cíclicas na porosidade do esqueleto de muitos corais produzem faixas de densidade anuais (KNUTSON *et al.*, 1972), que fornecem um registro de crescimento linear, densidade e calcificação. Identificar variáveis ambientais limitantes do crescimento é um objetivo eficaz da esclerocronologia coralina. No entanto, geralmente variáveis individuais explicam apenas uma parte da variabilidade anual das taxas de crescimento. Registros de crescimento multidecadais do Pacífico, que abrangem o século XX, inicialmente, demonstraram uma relação linear positiva entre a calcificação anual e TSM (LOUGH & BARNES, 2000) (pontos pretos), e ao longo do tempo (até 1990), com a contabilidade da TSM para cerca de 30% da variabilidade anual e indicando a ~4% de aumento na calcificação por 1°C (BESSAT & BUIGUES, 2001) (pontos cinzas) (figura 4).

Figura 4 – Relações entre a média anual da TSM (°C) e a calcificação coralina mostrado em dois estudos separados com colônias de *Porite*



Fonte: McNEIL *et al.*, 2004.

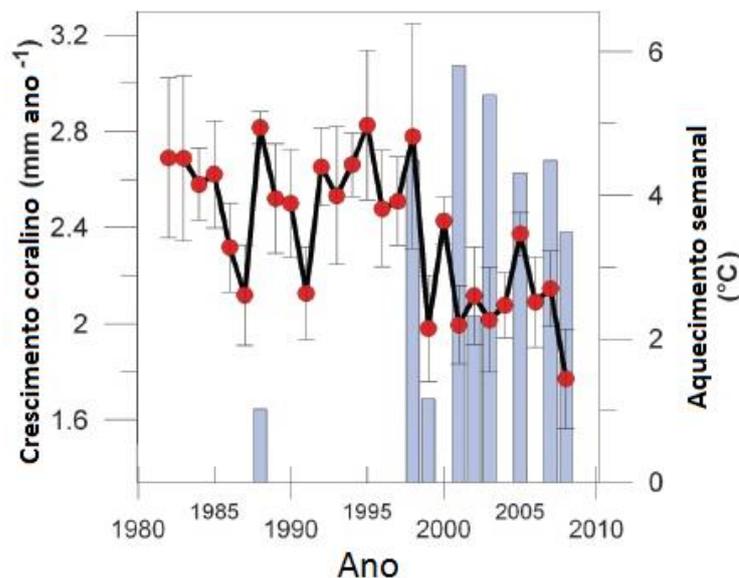
c) corais e as mudanças climáticas;

Previsões para o ano de 2055, baseadas em observações experimentais, indicam que os efeitos combinados do aumento da temperatura e a acidificação dos oceanos podem aumentar a frequência de eventos de branqueamento (quando o hospedeiro expelle suas algas endossimbióticas) e reduzir a calcificação de corais em 80% dos valores atuais, quando as concentrações de CO₂ atmosférico chegarem a 560 ppm (DONNER *et al.*, 2005, SILVERMAN *et al.*, 2009). Neste ponto, as taxas de produção de CaCO₃ coralinos e outros

calcificadores recifais não poderão manter o balanço com a erosão. Temperaturas elevadas suprimem as taxas de calcificação dos corais construtores de recifes (DE'ATH *et al.*, 2009) afetando a relação entre o coral hospedeiro e as zooxantelas. Com as temperaturas subindo acima do limite dos valores de verão, a capacidade fotossintética simbióticas das algas zooxantelas irá diminuir (JONES *et al.*, 1998), e reduzir a disponibilidade de derivados fotossintéticos de algas (luz), que são combustíveis com capacidade de calcificação (AL-HORANI *et al.*, 2003). Um aumento prolongado de $\sim 1^{\circ}\text{C}$ ou mais acima do histórico das temperaturas máximas da TSM (JOKIEL & COLES, 1990) pode resultar numa perda substancial de algas zooxantelas provocando o "branqueamento", interrupção de calcificação, e em alguns casos mortalidade do coral. As previsões do modelo (DONNER *et al.*, 2005; SILVERMAN *et al.*, 2009) consideraram a temperatura à qual ocorre branqueamento como o "limiar" de temperatura em que a calcificação do coral começa a declinar. No entanto, é evidente que as temperaturas elevadas podem afetar negativamente a calcificação antes mesmo do branqueamento. De fato, estudos de cultura em laboratório e observações de campo mostraram que a temperatura ideal para a calcificação para várias espécies de corais de ambientes tropicais são aquelas com vários graus abaixo de suas TSM's de verão (LOUGH & BARNES, 2000; MARSHALL & CLODE 2004).

O declínio no crescimento e calcificação nas últimas duas décadas (1985-2005) no Pacífico, no Mar de Andaman e, no Mar Vermelho foi inicialmente atribuído ao aumento da TSM, sugerindo a relação não linear, em que ambas temperaturas, as baixas e altas, são capazes de reduzir as taxas de crescimento (LOUGH, 2008; CANTIN *et al.*, 2010) (figura 5). Por outro lado, uma relação negativa linear entre a taxa de crescimento e TSM foi relatado por um registro coralino das Bahamas de 440 anos, e foi responsável por 45% da variação das taxas de crescimento com base em 6 anos de escala temporal (SAENGER *et al.*, 2009).

Figura 5 – Impacto do estresse térmico acumulado sobre o crescimento do coral



Nota: Taxas de crescimento anuais de *D. heliopora* (círculos vermelhos, média \pm 1) versus o produto anual do grau de aquecimento semanal (barras azuis) para este local. Em geral, o branqueamento moderado dos corais é esperado acima de 4 graus de aquecimento semanal e de branqueamento grave e mortalidade acima de 8 graus de aquecimento semanal. Os corais neste estudo não foram visivelmente branqueados no momento da amostragem. No entanto, seu registro de crescimento do esqueleto revela o impacto significativo de estresse térmico crônico ao longo da última década.

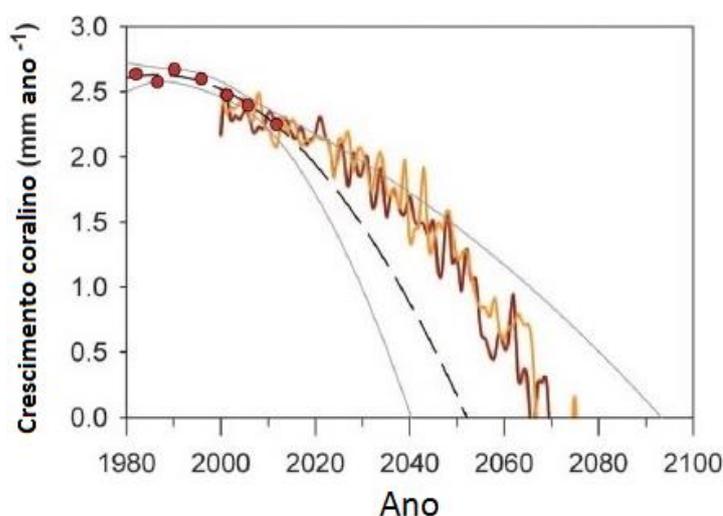
Fonte: CANTIN *et al.*, 2010.

A média das TSM anuais em grande parte dos trópicos e subtropicais globais têm aumentado entre 0,4° e 1°C nas últimas quatro décadas (KLEYPAS *et al.*, 2008). No entanto, no Mar Vermelho central, lar de crescimento extensivo de recifes e de uma grande diversidade de corais escleractíneos, a extensão do aquecimento excede o aquecimento tropical médio observado. Durante a última década, a TSM do verão do hemisfério norte, que compreende os meses de julho, agosto e setembro mantiveram-se, em média, 1,46°C acima da média histórica (em relação à climatologia 1950-1997 NOAA-ERSST v3b). No entanto, apesar do branqueamento localizado a uma profundidade de 20 m em 1998 (DEVANTIER & PILCHER, 2000), foi relatado branqueamento em larga escala, mas a mortalidade tipicamente associada com anomalias positivas de TSM persistentes não foi observada, sugerindo que os corais do Mar Vermelho podem ser naturalmente adaptados para extremos de temperatura e salinidade. A falta de dados empíricos que documentem os efeitos do estresse térmico sobre o crescimento de corais nesta região limita a nossa capacidade de prever como os aumentos futuros da TSM vão moldar a paisagem recife de coral do Mar Vermelho central durante o próximo século.

CANTIN *et al.* (2010), preveem um aumento da TSM no período de verão no Mar Vermelho, entre 1980 a 2100, em que a trajetória da TSM teve média de 0°C nos anos de

2000 a 2008. Mais de 17 modelos climáticos do IPCC AR4 foram feitos para dois cenários de emissões de médio porte, onde se representou o limite da TSM para reduzir a zero o crescimento do coral *D. heliopora* com TSM de verão a 1,85°C acima da média dos anos de 2000 a 2008, com limite de confiança superior a 95%, usando a relação derivada do crescimento do coral e a TSM (figura 6).

Figura 6 – Modelo inverso estatístico para prever as taxas de crescimento do coral no futuro com base na ascensão da taxa atual da TSM



Nota: TSM (1980-2008, linha tracejada preta) e as taxas de crescimento dos corais projetadas com base no modelo IPCC A1B e A2 SST (2000-2100). Linhas cinza são o intervalo de confiança de 95% em torno da projeção do modelo inverso do crescimento coralino. Os círculos vermelhos indicam o crescimento de corais (mm por ano).

Fonte: CANTIN *et al.*, 2010.

d) registro da variabilidade climática no esqueleto coralino;

Em estudos climáticos na América Central e Caribe, o gênero *Siderastrea* vem sendo largamente utilizado (GUZMÁN & TUDHOPE, 1998; REUER *et al.*, 2003; GISCHLER & OSCHMANN, 2005), como também na costa africana (SWART *et al.*, 1998; MOSES *et al.*, 2006ab).

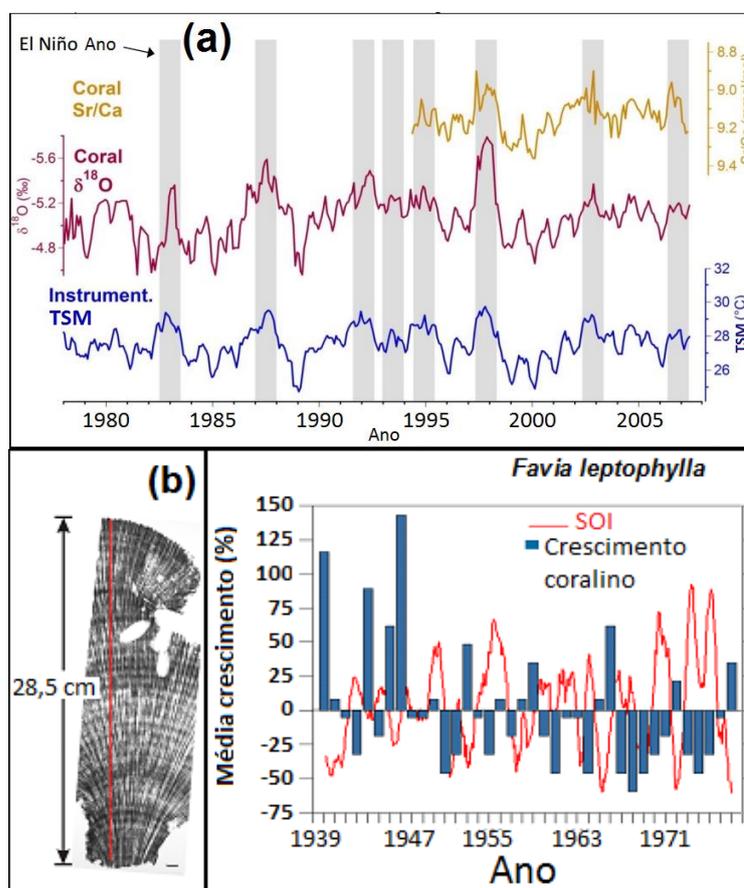
Na região do Atlântico, as flutuações da TSM nas regiões subtropicais, trópicos e no oceano equatorial têm periodicidades que variam de escala sazonal e anual que são geradas por diferentes mecanismos de realimentação atmosfera-oceano regionais, respostas oceânicas passivas a forçantes atmosféricas e efeitos remotos de grandes variações climáticas de outras partes do globo (HUANG *et al.*, 2004), escalas de baixa frequência são identificadas, com

periodicidades multianuais (8 – 12 anos) a decadais (20 – 30 anos) (MÉLICE & SERVAIN, 2003; WAINER *et al.*, 2008).

A literatura mostra que forçantes naturais atuam direta ou potencialmente nas taxas de crescimento do coral, nas razões elementares do esqueleto coralino que respondem e têm covariâncias com tais agentes, como os fenômenos ENSO (*El-Niño Oscilação Sul*), a radiação solar direta e cobertura de nuvens (WALTHER *et al.*, 2002; KELMO *et al.*, 2003; KIKUCHI *et al.*, 2003; LEÃO *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2004), a irradiância solar (BERGER *et al.*, 2002), furacões/tempestades (HUGHES, 1994; HUGHES *et al.*, 2003; BRIES *et al.*, 2004; McCONOCHIE *et al.*, 2004; NOTT, 2004; GARDNER *et al.*, 2005), cobertura de nuvens e chuvas (LOUGH & BARNES, 1990), plumas de sedimento (ACKER *et al.*, 2004), escoamento de sedimento terrígeno devido às tempestades (McCONOCHIE *et al.*, 2004), e surtos de patologias (LESSIOS *et al.*, 1984; HUGHES, 1994; BRUNO *et al.*, 2007; MULLER *et al.*, 2008, RAYMUNDO *et al.*, 2008).

A figura 7(a) mostra a alta resolução do Sr/Ca e $\delta^{18}\text{O}$ na reconstrução climática de corais *Porites* sp. da Ilha de Kiritimati, no Pacífico, comparada à climatologia local e índices ENSO à escala do Pacífico, a fim de avaliar as suas capacidades de gravação. Esta avaliação apresenta resultados claros, de que a geoquímica coralina da ilha de Kiritimati é um excelente substituto para climatologia local e a variabilidade ENSO em todo o Pacífico. Onde valores de Sr/Ca baixos (significam maior TSM) estão correlacionados com eventos de El Niño e valores Sr/Ca altos (significam menor TSM) com eventos de La Niña. Na figura 7(b), EVANGELISTA *et al.* (2007) fazem a reconstrução climática e observam uma evidência de potenciais impactos do El Niño na região sudoeste do Oceano Atlântico Sul inferido a partir da esclereocronologia coralina de *Favia leptophylla*, e propõe que o crescimento coralino do Sudoeste do Oceano Atlântico poderia ser afetada por eventos de ENSO através de uma "ponte atmosférica", em contraste com o seu efeito direto no Oceano Pacífico, relacionadas com o aumento da TSM.

Figura 7 – Relação do registro de crescimento coralino com Índices Climáticos



Legenda: (a) Relação dos registros coralinos com El-Niño; (b) relação do registro de crescimento coralino com o Índice Oscilação Sul - SOI.

Fonte: (a) WOODROFFE *et al.*, 2000, 2003; McGREGOR *et al.*, 2011; GLASBERGEN, McGREGOR, ZEKO *et al.* (in prep); (b) EVANGELISTA *et al.*, 2007.

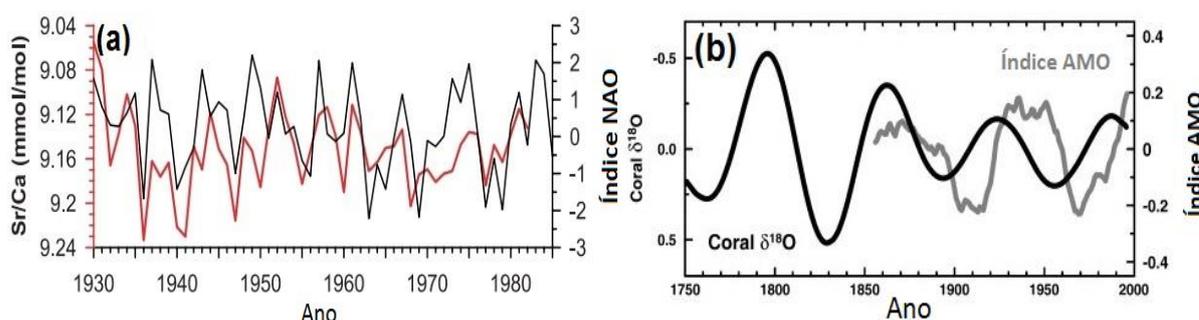
É facilmente constatável na literatura científica que, se tratando dos eventos climáticos, o interesse da maioria dos estudos recai pelo Hemisfério Norte. Não obstante, pesquisadores da América Latina, por sua vez, estão empenhados em preencher com seus estudos sobre esta região as lacunas ainda existentes em relação ao conhecimento nessa área. Em geral, há associação da variabilidade de baixa frequência com modos de oscilação da TSM, como a Oscilação do Atlântico Norte (OAN ou NAO em inglês) (CAYAN *et al.*, 2005), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) (ENFIELD *et al.*, 2001), e Variabilidade do Atlântico Tropical (TAV) (MÉLICE & SERVAIN, 2003; HAARSMA *et al.*, 2003). Estes geram direta interferência oceânico-atmosférica na Bacia do Atlântico.

A NAO representa o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica do Hemisfério Norte. Esta oscilação está relacionada com a alternância da intensidade dos centros de baixas e altas pressões, que se localizam sobre a Islândia e os Açores, favorecendo

a intensificação (abrandamento) dos ventos zonais de Oeste na fase positiva (negativa), respectivamente. Esta circulação afeta de forma determinante as trajetórias das principais perturbações sinóticas que atravessam o Atlântico e condicionam os campos da temperatura e da precipitação sobre a Europa, como por exemplo, o índice comparativo que vai dos anos de 1930 a 1985 que mostra a NAO (linha preta) em comparação com a curva da razão Sr/Ca (linha vermelha) do coral de Bermuda, com correlação entre as duas séries temporais com $-0,5$ ($p < 0,01$) (figura 8a).

A AMO corresponde a uma variação cíclica das correntes atmosféricas e oceânicas do Atlântico Norte que favorecem o aumento e a diminuição alternada da TSM. Este fenômeno está relacionado à variabilidade da circulação termoalina e apresenta oscilações multidecadais em torno de 50-70 anos com anomalias positivas, em torno de 40 anos e com a negativa em torno de 20 anos, com uma diferença de aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$ entre os extremos. O índice de AMO é calculado a partir da média da TSM do Norte ao Equador, entre 0°N - 60°N , e 75°W - 7.5°W . Como pode ser observado na Figura 8b, de 1856 a 2006 há uma persistência da fase quente (entre os anos de 1856 à 1900, de 1930 à 1960 e de 1995 aos dias de hoje), e fria de (de 1900 à 1920 e de 1960 à 1995), onde é comparado o registro de $\delta^{18}\text{O}$ (linha preta) do coral com a AMO (linha cinza) o conjunto de dados do ano de 1856 até 2000. [Extraído de: (www.cdc.noaa.gov/Timeseries/AMO/)] (figura 8b).

Figura 8 – Comparação de Índices Climáticos com curva da razão Sr/Ca



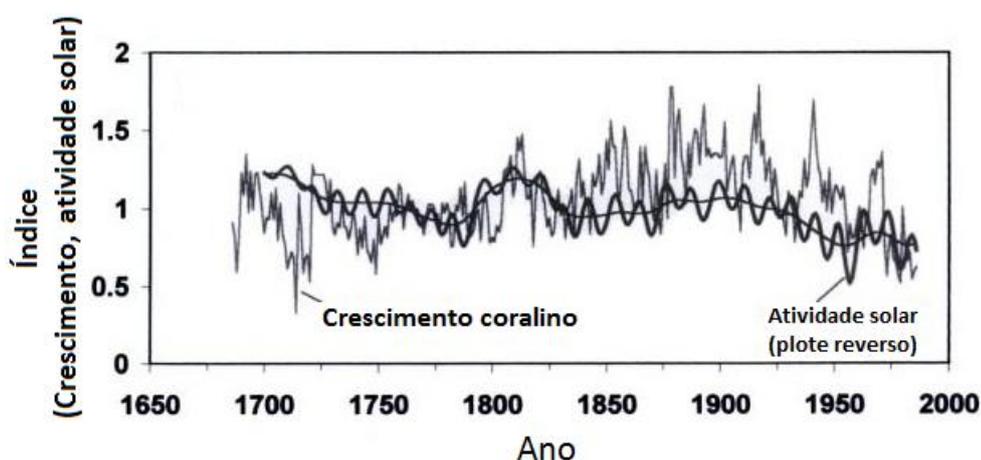
Legenda: (a) Índice dos anos de 1930 a 1985 para a Oscilação do Atlântico Norte-NAO (linha preta) comparado com a curva da razão Sr/Ca (linha vermelha) do coral de Bermuda. Correlação entre as duas séries de tempo com $-0,5$ ($p < 0,01$); (b) Comparação do registro de $\delta^{18}\text{O}$ (linha preta) coralino com a AMO (linha cinza) com dados do ano de 1856 até o 2000.

Fonte: (a) KUHNERT *et al.*, 2005; (b) ENFIELD *et al.*, 2001.

O coral e algas calcificadoras tem sua fisiologia fortemente afetada pela irradiação, que impulsiona a fotossíntese, e a oferta de fixação de carbono (por exemplo, CHALKER *et al.*, 1988; MUSCATINE, 1990). Em corais simbióticos, a energia metabólica fornecida ao

hospedeiro através do catabolismo de carbono fixado fotossinteticamente, bem como a variação do pH interna causada pela fotossíntese (BOROWITZKA & LARKUM, 1987; ALLEMAND *et al.*, 2011) favorecem a calcificação, que é, em média, três vezes superior à luz do que no escuro (GATTUSO *et al.*, 1999). Semelhante à fotossíntese, a calcificação dos corais está associada fortemente com irradiância (CHALKER, 1981). A Figura 9 mostra o registro do crescimento coralino de *Montastrea cavernosa* de Bermuda na América Central comparado com a atividade dos registros de manchas solares, em outras palavras, atividade solar.

Figura 9 – Registro de crescimento de coral *Montastrea cavernosa* de Bermuda/América Central comparada com registros de manchas solares (atividade solar)



Fonte: BERGER *et al.*, 2002.

e) relação temperatura com crescimento coralino;

A TSM é um importante fator na taxa de controle da calcificação e crescimento de corais. Pequenas mudanças nos parâmetros ambientais (e. g., uma mudança de dois graus na temperatura) também podem causar significativas alterações (até 50%) nas taxas de crescimento (MACDONALD & PERRY, 2003; JIMENEZ & CORTES, 2003; LIRMAN *et al.*, 2003). A calcificação tende a aumentar com a elevação da temperatura para as comunidades tropicais de recife de corais. Contudo, tem sido demonstrado que o crescimento máximo é limitado pela faixa de entre 25-28°C, e acima desta temperatura a calcificação inverte a tendência e, muitas vezes, declina (COLES & JOKIEL, 1978; KAJIWARA *et al.*, 1995; HOWE & MARSHALL, 2002). Diversos trabalhos têm apontado a sensibilidade das espécies de corais às mudanças de TSM. Eles podem responder ao estresse térmico com a

redução da taxa de crescimento (DE'ATH *et al.*, 2009 e CANTIN *et al.*, 2009), branqueamento e profundidade (e.g., CASTRO *et al.*, 1999). Dois parâmetros importantes estão envolvidos na deposição de CaCO_3 do recife de coral (calcificação): o estado de saturação do CaCO_3 na água do mar e na TSM. Estudos prévios são controversos no que diz respeito aos efeitos do aquecimento do oceano na previsão de futuras taxas de calcificação dos recifes de coral (McNEIL *et al.*, 2004; KLEYPAS *et al.*, 2005). As análises de McNEIL *et al.* (2004) apresentam as taxas de calcificação atuais como equivalentes aos níveis do final do século XIX, não apoiando assim as previsões de uma taxa de decréscimo catastrófica e, ao contrário, apontam como esperado um efeito positivo sobre a calcificação de corais. No entanto, esta hipótese requer muita cautela, pois não podemos ignorar a resposta metabólica complexa de corais que podem também afetar a taxa de reprodução, resistência a doenças e fixação larval, KLEYPAS *et al.* (2005).

Durante a segunda metade do século XX, uma tendência linear de aumento foi observada no conteúdo global de calor oceânico (0-3000 m de profundidade), representando cerca de $0,33 \times 10^{22} \text{ J ano}^{-1}$. Neste cenário, o Oceano Atlântico alcançou $7,7 \times 10^{22} \text{ J}$, o maior aumento global (LEVITUS *et al.*, 2005). De acordo com o IPCC, a TSM global pode aumentar de $1,4^\circ\text{C}$ a $5,8^\circ\text{C}$ no período 1900-2100. BURKE *et al.* (2011) estimaram que até 2050, 95% dos recifes globais irão sofrer o efeito do branqueamento devido ao estresse térmico, e apenas 15% permanecerão em áreas adequadas de saturação de aragonita para o crescimento de corais.

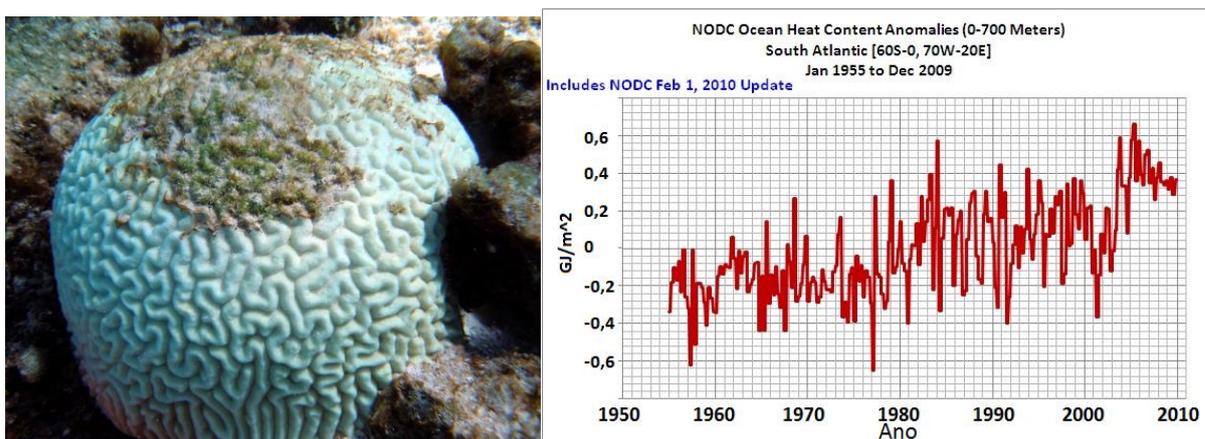
A taxa de crescimento desses corais varia ao longo do ano e pode ser evidenciada pela análise de isótopos estáveis de oxigênio e pelas razões elementares Sr/Ca, Mg/Ca, U/Ca, Cd/Ca e Ra/Ca, ou dependendo da espécie investigada, por um fragmento seccionado e radiografado, onde é possível observar bandas sazonais de crescimento alternadas entre alta e baixa densidades. As bandas mais densas são formadas durante os períodos de maior TSM (KNUTSON *et al.*, 1972; GUZMÁN & JARVIS, 1996; BRADLEY, 1999). Sabe-se, porém, que a razão de crescimento dos corais é bastante variada, sendo possível um ano de crescimento ser representado por poucos mm de esqueleto ou chegar a até 3 cm, em diferentes espécies de *Porites* (CORRÈGE, 2006).

Para certas áreas do globo, a ação de furacões/tempestades tropicais/ciclones ocorrem durante todo o desenvolvimento dos recifes contemporâneos, afetando a estrutura física e a biodiversidade do ecossistema de recifes de corais (CONNELL, 1978; ROGERS 1993; GARDNER *et al.*, 2005). Estes fenômenos naturais formados por meio das interações das

temperaturas da superfície do mar, cisalhamento do vento, disponibilidade de umidade, e estabilidade atmosférica, e há evidências de que a elevação da temperatura superficial da água do mar aumenta a intensidade de furacões (SANTER *et al.*, 2006). Estes eventos de tempestade mecanicamente alteram a estrutura dos recifes de corais, fragmentando e derrubando colônias através de intensa ação das ondas, de suspensão e transporte de sedimentos, resultando em uma reduzida fecundidade nas colônias fragmentadas e sufocadas (ROGERS, 1993; KNOWLTON & JACKSON, 2001; EDMUNDS 2002; BRIES *et al.*, 2004; SOMMERFIELD *et al.*, 2008). Alguns pesquisadores prevêem que as crescentes temperaturas da superfície da água do mar levarão ao aumento da frequência e intensidade dos furacões.

No entanto, existe uma incerteza considerável sobre esta previsão (SANTER *et al.*, 2006). Mesmo se a intensidade e frequência dos furacões não aumentarem num futuro próximo, estes podem facilitar mudanças nesses ecossistemas quando combinadas a outras perturbações naturais e antrópicas (HUGHES, 1994; GARDNER *et al.*, 2005), e induzir mudanças ecologicamente significativas nos recifes dentro dos limites das áreas de proteção marinha (EDMUNDS, 2002). A figura 10 (a esquerda) mostra a consequência do aumento da TSM e como pode afetar negativamente os corais, a exemplo do branqueamento coralino e (a direita) o aumento da temperatura das águas do Atlântico Sul.

Figura 10 – Evento de branqueamento dos corais causado por aumento da TSM e Série temporal que mostra o aquecimento das águas do sul do Oceano Atlântico



Fonte: (Foto a esquerda) NOAA, retirado da página <http://www.noaa.gov/features/climate/coralreefwatch.html> e (Figura a direita): National Oceanographic Data Center (NODC).

f) relação da sedimentação com o crescimento do coral;

Além da TSM, da irradiância e outros, a luminosidade é outro fator importante na participação do crescimento de muitos corais (SCHUTTER *et al.*, 2008). Muitas vezes, os parâmetros ambientais que influenciam o crescimento dos corais podem ser multifatoriais, tanto que a alta energia e a alta sedimentação juntas podem reduzir o seu crescimento (CRUZ-PINON *et al.*, 2003), enquanto as mudanças de temperatura, salinidade e sedimentação chegam a influenciar não só o crescimento, mas também a diversidade e a sua abundância (LIRMAN *et al.*, 2003).

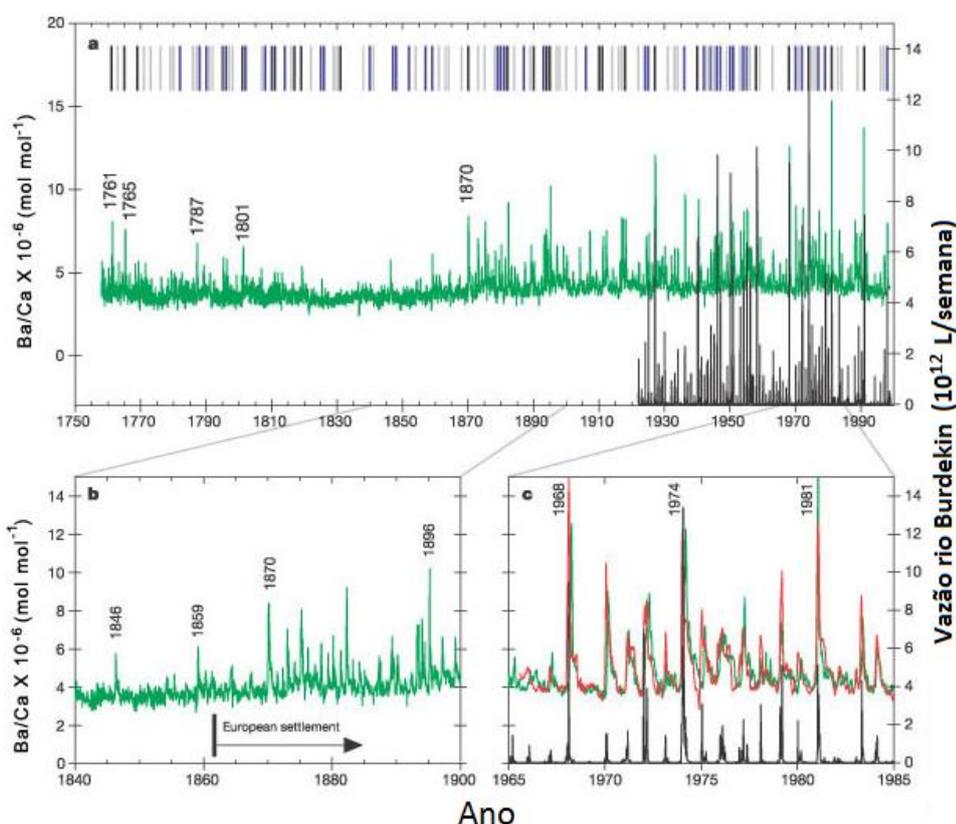
A maioria das técnicas utilizadas para reconstruir temporalmente o escoamento de ácidos húmicos pelos rios a partir da luminescência de esqueletos de corais está descrita em inúmeros trabalhos na literatura (ex.: BOTO & ISDALE 1985; WILD *et al.*, 2000; BARNES & TAYLOR, 2001). Os corais produzem bandas anuais de alta e baixa densidade; conseqüentemente medições da intensidade da luminescência convencionais resultam em uma medida de densidade indireta.

Em recifes de corais costeiros, o desenvolvimento da cobertura de coral e biodiversidade tende a ser baixas, quando próximas a zonas costeiras com assoreamento e poluição causando degradação no coral (CRABBE & SMITH 2005; FABRICIUS *et al.*, 2007). O bário é utilizado como *proxy* para a suspensão sedimentos dessorvidos de uma inundação (LI & CHAN, 1979) e é quantitativamente separado no coral do esqueleto de carbonato de cálcio (LEA *et al.*, 1989).

A figura 11 mostra o registro coralino através da razão Ba/Ca que quantifica a concentração de sedimentos em suspensão na Grande Barreira de Coral (GBC), recife de Havannah (linha verde), no período de 1760-1998, carregados pelo Rio Burdekin ao longo de aproximadamente 250 anos. Na parte superior da Figura 11 (a), vemos o registro do coral com picos de Ba/Ca proporcionais ao fluxo de sedimentos carregados pelas inundações do Rio Burdekin. A frequência e a intensidade dos eventos de inundações são indicadas por faixas luminescentes no esqueleto coralino (parte superior da Figura 11 (a)), representados aqui como eventos maiores (barras pretas), médios (barras azuis) e pequenos (barras cinzas), e da descarga fluvial para o rio Burdekin, disponível a partir de 1921 (linha preta). Na imagem inferior (lado esquerdo) (b) que registra do coral para razão Ba/Ca no período 1840-1900, a série temporal exibiu uma maior frequência de picos que começa em 1870, que coincide com a primeira grande enchente após a colonização europeia nesta região do continente australiano.

E na imagem inferior (lado direito) (c), os registros do coral do recife de Havannah (linha verde) e do recife de Pandora (linha vermelha) para o período 1965-1985 mostram excelente concordância e uma boa correlação com a descarga semanal do rio Burdekin (linha preta). Mais detalhes no próximo tópico.

Figura 11 – Comparação da razão Ba/Ca coralino de sedimentos em suspensão na Grande Barreira de Coral pelo rio Burdekin ao longo de 250 anos



Legenda: (a) registro do coral de do recife de Havannah (linha verde) para o período 1760-1998. As faixas luminescentes no esqueleto coralino, representados aqui como: barra preta, barra azul, barra cinza e com registro de descarga para o rio Burdekin, disponível a partir de 1921 (linha preta). (b) registro da razão Ba/Ca do coral para o período 1840-1990. (c) registros do coral de Havannah (linha verde) e recifes de Pandora (linha vermelha) e descarga semanal do rio Burdekin (linha preta).

Fonte: McCULLOCH *et al.*, 2003.

g) luminescência como ferramenta para identificar oscilações no esqueleto coralino;

A técnica da luminescência complementa a visualização das bandas de intensidade no exoesqueleto coralino, em outras palavras, ela se presta para a contagem de eventos anuais (HENDY *et al.*, 2003). A aragonita (CaCO_3) é o mineral dos esqueletos de corais hermatípicos. Durante a precipitação do esqueleto coralino alguns elementos do meio são

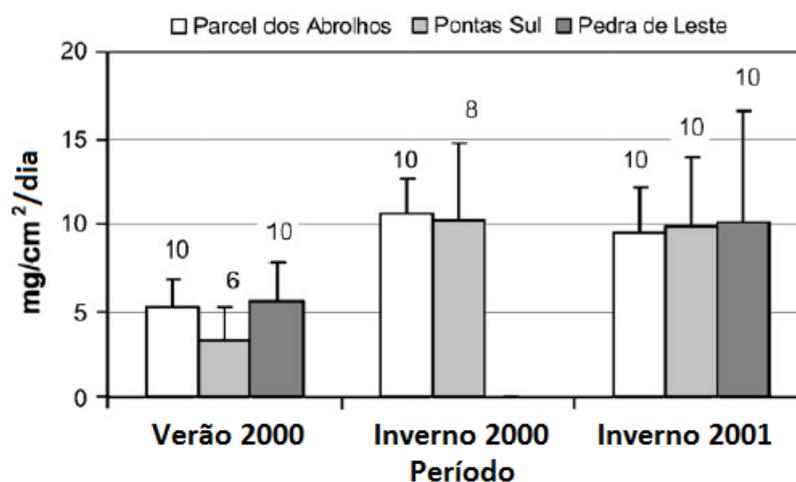
incorporados a ele, constituindo verdadeiros bancos de dados, cuja interpretação tem avançado progressivamente, à medida que aumenta a resolução das análises e o entendimento sobre os processos biológicos envolvidos na formação esquelética e sua correlação com os elementos do meio.

A iluminação com ultravioleta (UV), ao longo do eixo de crescimento em certos esqueletos de coral revela bandas e linhas luminescentes (LOUGH *et al.*, 2007), estes arquivos naturais são como faixas anuais dos esqueletos de coral, podem ser utilizadas como *proxies* de dados climáticos sazonais a de escalas de tempo centenária, que vai muito além dos registros instrumentais (GROTTOLI & EAKIN, 2007; LOUGH, 2010). Por exemplo, linhas luminescentes em esqueletos de corais são causadas pela incorporação de ácidos húmicos terrestres transportadas para o recife durante eventos de inundação (ISDALE, 1984; BARNES *et al.*, 2003; LOUGH *et al.*, 2007), são um substituto confiável para reconstruir as entradas de água doce para os ecossistemas costeiros e variações de precipitação regionais (LOUGH, 2011a).

Os ciclos anuais de luz e temperatura são os responsáveis mais comumente propostos como agentes que geram as bandas de densidade anuais em corais (BARNES & LOUGH, 1993). Por outro lado, o padrão de bandas pode ser regulada pelos ritmos fisiológicos endógenos (EMILIANI *et al.*, 1978) ou pela disponibilidade de nutrientes (DEUSER *et al.*, 1981).

SEGAL-RAMOS (2003) relatou taxas extremamente altas de deposição de sedimentos na região do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, considerado por alguns autores como sendo catastrófico para o desenvolvimento dos recifes (PASTOROK & BILYARD, 1985; BROWN, 1997). EVANGELISTA *et al.* (2007) e SEGAL *et al.* (2008) (Figura 12) para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, e GODIVA *et al.* (2010) para Armação dos Búzios, também registraram altas de deposição de sedimentos, mas só na época restrita ao inverno, devido às frentes frias de sul. Outros estudos têm registrado a ocorrência de ricas comunidades de corais em águas turvas em todo o mundo (ANTHONY & LARCOMBE, 2000) e tolerância de espécies brasileiras (LEÃO *et al.*, 1997).

Figura 12 – Comparação do fluxo de sedimentação entre os períodos verão - inverno em três locais de recifes de coral no Banco de recife coralino do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Brasil



Fonte: SEGAL *et al.*, 2008.

MOSES & SWART (2006) relataram os efeitos dos parâmetros ambientais-climatológicos (*runoff* (escoamento terrígeno continental) e TSM) sobre a taxa de crescimento de corais da ilha caribenha de Tobago, na Venezuela. Os autores sugeriram que as diferenças no padrão da banda de crescimento coralino dependeriam da profundidade de onde o coral vive. Os corais de águas rasas (~2 a 6 m) são principalmente submetidos a processos terrígenos atribuídos a descarga ou vazão de rios, e os corais parecem ter bem definidos as bandas de crescimento anuais. Corais de regiões mais profundas (~10 a 40 m) parecem ter taxas de crescimento diminuídas, dependentes de efeitos combinados de turbidez, atenuação da luz e TSM. A relação entre o impacto do clima e da resposta coralina ainda está longe de ser conclusiva; tem sido relatado que os corais branqueados e não branqueados podem ser encontrados lado a lado (HUGHES *et al.*, 2003). Especula-se que as diferenças fenotípicas e genéticas entre as espécies de corais e suas microalgas simbiotes podem desempenhar papéis relevantes sobre a tolerância em relação a um ambiente em mudança.

A sedimentação é considerada um dos principais fatores de estresse em ambientes coralinos ao redor do mundo (NUGHES & ROBERTS, 2003), afetando as populações de corais, reduzindo a percentagem de cobertura e diversidade (DODGE & VAISNYS, 1977), as taxas de crescimento do coral, o tamanho das colônias (DODGE & VAISNYS, 1997).

Temperatura em microambientes tem profundas implicações para organismos bentônicos, não só no contexto do estresse térmico, mas também por afetar muitos outros processos controlados pela temperatura, como as taxas metabólicas e de crescimento. Por

exemplo, esqueletos de *Porites* sp. são amplamente utilizados como gravadores de temperaturas do passado e do presente. Suas taxas de crescimento linear aumentam em quase 30% com o aumento de 1°C (LOUGH & BARNES, 2000). A TSM Costeira é comumente 1°C mais quente devido a um maior tempo de residência da água na plataforma continental e da distância de locais de ressurgência (BERKELMANS *et al.*, 2004).

A sedimentação afeta todas as fases da vida de corais, e sua influência parecem estar relacionada ao tamanho da colônia. Pequenas colônias de corais podem ser facilmente enterradas por sedimentos (BABCOCK & SMITH, 2000; MILLER *et al.*, 2000), e apenas alguns corais conseguem sobreviver a esta ação de soterramento em um período longo de tempo. Porém, grandes colônias tem menor probabilidade de morrer por sedimentos, reduzindo a mortalidade parcial da colônia (BAK & MEESTERS, 1998; GOFFREDO & CHADWICK-FURMAN, 2003). Ao afetar as classes de tamanho diferentemente (DODGE & VAISNYS, 1977; LANGMEAD & SHEPPARD, 2004), a sedimentação muda o tamanho da estrutura da população, afetando a sua manutenção e os potenciais de recuperação (DODGE & VAISNYS, 1977; FABRICIUS, 2005).

A sobrevivência em populações de coral expostas à sedimentação depende da sua capacidade para se adaptar a diferentes condições, e à intensidade e duração do evento (ANTHONY & FABRICIUS, 2000; FABRICIUS, 2005). A análise das respostas das populações dos principais corais construtores de recifes entre as áreas caracterizadas por diferentes padrões de sedimentação fornece importantes *insights* sobre a compreensão de como este fator pode afetar a dinâmica populacional de recifes de coral. A aparente adaptação das espécies de corais do Brasil para as altas taxas de deposição de sedimentos, como proposto por LEÃO *et al.* (1988), oferece uma oportunidade interessante para estudar a relação entre os corais e sedimentação de longo prazo.

h) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)/(Índice de Vegetação por Diferença Normalizada);

O processo de desertificação ocorre em várias regiões do Brasil, dentre elas a região Nordeste, principalmente a parte semi-árida, cujas causas estão associadas ao desmatamento, à mineração, ao sobrepastoreio, ao cultivo excessivo, a irrigação inadequada e ao latifúndio. Os danos ambientais produzidos resultam em erosão dos solos, empobrecimento da caatinga e

degradação dos recursos hídricos, com efeitos diretos sobre a qualidade de vida da população (SUERTEGARY, 1996).

Investigar processos que ocorrem nos continentes como o desmatamento e/ou uso do solo podem explicar sinais detectados nos exoesqueletos coralinos, já que certas ações expõem o solo e seus elementos, sendo carregados com mais facilidade do continente até a costa, e por fim no oceano.

As mudanças climáticas poderão ter um impacto altamente negativo para espécies arbóreas na Mata Atlântica (COLOMBO & JOLY, 2010), reduzindo sua área potencial de ocorrência, mesmo nos cenários mais otimistas de aquecimento global, tal como observado para espécies arbóreas do Cerrado nos estudos de SIQUEIRA & PETERSON (2003).

Cerca de 30% (aproximadamente 260 milhões de hectares) do território brasileiro é atualmente ocupado por culturas agrícolas, incluindo pastagens (cerca de 200 milhões de hectares), soja (cerca de 23 milhões de hectares), cana-de-açúcar (cerca de 12 milhões de hectares), silvicultura (Eucalipto e Pínus, cerca de cinco milhões de hectares) e outras, incluindo culturas alimentares (cerca de 20 milhões de hectares). Essas culturas agrícolas se espalham sobre os diversos biomas brasileiros, porém majoritariamente sobre a Mata Atlântica e o Cerrado, no Centro-Sul do país (UNICA, 2008). Além da fragmentação e perda de área, a expansão da fronteira agrícola causa outros impactos diretos, como a erosão do solo, eutrofização dos cursos d'água, poluição por agroquímicos e introdução de espécies exóticas. Mesmo assim, paisagens agrícolas ainda abrigam uma razoável parte de nossa fauna e flora silvestres (KRONKA *et al.*, 2000; DOTTA & VERDADE, 2007). Com isso a necessidade de priorizar estudos futuros sobre os impactos causados pelas atividades agrícolas na zona costeira (terra-mar), além da biodiversidade em paisagens alteradas e os processos adaptativos envolvendo a fauna e a flora em tais circunstâncias (JOLY *et al.*, 2011).

O NDVI é um indicador de vegetação empregado para realçar a vegetação ocorrente em uma área, este é dado pela razão entre as bandas de alta correlação entre si e serve para realçar os alvos de interesse, a biomassa vegetal (FREIRE & PACHECO, 2005). Esta ferramenta também pode ser utilizada para auxiliar estudos que tratem da temática da desertificação, pois a partir das imagens geradas é possível observar áreas que apresentem de níveis baixos ou ausentes de NDVI, característica de áreas que estejam sob processo de desertificação, ou seja, potencialmente susceptíveis ao processo de desertificação (ARAUJO *et al.*, 2010).

O NDVI é um dos índices de vegetação mais conhecidos, e definido pela seguinte fórmula (9):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (9)$$

Onde: NIR = Infravermelho próximo (0,75 – 0,90 μm);

R = Vermelho (0,63 – 0,70 μm).

Segundo (SILVA, 2009. Pag. 25), "O NDVI tem, portanto, uma relação direta com o vigor da vegetação, sendo assim, é possível o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal e vigor de biomassa". O NDVI é dado pela equação gerada a partir da diferença da banda espectral 4, 3 (faixas espectrais do visível) pela soma das mesmas provenientes do sistema LANDSAT/TM. Esta ferramenta de contraste faz com que as áreas com uma composição vegetal mais densa e uniforme se apresentem mais claras, em regiões desnudas, sem a presença de vegetação apresentem-se escuras.

i) forçantes antrópicas sobre o desenvolvimento dos corais;

Ecossistemas de recifes de corais fornecem muitos bens e serviços sobre os quais os seres humanos têm confiado no passado, no presente e no futuro (MOBERG & FOLKE 1999). Bens produzidos por recifes de corais incluem frutos do mar (COBLENTZ 1997; JEFFERY & JENNINGS, 1999; WARREN-RHODES *et al.*, 2003), fármacos (HUNT & VINCENT 2006), plantas ornamentais para "Aquários" (CALADO *et al.*, 2003), materiais de construção e cal (DULVY *et al.*, 1995; RAJASURIYA *et al.*, 1995, SEMESI *et al.*, 1998). Estratos recifais e bandeamentos do esqueleto escleractínio fornecem registros das condições ambientais (DODGE & GILBERT, 1984; BARNES & LOUGH 1996; GAGAN *et al.*, 1998), assim fornecendo um serviço de informação para pesquisadores (MOBERG & FOLKE, 1999). O ser humano depende diretamente dos ecossistemas de recifes de coral para oportunidades de lazer (HAWKINS & ROBERTS 1993), para o sustento e sobrevivência econômica das comunidades costeiras (CESAR *et al.*, 1997), e como apoio a necessidades alimentares (JOHNSTONE *et al.*, 1998). O declínio contínuo dos ecossistemas de recifes de coral irá alterar a disponibilidade dos bens e serviços produzidos e prestados por estes ecossistemas tropicais, resultando em uma alteração econômica e processos ecológicos

(WILKINSON *et al.*, 1996). Assim, é necessário reduzir tanto os impactos naturais como antropogênicos quando possível, para a conservação destes ecossistemas.

Distúrbios causados pelo homem incluem práticas de pesca destrutivas (FOX & CALDWELL 2006), exploração de coral pela mineração (DULVY *et al.*, 1995; RAJASURIYA *et al.*, 1995; SEMESI *et al.*, 1998), o excesso de pesca (HUGHES, 1994; SEBENS 1994; LEÃO 1996; JACKSON *et al.*, 2001), pisoteio durante as atividades recreativas, lazer e turismo (HAWKINS & ROBERTS 1993; LEÃO 1996), enriquecimento em nutrientes (HUGHES, 1994; SZMANT 2002), instalação de projetos industriais e exploração de petróleo (LEÃO 1996), dispersantes de petróleo (LEWIS 1971, KNAP *et al.*, 1983), e poluição de chumbo (DODGE & GILBERT 1984). Estas perturbações antropogênicas têm implicado na diminuição da saúde dos recifes de coral (HUGHES, 1994; GARDNER *et al.*, 2003) e, bem como, previstas para contribuir com futuras declínios (HUGHES *et al.*, 2003; DONNER *et al.*, 2005). Além disso, HUGHES *et al.* (2003) e HOEGH-GULDBERG *et al.* (2007), prevêem que alterações climáticas vão degradar ainda mais a saúde do ecossistema de recifes de coral e minar a vida residente.

Os ecossistemas recifais são extremamente sensíveis às variações da temperatura das águas oceânicas (GLYNN, 1993), com potenciais impactos nos processos ecológicos, especialmente nos ecossistemas de recifes de coral (HUGHES *et al.*, 2003; SIMPSON *et al.*, 2009). Acredita-se que parte da elevação da temperatura dos oceanos esteja relacionada ao efeito das emissões de gases de efeito estufa. Alguns estudos mostram que um aumento relativamente pequeno da TSM, como de 1,5°C (HOEGH-GULDBERG, 1999) pode provocar prejuízos, como branqueamento e, em longo prazo, a manutenção das estruturas recifais (DONNER *et al.*, 2005; McWILLIAMS *et al.*, 2005; DONE & JONES, 2006; CRABBE, 2007), que é um processo relacionado à perda, pelos corais, das algas fotossintetizantes –as zooxantelas (SZMANT & GASSMAN 1990, FAUTIN & BUDDEMEIER 2004). Inúmeros casos de branqueamento ocorridos em diferentes partes do mundo foram associados aos períodos de anomalia positiva da TSM (POCKLEY, 2000; ABRAM *et al.*, 2003; COBB *et al.*, 2003; GARDNER *et al.*, 2003; PHILIPP & FABRICIUS, 2003; TUDHOPE & COLLINS, 2003; DONNER *et al.*, 2007). No Brasil, nos verões de 1993/1994, 1997/1998 e 2003 algumas ocorrências de branqueamento relacionadas ao aumento anormal da TSM foram registradas especialmente em diferentes partes do Nordeste e na costa do estado de São Paulo (LEÃO *et al.*, 2003). O branqueamento extensivo pode causar a morte em massa dos corais resultando na degradação do ecossistema recifal, devido à perda da sua cobertura viva, da sua

biodiversidade e da diminuição do crescimento linear dos corais (GOREAU & MACFARLANE 1990; BROWN & OGDEN 1993; BROWN, 1997; WILKINSON *et al.*, 1999). Segundo BROWN & OGDEN (1993), para iniciar o branqueamento no ambiente natural seriam necessários pelo menos 2°C acima de 30°C durante algumas semanas.

Membros de comunidades bentônicas (e.g., Scleractinia, gorgônias, poríferos, macroalgas) direta e indiretamente, concorrem por limitados recursos (e.g., espaço, luz, presa, e nutrientes) dentro do ecossistema de recife de coral (KNOWLTON & JACKSON, 2001) e estão sujeitos à predação e perturbação. O resultado dessa rede de processos ecológicos é um mosaico de organismos que cobre o substrato duro do coral. Um processo importante que afeta a composição desse mosaico é a herbivoria (KNOWLTON & JACKSON, 2001). Pressão de pastejo por ouriços-do-mar e peixes herbívoros contribui para a manutenção da dominância de escleractínio cortando macroalgas (HAY 1997; PADDOCK *et al.*, 2006). No entanto, a pressão da pesca (HUGHES, 1994; GARDNER *et al.*, 2005; MUMBY, 2006) e surtos de patologias entre herbívoros, como os de equinodermos *Diadema antillarum* no Caribe em 1982-1983 (LESSIOS *et al.*, 1984), provocam redução das populações herbívoras levando a uma menor pressão de pastejo (HUGHES, 1994; MUMBY, 2006). Além disso, um aumento dos níveis de nutrientes promovem o crescimento de macroalgas (LITTLER *et al.*, 1991) e a progressão de patologias (VOSS & RICHARDSON, 2006). A perda combinada de herbívoros, com o elevado nível de nutrientes e o aumento da mortalidade do escleractínio podem induzir uma mudança de fase a partir de um estado misto escleractínio/macroalgas para um estado de macroalgas-dominado levando a uma mudança na função do ecossistema e à perda de bens e serviços associados (HUGHES, 1994; DONE, 1999).

MOBERG & FOLKE (1999) constataram a categorização dos serviços ecológicos prestados pelos ecossistemas de recifes de coral, tais como os serviços físicos e bióticos. Os serviços físicos incluem a proteção das zonas costeiras na dissipação da energia das ondas, reduzindo assim a mecânica de erosão da costa (MIMURA & NUNN, 1998), contribuindo para os atóis e o carbonato para formação de ilhas (DARWIN, 1962), e na produção de sedimentos (e.g., areia) encontradas em praias através da erosão mecânica e bioerosão (SCHLAGER, 2005). Os serviços bióticos incluem corroboração elevada da biodiversidade (CONNELL, 1978; JACKSON, 1991; GRAY 1997), fixação de nitrogênio (WIEBE *et al.*, 1975; CAPONE & CARPENTER, 1982) e atuando como fonte e sumidouro de CO₂ (GOREAU, 1990; KAYANNE *et al.*, 1995; GATTUSO *et al.*, 1996).

Os oceanos e os mares são os derradeiros sorvedouros dos subprodutos gerados pelas atividades humanas e acolhem, de forma direta ou indireta, uma grande variedade de poluentes, rejeitos urbanos, agrícolas e industriais. Pelo fato de a maioria dos grandes centros urbanos estarem localizados em regiões costeiras, e geralmente próximos a baías e estuários, estas áreas são, comparativamente aos oceanos, as mais vulneráveis ao impacto da poluição (RIBEIRO, 1996).

Não obstante os ecossistemas recifais terem sobrevivido às drásticas mudanças globais nos últimos 40-50 milhões de anos, nas últimas décadas prejuízos causados pela pesca excessiva, doenças, eutrofização, furacões, superpopulação e mudança global climática contribuíram decisivamente para os recentes declínios dos corais formadores de recifes, provocando mudanças na estrutura da comunidade em escalas de tempo não observadas anteriormente (JACKSON *et al.*, 2001; HUGHES *et al.*, 2003; BELLWOOD *et al.*, 2004).

Do ponto de vista regional, observa-se que fatores como variedade de estresses antropogênicos, tais como fluxo turístico, eutrofização, sedimentação e mudanças na química e TSM podem ser mais negativamente impactantes aos corais que as mudanças climáticas, especialmente em recifes de corais costeiros (ABRAMOVITCH-GOTTLIB *et al.*, 2002). Calcula-se que cerca de 30% dos recifes já estejam severamente danificados e que dentro de trinta a quarenta anos aproximadamente 60% das áreas recifais do mundo estarão totalmente degradadas, particularmente em consequência da ação sinérgica da depredação dos recursos naturais devido à ação do homem, sobretudo pelas atividades de sobre-pesca, da poluição marinha e das mudanças climáticas globais (WILKINSON 2002; GARDNER *et al.*, 2003; KNOWLTON & JACKSON, 2008). Para se ter uma idéia, o Quarto Relatório de Avaliação liberado a partir do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas-IPCC (www.ipcc.ch) informa que parte do aquecimento observado no planeta ao longo do último meio século foi causado por acumulação de gases de efeito estufa de atividades antropogênicas (DONNER *et al.*, 2007).

Há um consenso no meio científico de que os recifes de coral estão sendo rapidamente degradados devido a larga interferência das atividades humanas (NUGUES & ROBERTS, 2003). Tais impactos caracterizam-se principalmente pelo fluxo de sedimento terrígeno (McLAUGHLIN *et al.*, 2003; PHILIPP & FABRICIUS, 2003) e metais pesados (MEDINA-ELIZALDE *et al.*, 2001; DAVID, 2003).

Os corais pétreos hermatípicos têm um padrão de crescimento que favorece a incorporação de vários compostos químicos (adotados como traçadores) que podem atuar

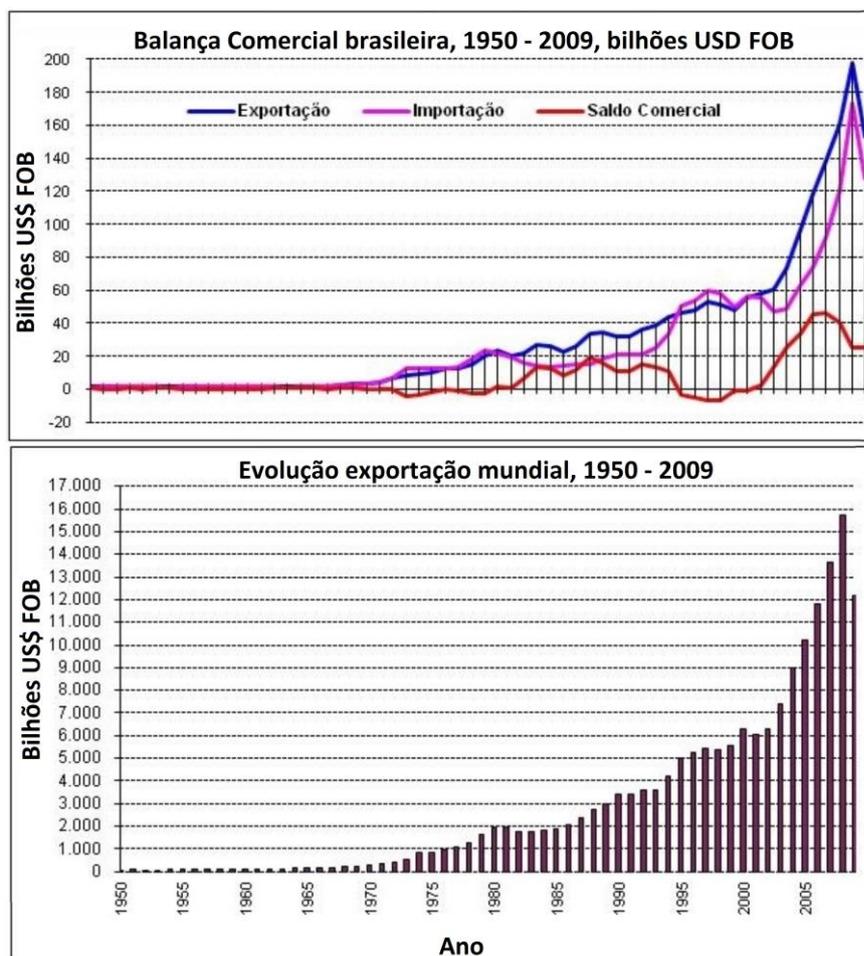
como indicadores da variabilidade do ambiente marinho e de fenômenos oceânico-atmosféricos (FAIRBANKS *et al.*, 1997; WEI *et al.*, 2000; CARDINAL *et al.*, 2001; KUNHERT *et al.*, 2002). Desta forma, os corais têm sido empregados como excelentes testemunhos dos registros geoquímicos do estado do oceano e da variabilidade climática do passado (SMITH & BUDDEMEIER, 1992), permitindo inclusive a observação destas variações em alta resolução, através de séries temporais interanuais a interdecadais (OURBAK *et al.*, 2006).

Desse modo, os poluentes que atingem o ambiente marinho se classificam de diversas formas, sendo a que a persistência a mais comum delas. Persistência é a propriedade de um composto químico conservar durante certo tempo sua estrutura química e sua ação bioquímica, em particular sua toxidez. Os hidrocarbonetos clorados ou fosforados são geralmente persistentes, o que provoca sua acumulação na natureza e nos organismos (FEEMA/PETROBRAS, 1990).

Por isto, a poluição por óleo pode ser catastrófica e irreversíveis para os corais, principalmente em regiões onde os métodos de limpeza são ineficientes ou inadequados (SILVA & SOUZA, 2011). Além de poluir as águas e o substrato marinho, derivados da indústria do petróleo impossibilitam a utilização dos ecossistemas costeiros. Estima-se que, a cada ano, cerca de 3 a 4 milhões de toneladas de petróleo são jogadas no mar em todo mundo (ALVES, 2005). Derrames de petróleo diretamente na água do mar ocorrem através dos acidentes com navios petroleiros ou devido a sucessivas e constantes lavagens de seus motores e reservatórios. Segundo RIBEIRO (1996) embora os casos de poluição provocados por acidentes com grandes navios petroleiros tenham sempre obtido destaque na mídia, esse tipo de contribuição representa apenas uma pequena parcela da quantidade de óleo introduzida nos oceanos.

Esta preocupação se eleva quando há o crescimento das importações e exportações do país feitas através dos portos, e com a utilização de navios. O aumento da balança comercial brasileira e evolução da exportação mundial, que foi bastante considerável, entre os anos de 1950 a 2009, principalmente a partir da década de 1970, onde se deu início de um crescimento expressivo desses registros de forma contínua praticamente até os dias de hoje (figura 13).

Figura 13 – Balança comercial brasileira de ano de 1950 a 2009 e gráfico da evolução da exportação mundial no mesmo intervalo



Fonte: <http://www.mdic.gov.br/sitio/>

De fato, as operações rotineiras de transporte e efluentes são as maiores fontes de petróleo para o ambiente marinho. O Brasil aumentou muito a exploração de petróleo em águas além da costa, levando à implementação de uma rede de terminais marítimos para transporte e distribuição do produto ao longo de várias áreas da costa, aumentando a quantidade de derrames e a possibilidade de impacto sobre as comunidades marinhas (RIBEIRO, 1996). Recifes de coral são ambientes sensíveis, e os derrames podem causar impactos desastrosos, um exemplo atual desta vulnerabilidade é o acidente da British Petroleum ocorrido após o colapso da plataforma de exploração de petróleo *offshore* “*Deep Sea Horizon*” que atuava no Golfo do México em 2010. GUNDLACH & HAYES (1978) indicaram a necessidade de estudos mais detalhados para determinar a vulnerabilidade dos recifes de coral a impactos por petróleo. Mas já temos como certo que uma de suas consequências mais nefastas é justamente o recobrimento de filme de óleo que inibe, ou

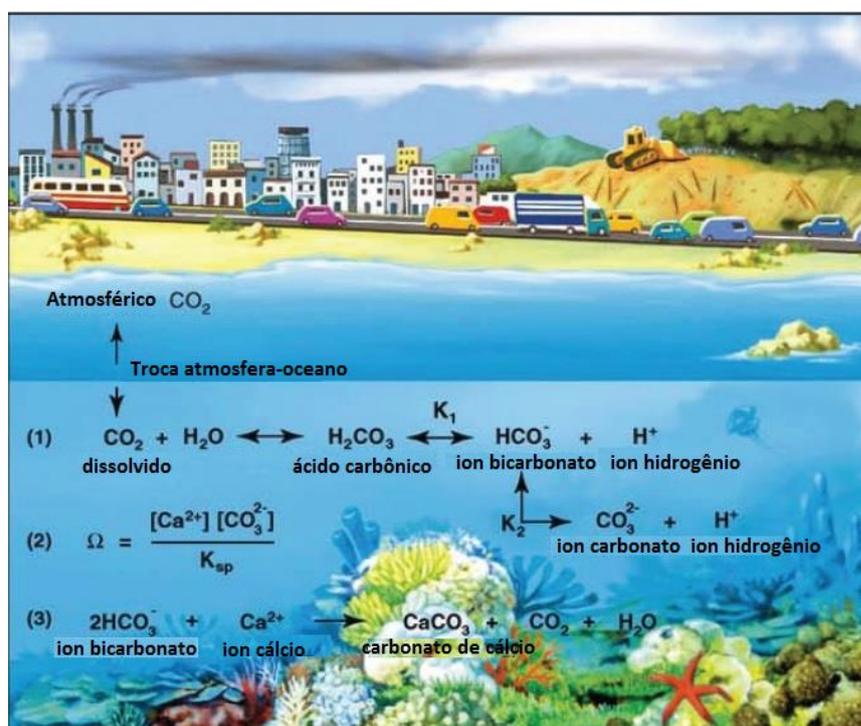
mesmo impede a incidência de luz sobre os corais, por exemplo, afetando diretamente o seu desenvolvimento.

j) o dióxido de carbono (CO_2) e o desenvolvimento dos corais:

É também inegável que a crescente emissão de gases pela ação antrópica, principalmente com a queima de combustíveis fósseis, tem aumentado a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a sua $p\text{CO}_2$ (LECLERCQ *et al.*, 2000). Mudanças ambientais observadas na atmosfera ao longo do tempo são igualmente distinguíveis nos oceanos, uma vez que estes ambientes estão intrinsecamente relacionados (REYNAUD *et al.*, 2003). Desta forma, o aumento na concentração de CO_2 atmosférico e da $p\text{CO}_2$ implica em maior difusão deste nos oceanos pela interface ar-água.

KARL & TRENBERTH (2003), prevêem um aumento de CO_2 atmosférico e de outros gases de efeito estufa devido às atividades humanas. Segundo eles, estes gases vão alterar o clima global e padrões oceanográficos. O aumento da $p\text{CO}_2$ e consequente elevação da concentração de CO_2 na superfície dos oceanos afetam profundamente o sistema carbonático da água do mar, como a constante de solubilidade de cada fase mineral (K_{sp}). Uma dessas mudanças é o decréscimo na concentração de um dos blocos construtores de carbonato de cálcio, os íons carbonato, o que resulta na diminuição do estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}) (equação 8) e das taxas de calcificação (LECLERCQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003; PELEJERO *et al.*, 2010) (figura 14).

Figura 14 – Visão esquemática da perturbação antrópica do ciclo do carbono na qual parte do CO₂ emitido a partir da queima de combustíveis fósseis e desmatamento é absorvido pelos oceanos



Nota: (1) Equilíbrio de reações químicas em que o CO₂ se dissolve na água do mar, onde K₁ e K₂ são as constantes de dissociação do ácido carbônico e íon bicarbonato, respectivamente. (2) Definição do estado de saturação (Ω). (3) Reação da precipitação do Carbonato de Cálcio que ilustra a liberação de CO₂ e como a precipitação ocorre.

Fonte: PELEJERO *et al.*, 2010.

Estima-se que a pressão parcial de CO₂ na atmosfera alcançará o dobro do nível pré-industrial no ano de 2065, podendo reduzir os níveis de saturação do carbonato na superfície dos mares tropicais a cerca de 2/3 dos valores atuais (SMITH & BUDDEMEIER, 1992). O aumento na pCO_2 previsto para o próximo século poderá provocar um significativo decréscimo na calcificação marinha em decorrência da diminuição da saturação de CaCO₃ (KLEYPAS *et al.*, 1999; LECLERCQ *et al.*, 2002). O decréscimo nas taxas de calcificação em função do aumento de pCO_2 , combinado a outras ameaças ambientais, tanto pode provocar um grande impacto nos recifes de coral quanto alterar a sua capacidade de recuperação após eventos drásticos, tais como tempestades e mortalidade em massa decorrente de efeitos de branqueamento (LECLERCQ *et al.*, 2000) ou pode interromper a delicada simbiose coralina entre as algas e os corais, causando dissociação entre eles (KÜHLMANN, 1988; BIRKELAND, 1997). Neste caso o coral perde a sua cor, exibindo o esqueleto calcário branco, o que originou a denominação de branqueamento dos corais.

O branqueamento é uma resposta de estresse apresentado por Scleractinia, gorgônias, hidrocorais, zoantídeos e esponjas em que o hospedeiro expelle suas algas endossimbióticas, chamadas zooxantelas (*Symbiodinium* spp.), ou as zooxantelas perdem a capacidade de fotossíntese (FITT *et al.*, 2001), onde esta resposta ocorre devido ao estresse térmico decorrente do aumento da temperatura (CAUSEY *et al.*, 1988; COOK *et al.*, 1990; GATES, 1990), alterações da salinidade (GOREAU 1964), o aumento da exposição à luz ultravioleta (LESSER *et al.*, 1990; BROWN *et al.*, 2002; LESSER & FARRELL, 2004), e estresse oxidativo (LESSER *et al.*, 1990; LESSER, 1997; FINELLI *et al.*, 2006), têm sido observado em praticamente todas as principais regiões de recifes de coral (COOK *et al.*, 1990; HAYES & BUSH 1990; WINTER *et al.*, 1998; SMITH 2001; BARTON & CASEY 2005; GOLBUU *et al.*, 2007). O branqueamento em Scleractinia reduz as taxas de deposição de aragonita (GOREAU & MACFARLANE 1990; LEDER *et al.*, 1991; SUZUKI *et al.*, 2003), aumenta sua susceptibilidade a patologias (MULLER *et al.*, 2008), prejudica a reprodução (SZMANT & GASSMAN 1990) e causa mortalidade (WHELAN *et al.*, 2007). Nos casos mais brandos, estes efeitos não têm impactos duradouros sobre a composição da comunidade bentônica, porque os organismos afetados podem se recuperar, no entanto, casos extremos, podem levar à completa mudanças na comunidade bentônica.

Desde 1970, GOREAU *et al.* (1998); RICHARDSON, (1998); HUMANN & DELOACH, (2002), relataram que o número de patologias reconhecidas nos corais aumentou dramaticamente. Dois fatores ambientais que condicionaram o aumento da incidência, prevalência e progressão de doenças foram o aumento temperatura da água do mar (BRUNO *et al.*, 2007; MULLER *et al.*, 2008) e diminuição da qualidade da água devido ao aumento de nutrientes e sedimentos terrígenos (BRUNO *et al.*, 2003; VOSS & RICHARDSON 2006). Maiores temperaturas podem elevar os efeitos de doenças do sistema imune, enfraquecendo-o ou aumentando a virulência do agente causador (RAYMUNDO *et al.*, 2008). Por exemplo, surtos de doenças de coral ocorreram na sequência de eventos de branqueamento no Caribe em 2005 (BRUNO *et al.*, 2007; MULLER *et al.*, 2008) conduzindo à mortalidade extensa em pelo menos uma localização (MILLER *et al.*, 2006). Diminuição da qualidade da água pode reduzir a resistência à doença do hospedeiro, aumentar a virulência da doença e introduzir patógenos na comunidade bentônica (BRUNO *et al.*, 2003; VOSS & RICHARDSON 2006; RAYMUNDO *et al.*, 2008). Apesar de evidências apoiarem as relações entre esses fatores ambientais com as doenças do coral, significativas ligações na compreensão das causas e consequências das patologias coralinas existem e requerem uma investigação mais

aprofundada a fim de desenvolver medidas de conservação adequadas (RAYMUNDO *et al.*, 2008).

Estudos mostram que a eutrofização, excesso de nutrientes, pode influenciar negativamente no crescimento de corais e a ocorrência deste fenômeno afeta os sistemas recifais de dois modos: em escala ecossistêmica e celular. No primeiro caso, devido ao aumento do crescimento algal que é, por sua vez, favorecido pela abundância de nutrientes. Desse modo, quando a proliferação de macroalgas predomina sobre as comunidades de corais, observa-se o aumento da biomassa fitoplanctônica, ocasionando maior turbidez da água e limitando a penetração de luz. Já no segundo, ou seja, em escala celular, o evento pode ser observado pela interrupção da simbiose entre a zooxantela e o coral. Neste caso, o enriquecimento por nutrientes levaria ao aumento da densidade de zooxantelas, o que resulta em desvantagem para a simbiose do coral, pois grande parte do carbono produzido fotossinteticamente pelas microalgas acabaria sendo utilizado para o seu próprio crescimento (FERRIER-PAGÈS *et al.*, 2000).

1 OBJETIVOS

1.1 Geral

Os corais pétreos oferecem excelentes registros geoquímicos da variabilidade climática e ambiental em séries interanuais e interdecadais (MOORE & KRISHNAWAMI, 1974; REN *et al.*, 2002). Portanto, alterações físicas e químicas no ambiente marinho podem ser observadas através da análise do esqueleto dos corais (GUZMÁN & JARVIS, 1996) onde atuam nas taxas de crescimento do coral, que respondem e têm co-variâncias com tais agentes, como os fenômenos ENSO (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

No Brasil, várias áreas urbanas estão diretamente associadas à ocorrência de corais como aquelas localizadas nos Estados da Bahia e do Rio de Janeiro, entre outras. Para o Brasil está previsto um aumento significativo da atividade petrolífera na região costeira relacionada ao pré-sal e a expansão da produção na plataforma continental para as próximas décadas com potencial impacto sobre os corais. Tomando-se como base o fato de que traçadores geoquímicos, taxas de crescimento e variações na micro-estrutura coralina são ferramentas que podem reconstruir a história pretérita, este trabalho propõe-se em contribuir para o melhor entendimento de tais impactos e processos naturais que se desenvolveram ao longo do século XX em parte da costa brasileira.

1.2 Específicos

a) Avaliar a taxa de crescimento e registro das variações de calcificação dos corais, por meio da reanálise esclerocronológica a partir da medição e contagem dos pares de bandas anuais comparada a datação com o emprego dos radionuclídeos U-Th (urânio – tório), e de suas relações com registros paleo-climáticos, paleo-oceanográficos e indicadores geoquímicos de temperatura da água do mar;

b) Analisar as caracterizações das propriedades microestruturais do esqueleto coralino, tais como: a microporosidade (poros fechados) e grau de anisotropia, correlacionados com a taxa de calcificação e a cronologia coralina;

c) Determinar ao longo do eixo do esqueleto coralino prováveis influências continentais e/ou oceânicas comparadas às curvas das razões Ba/Ca como indicador de variações e evidenciar alguma relação direta entre estes índices.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras estudadas neste trabalho fazem parte da coleção de testemunhos de colônias de corais pétreos do consórcio Brasil-França representado pelas entidades Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais-LARAMG/Uerj, Universidade Federal Fluminense-UFF, LMI PALEOTRACES e do projeto de cooperação IRD-CNPq (CLIMPAST). Os testemunhos deste trabalho foram coletados no ano de 2007, autorizados e licenciados pelo IBAMA (Nº283/2006 e 040/2007/CGREP). Todas as análises geoquímicas deste trabalho foram feitas por GODIVA (2010).

Através da técnica de Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado ou ICP-MS emprega-se a análise geoquímica como principal método para identificar, através dos traçadores, a variabilidade dos mesmos registrados no esqueleto coralino. Foi também utilizado raio-X digital do esqueleto coralino e a análise da microestrutura coralina para comparar aos resultados das análises geoquímicas. Para uma melhor compreensão da correlação entre as variabilidades dos registros geoquímicos com os parâmetros meteorológicos e índices climáticos foram empregadas análises de ondeletas cruzadas (*crosswavelets*), correlação de Pearson e *cluster*.

2.1 Área de estudo

A extensa área litorânea do Brasil apresenta ampla distribuição de corais. No entanto, são poucas evidências de grandes formações recifais próximas ao continente. Isto se deve, provavelmente, a dois fatores principais. Na direção Sul, em razão, sobretudo do resfriamento das águas ocasionado pela corrente das Malvinas, e na região Norte e Nordeste, muito embora a temperatura da água seja comparativamente mais elevada que a do sul, a desembocadura de dois grandes rios como o Amazonas e o São Francisco turvam a água impedindo a formação de grandes recifes (CARVALHO, 1994). Não obstante, fenômeno singular pode ser observado no território em que se situa o Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, sul do estado da Bahia, cercado pela maior concentração de corais do Atlântico Sul.

Para a realização deste trabalho, a área de coleta dos testemunhos selecionados atendeu a três critérios essenciais: a) ocorrência de grandes colônias de corais pétreos, b) oferta de melhor representatividade do paleoclima do Atlântico Sul e, c) intensidade de registros geocronológicos relativo ao oceano. A coleta foi realizada durante o mês de

novembro de 2007 na Baía de Todos os Santos em Salvador - BA, e anteriormente a esta foi realizada durante o mês de março do mesmo ano no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos - BA e em Armação dos Búzios - RJ. Vale salientar, ademais, que por se tratar de uma região oceânica, o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos sofre interferências oceanográficas distintas, se comparadas com a região de coleta em Salvador e Armação dos Búzios, além da influência da Corrente do Brasil (CB) e, praticamente, nenhum impacto antropogênico proveniente da região costeira é ali evidenciado (figura 15).

Figura 15 – Localização dos pontos de coleta empregados neste estudo



Legenda: Salvador-BA (quadrado amarelo), amostra identificada como PA1; Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (quadrado branco), amostra identificada como CS1; e Armação dos Búzios-RJ (quadrado vermelho), amostra identificada como B1. Feito no Google earth.

2.1.1 Salvador – Bahia

A Baía de Todos os Santos (BTS) encontra-se na costa do Estado da Bahia, caracterizada como a região de maior diversidade de corais do oceano Atlântico Sul Ocidental, com o maior número de espécies endêmicas do Brasil (CASTRO & PIRES, 2001; LEÃO *et al.*, 2003). É considerada como uma região úmida e quente, pois, não há estação seca, e as elevadas temperaturas ocorrem em todas as estações do ano, com baixas amplitudes térmicas (VEIGA, 2003). Esta região constitui uma Área de Preservação Ambiental (APA) dentro da zona urbana da cidade do Salvador, mas no entanto, não possui ainda um plano de

manejo que limite e regularize o uso dos recursos de maneira a promover a conservação do meio ambiente. Entretanto já existem trabalhos sendo desenvolvidos para este fim, como pode ser observado em CRUZ *et al.* (2009).

Os recifes da BTS estão dispostos em duas regiões com distintos regimes hidrodinâmicos e impactos antropogênicos. Os recifes do interior da baía, localizados mais próximos ao complexo industrial e da cidade do Salvador, estão mais expostos aos impactos provenientes da contaminação industrial, enquanto que os recifes externos, localizados na entrada da baía, encontram-se mais sujeitos a ação das águas oceânicas (CRUZ *et al.*, 2009).

O grupo dos recifes do interior da BTS, incluindo a da Pedra Alva, está mais próximo da cidade do Salvador, com 2,8 milhões de habitantes, e de um pólo industrial que abrange metalúrgicas, fábricas de fibras sintéticas, indústrias químicas, de cerâmica, de produção e do refino de petróleo, além de três portos, todos com alto potencial de impacto ambiental. Acrescenta-se a tudo isto, a emissão de efluentes domésticos de uma grande parcela da cidade do Salvador (MONTENEGRO *et al.*, 1999; CRUZ *et al.*, 2009). Atualmente, o despejo desses efluentes domésticos e industriais, vem diminuindo, embora não o suficiente para afirmar que houve melhoria na qualidade ambiental. O que se observa, nesses recifes, é que possuem maior abundância de esponjas e corais, e a espécie de coral dominante é *Montastraea cavernosa* e o hidrocoral *Millepora alcicornis*, além das do complexo *Siderastrea* (CRUZ *et al.*, 2009).

Segundo o trabalho desenvolvido por MONTENEGRO *et al.* (1999), as correntes de maré geram os fluxos de água mais importantes na BTS. Com relação aos ventos, os fluxos atmosféricos são característicos de cada estação do ano, e estabelecidos dois padrões distintos que correspondem a um vento típico de inverno, e outro com condição típica de verão. Os efeitos do vento foram observados como modulando as correntes de maré. O vento de SSE, típico de inverno, parece ser o responsável pelas maiores velocidades de enchentes na desembocadura durante o inverno, que não só são maiores que as correntes de entrada de verão, como mais intensas que as velocidades de saída durante o próprio inverno. Da mesma forma, os resultados indicam que, durante o verão, o vento de NE intensifica os fluxos de maré vazante e enfraquece as correntes de maré na desembocadura. Por soprar numa direção mais paralela a costa, o vento de verão, aparentemente, intensifica também as correntes para SO na plataforma. A penetração dessas correntes no corpo da Baía pode ser a explicação para as correntes mais intensas dentro da mesma durante os períodos de estofa. Logo,

MONTENEGRO *et al.* (1999), sugeriram que tanto as marés quanto o vento contribuem de forma decisiva para a circulação da região.

2.1.2 O Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos – Bahia

O clima na costa leste do Brasil é úmido, com uma média de temperatura que varia entre 24°C no inverno e 27°C no verão. Julho é o mês mais frio do ano e março é o mais quente. A média anual de precipitação na região costeira em frente à área do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos é de 1800 mm. Março, abril e maio são os meses mais chuvosos. As marés são semi-diurnais, com altura máxima de 2,3 m e mínima de 0,5 m (KNOPPERS *et al.*, 1999; LEÃO, 1996).

A região do Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, localizada no sul da Bahia, situa-se no alargamento da plataforma continental (até 200 km). Considerada a maior, a mais rica e a relativamente mais bem preservada área de recifes de corais registrados e descritos do Brasil (LEÃO, 1994, 1996; LEÃO *et al.*, 1988; CASTRO, 1994), este arquipélago também é cercado pelo complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul (LEÃO, 1999). Abrange recifes de corais, ilhas vulcânicas, bancos rasos e canais, numa extensão de aproximadamente 6.000 km² na parte norte do banco do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (entre as coordenadas de 17°20'-18°10' S e 38°35'-39°20' W) (LEÃO, 1999).

O Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos é formado por cinco ilhas. A primeira, Santa Bárbara, a maior delas, tem aproximadamente 1 km de comprimento (leste-oeste), 300 m de largura e 35 m de altitude. Nos seus lados norte e sul observam-se praias areno-cascalhosas formadas por uma mistura de restos carbonáticos, grãos de quartzo e fragmentos de rocha. A oeste da ilha de Santa Bárbara, separada por um canal de cerca de 4 m de profundidade, está a segunda ilha, a Redonda, com cerca de 400 m de diâmetro e 36 m de altitude, possui recifes em franja na sua costa sudeste. A terceira ilha, denominada Siriba, tem 300 m de comprimento (leste-oeste), 100 m de largura e 16 m de altitude e está localizada ao sul da ilha Redonda, desta separada por um canal com menos de 4 m de profundidade. A quarta, mais ao sul do arquipélago, é a ilha Sueste, com cerca de 500 m de comprimento, 200 m de largura e 15 m de altitude. Verdadeiras comunidades recifais crescem nas suas encostas. A aproximadamente 250 m ao norte da ilha de Santa Bárbara está a quinta e menor das ilhas do arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, a Guarita, que tem cerca de 100 m de largura (nordeste-sudeste) e 13 m de altitude. Ela é formada por um acúmulo de rochas

vulcânicas e comunidades recifais crescem nas suas paredes rochosas. As duas ilhas, Siriba e Sueste, não possuem recifes desenvolvidos nos seus arredores, mas sim chapeirões isolados que podem alcançar até 15 m de altura dentro do canal que as separa, onde a profundidade atinge 20 m (LEÃO, 1999).

O Banco do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos é um alargamento da plataforma continental leste brasileiro, o qual, de norte para sul, tem início na foz do rio Jequitinhonha na Bahia e se alonga até próximo a foz do rio Doce, no Espírito Santo. Enquanto que na altura da cidade de Caravelas a plataforma se estende até cerca de 200 km, e no restante da costa ela tem largura média de 50 km (OLIVEIRA, 2007).

Os recifes da costa brasileira estão localizados em plataforma continental bastante rasa. As profundidades são inferiores a 30 m e na sua borda elas não excedem os 70 m. Desse modo, os recifes de corais do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos crescem como colunas podendo atingir o nível do mar. Esses pináculos coralinos têm formato bastante irregular e seus topos expandem-se como cogumelos, sendo chamados de “chapeirões”. Nas mais diversas fases de seu crescimento, os chapeirões assumem diferentes dimensões com alturas variando de < 1 a > 25 m e diâmetros entre < 1 a > 50 m e seu topo é mais pronunciado no lado dos ventos dominantes. Vale ressaltar que o crescimento dos recifes do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos assume forma cogumelar, algo raro nos corais de outros mares tropicais (LEÃO, 1999).

2.1.3 Armação dos Búzios – Rio de Janeiro

A região onde está situada a Armação dos Búzios-RJ possui um clima do tipo tropical seco, com baixa pluviosidade (820 mm/ano), alta taxa de insolação, ventos constantes e baixa umidade relativa do ar, e com vegetação típica da Mata Atlântica (DANTAS & BOHRER, 2001). Segundo FERNANDEZ (1998), o regime dinâmico predominante de ar é dominado pela Massa Tropical Atlântica (MTA), como resultado da influência do Anticiclone Tropical Atlântico (ATA) que mantém condições de tempo bom (NIMER, 1989), associado aos ventos alísios característicos da região nordeste.

Nesta praia da Tartaruga, localizada na face norte da península de Armação dos Búzios, encontram-se extensas colônias de *Siderastrea stellata*, espécie de coral pétreo endêmica do Brasil, presente ao longo do costão rochoso do lado direito, atingindo a linha de praia (OIGMAN-PSZCZOL *et al.*, 2004; GODIVA *et al.*, 2010).

A península de Armação dos Búzios ocupa uma área de 71,7 Km² (CIDE, 2001), fazendo limites com o Município de Cabo Frio e com o Oceano Atlântico. Esta pequena cidade compreende uma porção continental e outra peninsular (XAVIER, 2001). A linha de contorno é bastante irregular, o que possibilitou a existência de mais de 20 praias, cada uma com características próprias, variando desde pequenas enseadas até extensas orlas lineares com águas calmas ou não.

As camadas superficiais da zona de quebra da plataforma continental, geralmente são ocupadas pelas águas da Corrente do Brasil e da Corrente Norte do Brasil (FRANCHITO *et al.*, 1998; RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001; MAHIQUES *et al.*, 2005), além disso, incorporam relativamente pouco material originado de escoamento terrígeno, caracterizando um cenário de baixas razões de sedimentação, principalmente dos arredores de Cabo Frio (MAHIQUES, *op. cit.*). As camadas superficiais desta região são dominadas por águas quentes (aproximadamente, 26°C no verão e 23°C no inverno) com baixos níveis de produtividade (FRANCHITO, *op. cit.*), altas temperaturas e salinidade (FRANCHITO, *op. cit.*; RODRIGUES & LORENZZETTI, *op. cit.*).

Nesta região, ocorre um fenômeno raro conhecido como ressurgência que interfere fortemente no lado leste da península de Armação dos Búzios com a presença de águas frias e ricas em nutrientes, mas que raramente atingem sua face ocidental (OIGMAN-PSZCZOL *et al.*, 2004). A ocorrência destes episódios sazonais costeiros, caracterizado pela ascensão de águas frias (Água Central do Atlântico Sul – ACAS), e com grande quantidade de nutrientes, propicia condições favoráveis a uma produtiva atividade pesqueira, principalmente durante a primavera e o verão (VALENTIN, 1984; VALENTIN, ANDRÉ & JACOB, 1987; RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001).

A localização da Praia da Tartaruga permite, provavelmente, um impacto indireto dos efeitos da ressurgência de Cabo Frio. Por outro lado, é possível que eventos similares de meso-escala (correntes frias) atinjam e interfiram na dinâmica oceânica da face norte de Armação dos Búzios. Em Arraial do Cabo, o fenômeno da ressurgência se manifesta mais frequentemente na primavera e no verão, entre os meses de outubro e abril, na área da plataforma continental, a sudoeste da Ilha de Cabo Frio. É caracterizado por uma anomalia negativa na TSM causada pela direção do vento na costa e sua zona de influência pode se estender, de acordo com sua intensidade, por mais de 50 Km (FRANCHITO *et al.*, 1998; RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001). Até a latitude 22°S, o litoral brasileiro apresenta uma larga plataforma continental. Por causa de uma troca na orientação costeira, a topografia

submarina desta região mostra a isóbata de 50-100 m se aproximando da costa e na latitude 23°S, esta distância é de menos de três milhas (Ilha de Cabo Frio) (RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001).

Nesta mesma latitude a hidrologia própria da região é diretamente dependente das condições meteorológicas, pois o regime de ventos determina a distribuição das massas d'água. Os ventos E-NE dominantes de um anticiclone marítimo tropical provocam, em razão da força de Coriolis (transporte de Ekman), uma deriva da água superficial da Corrente do Brasil (CB), uma extensão da corrente equatorial sul, que corre em direção sul. A divergência desta corrente da costa contribui para a origem de uma água costeira derivada da mistura com a Corrente de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em ascensão de 200-300 m de profundidade (RIBEIRO, 1996). Quando os ventos Nordeste persistem por alguns dias, desenvolve-se um forte evento em que a temperatura das águas superficiais atinge 15°C, ou até menos, perto da costa de Cabo Frio, o que significa que a temperatura está em torno de 10°C mais fria do que a encontrada nas águas mais externas da plataforma (FRANCHITO *et al.*, 1998; RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001). Este padrão se inverte durante a passagem das frentes frias que proporcionam ventos SE indicadores do fenômeno inverso chamado “subsistência” (retorno para a costa das águas superficiais da CB) (PEREIRA, 2002).

O sinal de ressurgência, facilmente identificado na imagem de satélite para temperatura superficial do mar (RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001), é perceptível na costa do estado do Espírito Santo, norte de Cabo Frio, na região próxima à Baía de Guanabara, com anomalia negativa de temperatura superficial do mar mais intensa ao longo da costa próxima ao Cabo de São Tomé, à Armação dos Búzios e à Cabo Frio (FRANCHITO *et al.*, 1998). A singularidade da composição da população faunística costeira desta região está fortemente ligada ao fenômeno da ressurgência, cujas características conferem a região grande gradientes de temperatura da água do mar superficial ao longo do ano, o que possibilita estudar diferentes aspectos do crescimento da espécie de coral e suas implicações sobre a turbidez da coluna d'água, e a disponibilidade de nutrientes (CASTRO *et al.*, 1995).

Os padrões de chuva para a região sudeste do Brasil apresentam uma evidente variação sazonal, com maiores volumes de precipitação nos meses de verão. Entretanto, diferem-se pela distribuição espacial e pela irregularidade no tempo. As precipitações no inverno, embora sejam igualmente irregulares, do ponto de vista da quantidade não sofrem grandes variações. Em contrapartida, no verão não apenas as chuvas são mais frequentes, como também mais volumosas a ponto de servir de parâmetro total de chuva para o ano

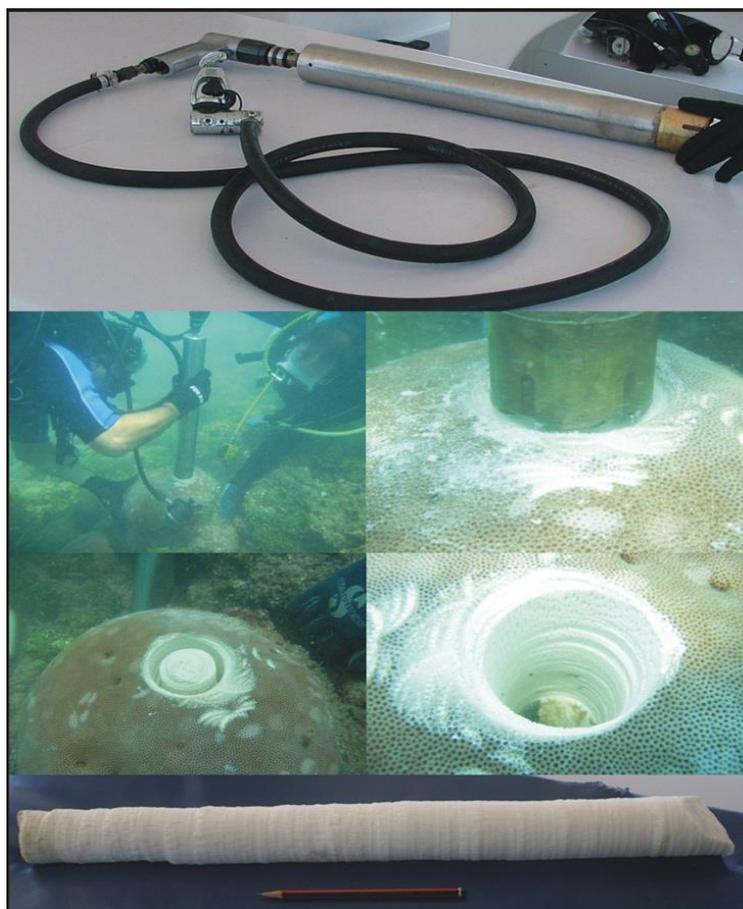
analisado (NIMER, 1989). Neste conjunto tropical úmido, as regiões de Armação dos Búzios e de Cabo Frio apresentam um microclima muito particular de tipo semi-árido, caracterizado por fracas precipitações (em média entre 600 a 700 mm/ano) e por uma taxa de evaporação compreendida entre 1.300 e 1.400 mm/ano, notadamente em período estival. Portanto, o clima destas regiões pode ser classificado como uma variação do semi-árido quente, que sofre períodos de estiagem de até cinco meses. Quanto à entrada de frente-fria, no verão, em virtude do maior aquecimento do continente em relação ao mar, acham-se enfraquecidos o anticiclone do semifixo do Atlântico e o anticiclone da Antártica. Já no inverno, o anticiclone do Atlântico avança sobre o continente com pressão máxima (NIMER, 1989).

Esta individualização climática deve ser tributada à própria estrutura peninsular em um cabo, ao afastamento da Serra do Mar da linha da costa, à presença de uma grande laguna hipersalina (em Araruama) e, ainda, à brusca mudança da direção da linha de costa (de oeste-leste para sul-norte) e à presença de águas frias, causado pelo fenômeno da ressurgência.

2.2 Amostragem dos testemunhos de corais

Foi empregado para cada local, a coleta de um exemplar coralino, através de um testemunhador pneumático com 5 cm de diâmetro interno. Cada testemunho corresponde a uma coluna no eixo de máximo crescimento da colônia (figura 16). Todas as coletas e tratamento das amostras foram feitas por GODIVA (2010).

Figura 16 – Testemunhador pneumático e coleta de amostras de coral *Siderastrea stellata* para as regiões de Salvador-Ba, Abrolhos-Ba e Armação dos Búzios-RJ realizada neste trabalho



Fonte: Projeto RECORD.

Os locais selecionados para a coleta dos testemunhos são representativos da ocorrência de grandes colônias de corais pétreos, podendo fornecer importantes registros geocronológicos relativos ao oceano. Para a realização deste trabalho foram selecionadas três áreas de coleta que tomadas separadamente, oferecem uma melhor representatividade do paleoclima do Atlântico Sul (GODIVA 2010). A coleta em Salvador-BA foi realizada na região interna da Baía de Todos os Santos, precisamente, no Recife de Pedra Alva ($12^{\circ} 52'S - 038^{\circ} 31'W$), no mês de novembro de 2007. Para o Parque Nacional Marinho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA, a obtenção do testemunho de coral vivo ocorreu no Chapeirão do Sueste ($17^{\circ} 57'S - 038^{\circ} 38'W$), no mês de março de 2007. E para Armação dos Búzios-RJ, na Praia da Tartaruga ($22^{\circ} 44'S - 041^{\circ} 52'W$), a coleta foi realizada também no mês de março de 2007.

Estas regiões de coleta sofrem interferências oceanográficas distintas. A região do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos é a mais oceânica dentre as três, sofrendo uma maior influência da Corrente do Brasil (CB) e, praticamente, nenhum impacto antropogênico proveniente da região costeira. Armação dos Búzios é uma região peninsular e as coletas foram realizadas em uma enseada que sofre interferência da CB, assim como, da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) devido à sua proximidade à área de ressurgência de Cabo Frio. Como os corais nesta região localizam-se próximos à linha de praia, considera-se que atividades antropogênicas, como alteração do uso do solo e ancoragem de embarcações, possam interferir nas comunidades coralinas. A coleta de Salvador foi realizada numa região enclausurada da Baía de Todos os Santos e, portanto, é a área de estudo que menos sofre interferência da CB e é a mais antropizada de todas (GODIVA 2010).

Todos os testemunhos coralinos foram lavados em água Milli-Q no LARAMG/UERJ e, em seguida, foram fatiados em seu eixo principal de crescimento para diferentes fins, conforme as metodologias utilizadas a seguir, descritas nos próximos tópicos.

2.3 Cronologia de Crescimento das colônias de corais

As amostras coralinas deste trabalho foram utilizadas para a obtenção cronológica através das metodologias: contagens de bandas de densidade anuais, onde esta foi auxiliada pela técnica de luminescência, e datação através do emprego dos radionuclídeos U-Th (Urânio – Tório).

2.3.1 Contagem de bandas de crescimento

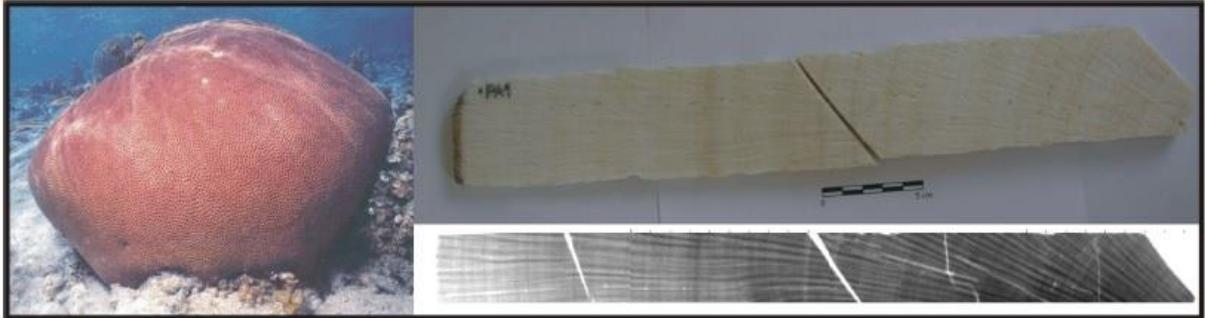
A utilização do Raio-X e Radiografia nas fatias dos diferentes testemunhos de *Siderastrea stellata* produziu imagens revelando quaisquer alterações em espessura e defeitos (internos e externos) dos testemunhos.

2.3.1.1 Radiografia e processamento de imagem

Para esta metodologia, os testemunhos coralinos foram fatiados longitudinalmente em seu eixo principal de crescimento através de uma serra especializada. Este procedimento foi

realizado com a colaboração do Departamento de Geologia (LGPA) da UERJ e o seu resultado é aqui apresentado na figura 17.

Figura 17 – Imagem do coral no oceano de uma colônia de *Siderastrea stellata*. e sua amostragem no laboratório

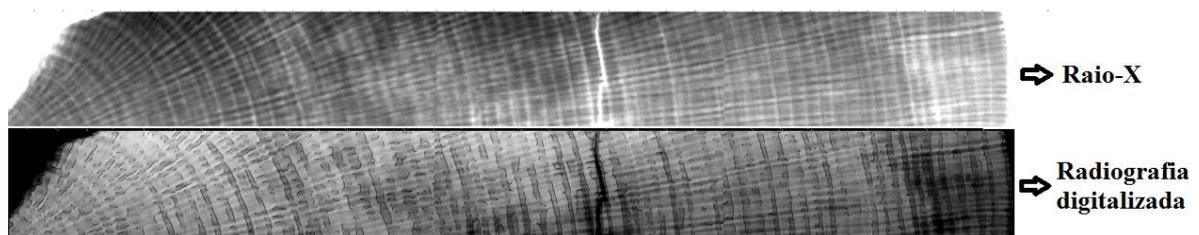


Nota: À esquerda, imagem; lado direito superior, fotografia de uma das placas do esqueleto coralino utilizado para a radiografia; e, no lado direito inferior, imagem radiografada da placa do coral.

Fonte: GODIVA, 2010.

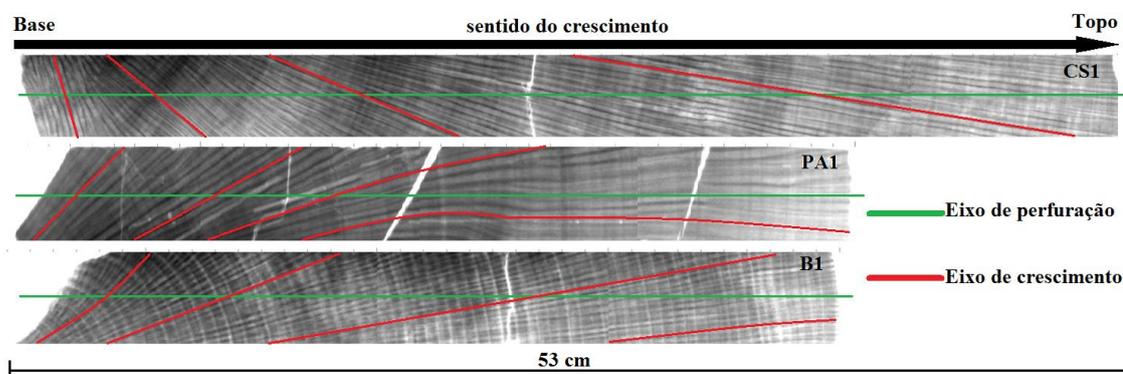
As amostras foram radiografadas na Universidade de Bordeaux, na França, em parceria com o Prof. Thierry Corrège, através de um sistema conhecido como ‘scopix’, que gera uma imagem de raio-X digitalizada com o software Adobe Photoshop® CS6 em imagens de escala cinza (figura 18).

Figura 18 – Imagem de raio-X da amostra coralina e imagem da radiografia digitalizada em escala cinza



Assim as bandas de crescimento anual foram contadas a olho nu, já que este método aperfeiçoa a observação das bandas anuais do esqueleto dos corais e identificação melhor do eixo de crescimento contínuo dos três testemunhos (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-CS1, Salvador-PA1 e Armação dos Búzios-B1) ao longo de suas extensões, porém mostraram pequenas inclinações em relação aos eixos de perfurações. A imagem identifica que a base é a parte mais antiga e o topo a mais atual ou recente cronologicamente (figura 19).

Figura 19 – Raio-X da representação da inclinação do Eixo de crescimento em relação ao Eixo de perfuração coralino das três amostras (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-CS1, Salvador-PA1 e Armação dos Búzios-B1)



No entanto, até este momento, mesmo as melhores imagens radiográficas não apresentavam com nitidez todas as bandas. Então toda a contagem foi refeita utilizando além das imagens digitalizadas, também as imagens de luminescência, que auxiliaram na contagem das bandas de crescimento.

2.3.2 Luminescência de imagem do coral

Como algumas amostras, ou seções de amostras, não apresentaram com a devida clareza as estruturas de bandeamento para contagem ocular, utilizou-se um método auxiliar na cronologia coralina. Tal método, a luminescência, se trata da obtenção de uma imagem fotográfica da seção reta do coral quando iluminada por luz negra em fundo escuro, o que faz ressaltar a estrutura de bandeamento.

2.3.3 Datação U/Th (Urânio – Tório)

Uma forma de se obter a cronologia do coral é determinar grandes quantidades de contagens de bandas anuais de densidade (e.g., DODGE & BRASS, 1984; LINSLEY *et al.*, 1999; KILBOURNE *et al.*, 2004), ou por meio do ajuste dos registros de marcadores utilizando métodos adaptados da dendrocronologia e cronoestratigrafia central de sedimentos (e.g., GAGAN & CHIVAS, 1995; LINSLEY *et al.*, 1999; COBB *et al.*, 2003b; HENDY *et al.*, 2003). Dificuldades surgem quando usam estes métodos para um controle cronológico

preciso absoluto, nos seguintes casos: (1) os corais que vivem com descontinuidades de bandas causadas por anomalias climáticas e/ou tectônicas (e.g., SIEH *et al.*, 1999; HENDY *et al.*, 2003; NATAWIDJAJA *et al.*, 2004), (2) corais que vivem nos oceanos equatoriais com ciclos climáticos sazonais intrinsecamente pequenos (tão baixo como 0-2°C de mudança na temperatura sazonal), e (3) cabeças de corais mortos e fósseis, sem idades absolutas e/ou mortalidade relacionados a eventos de idade conhecidos (GLYNN *et al.*, 1983; YU *et al.*, 2004). O método de datação com o emprego dos radionuclídeos ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}U e ^{238}U , Equação 10, fornece uma cronologia absoluta para a idade dos corais. Uma descrição do modelo de idade utilizado aqui pode ser encontrado em SHEN *et al.*, 2008.

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}} = 1 + \left(\left(\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}} \right) \left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}} \right)_i - 1 \right) e^{-\lambda_{230}t} + \frac{\delta^{234}\text{U}_m}{1000} \left(\frac{\lambda_{230}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}} \right) (1 - e^{-(\lambda_{234} - \lambda_{230})t}), \quad (10)$$

Onde todas as razões isotópicas são relações de atividade, as λ são constantes de decaimento, t é a idade ^{230}Th , e $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_i$ é a Relação inicial $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$. A razão de $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ foi formulada em δ -notação, o que denota o enriquecimento fracional na proporção $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, no estado de equilíbrio secular em partes por mil. O valor observado é dado por $\delta^{234}\text{U}_m = \{[(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_m / (^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_{\text{eq}}] - 1\} \times 10^3$ onde $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_m$ é a razão de atividade medida e $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_{\text{eq}}$ é a relação de 1 no estado de equilíbrio secular (EDWARDS *et al.*, 1987). Como $(^{232}\text{Th}/^{238}\text{U})$ pode ser medida, uma idade exata de ^{230}Th pode ser determinada se $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_i$ for conhecido. Mais detalhes em SHEN *et al.*, 2010.

As determinações das concentrações de composições isotópicas de urânio e tório foram realizadas utilizando o método de datação U/Th, que é uma ferramenta cronológica absoluta robusta para organismos marinhos calcícticos ou aragoníticos, devido à tecnologia de espectrometria de massa de alta precisão e aos níveis geralmente elevados de urânio (na ordem de ppm) em esqueletos coralinos.

Quatro subamostras de ~0,1 g foram tomadas a partir do núcleo de cada exemplar coralino, com aproximadamente igual espaçamento a partir do topo para a base. As correções das idades foram calculadas utilizando uma taxa de radionuclídeo estimado da razão $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ de 4 ± 2 ppm. Todas as análises radiométricas foram realizadas pelo professor Chuan-Chou (River) SHEN, utilizando o MC-ICP-MS, no Laboratório de Espectrometria de Massa de Alta Precisão e Mudança Ambiental (Hispec), do Departamento de Geociências da

Universidade Nacional de Taiwan (NTU) **ANEXO B**. Mais informações em SHEN *et al.*, 2008; SHEN *et al.*, 2010.

A parte química foi realizada em 20 de maio e 26 de julho do ano de 2010 (SHEN *et al.*, 2003); Para tanto utilizamos o método de MC-ICP-MS, com medições aferidas em 13 de agosto de 2010 (SHEN *et al.*, 2010). Os erros analíticos são 2σ da média (**ANEXO B**).

2.4 Análise da calcificação (Densitometria)

A DXA (*Dual X-ray absorptometry*) é uma técnica de imagiologia por absorção de raios-X utilizada principalmente para medir a densidade de um material, e não está normalmente disponível com os sistemas de raios-X por utilizar dois feixes de energia diferente, um de baixa (<60 kV), e alta (100 kV). Assim, a densitometria mede o conteúdo mineral ósseo ou a densidade mineral por área, ou seja, a quantidade mineral dividida pelo espaço ósseo estudado (ANIJAR, 2003). Esta técnica constitui-se numa importante ferramenta no diagnóstico de variação da massa ou densidade óssea (LEITE *et al.*, 2008) onde índices quantitativos têm sido empregados para sua determinação (KOWALCHUK & DALINKA, 1998).

De um modo geral, a calcificação do exoesqueleto do coral tem sido quase que exclusivamente medido por densitometria óptica de radiografias (BUDDEMEIER *et al.*, 1974; HELMLE *et al.*, 2002), e densitometria gama de placas ósseas seccionadas (CHALKER & BARNES 1990; DRASCHBA *et al.*, 2000). Todo o procedimento para se obter o dado de calcificação coralina das amostras PA1 (Salvador-BA), CS1 (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA) e B1 (Armação dos Búzios-RJ) foram realizados com uma das metades longitudinais intactas dos testemunhos. As análises foram realizadas pelo equipamento modelo iDXA-Lunar, software enCORE™ 2008, versão 12.30 da marca Ge Healthcare, do Instituto Interdisciplinar de Avaliação Nutricional/UERJ (figura 20).

Figura 20 – Densitômetro de raios-X (iDXA-Lunar)



Nota: Marca Ge Healthcare enCORE™ 2008 versão 12.30

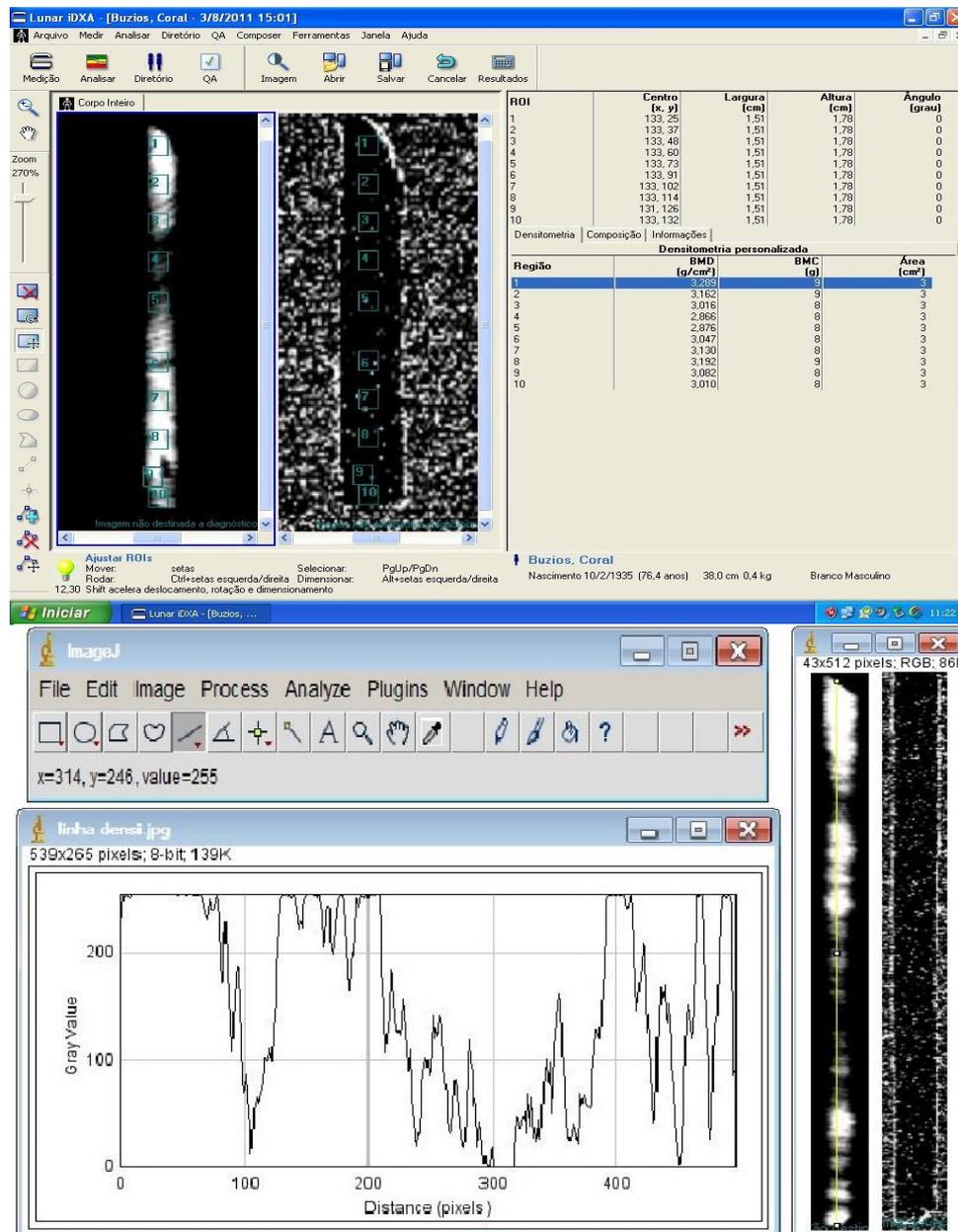
As imagens fornecidas pela densitometria foram utilizadas para a obtenção dos dados de calcificação através do software Lunar iDXA da marca Ge Healthcare enCORE™ 2008.

Objetivando saber as calcificações médias ao longo de cada testemunho de coral, várias Regiões de Interesses (ROIs) foram definidas sobre estes, cobrindo-se aproximadamente toda a extensão da amostra no sentido longitudinal. As ROIs foram centralizadas e superpostas a imagem de densitometria da amostra (Figura 21, parte superior). Cada ROI mediu 1,51 cm de largura e 1,78 cm. A saída de dados é fornecida em BMD (*Bone Mineral Density*) que representa a calcificação mineral superficial, baseado no carbonato de cálcio (CaCO_3) expressa em g/cm^2 (figura 21 superior). Desta forma tem-se a calcificação média para cada ROI.

As calcificações médias em cada ROI de um testemunho coralino serviram de base para converter todos os tons de cinza da imagem em calcificação. Para tal utilizou-se o software ImageJ que é capaz de gerar uma escala numérica (de 0 a 255) para as diferentes tonalidades de cinza, onde a região mais clara é a mais densa e a mais escura menos densa (figura 21 parte inferior). Assim, foram traçadas 3 linhas longitudinais paralelas (triplicata), em torno do centro da imagem da densitometria do testemunho, obtendo-se 3 séries de tons de cinza. Esta triplicata nos forneceu uma média da obtenção dos tons de cinza longitudinal de todo o comprimento da amostra. O software do equipamento da densitometria nos forneceu o valor de carbonato de cálcio (CaCO_3) expressados em g/cm^2 das dez ROIs. Foram localizados e marcados na imagem os tons de cinza (pixel) no interior de cada uma ROI (figura 21 parte inferior). Retirou-se, individualmente, uma média destes resultados de tons de cinza e feito uma regressão linear de modo a estabelecer uma perfilação de toda a extensão da amostra coralina fora das ROIs. Os resultados da taxa de calcificação mineral (basicamente formado por carbonato de cálcio, CaCO_3) foram expressadas em g/cm^2 . O processo de calibração do

DXA é baseado na hidroxiapatita de cálcio ($[\text{Ca}_3(\text{P})_4]_2 \text{Ca}(\text{OH})_2$), cuja densidade é de $2,982 \text{ g/cm}^3$, no seu estado sólido (MENDEZ *et al.*, 1960), para o caso de seu uso comum que é a densitometria óssea humana. Para corais como o gênero *Siderastrea* as densidades variam entre $1,62 \text{ g/cm}^3$ (STEARN *et al.*, 1977) e $1,82 \text{ g/cm}^3$ (CHAMBERLAIM, 1978).

Figura 21 – Saída de dados de uma amostra de testemunho de coral através das ROIs com os dados da Densidade Mineral Óssea (em inglês *BMD*), e a calcificação mineral expressadas em g/cm^2 ; e perfilação de tons de cinza de toda a extensão da amostra coralina

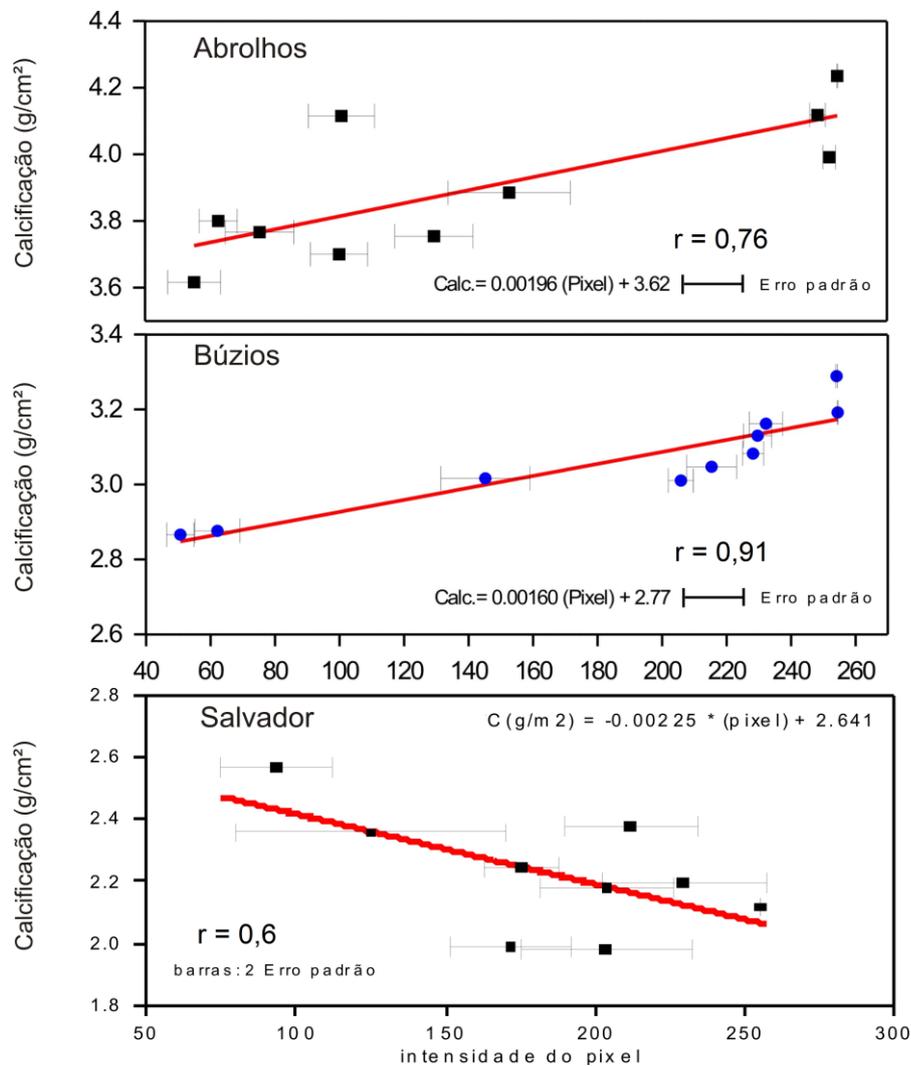


Nota: (superior) Saída de dados no software Lunar iDXA para uma amostra de testemunho de coral, onde as ROIs estão localizadas longitudinalmente, centralizadas, e superpostas a amostra. Também são apresentados os dados da Densidade Mineral Óssea (em inglês *BMD*), e a calcificação mineral

expressadas em g/cm^2 ; (inferior) Perfilação de tons de cinza de toda a extensão da amostra coralina auxiliada pelo software ImageJ.

Assim, os tons médios de cinza das imagens radiográficas dos testemunhos de coral das amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA, Armação dos Búzios-RJ e Salvador-BA foram convertidas para calcificação (humana). A figura 22 mostra as regressões entre a calcificação e os valores médios de tons de cinza para cada ROI correspondente. Desta forma, o resultado da saída de dados de calcificação foi corrigido por um fator 0,58 em função da densidade média coralina utilizada, dividida pela densidade humana.

Figura 22 – Regressões entre calcificação e tons médios de cinza das imagens radiográficas dos testemunhos de coral



Legenda: Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (superior), Armação dos Búzios-RJ (centro) e Salvador-BA (inferior).

2.5 Microporosidade

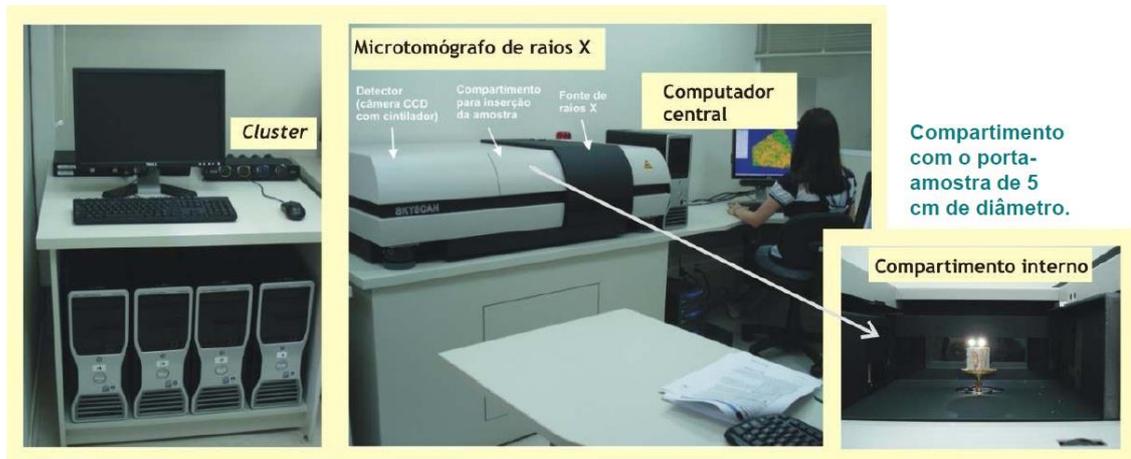
Análises de imagens de microtomografia computadorizada de raios-X (μ CT) ou micro-CT (técnica não destrutiva) permitem mensurar a morfologia (histomorfometria) da microarquitetura em duas ou três dimensões (2D e 3D). A μ CT pode ter resolução espacial de até 0,5 μ m, adequada, por exemplo, para análises de espessuras de trabéculas (lacunas entre as lâminas ósseas) da ordem de 30 a 146 μ m (MARTÍN-BADOSA *et al.*, 2003; CESAR *et al.*, 2013).

A μ CT de alta resolução com raios-X fornece imagem tridimensional do esqueleto de coral que pode ser utilizada para medir as variações na espessura e espaçamento de seus elementos estruturais. A μ CT tem sido utilizado para avaliar, por exemplo, erosão em corais (SILBIGER *et al.*, 2014).

A Microtomografia de raios-X é uma técnica que permite a visualização de seções transversais (cortes internos), e que permite modelar interiores de amostras com um algoritmo que processa os dados em escala micrométrica para formar imagens em 2D, e através da combinação destas imagens visualizar em 3D. O princípio de funcionamento baseia-se na propriedade dos materiais absorverem esta radiação de forma diferenciada dependendo de sua composição química e densidade.

Para a análise da porosidade coralina neste trabalho foi empregado um tomógrafo micro-CT da marca SkyScan 1172, de alta resolução, composto por um tubo de raios-X rígido de microfoco, e tensão (100 kV) usado para tecidos duros como ossos e contrastes artificiais. Um porta-amostra com manipulador de precisão e um detector baseado em uma câmera CCD de 10Mp (4000 x 2300 pixel) conectados a um computador de controle e aquisição de dados (host) foram interligados em rede a um *cluster* de quatro computadores responsáveis pela reconstrução das imagens. A instrumentação se encontra no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas-LAMIR da Universidade Federal do Paraná-UFPR (figura 23).

Figura 23 – Detalhamento do Micro-CT SkyScan 1172 e periféricos instalados no LAMIR/UFPR



Fonte: LAMIR/UFPR.

A fim de estudar a microestrutura coralina, todos os procedimentos de cortes para a preparação das amostras e subamostras de estudo microestrutural coralino de CS1 (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA) e B1 (Armação dos Búzios-RJ) foram realizadas no Laboratório de Geologia/LGPA da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. A amostra principal foi cortada longitudinalmente formando uma fatia de 2 cm de largura, subdivididas transversalmente em 10 subamostras de 1,733 cm de comprimento cada e aproximadamente 1,0 cm de espessura, em distâncias aproximadamente uniformes ao longo do esqueleto e identificadas como 1 a 10, sendo 1 a localizada na base do crescimento. Cada subamostra foi fixada com cera dentária da marca NeWWax no porta-amostra do equipamento e, finalmente, levadas para leitura. O uso de uma cera especial é devido ao aumento de temperatura causada pelo feixe de raio-X e este fixador não sofrer dilatação, assim não danificando a produção da imagem da subamostra.

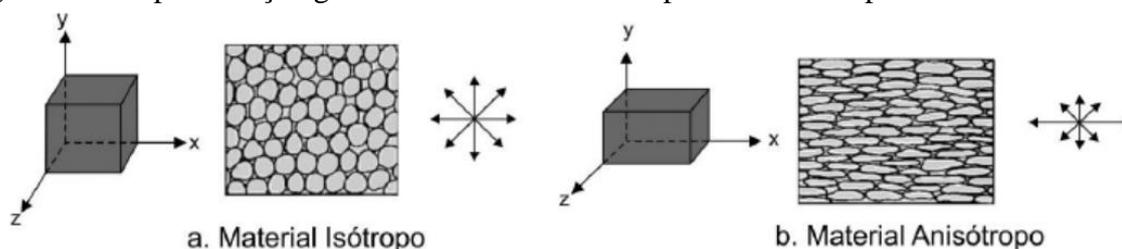
A partir das imagens obtidas pelo detector de raios-X, são geradas fatias tomográficas transversais e tridimensionais (“layers”). Após a aquisição das fatias tomográficas, é utilizado o cálculo algorítmico de Feldkamp (FELDKAMP *et al.*, 1984) para a obtenção das propriedades físicas da amostra de interesse, como (tabela 2):

Tabela 2 – Seleção dos tipos de análises de dados realizadas pelo software CTAn da mesma marca do fabricante do Micro-CT SkyScan 1172 instalado no LAMIR/UFPR

Parâmetro micro-estrutural	Definição
Anisotropia	Característica que uma substância ou material possui em que certa propriedade física varia com a direção
Porosidade Aberta	Percentual de poros que possuem conexão com o meio externo (%)
Volume Total do Espaço do Poro	Volume de poros abertos e fechados na estrutura (mm^3)
Porosidade Total	Percentual de poros abertos e fechados na estrutura (%)
Volume de Espaço de Poros Abertos	Volume dos poros que possuem conexão com o meio externo (mm^3)
Volume de Poros Fechados	Volume dos poros que não possuem conexão com o meio externo (mm^3)
Superfície de Poros Fechados	Área dos poros que não possuem conexão com o meio externo (mm^2)
Porosidade Fechada	Percentual de poros que não possuem conexão com o meio externo (%)
Nº de Poros Fechados	Número de poros que não possuem conexão com o meio externo (n)

O número de poros fechados corresponde aos espaços vazios no exoesqueleto e que não tem conectividade com o meio externo. Constitui-se em espaços vazios na estrutura carbonática do coral. No exoesqueleto coralino, encontram-se formas pouco organizadas com muitos poros. Uma das formas de quantificar a irregularidade da geometria desses poros é conhecendo-se o seu grau de anisotropia. A anisotropia é a característica que uma substância ou material possui em que certa propriedade física varia com a direção (figura 24).

Figura 24 – Representação gráfica dos materiais isotrópicos e anisotrópico



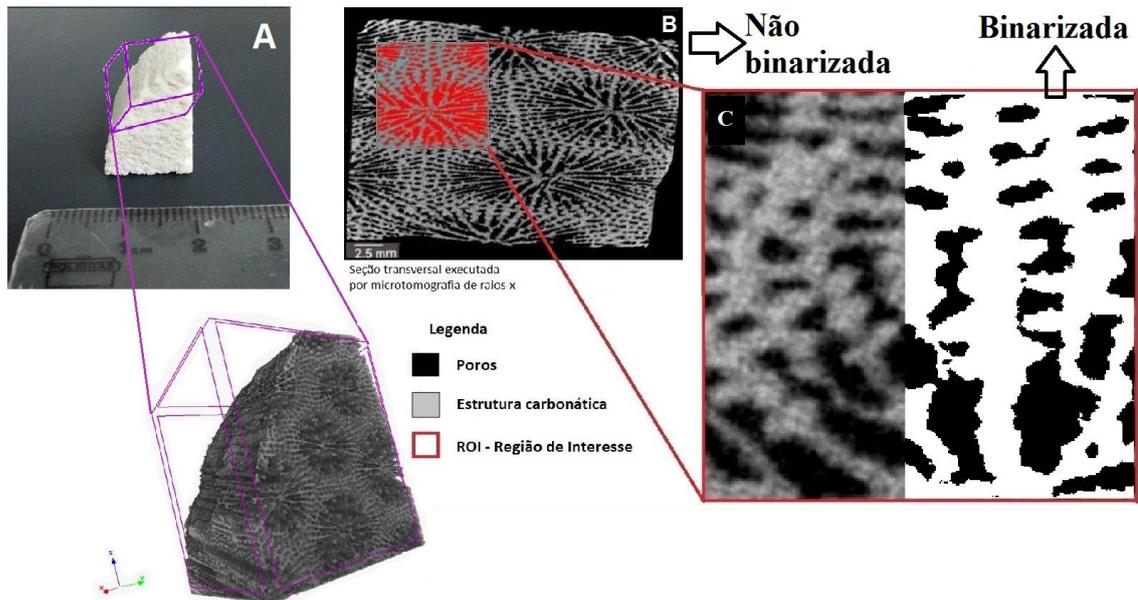
Nota: No primeiro caso (a), as propriedades físicas do material são as mesmas, independentemente da direção. Para o segundo caso (b), as propriedades físicas do meio, se alteram de acordo com a direção analisados. Fonte: RUEDA, 2010.

O Grau de Anisotropia (DA) indica o grau de orientação trabecular, definido como a razão entre o raio máximo e mínimo do comprimento médio de uma elipsoide (WHITEROUSE, 1974; HARRIGAN & MANN, 1984), isto é, mede a presença de alinhamento preferencial da estrutura em função de um eixo preferencial (ODGAARD, 1997). O volume pode ser considerado isotrópico, quando uma linha virtual ao atravessar o volume em qualquer orientação 3D tem números semelhantes de interseções da fase sólida (CESAR, 2014). Por definição $DA = 1$ significa completa anisotropia e $DA = 0$ isotropia.

Os valores das propriedades físicas das subamostras foram obtidas com o auxílio do programa CTAn (usado para visualização o conjunto de dados, análise e construção de modelos 3D), do mesmo fabricante do micro-CT. A construção de um modelo 3D utiliza o “*Doble Time Cubes*” que é um método que permite detalhes mais suavizados das superfícies analisadas (BOUVIER, 2000). O cálculo morfométrico pode ser desenvolvido em 2D e/ou 3D, após o conjunto de dados das imagens serem transformadas para a escala de cinza, ou binarizadas. As áreas em branco na imagem binarizada são identificadas como estruturas sólidas e o restante em preto é considerado inexistência de material.

Cada ROI é definida como um cubo dentro da subamostra. Cada ROI (e suas triplicatas) é fatiada de forma a produzir 400 imagens ou seções transversais (*layers*) paralelas. Cada imagem individual, de cada seção, é gerada no formato bitmap (BMP), de tamanho 406 x 406 pixels cada. Cada ROI mediu 3,571 mm de largura x 3,571 mm de altura e 3,509 mm de espessura (figura 25). O tamanho de cada pixel neste processo é de 8,8 microm. A Figura 25 mostra a sequência na análise dos parâmetros morfológicos da amostra de coral, onde representa a subamostra coralina e sua imagem de raio-X reconstruída em 3D pela microtomografia, detalha a ROI em vermelho sobre a subamostra na imagem em 2D selecionada antes da binarização, e o processo de binarização com a imagem metade binarizada, metade não binarizada em 2D para efeitos de comparação.

Figura 25 – Sequência na análise dos parâmetros morfológicos da amostra de coral



Legenda: (a) Representa a subamostra coralina e sua imagem de raio-X reconstruída em 3D pela microtomografia; (b) Detalha a ROI em vermelho sobre a imagem da subamostra em 2D selecionada antes da binarização; (c) Processo de binarização. Imagem metade binarizada, metade não binarizada em 2D.

2.6 Mensuração das razões elementares (Sr/Ca, U/Ca e Ba/Ca)

As microamostragens dos testemunhos de coral e as análises geoquímicas dos elementos-traço (Sr, U e Ba) foram realizadas no *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) em Bondy, França. As microamostragens foram realizadas através de um amostrador que consiste em um suporte fixo, onde se tem uma broca odontológica, um quadro diretamente em frente à broca, onde é fixada a amostra, e uma mesa onde são fixados os suportes para o quadro. Enquanto a broca permanece fixa, o quadro é capaz de se movimentar livremente em todas as direções enquanto força a amostra contra a broca. O pó de coral (quase 1 mg por microamostra) é colocado no tubo de ensaio adequado e dissolvido em solução de 2% de ácido nítrico (HNO_3) contendo três padrões internos: escândio (Sc), Ítrio (Y) e Índio (In). Depois os tubos são armazenados na geladeira até o momento de serem analisados.

As análises foram feitas pelo espectrômetro de massa acoplado a uma chama de plasma (*Inductively - Coupled Plasma Mass Spectrometry*, ICP-MS, 7500cx, Agilent Technologies), sob a coordenação da Dra. Florence Le Cornec, no IRD/Paris. Esta técnica permite medir, em uma passagem para cada amostra (com duração de 4 min 30 s), as

concentrações de estrôncio (Sr), cálcio (Ca), bário (Ba) e urânio (U). O que se obtém no final são as medidas das razões de ‘elementos’/Ca, que serão de mmol/mol para Sr/Ca e $\mu\text{mol/mol}$ para Ba/Ca e U/Ca.

As soluções de padrões externos contêm uma quantidade conhecida de cada elemento e são medidas no início de cada análise e a cada 30 amostras analisadas a fim de calibrar o aparelho. Isto permite determinar a concentração de cada elemento com mais estabilidade. Esses padrões são definidos em função dos elementos que serão analisados e esta estabilidade é verificada cotidianamente com a passagem do material de referência certificado (JCp – 1: *Porites*).

2.7 **Análise do impacto costeiro**

Vários trabalhos apontam para um impacto direto do uso do solo sobre as comunidades de corais próximos à costa. Buscamos aqui identificar potenciais agentes indicadores desta relação. Como um dos objetivos deste trabalho é conhecer prováveis influências terrígenas e/ou oceânicas, os dados de ressurgência, precipitação, vazão de rios, aumento populacional humano (hab), índice de vegetação (NDVI) e produção petrolífera foram comparados com as curvas das razões Ba/Ca ($\mu\text{mol/mol}$) no esqueleto coralino como indicador de variações e evidenciar alguma relação direta entre estes índices.

2.7.1 Ressurgência

A comparação da curva da razão Ba/Ca com o Número de Ocorrência de Ressurgência foi feita somente para o ponto amostrado de Armação dos Búzios de 1970 a 1992, considerando-se o estudo de CALIL (2009), no qual apresenta resultados obtidos na investigação do vento na região de Cabo Frio – RJ, e analisa a sua ligação com o processo de ressurgência, considerando-se as influências locais e do rotacional na região ao largo. Deste modo, o autor inicialmente estudou a variabilidade intra-anual e, em seguida, a variabilidade interanual do vento. Para avaliar a resposta ao padrão de vento no processo de ressurgência, escolheu-se a temperatura média das épocas identificadas como de ocorrência do fenômeno. Tal escolha se deveu aos sinais claros de variabilidade interanual apresentados por esse parâmetro, e, também, por apresentar a menor subjetividade na elaboração do índice

representativo.

2.7.2 Precipitação continental

Também se utilizou de série histórica de precipitação pluviométrica diária com um período amostral de 1980 a 2006 coletados de 15 estações meteorológicas. Foram utilizados dados consistidos, o que significa que eles passaram por um controle de qualidade, uma vez que dados brutos provenientes de estações meteorológicas apresentam problemas, a saber, erros de leitura, transcrição, digitação e ausência de dados em alguns períodos.

Foi feita uma reunião dos dados meteorológicos de precipitação de chuvas (pluviometria (mm/mês)) para as estações meteorológicas mais próximas geograficamente de cada testemunho através do site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

2.7.3 Vazão de rios

As séries históricas da vazão fluviométrica com dados mensais de 1933 a 2006 de duas regiões hidrográficas foram selecionadas a partir dos registros de 13 represas e/ou usinas hidrelétricas – UHE. Foi feita uma análise da reunião dos registros das UHE's das vazões dos rios (fluviometria (m^3/s)) pertencentes às regiões hidrográficas que desembocam próximas as áreas de ocorrência dos testemunhos coralinós estudados através dos sites do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e da Agência Nacional de Águas – ANA.

Em Armação dos Búzios, informações sobre transporte marítimo de sedimento foram usadas para determinar a bacia relevante; no caso de Salvador e do Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos essas informações não estavam disponíveis, nem das correntes costeiras. Logo, para Salvador o método foi selecionar a bacia dos rios que desembocam na Baía de Todos os Santos; e para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos foi selecionar toda sub-bacia (definida pelo IBGE), que abrange uma ampla escala espacial para norte e sul do ponto de amostragem.

2.7.4 Aumento populacional humano

Os dados do Aumento Populacional Humano (hab) das três localidades: Salvador, região próxima ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios, de 1970 a

2006, foram obtidos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - (IBGE), Censos Demográficos. Como o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos não possui população humana residente, e a cidade litorânea de Caravelas, não obstante o fato de ser a mais próxima da região de coleta teve que ser substituída por falta de dados. A alternativa para este caso foi a sua substituição pela cidade de Teixeira de Freitas, a maior e mais próxima a Caravelas. Mesmo assim, as informações são incompletas, não há dados para as décadas de 1970 e 1980. O problema foi minimizado com a consulta ao site <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1026255>. Através das informações ali expostas, foram tirados os dados de aumento populacional humano e se fez a curva somente para a cidade de Teixeira de Freitas. Para alguns dados populacionais anuais faltantes, foi feito uma interpolação dos mesmos.

2.7.5 NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

Para este trabalho, o NDVI usado foi produzido pelo *Global Inventory Modeling and Mapping Studies* (GIMMS) (TUCKER *et al.*, 2005), com base nos dados de radiômetro do tipo AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometers*) (TUCKER *et al.*, 2004), entre os anos de 1982 e 2006. O NDVI permite avaliar a condição de vegetação em uma determinada área e se traduz por um indicador numérico, que varia de 0 (referente à vegetação sem folha, submetida a condição de estresse hídrico por deficit de água no solo) a 1,0 (relativo à vegetação com folhas, sem restrições hídricas e na plenitude de suas funções metabólicas e fisiológicas). O NDVI é calculado utilizando as porções da energia eletromagnética refletida pela vegetação nas bandas do vermelho (comprimento de onda = 0,6 micrômetros) e do Infravermelho próximo (comprimento de onda = 0,8 micrômetros). Em geral, valores maiores de NDVI estão associados a formações florestais, sendo os mais altos para as florestas tropicais úmidas. O NDVI em conjunto com declividade do terreno é usado em modelos de erosão, mas estes últimos não foram considerados neste trabalho. Neste trabalho, as imagens/produtos NDVI foram definidas para os domínios hidrográficos relacionados diretamente às áreas de ocorrência dos corais. A malha hidrográfica em 1:1.000.000 utilizada foi disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE.

2.7.6 Atividade petrolífera

Para este parâmetro, foi feito um levantamento da produção petrolífera dos Estados onde foi coletadas amostras de coral a fim de se obter quantitativamente os dados sobre a extração *offshore* de petróleo (Barris/dia) dos anos de 1970 a 2006, através do Boletim de produção de petróleo e gás natural – Dezembro de 2013 – SDP. Fonte: ANP/SDP/SIGEP.

2.8 **Análises estatísticas**

Para uma melhor compreensão da relação entre as variabilidades dos registros geoquímicos e os parâmetros ambientais/índices climáticos, algumas séries foram normalizadas e aplicou-se o *z-Score* para transformá-las em uma única curva regional. Ao longo do trabalho empregou-se as análises de ondeletas (“*Morlet wavelet analysis*”) e ondeletas cruzadas (“*crosswavelets*”), análise espectral de Fourier, regressão linear e correlações *r*-Pearson, além de análise agrupamento (“*cluster analysis*”) e as Análises em Componentes Principais-ACP, a similaridade entre as séries temporais das razões Ba/Ca (avaliação local) e de *z-Score* (avaliação regional) com as possíveis fontes de bário continental e oceânica.

2.8.1 Análise de similaridade (*cluster*)

Uma abordagem multivariada por *cluster* foi realizada de forma a buscar semelhanças entre os parâmetros analisados (geoquímica e climatologia). O método ou regra de ligação entre *clusters* (*amalgamation rule*) utilizado neste estudo é o das mínimas variâncias sugerido por WARD (1963), ou método Ward, e distância euclidiana, como a distância de ligação (GODIVA *et al.*, 2010). Este tipo de abordagem é largamente utilizado em estudos climáticos (SARHADI & MODARRES, 2011; YOKOI *et al.*, 2011, entre outros), apresentando *clusters* que tem boa representatividade da realidade. Ward é o método considerado mais eficiente em estudos geofísicos e usa um algoritmo mais robusto baseado na análise de variância para avaliar as distâncias entre os grupos de dados, tentando minimizar a soma dos desvios dos quadrados da média do *cluster* que é criado a cada passo do método.

2.8.2 Análises espectrais

Para as análises de periodicidade presentes nos dados, foram utilizados os métodos de *wavelets (ondeletas)* e *redfit spectral*. Estes dois tipos de análises são reconhecidos como técnicas adequadas para detectar mudanças nos padrões e ciclicidades temporais em sinais geofísicos, de forma contínua ao longo de toda uma série temporal. Mais detalhes sobre a análise por ondeletas podem ser encontrados em TORRENCE & COMPO (1998).

3 RESULTADOS

3.1 Cronologia dos testemunhos de corais pelo método da contagem de bandas

As imagens de raios-X evidenciaram testemunhos com bandeamentos bem e mal definidos, basicamente em virtude da localização da colônia de coral (se estuarina ou *offshore*). Neste caso, como método auxiliar, empregou-se a técnica de luminescência onde as imagens adquiridas complementaram o processo de esclerocronologia. Entre os 3 sítios de amostragem, Armação dos Búzios apresentou o padrão de bandeamento mais visível, enquanto o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos o menos visível. Salvador apresentou característica intermediária. Para Salvador (PA1), a contagem de bandas por raio-X, teve auxílio direto da imagem de luminescência. Já para o caso de Armação dos Búzios (B1), a imagem de luminescência teve função secundária dada a boa qualidade da imagem de raio-X. A amostra do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1), apresentou a maior dificuldade quanto a contagem visto que a imagem da luminescência apresentou praticamente inexistência de padrões de bandeamentos. Esta evidência mostra claramente o impacto do aporte terrígeno sobre a zona de ocorrência de corais (McCULLOCH *et al.*, 2003). A Figura 26 mostra os padrões de luminescências encontrados nos testemunhos.

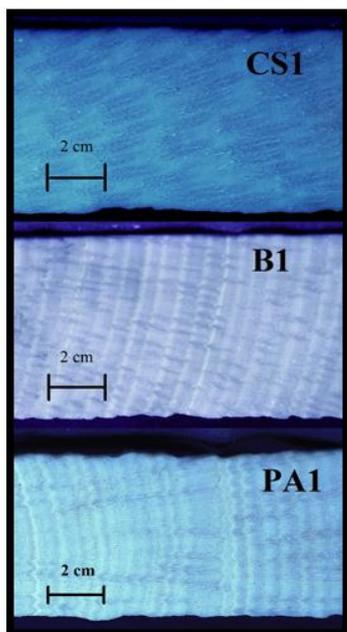
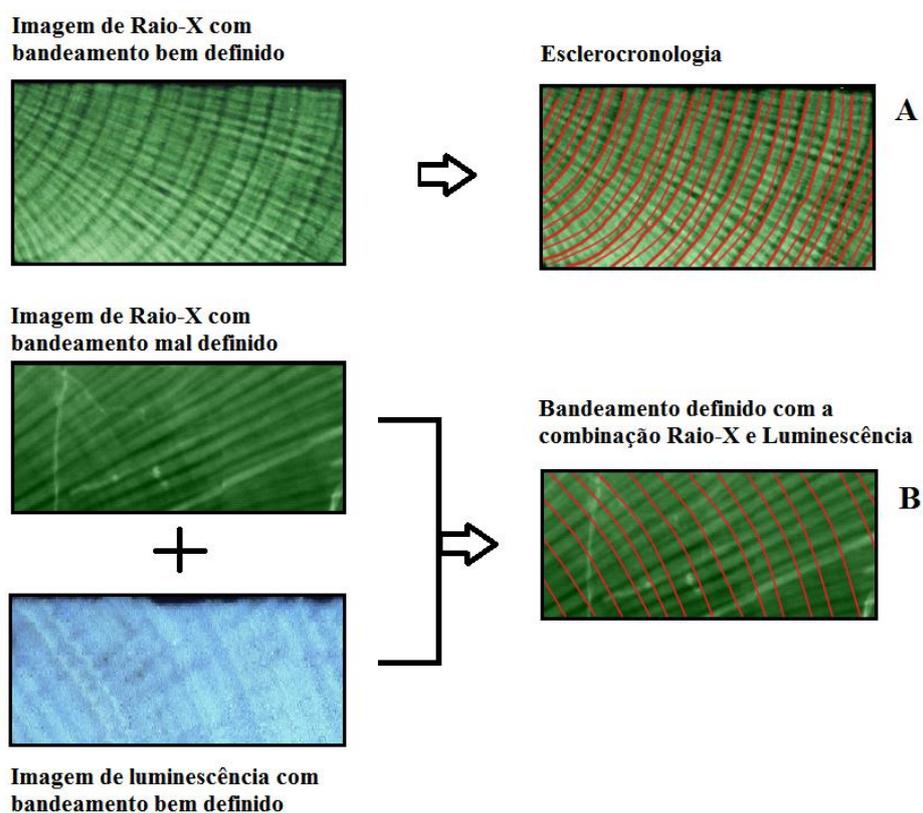


Figura 26 – Linhas luminescentes (faixas brancas) para as amostras coralinas

Legenda: Pedra Alva/Salvador (PA1), Praia da Tartaruga/Armação dos Búzios (B1) e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1).

A Figura 27 mostra como ocorreu o processo de contagem de bandas de crescimento a partir de uma combinação da técnica radiográfica e a luminescência. Duas situações são apresentadas, a primeira com a contagem direta sobre a imagem radiografada (A) e a segunda com a combinação das duas técnicas (B).

Figura 27 – Imagens de raios-X e luminescência, como ferramenta de auxílio para a contagem de bandas



Legenda: (A) mostra a contagem direta de bandas e (B) mostra a contagem de bandas auxiliada pela luminescência.

A reanálise da contagem visual das bandas de crescimento através da radiografia da amostra de Salvador, ou PA1, foi auxiliada pela imagem da luminescência, onde se identificou melhor estas bandas pelo testemunho. Este testemunho revelou um total de 72 pares de bandas, aqui interpretado como correspondentes há 72 anos. Tendo sido o ano de coleta 2007, estimamos que o período total de crescimento da amostra iniciou-se em 1935 (figura 28). Para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, ou CS1, observou-se 124 pares, o que oferece uma estimativa de início da colônia no ano de 1883 (figura 29). Para Armação

dos Búzios, ou B1, foram observados 141 pares, o que oferece uma estimativa de início da colônia no ano de 1866 (figura 30).

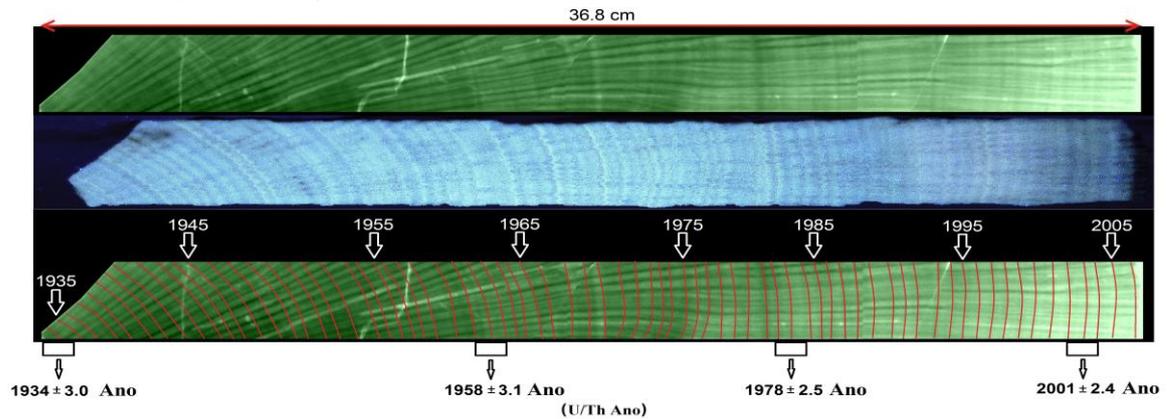
3.2 Cronologia dos testemunhos de corais pelo método de datação U/Th

O resultado da datação U/Th foi obtido para as subamostras dos vários segmentos ao longo dos testemunhos coralinos, de acordo com a Tabela **ANEXO B**. Desta forma, comparamos as idades radiométricas para as subamostras com as estimativas cronológicas dos mesmos sítios baseadas na contagem de bandas (figuras 28, 29, 30). Pode-se observar que o resultado U/Th apresentou boa concordância ao encontrado pela contagem ocular de bandas de crescimento para os três testemunhos de corais; em outras palavras, a contagem visual de bandas de crescimento ficou dentro do desvio padrão encontrado na radiometria.

PA1 apresentou menor desvio padrão radiométrico de $\pm 2,4$ para o ano de 2001 e com maior desvio padrão radiométrico de $\pm 3,1$ no ano de 1958. Em CS1, o menor desvio padrão radiométrico foi de $\pm 2,2$ nos anos de 1930 e 1996, e maior desvio padrão radiométrico de $\pm 3,3$ no ano de 1883. E B1 apresentou o menor desvio padrão radiométrico de $\pm 5,9$ no ano de 2000 e o maior desvio padrão radiométrico de $\pm 8,5$ no ano de 1954.

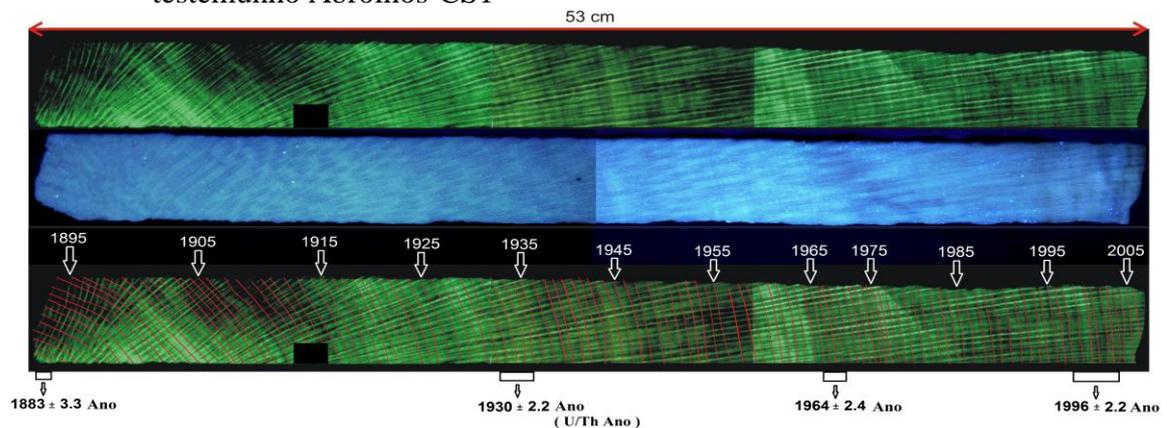
A técnica de datação U/Th, quando comparada a contagem de bandas, mostra que a hipótese do bandeamento anual é totalmente aceitável, pelo menos para as colônias de *S. stellata*. A cronologia baseada na estratigrafia das bandas de crescimento do coral de Salvador se iniciou no ano de 1934, e comparado com a datação radiométrica U/Th e desvio padrão no ano de início em $1934 \pm 3,0$. Para a amostra do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, a cronologia visual se iniciou no ano de 1882, e a idade radiométrica e desvio padrão no ano de $1883 \pm 3,3$. E em Armação dos Búzios a cronologia visual teve início no ano de 1865 e idade radiométrica e desvio padrão no ano de $1865 \pm 7,4$.

Figura 28 – Imagens de raio-X, luminescência e bandas estratigráficas de crescimento do testemunho Salvador-PA1



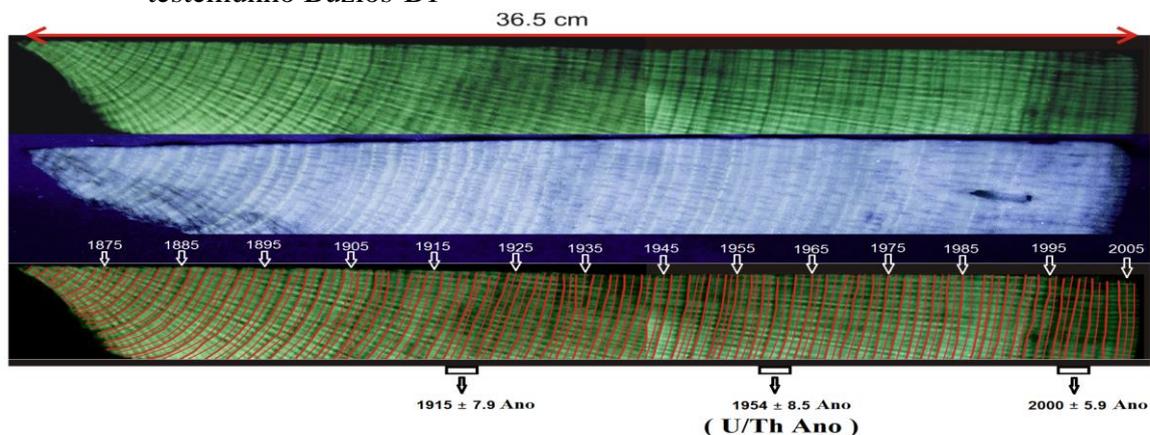
Legenda: (Imagens superior e central) raio-X e luminescência, respectivamente; (Imagem inferior) cronologia de bandas, idades estimadas pela estratigrafia e pela datação U/Th.

Figura 29 – Imagens de raio-X, luminescência e bandas estratigráficas de crescimento do testemunho Abrolhos-CS1



Legenda: (Imagens superior e central) raio-X e luminescência, respectivamente; (Imagem inferior) cronologia de bandas, idades estimadas pela estratigrafia e pela datação U/Th.

Figura 30 – Imagens de raio-X, luminescência e bandas estratigráficas de crescimento do testemunho Búzios-B1

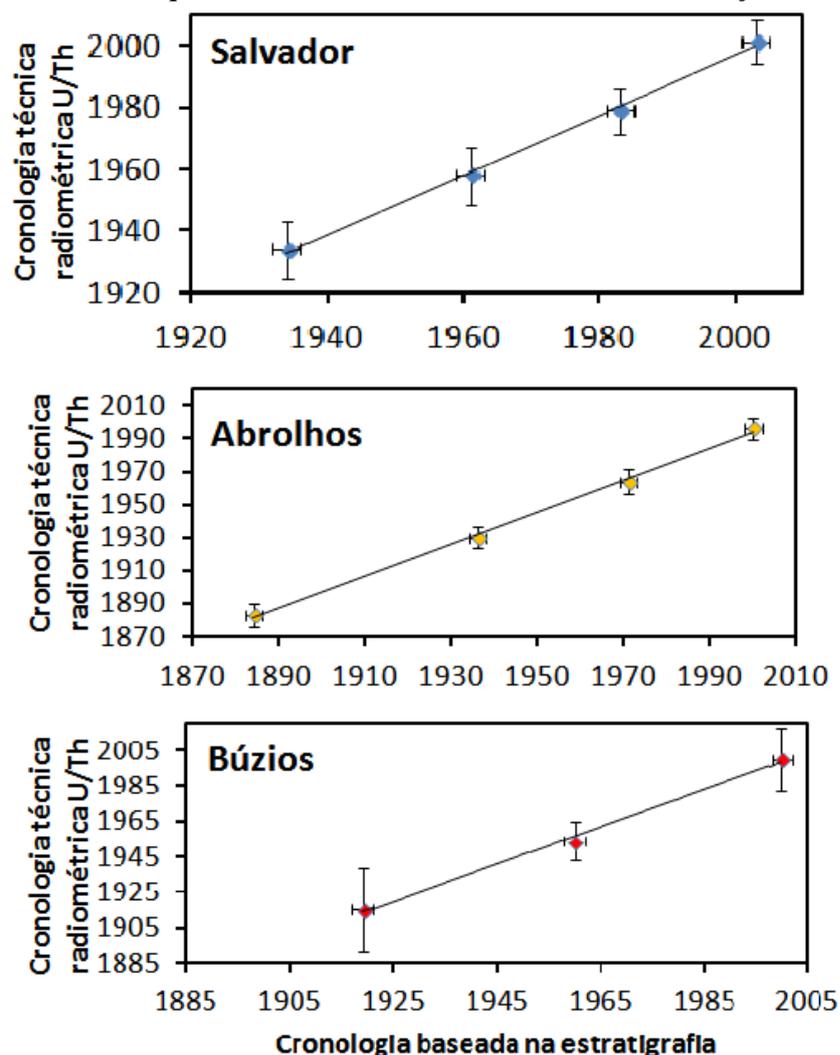


Legenda: (Imagens superior e central) raio-X e luminescência, respectivamente; (Imagem inferior) cronologia de bandas, idades estimadas pela estratigrafia e pela datação U/Th.

Baseado na literatura, as bandas de crescimento mais densas (claras) são formadas durante os períodos de maior TSM (KNUTSON *et al.*, 1972; GUZMÁN & JARVIS, 1996; BRADLEY, 1999), logo para todas as amostras, as bandas escuras correspondem ao inverno, na imagem de raios-X. Deve-se observar que nem sempre há uma coincidência entre os bandeamentos derivados do raio-X e da luminescência, visto que os picos de TSM não são necessariamente coincidentes com os períodos de aporte terrígeno para as 3 áreas de estudo. Entretanto, este aspecto não invalida o processo de contagem anual, apenas pode gerar uma defasagem sazonal na identificação do ano.

A figura 31 mostra a correlação dos dados de cronologia obtidos pelas 2 técnicas. Os coeficientes de correlação r-Pearson para cada um dos três exemplares pesquisados foram iguais a $r = 0,99$, o que mostra total compatibilidade das técnicas.

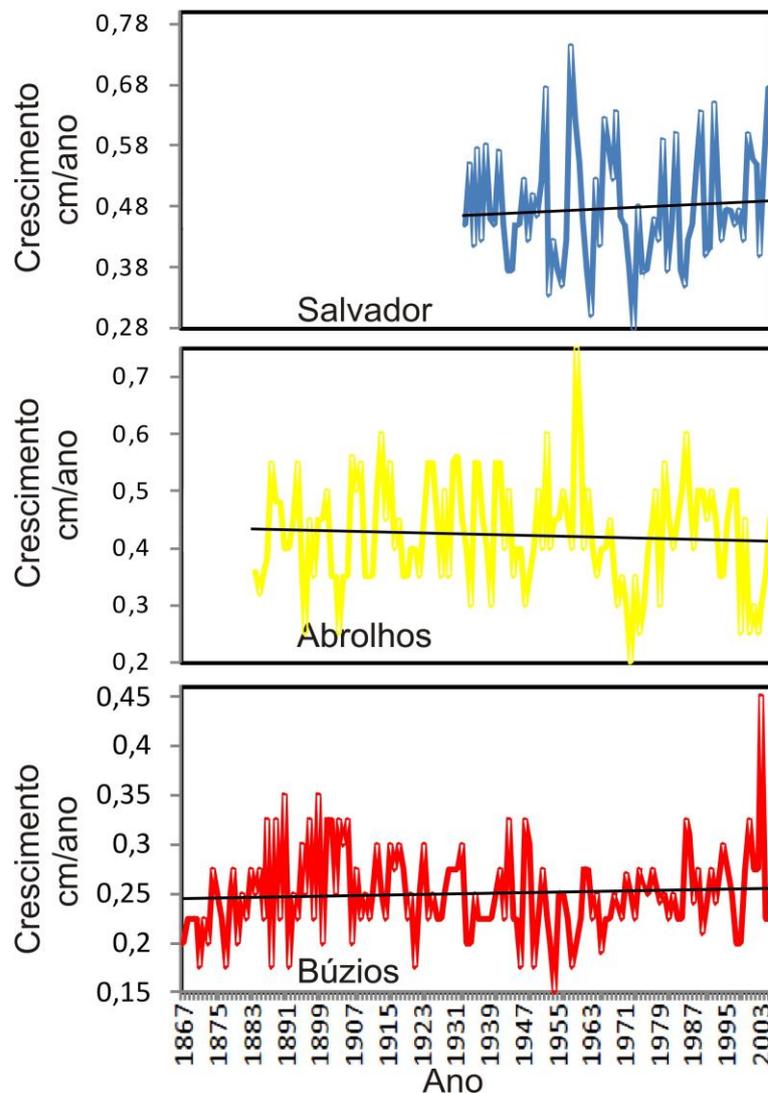
Figura 31 – Comparação da cronologia radiométrica U/Th e estratigráficas dos corais de Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios



3.3 Análise das séries temporais de crescimento

Considerando as idades dos testemunhos, a taxa média de crescimento de Salvador-PA1 foi de $0,478 \pm 0,097$ cm/ano, sendo o ano com a menor taxa o de 1974 com 0,275 cm/ano, e a maior no ano de 1959 com 0,745 cm/ano. Para a amostra Abrolhos-CS1, a média de crescimento anual foi de $0,423 \pm 0,095$ cm/ano, com menor taxa em 1973 com 0,2 cm/ano, e o maior para o ano 1960 com 0,75 cm/ano. Para a amostra Búzios-B1, a média de crescimento anual foi de $0,250 \pm 0,044$ cm/ano, sendo o ano com a menor taxa 1955 com 0,15 cm/ano, e maior para o ano 2004 com 0,45 cm/ano. Na figura 32 está representado o crescimento anual do coral ao longo do tempo com suas linhas de tendência.

Figura 32 – Séries temporais de crescimento coralino e tendências (linha cheia em preto)

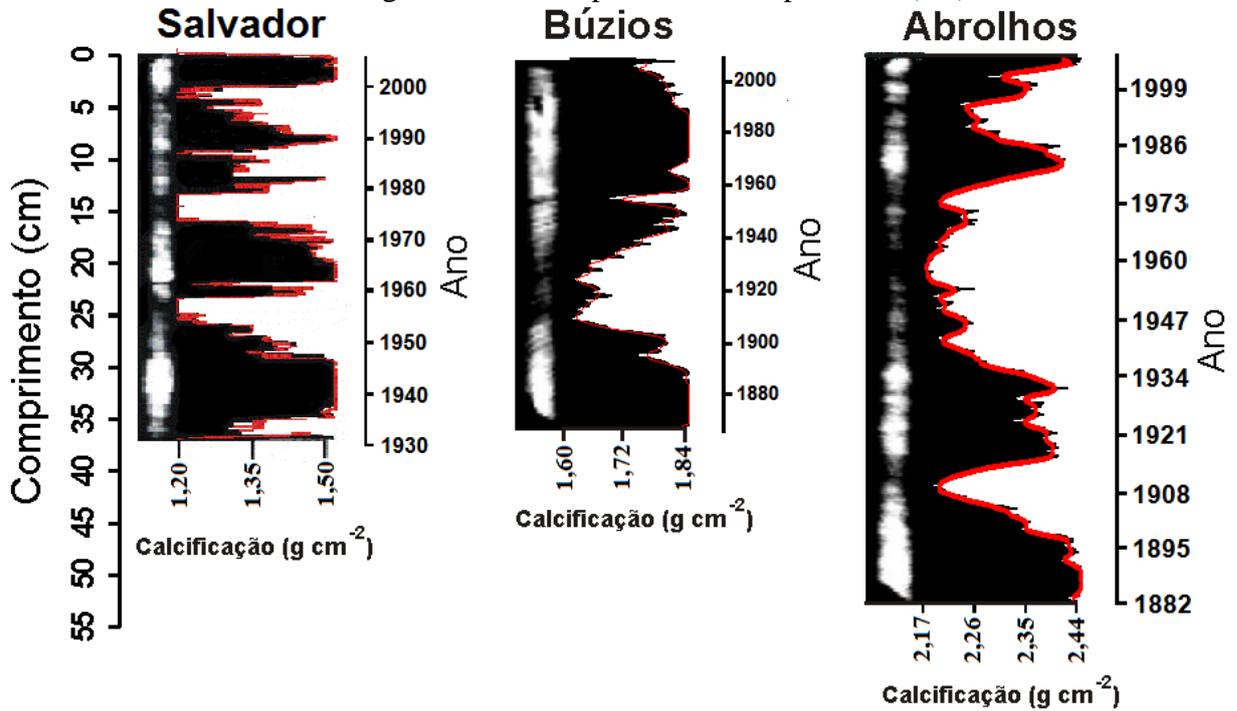


Observa-se que para o crescimento não há uma tendência negativa ou positiva significativa para os três exemplares. De um modo geral, não há uma co-variabilidade entre as 3 amostras de forma notória. Os 3 exemplares parecem refletir a variabilidade regional de seus lugares de coleta. Destacam-se basicamente (1) uma anomalia positiva encontrada simultaneamente nos testemunhos do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Salvador em torno de 1960 e (2) negativa nas mesmas localidades em torno de 1973; (3) um forte evento de anomalia positiva em Armação dos Búzios em torno de 2002. Vale, no entanto, ressaltar, que na amostra CS1 é onde se observa, mesmo que de forma bem suave, uma tendência de taxa de crescimento negativa em comparação as duas outras amostras estudadas.

3.4 Calcificação dos corais

O padrão de calcificação do testemunho CS1 (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA) apresentou média de $2,03 \pm 0,08 \text{ g/cm}^2$, com mínimo de $2,17 \text{ g/cm}^2$ e máximo de $2,43 \text{ g/cm}^2$. Quedas pronunciadas na calcificação foram observadas aproximadamente entre os anos de 1897 a 1915, 1933 a 1980 e 1986 a 2001. Em B1 (Armação dos Búzios-RJ) foi encontrada média de $1,78 \pm 0,08 \text{ g/cm}^2$ na calcificação com mínima de $1,61 \text{ g/cm}^2$ e máxima de $1,85 \text{ g/cm}^2$, sendo estes resultados médios mais elevados que os da amostra PA1. Nesta amostra também se identificou baixas pronunciadas em sua calcificação aproximadamente entre os anos de 1910 a 1940 e de 1955 a 1960. E para a amostra de PA1 (Salvador-BA), onde a calcificação apresentou média de $1,31 \pm 0,1 \text{ g/cm}^2$ com mínima de $1,19 \text{ g/cm}^2$ e máxima $1,53 \text{ g/cm}^2$, quedas bem pronunciadas foram visíveis aproximadamente entre os anos de 1950 a 1960, 1970 a 1980 e de 1990 a 2000 (figura 33).

Figura 33 – Imagem de densitometria e taxa de calcificação do coral da espécie *Siderastrea stellata* cronologicamente sobrepostos e o comprimento (cm)

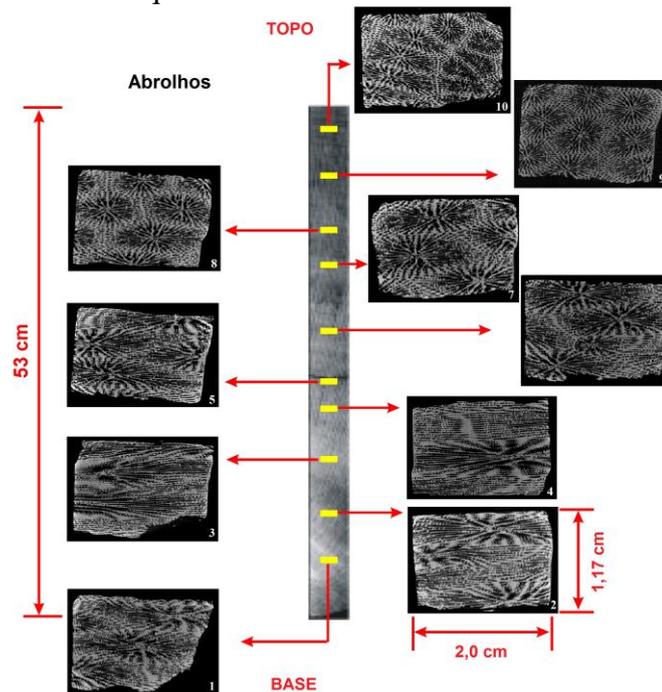


Legenda: Salvador-BA (PA1), Armação dos Búzios-RJ (B1), no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (CS1).

3.5 Padrão da microestrutura dos corais

As análises microestruturais dos testemunhos do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios foram realizadas através de subamostras distribuídas uniformemente para toda a extensão de cada exemplar carbonático principal. A figura 34 ilustra a ampliação de cada subamostra analisada através da ROI, e a partir destas foi possível obter suas características estruturais.

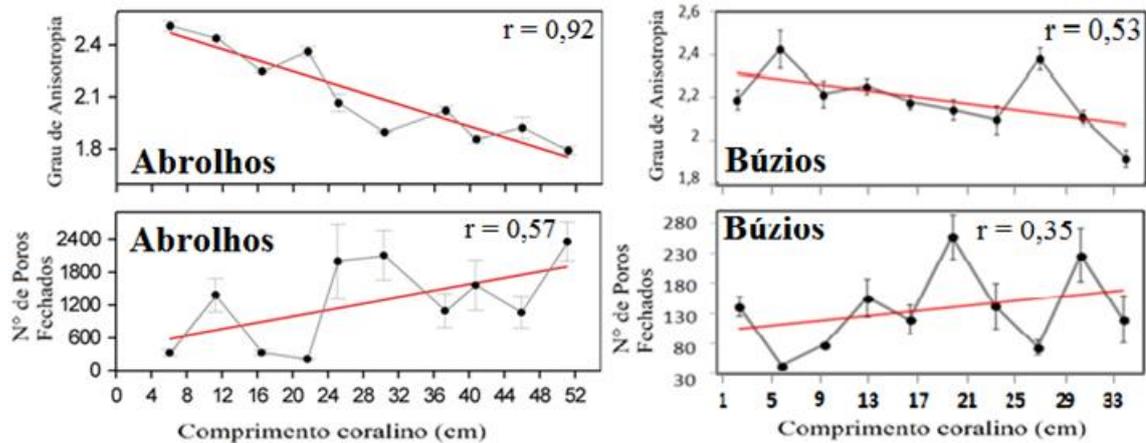
Figura 34 – Microtomografia de regiões (retângulos ampliados) subamostradas do coral para o testemunho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos



A amostra do Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1) (Figura 35) apresentou Grau de Anisotropia média de $2,1 \pm 0,26$ com tendência de redução no sentido do presente. O coeficiente de correlação entre a anisotropia e o tamanho do coral (indiretamente a idade) foi de $r = 0,92$, exibindo assim uma constante uniformidade de declínio (Tabela 3). O N° de Poros Fechados (**h**) apresentou média de $1242,27 \pm 779,89$ com tendência crescente com o tamanho/idade. Com exceção do N° de Poros Fechados e o tamanho do coral (indiretamente a idade) para a amostra CS1 com coeficiente de correlação de $r = 0,57$, para todos os outros parâmetros microestruturais as correlações foram significativas. O **ANEXO C** mostra as curvas de variabilidade de todas as demais características de morfologia encontrada para as amostras neste trabalho.

Para Armação dos Búzios (B1) (figura 35), o Grau de Anisotropia apresentou média de $2,19 \pm 0,15$ e coeficiente de correlação $r = 0,53$. O N° de Poros Fechados (**h**) exibiu média de $136,13 \pm 66,31$ e $r = 0,35$.

Figura 35 – Variabilidade da anisotropia e Número de Poros Fechados da microestrutura coralina para B1 e CS1



Legenda: Grau de Anisotropia e N° de Poros Fechados : (esquerda) : Búzios-B1 e (direita) : Abrolhos-CS1, obtidos pelo microtomógrafo e processados no software CTAn/Skyskan.

Nota: O maior valor de comprimento equivale ao topo da colônia.

A Tabela 3 resume todos os resultados dos dados morfológicos obtidos através da microtomografia das amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (CS1) e Armação dos Búzios-RJ (B1).

Tabela 3 - Resultados da microtomografia nas amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (CS1) e Armação dos Búzios-RJ (B1)

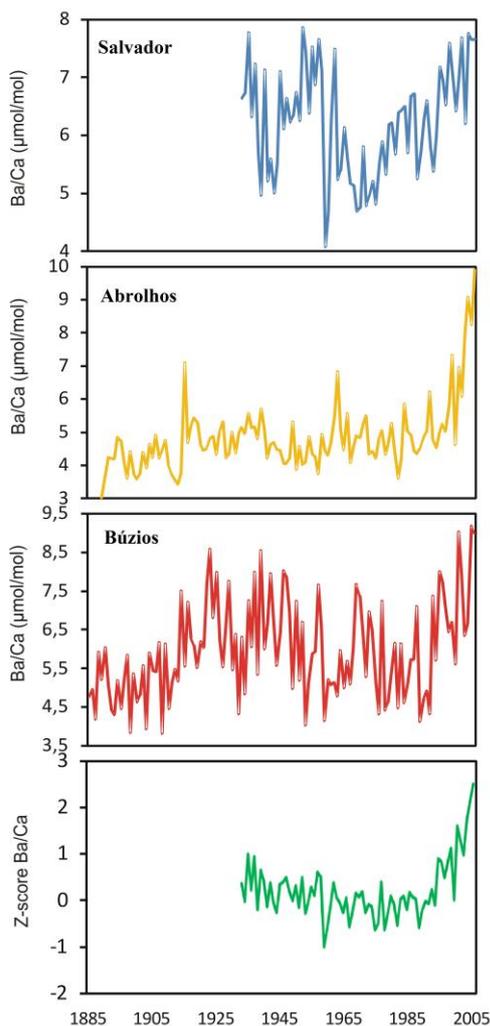
Parâmetro micro-estrutural	Testemunho de corais	
	CS1 (min-máx.)	B1 (min-máx.)
Anisotropia	1,7 - 2,5	1,9 - 2,4
Porosidade Aberta (%) (a)	27,3 - 45,7	40,5 - 50,1
Volume Total do Espaço do Poro (mm ³) (b)	25,9 - 42,9	21,4 - 28,5
Porosidade Total (%) (c)	27,6 - 45,7	40,8 - 50,1
Volume de Espaço de Poros Abertos (mm ³) (d)	25,6 - 42,9	21,2 - 28,5
Volume de Poros Fechados (mm ³) (e)	0,02 - 1,4	0,004 - 0,16
Superfície de Poros Fechados (mm ²) (f)	2,6 - 49,4	0,4 - 7,5
Porosidade Fechada (%) (g)	0,05 - 2,4	0,01 - 0,5
N° de Poros Fechados (n) (h)	211 - 2358	44 - 257

3.6 Relação Ba/Ca e indicadores de aporte sedimentar

A razão Ba/Ca no esqueleto coralino pode estar associada a diversos parâmetros ambientais/oceânicos entre eles a TSM e o aporte sedimentar costeiro. Pelas características dos sítios analisados, consideramos também a ressurgência (somente para a amostra de Armação dos Búzios) e a atividade econômica, principalmente aquela derivada da indústria do petróleo.

Já que a concentração de bário na água do mar é muito variável e aumenta com águas de origem mais profundas, tudo indica que a razão Ba/Ca possa fornecer informações sobre a ocorrência de fenômeno da ressurgência. A razão Ba/Ca também reflete o aporte sedimentar continental ocasionado pelas chuvas, já que o material terrígeno é rico em bário se comparado às concentrações naturais na camada de mistura oceânica. Somado a isto, uma das principais fontes de liberação antropogênica de bário na biosfera é de resíduos agrícolas, que podem conter bário dissolvido. Como indicadores deste processo, investigamos (1) a precipitação regional, (2) vazão dos principais rios tributários das bacias hidrográficas, (3) ressurgência, (4) aumento populacional humano, (5) índice de vegetação (NDVI) e produção de petróleo (barrís/dia) referentes as localidades associadas aos testemunhos coralinos. Estabelecemos um *z-Score* para normalizar as concentrações para o ambiente costeiro, tomando-se como base a menor amostra (Salvador) e desta forma o *z-Score* foi definido 1933 e 2006. As médias das razões Ba/Ca foram : $6,2 \pm 0,93 \mu\text{mol/mol}$ para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, entre 1889 e 2006; $4,8 \pm 1,1 \mu\text{mol/mol}$ para Armação dos Búzios, entre 1885 e 2006; e $5,96 \pm 1,25 \mu\text{mol/mol}$ para Salvador entre 1933 e 2006 (figura 36).

Figura 36 – Curvas da razão Ba/Ca das três localidades amostradas: Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Armação dos Búzios e o z-Score

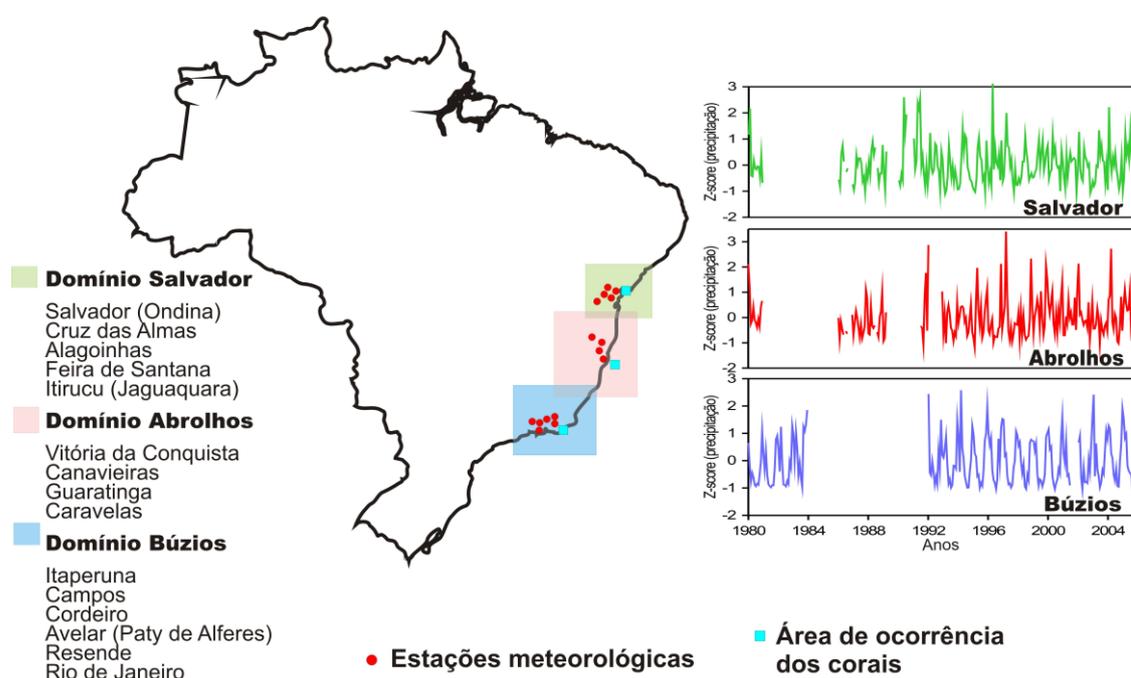


Legenda: Salvador (linha azul), Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (linha amarela), Armação dos Búzios (linha vermelha) e o z-Score (linha verde).

Optou-se neste trabalho em utilizar dados de estações meteorológicas mais próximas às áreas de ocorrência dos corais, ao invés de dados de modelo. Como os dados de precipitação são intermitentes para os períodos anteriores a 1980 para a maioria das localidades, a análise de comparação Ba/Ca e precipitação ficou atrelada ao período 1980 a 2006. Pela figura 36 pode-se observar que este período, coincidentemente, corresponde a maior inflexão da razão Ba/Ca baseado no valor de z-Score. Para cada região foi definido um domínio, sendo estes designados com o mesmo nome da área de ocorrência de coral e com as precipitações expressas em mm/mês. Assim teve-se o Domínio Salvador composto pelas estações meteorológicas de : Ondina, Cruz das Almas, Feira de Santana e Itirucu (Jaquaquara) cuja média mensal foi de $103,2 \pm 64,8$ mm/mês; Domínio do Parque Nacional Marinho dos

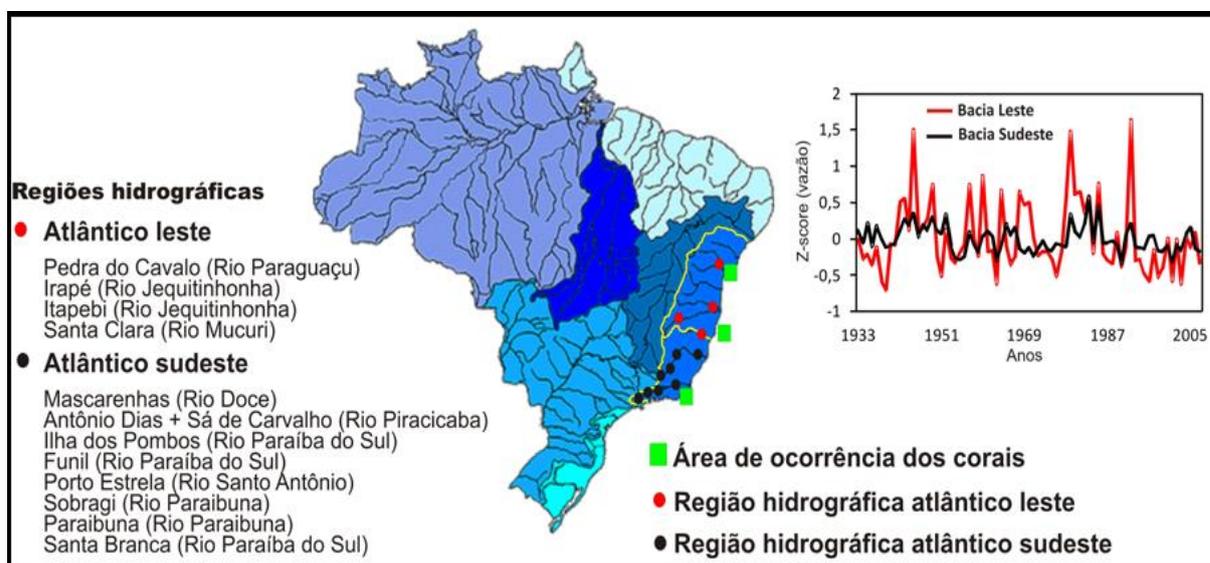
Abrolhos (vermelho): com a estação de Vitória da Conquista, Canavieiras, Guaratinga e Caravelas com média mensal de $101,7 \pm 65,9$ mm/mês; Domínio Armação dos Búzios (azul escuro): com as estações de Itaperuna, Campos, Cordeiro, Avelar, Resende e Rio de Janeiro com média mensal de $98,8 \pm 76,3$ mm/mês (figura 37). Os dados de precipitação completos estão no **ANEXO E**.

Figura 37 – Domínio de precipitação com as estações meteorológicas correspondentes e *z-Score* dos dados de precipitação para Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios



Os dados analisados neste trabalho sobre as vazões dos rios abrangem o período 1933 – 2006, sendo definidos para 2 regiões hidrográficas : (1) Bacia do Atlântico Leste e (2) Bacia do Atlântico Sudeste, com vazões expressas em m^3/s . A Bacia do Atlântico Leste foi formada pelos Rios Paraguaçu, Rio Jequitinhonha, Rio Mucuri, todos potencialmente associados as regiões próximas dos corais de Salvador e do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. A vazão média destes rios foi de $189,8 \pm 79,2$ m^3/s . Para a região hidrográfica da Bacia do Atlântico Sudeste selecionamos os Rios Doce, Piracicaba, Paraíba do Sul e Paraíba. A vazão média destes rios foi de $283,2 \pm 62,1$ m^3/s . Para cada Bacia foi feito um *z-Score*, e estes comparados com a razão Ba/Ca de cada testemunho (figura 38). Os dados de vazão individuais estão no **ANEXO F**.

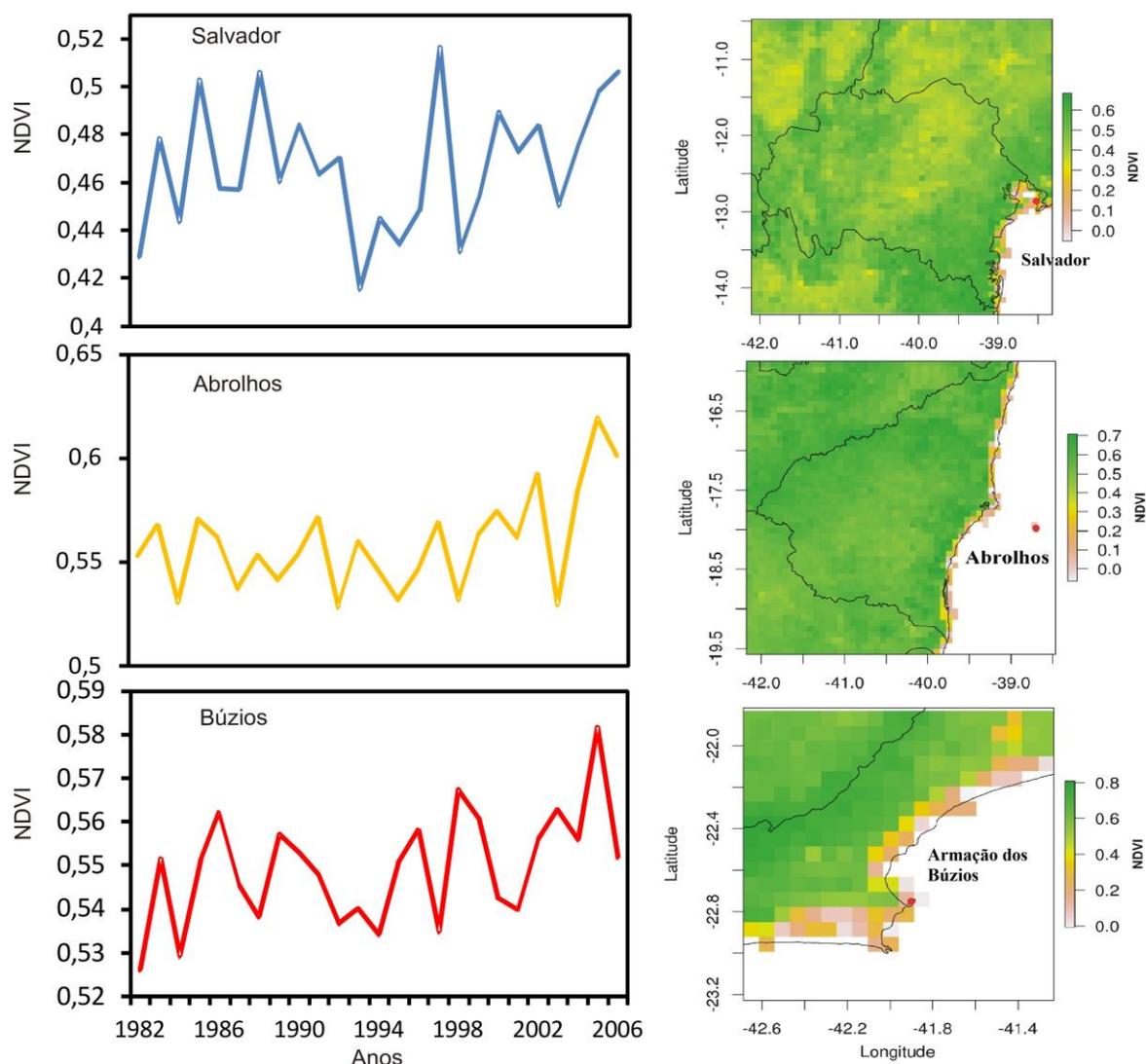
Figura 38 – Regiões hidrográficas da Bacia do Atlântico Leste e da Bacia do Atlântico Sudeste, com seus respectivos rios e áreas de medidas de vazão em represas e hidrelétricas. E as áreas de ocorrência dos corais



Fonte: http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx, <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoLeste.aspx> e <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx>

As séries temporais dos valores do NDVI (1982-2006) foram obtidas para as três regiões proximais as amostragens de corais com as médias para Salvador de $0,47 \pm 0,03$, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos $0,56 \pm 0,02$ e para Armação dos Búzios $0,55 \pm 0,01$ (figura 39, lado esquerdo). As imagens NDVI apresentam notoriamente valores mais baixos de 0,0 a 0,2 para o litoral evidenciando solo mais exposto e vegetação esparsa associados a ocupação. Já as regiões interiores do continente, apresentaram valores maiores de NDVI entre 0,3 a 0,6 onde estão associados a territórios com maior concentração de vegetação (figura 39, lado direito).

Figura 39 – Curvas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI das regiões das três localidades amostradas: Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios



Nota: (Esquerda) Curvas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI das regiões das três localidades amostradas: Salvador (linha azul), Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (linha amarela) e Armação dos Búzios (linha vermelha). (Direita) NDVI de 1982 a 2006 das regiões de influência dos corais.

No que se refere a atividade antrópica, atenção especial foi dada à extração de petróleo e seus derivados, pois o Estado do Rio de Janeiro é o maior produtor nacional com 71,3% da produção total. Em segundo lugar aparece o Estado do Espírito Santo, com participação de 14,8% na produção nacional de petróleo cuja localização está entre os Estados do Rio de Janeiro e Bahia, este último com 2,1% da produção petrolífera brasileira.

4 DISCUSSÃO

A seguir serão mostradas as composições cronológicas dos exemplares estudados, suas variabilidades e relação com índices climáticos; o processo de calcificação e sua relação com *proxies* de TSM; a microporosidade do exoesqueleto coralino; as razões Ba/Ca e sua interpretação geoquímica à luz do fenômeno de ressurgência, precipitação, vazão de rios, aumento populacional e exploração de petróleo offshore, e por fim uma comparação com as imagens NDVI representando o índice de vegetação regional.

a) Taxa de crescimento de corais;

Comparando a taxa de crescimentos anual coralino deste trabalho com três espécies do mesmo gênero (*Siderastrea stellata*, *Siderastrea siderea* e *Siderastrea radians*) encontradas no Atlântico, nossos resultados mostraram estar compatíveis com a literatura corrente de acordo com Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação do crescimento coralino das espécies *Siderastrea stellata* (VERRILL, 1868)

Taxa de crescimento cm/ano	Localidade	Referências
0,3	Atol das Rocas	KIKUCHI 1999
0,4 a 0,6	Bahia	REIS & LEÃO 2000
0,5	Abrolhos/Bahia	LINS-DE-BARROS & PIRES 2006
0,13**	África	MOSES <i>et al.</i> , 2006b
0,2*	Jamaica/Caribe	CRABBE & CARLIN 2007
0,4	B. Todos os Santos/Bahia	FILHO 2008
0,6	Atol das Rocas	OLIVEIRA 2012
0,3*	Florida Keys/EUA	KUFFNER <i>et al.</i> , 2013
0,2 a 0,3	Norte da Bahia	REIS 2001
0,6	Paraíba	SANTOS <i>et al.</i> , 2007
0,5 ± 0,1	Salvador/Bahia	PRESENTE ESTUDO
0,4 ± 0,1	Abrolhos/Bahia	PRESENTE ESTUDO
0,3 ± 0,4	Armação dos Búzios/RJ	PRESENTE ESTUDO

Legenda: *Siderastrea siderea* (*) e *Siderastrea radians* (**) de estudos anteriores com o presente estudo.

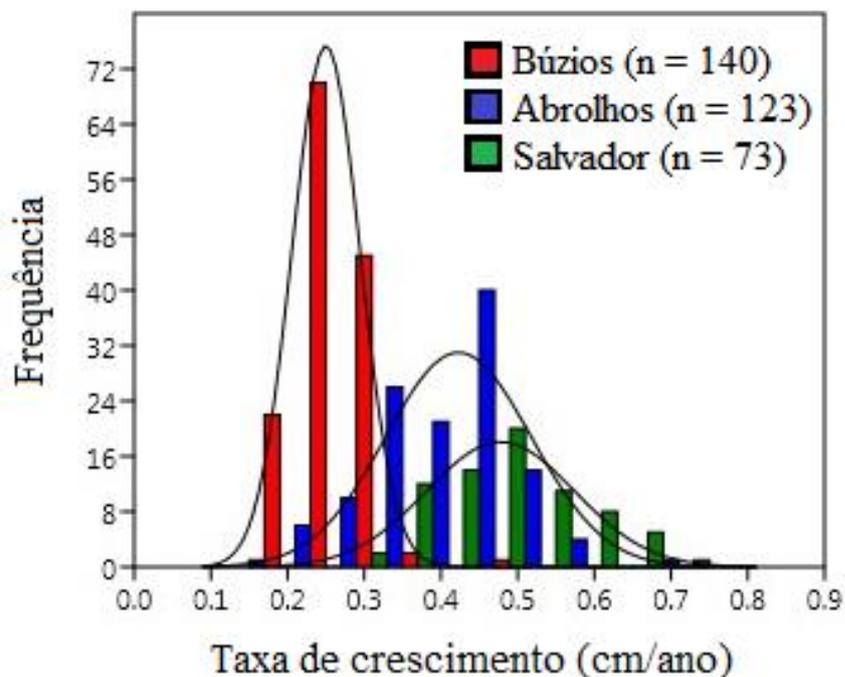
Ao estudarem colônias de *S. stellata* do norte do Estado da Bahia, REIS & LEÃO (2000) observaram uma taxa de crescimento semelhante à estimada para esta espécie em um

recife sul do Estado da Bahia (LINS-DE-BARROS & PIRES, 2006), apesar de taxas de deposição de sedimentos diferenciais ocorrerem. A sedimentação também pode deflagrar um mecanismo de limpeza por ação ciliar, movimento tentacular e expansão do pólipó (SANDERS & BARON-SZABO, 2005). Este processo representa dispêndio de energia que em outras condições poderia ser utilizado para o crescimento (DODGE & VAISNYS, 1977; BABCOCK & SMITH, 2000; NUGHES & ROBERTS, 2003). Fatores estes que podem estar agindo mais no coral de Armação dos Búzios, se comparados aos exemplares do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Salvador (figura 40). Apesar de não termos dados comparativos de sedimentação entre os 3 sítios de estudo, Armação dos Búzios-RJ é aquele localizado mais próximo a linha de praia em substrato arenoso. As taxas de crescimento de Abrolhos e Salvador mostraram-se semelhantes para os testemunhos analisados.

O trabalho realizado por MANZELLO *et al.* (2014) ao sul de Galápagos empregando espécies de corais *Porites*, evidenciou que para os locais com maior influência da ressurgência, os corais apresentavam maiores taxas de crescimento, ao passo que a densidade apresenta-se menor. No presente trabalho, resultado oposto foi encontrado na amostra de Armação dos Búzios, localizada numa região conhecida pela ocorrência do fenômeno de ressurgência, apresentou uma taxa média de crescimento baixa, de 0,25 cm/ano, em comparação a Salvador, com 0,48 cm/ano, e o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com 0,42 cm/ano. Estes dois últimos fora da região de ocorrência de ressurgência.

Uma comparação entre as distribuições da taxa de crescimento coralino (cm/ano) entre as amostras estudadas foram diferentemente marcadas. Salvador com a maior média de taxa de crescimento de $0,48 \pm 0,10$ cm/ano, seguido do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, com taxa de crescimento de $0,42 \pm 0,10$ cm/ano e Armação dos Búzios apresentou a menor taxa de crescimento coralino com $0,25 \pm 0,04$ cm/ano. Armação dos Búzios apresentou a distribuição dos dados com menor curtose em relação as demais (figura 40), ou seja, com menor variabilidade na taxa de crescimento. O fato de observarmos três padrões distintos para a mesma espécie pode refletir a ação diferenciada dos agentes ambientais regionais.

Figura 40 – Comparação da frequência da taxa de crescimento anual cm/ano

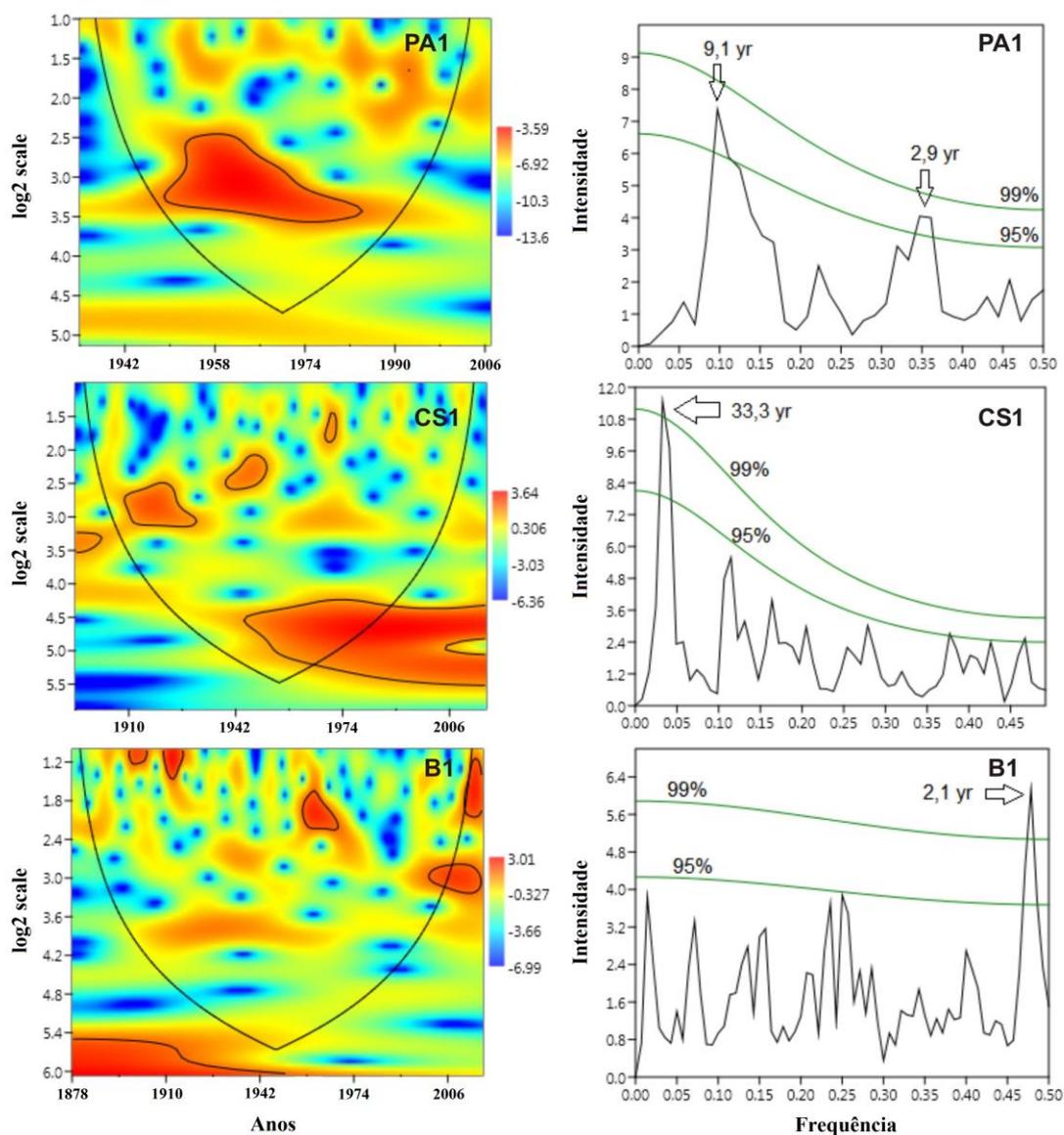


-Padrões de ciclicidade das taxas de crescimento

Na figura 41 (lado esquerdo) observa-se os espectros de potência de ondeleta (*Morlet Wavelet Power Analysis*) para as anomalias do crescimento coralino. A escala de cor representa a intensidade do sinal periódico. Os contornos fechados em preto indicam regiões com confiança estatística de 95%. Os cones de influência são superpostos às ondeletas. Concomitantemente é apresentada para cada série a análise de Fourier (*redfit*). Para este caso, sobrepõe-se os limites com confiança estatística de 95 e 99% sobre a análise espectral.

Os padrões de ciclicidade significativos encontrados para as séries de anomalia de crescimento pelas *ondeletas* e *redfit* mostram padrões distintos entre si, com periodicidade em torno de 2,9 anos e 9,1 anos para Salvador (PA1) desde meados da década de 1950, 33,3 anos para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1) e 2,1 anos para Armação dos Búzios (B1) (Figura 41) (lado direito). As técnicas foram aplicadas sobre os dados normalizados em relação a taxa do crescimento dos corais.

Figura 41 – “Wavelets” (ondeletas) para os testemunhos coralinos com cones de confiança (95%); e “Redfit” onde as linhas sólidas indicam os intervalos de confiabilidade

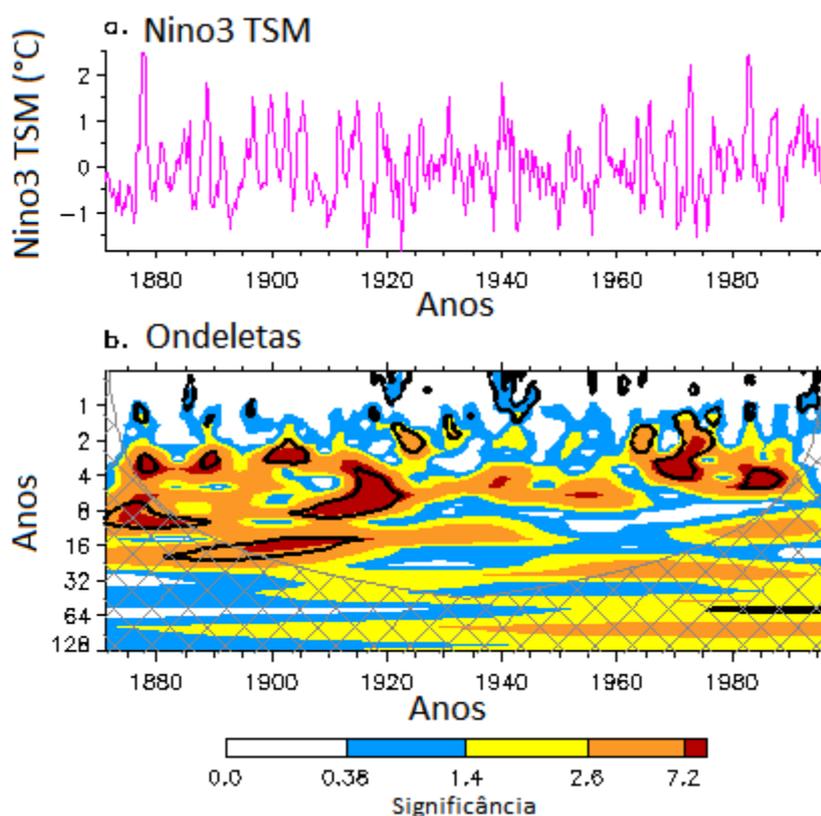


Legenda: (esquerda) “Wavelets” (ondeletas) para os testemunhos PA1, CS1 e B1 com cones de confiança (95%); (direita) “Redfit” onde as linhas sólidas indicam os intervalos de confiabilidade. As periodicidades são apontadas por setas.

Nota: As periodicidades nas ondeletas são obtidas fazendo-se $P(\text{ano}) = \log_2(\text{valor na escala})$ e no “Redfit” onde as linhas sólidas indicam os intervalos de confiabilidade, as periodicidades são apontadas por setas.

A amostra de Salvador-PA1 apresentou uma periodicidade de aproximadamente três anos, que pode estar associada aos fenômenos ENSO, visto que o Niño 3, também apresenta periodicidade em torno de três anos, sendo este sinal periódico mais intenso para as décadas de 1960-1980, tal como ocorre em PA1 (TORRENCE & COMPO, 1998) (figura 42). Por outro lado, não encontramos um motivo para que tal sinal não ficasse evidente nas outras amostras.

Figura 42 – Série temporal de Niño 3 e o espectro de potência *wavelet* do Niño 3 usando *wavelet Morlet*, normalizado



Legenda: (a) Série temporal de Niño 3; (b) O espectro de potência *wavelet* do Niño 3 usando *wavelet Morlet*, normalizado.

Nota: A área não hachurada mostra regiões com mais de 95% de confiança.

Fonte: TORRENCE & COMPO, 1998.

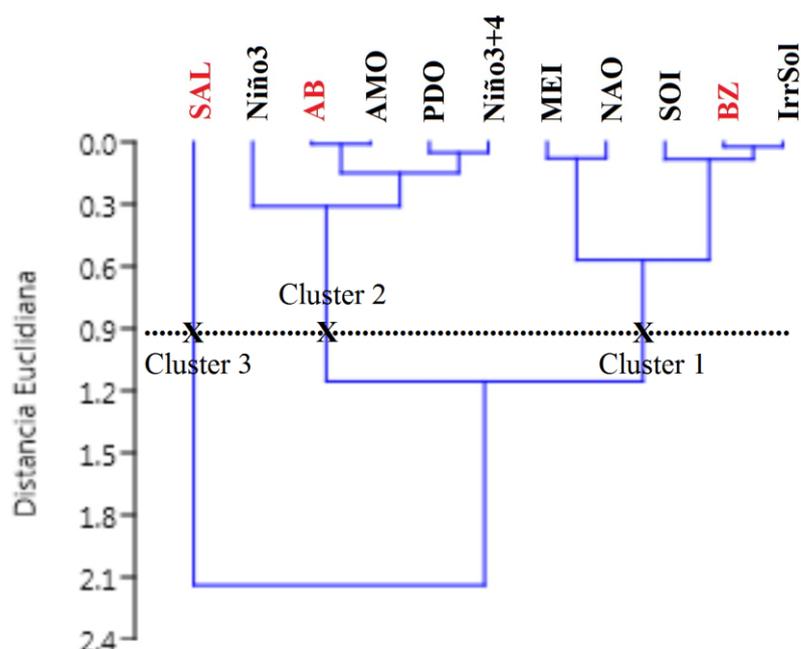
Os resultados das ondeletas cruzadas das séries de anomalias de crescimento não mostram um padrão periódico com os índices climáticos PDO e a AMO (figura 41). Exceto para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-CS1, que apresentou um sinal multidecadal. A TAV, quando observada sua periodicidade com o crescimento coralino apresentou um padrão multidecadal (11-17 anos) significativo a série, em especial com Salvador-PA1 na qual apresenta uma série periódica de aproximadamente 10 anos (figura 41).

-Associação das taxas de crescimento com índices climáticos

A associação das taxas de crescimento com índices climáticos foi explorada a partir da análise de *cluster* hierárquica. Neste caso estabelecemos 3 grupos distintos empregando-se um valor de corte em 0,9 para a distância euclidiana : Cluster 1: MEI, NAO, SOI, Búzios-**BZ** e IrrSol; Cluster 2: Niño 3, Abrolhos-**AB**, AMO, PDO e Niño 3+4; e o Cluster 3: Salvador-

SAL. No Cluster 1 MEI e NAO aparecem mais sub-agrupados, corroborando com WAINER *et al.* (2008) que encontram uma interligação entre estes parâmetros climáticos e o subgrupo onde o índice SOI forma um subgrupo formado pela taxa de crescimento de Búzios e a IrrSol. Búzios apresentou similaridade com o SOI apesar de não haver assinatura espectral marcante dos fenômenos ENSO em sua série temporal. O Cluster 2, se subdivide em três grupos, um formado com os índices Niño3+4 e PDO, o outro com a taxa de crescimento de Abrolhos e o índice climático AMO, e por fim o Niño3 tendo uma menor similaridade em comparação a estes dois grupos. Abrolhos apresentou uma assinatura tanto da AMO quanto do ENSO. A taxa de crescimento coralino de Salvador representou o Cluster 3, e acredita-se que este não tenha tido similaridades com as variáveis observadas por ser um exemplar que se encontrava no interior de uma baía (Baía de Todos os Santos) e por sofrer menor interação oceânica quando comparado com Abrolhos e Búzios (figura 43). De um modo geral observa-se que o ENSO deva ter algum impacto sobre o crescimento dos corais tanto no Sudeste como no Nordeste, já que este atua sobre a climatologia do Setor Leste da América do Sul. Por outro lado, o sinal do Hemisfério Norte parece também estar presente, principalmente no Nordeste onde observamos alguma similaridade entre Abrolhos e AMO.

Figura 43 – Resultado da análise de *cluster* para os índices climáticos considerados neste trabalho e o crescimento dos três testemunhos corálinos



Legenda: Salvador-SAL, Abrolhos-AB e Búzios-BZ.

HELMLE *et al.* (2011) observaram que variações de densidade em esqueletos de corais no Pacífico estão correlacionados com a AMO, sugerindo que os ciclos acoplados oceano-atmosfera que atuam em grande escala podem atuar direta ou indiretamente na variabilidade de crescimento ou na calcificação, uma vez que modificam de forma complexa a temperatura do oceano e da atmosfera, a precipitação, a cobertura de nuvens, atividade de tempestades, e em última análise reflete tais variações no metabolismo coralino.

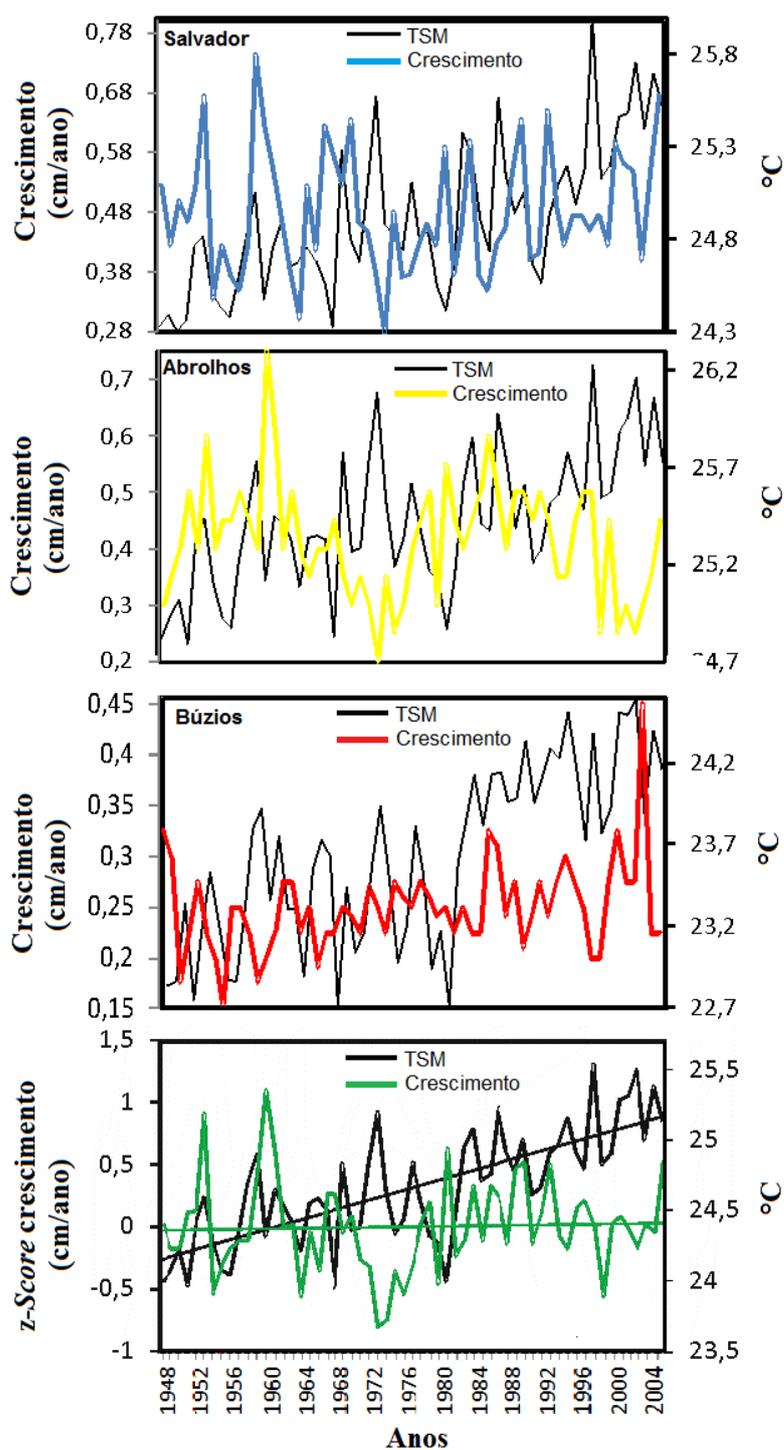
Para o Atlântico Central, foram encontradas fortes associações entre taxa de crescimento para corais (incluído-se exemplares do mesmo gênero *Siderastrea*) e a AMO. Exemplo: SAENGER *et al.* (2009) nas Bahamas e VÁSQUEZ-BEDOYA *et al.* (2012) em Yucatan, Bahamas e Belize. Tal associação é aparentemente óbvia, pois a AMO tem impacto direto sobre o Caribe. Entretanto, no Atlântico Sul, para o caso do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, verificamos haver similaridades (de acordo com a análise hierárquica).

-Relação taxa de crescimento e TSM

De acordo com LOUGH (2008) e CANTIN *et al.* (2010) o declínio nas taxas de crescimento de corais nas últimas duas décadas (1985-2005) no Pacífico, Mar de Andaman e do Mar Vermelho responderam ao aumento da TSM. SAENGER *et al.* (2009) também observou uma relação negativa entre a taxa de crescimento e a TSM através de um testemunho coralino das Bahamas que abrangeu 440 anos. CANTIN *et al.* (2010), basearam-se em 2 cenários do IPCC, e projetaram aumentos da TSM para o período de verão no Mar Vermelho Central até 2100, tomando-se como base o período 2000-2008. No caso mais crítico, o aumento da TSM levaria a uma taxa de crescimento nula para o coral *Diploria heliopora* se as TSMs de verão atingissem $1,85^{\circ}\text{C}$ acima da média dos anos de 2000 a 2008. Pode-se observar pela figura 44 que os corais estudados neste trabalho não apresentam uma resposta clara a TSM. As reanálises NCEP-NCAR, obtidas para os anos de 1948 a 2006, evidenciam um aumento contínuo da TSM a partir do final da década de 1940 nos três sítios de amostragem. Suas temperaturas médias foram de $24,9 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (Salvador-BA), $23,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Armação dos Búzios-RJ) e $25,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA). A parte da figura 45(A), a linha de tendência que representa a *z-Score* do crescimento coralino não demonstrou variação em toda série temporal, diferentemente da média da TSM dos três sítios estudados que apresentou um aumento bem pronunciado durante este mesmo período, como representado por sua linha de tendência. Entretanto, os crescimentos anuais

mantiveram-se relativamente constantes como é evidenciado independente do aumento da TSM.

Figura 44 – Séries temporais de crescimento coralino e TSM. E a regressão de *z-Score* do crescimento coralino e da média da TSM

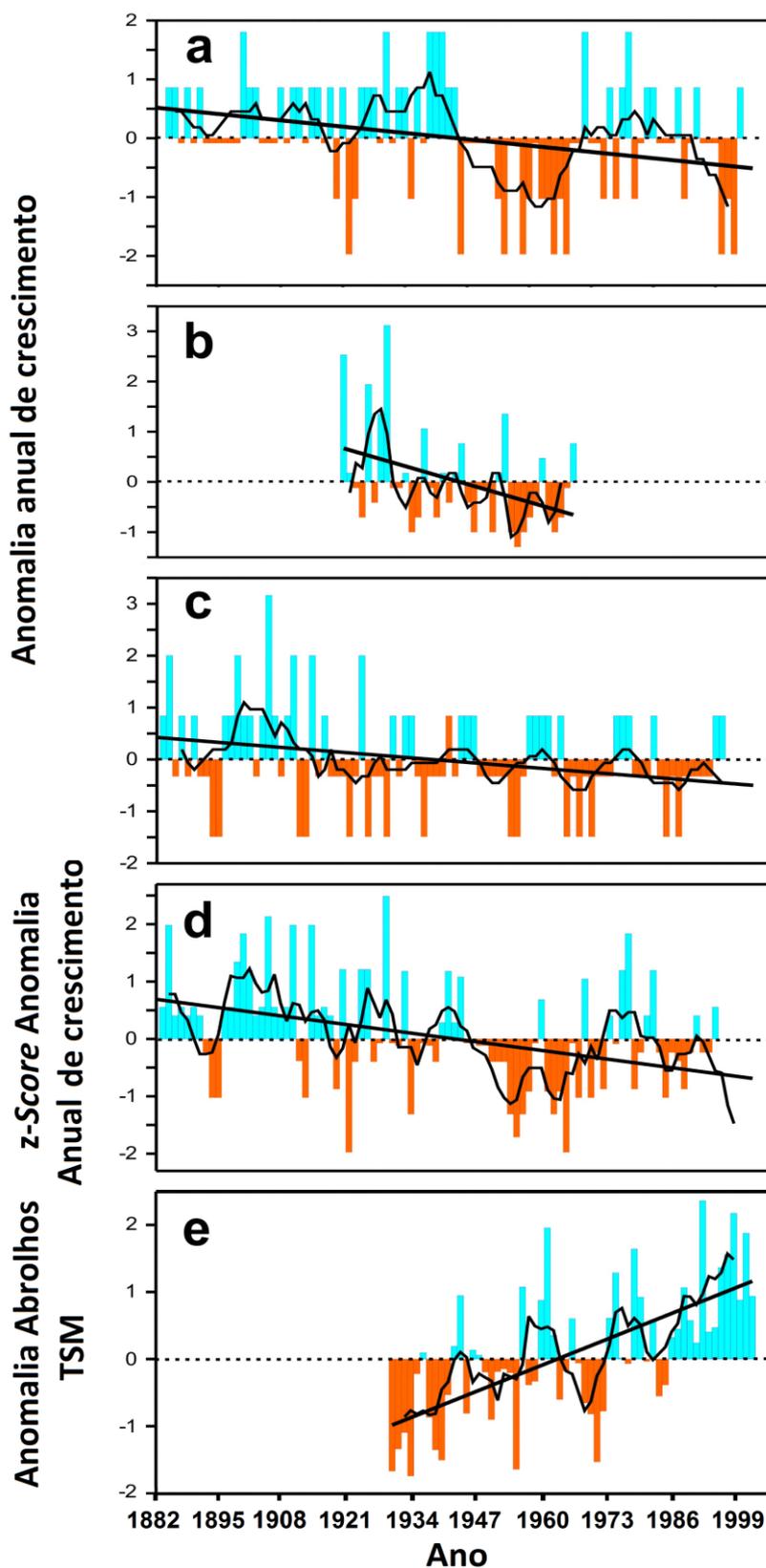


Fonte: TSM obtido de reanálise NCEP-NCAR.

A relação entre taxas de crescimento do esqueleto de coral e TSM não é sempre inversa e nem sempre fortemente correlacionada. Por exemplo, vários experimentos de laboratório e observações de campo mostram que as taxas de crescimento de corais e de calcificação aumentam com a elevação da TSM, até quando um nível crítico limítrofe é atingido, mínimo de 18°C (ex. KLEYPAS *et al.*, 1999 e REYNAUD *et al.*, 2003) sugerem a existência de um limite superior de TSM para a calcificação do recife de coral, após o qual as taxas de crescimento do esqueleto declinam (BESSAT & BUIGUES, 2001; MARSHALL & CLODE, 2004; CARILLI *et al.*, 2009). Taxa de crescimento do coral de Flower Gardens, no Golfo do México (SLOWEY & CROWLEY, 1995) mostrou declínio no crescimento atribuído à variabilidade climática do Pacífico. Esta diminuição do crescimento coincide com uma queda acentuada da TSM, sugerindo que as taxas de crescimento linear da espécie *Montastraea annularis* esteve positivamente correlacionada com a TSM naquele local. Por outro lado, na tabela 5, CARRICART-GANIVET (2004) relataram uma forte correlação inversa entre o crescimento do esqueleto com a TSM para o coral *Montastrea annularis* do Atlântico no Golfo do México. E CARRICART-GANIVET & MERINO (2001) relataram maiores médias anuais da TSM e taxa de crescimento do esqueleto com uma menor taxa de calcificação quando comparado ao presente trabalho. No Mar do Caribe, DODGE & BRASS (1984), CARRICART-GANIVET (2000) e CARRICART-GANIVET (2003) descreveram também maiores temperaturas médias anuais da TSM e taxa de crescimento do esqueleto anual, e uma menor taxa de calcificação quando comparado ao presente trabalho.

Múltiplos fatores, além da temperatura, são conhecidos por influenciar as taxas de crescimento de coral, incluindo a luminosidade (BARNES & CHALKER, 1990), alimentação heterotrófica (FERRIER-PAGÈS *et al.*, 2011) e o estado de saturação da aragonita na água do mar (LANGDON *et al.*, 2000). A falta de uma associação direta entre a taxa de crescimento do coral com a TSM local que observamos em todos os sítios pode indicar que (1) as temperaturas modeladas não refletem a realidade local, (2) uma maior complexidade do fator de crescimento com as parametrizações oceânicas, (3) a necessidade de uma melhor estatística para uma definição mais clara sobre o crescimento coralino em cada sítio. Por exemplo, EVANGELISTA *et al.* (2015 – submetido) mostraram correlação negativa entre crescimento e TSM, a partir de 3 testemunhos de coral amostrados no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (Figura 45). Em última análise, é desejável uma melhor compreensão dos fatores que controlam as taxas de crescimento de corais.

Figura 45 – Variabilidade temporal e tendências lineares da anomalia de crescimento coralino anual



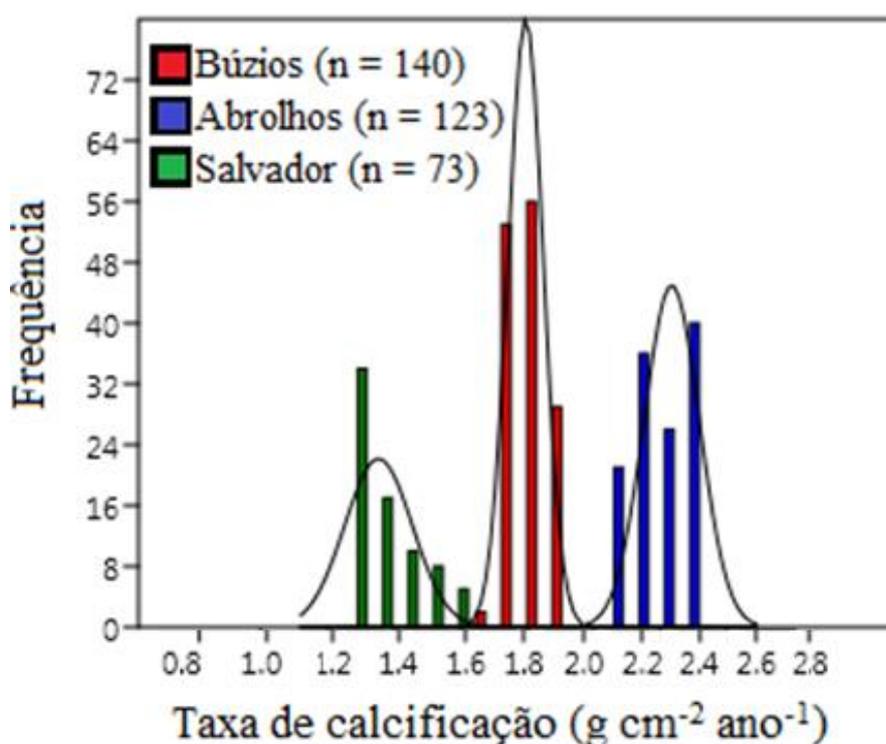
Legendas: Amostras (a) (CS1), (b) (Abrolhos/UFBA) e (c) (P1); (d) z-Score para a, b e c; (e) anomalia da TSM para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com base em NCEP-NCAR.

Fonte: EVANGELISTA *et al.* (2015 – submetido).

b) Padrão de Calcificação;

Uma comparação entre as distribuições de calcificação dos 3 testemunhos mostra padrões distintos. Parque Nacional Marinho dos Abrolhos apresentou média de calcificação de $2,30 \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, seguido de Armação dos Búzios com $1,79 \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e Salvador com $1,31 \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. A distribuição dos dados de calcificação de Armação dos Búzios apresentou menor curtose e menor amplitude em relação as demais (Figura 46), ou seja, um padrão de calcificação relativamente mais uniforme. O fato de observarmos três padrões distintos para a mesma espécie pode refletir a ação diferenciada dos agentes ambientais regionais.

Figura 46 – Comparação da frequência da taxa de calcificação entre as amostras coralinas de Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios



Apenas para fins comparativos, pois a espécie *Siderastrea stellata* é endêmica do litoral brasileiro, estabelecemos um paralelo entre nossos dados e os da literatura, em termos de TSM, taxa de crescimento e a taxa de calcificação. As comparações foram feitas com a espécie *Montrastrea annularis*, que cresce entre 2 e 10 m de profundidade para 12 localidades do Golfo do México e no Mar do Caribe. Observa-se neste trabalho a menor média anual da

TSM, tendo-se de forma correspondente menor taxa de crescimento e maior taxa de calcificação entre as amostras comparadas (Tabela 5).

Tabela 5 – Localidade, média anual, máxima e mínima da (TSM), registro coralino estudado (tempo), taxa de crescimento e a taxa de calcificação de *Montastrea annularis*

Localidade	Média anual TSM (°C)	Máxima TSM (°C)	Mínima TSM (°C)	Registro coralino estudado (tempo)	Taxa de crescimento (cm yr ⁻¹)	Taxa calcificação (g cm ⁻² yr ⁻¹)
<i>Gulf of Mexico</i>						
Cayo Arcas ³	26,7	29,4	23,5	1968–1990	0,85	1,48
Triângulo Oeste ³	26,6	29,4	23,4	1982–1990	0,85	1,53
Alacrán ³	26,6	29,4	23,6	1977–1990	0,79	1,52
Cayo Arenas ³	26,5	29,6	23,3	1980–1990	0,86	1,48
Anegada de Adentro ³	26,3	29,1	22,8	1972–1991	0,89	1,31
Isla Verde ³	26,1	28,7	23,1	1977–1991	0,92	1,25
Média	26,5	29,3	23,3		0,86	1,43
S.D.	0,21	0,34	0,27		0,04	0,12
<i>Caribbean Sea</i>						
Mahahual ⁴	28,2	29,7	26,5	1976–1997	0,78	1,63
Xahuayxol ²	28,1	29,5	26,6	1981–1995	0,91	1,53
Puerto Morelos ²	27,9	29,4	25,8	1980–1994	0,82	1,46
Christiansted Harbor ¹	27,6	29,0	26,1	1970–1979	0,99	1,24
Airport Back-Reef ¹	27,6	29,0	26,1	1970–1979	1,00	1,29
Hess ¹	27,6	29,0	26,1	1970–1979	0,86	1,12
Média	27,8	29,3	26,2		0,89	1,40
S.D.	0,29	0,44	0,28		0,08	0,19
<i>Costa brasileira (Presente estudo)</i>						
Salvador	24,9	25,9	24,3	1933–2006	0,48	1,31
Abrolhos	25,4	25,8	22,7	1882–2006	0,42	2,30
Búzios	23,6	26,2	24,8	1865–2006	0,25	1,78
Média	24,7	26,0	24,0		0,38	1,79
S.D.	0,92	0,21	1,1		0,12	0,49

Nota: ¹ DODGE & BRASS (1984), ² CARRICART-GANIVET *et al.* (2000), ³ CARRICART-GANIVET & MERINO (2001), ⁴ CARRICART-GANIVET (não publicado). * S.D. : o desvio padrão.

Fonte: Tabela modificada de CARRICART-GANIVET (2004).

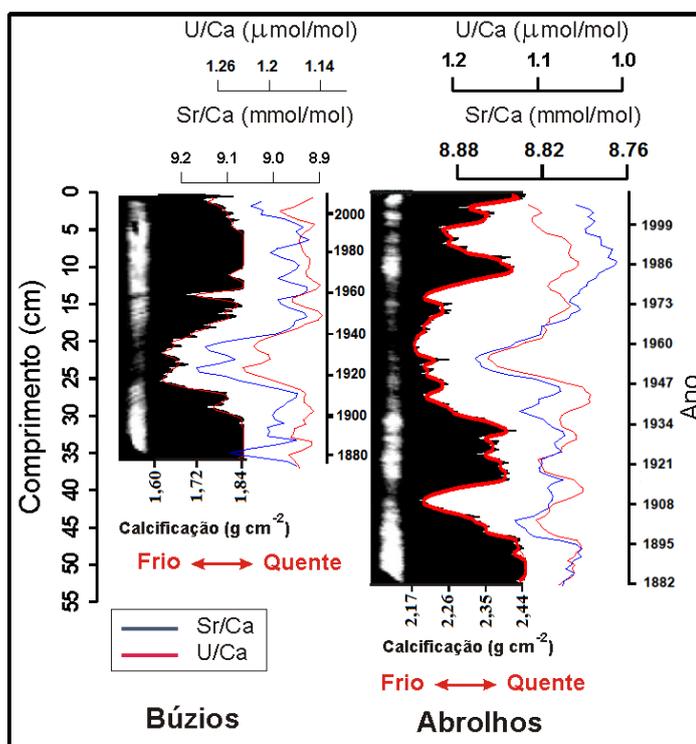
-Calcificação e geoquímica de Sr/Ca e U/Ca para os corais;

Neste trabalho empregamos as razões geoquímicas Sr/Ca e U/Ca registrados no coral (dados de reanálise de GODIVA, 2010), para inferir a variabilidade pretérita da temperatura da água do mar nos sítios investigados e sua relação com a calcificação.

Observamos variações significativas na calcificação dos corais em, Salvador, no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios dentro da cronologia estudada, (Figuras 47 e 48). As razões U/Ca e Sr/Ca acompanharam aproximadamente os padrões de variação das taxas de calcificação dos testemunhos de corais para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios. Salvador apresentou uma relação difusa entre estes parâmetros. As razões das concentrações elementares U/Ca e Sr/Ca são inversas a TSM (MIN *et al.*, 1995; SMITH *et al.*, 1979); por outro lado, a calcificação também varia diretamente com a TSM, de forma que nossos dados mostram um perfeito acoplamento entre a calcificação e a geoquímica dos corais para os sítios do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios (Figura 47).

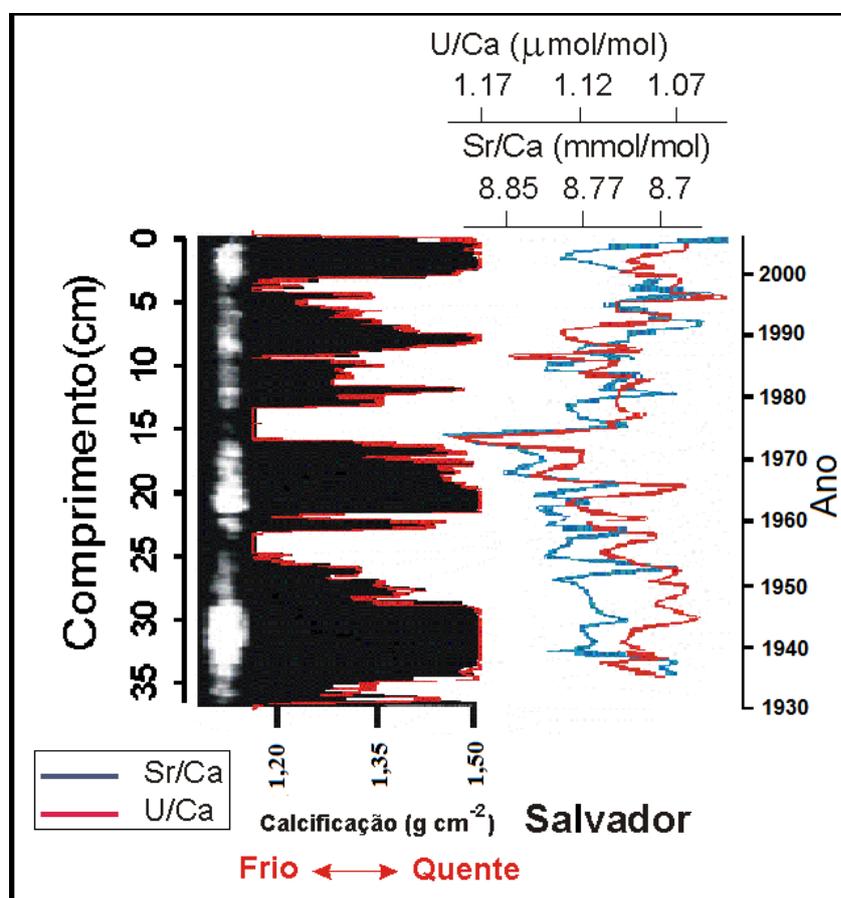
Para a amostra B1, Armação dos Búzios, a média das razões Sr/Ca foi de $8,99 \pm 0,08$ mmol/mol, onde é possível identificar um período de decréscimo acentuado da calcificação, aproximadamente entre os anos de 1915 a 1950. Para a razão Sr/Ca em Parque Nacional Marinho dos Abrolhos a média foi de $8,8 \pm 0,04$ mmol/mol. É possível identificar períodos onde as razões Sr/Ca e U/Ca aumentaram de forma acentuada nos anos de 1920 a 1930, entre 1955 a 1970, e no final da década de 1990 a 1995. A média da razão U/Ca apresentou uma curva bastante similar a do Sr/Ca, para a amostra de Armação dos Búzios com $1,16 \pm 0,06$ μ mol/mol e para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com $1,09 \pm 0,04$ μ mol/mol.

Figura 47 – Densitometria (Taxa de Calcificação) do coral da espécie *Siderastrea stellata* encontradas no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA e na Armação dos Búzios-RJ, os valores das razões Sr/Ca e U/Ca cronologicamente sobrepostos e o comprimento (cm)



A amostra de Salvador foi comparada separadamente, visto a não concordância dos valores das razões Sr/Ca e U/Ca com a calcificação. Tal diferença pode estar associada ao padrão desigual de chuva entre as regiões (maior em Salvador com $103,2 \pm 64,8$ mm/mês, do que no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com $101,7 \pm 65,9$ mm/mês e Armação dos Búzios com $98,8 \pm 76,3$ mm/mês). No caso da TSM, tanto Salvador como Parque Nacional Marinho dos Abrolhos não diferem significativamente (Tabela 5). Para a amostra de Salvador a média Sr/Ca foi de $8,76 \pm 0,04$ mmol/mol. É possível identificar somente um único período onde a razão Sr/Ca aumentou de forma acentuada entre os anos de 1965 a 1980. Este comportamento não encontra um análogo na calcificação que apresenta intermitentes declínios entre 1930 e 2006. A média para a razão U/Ca de Salvador foi de $1,09 \pm 0,03$ μmol/mol. O comportamento da razão U/Ca foi semelhante à razão Sr/Ca (Figura 48).

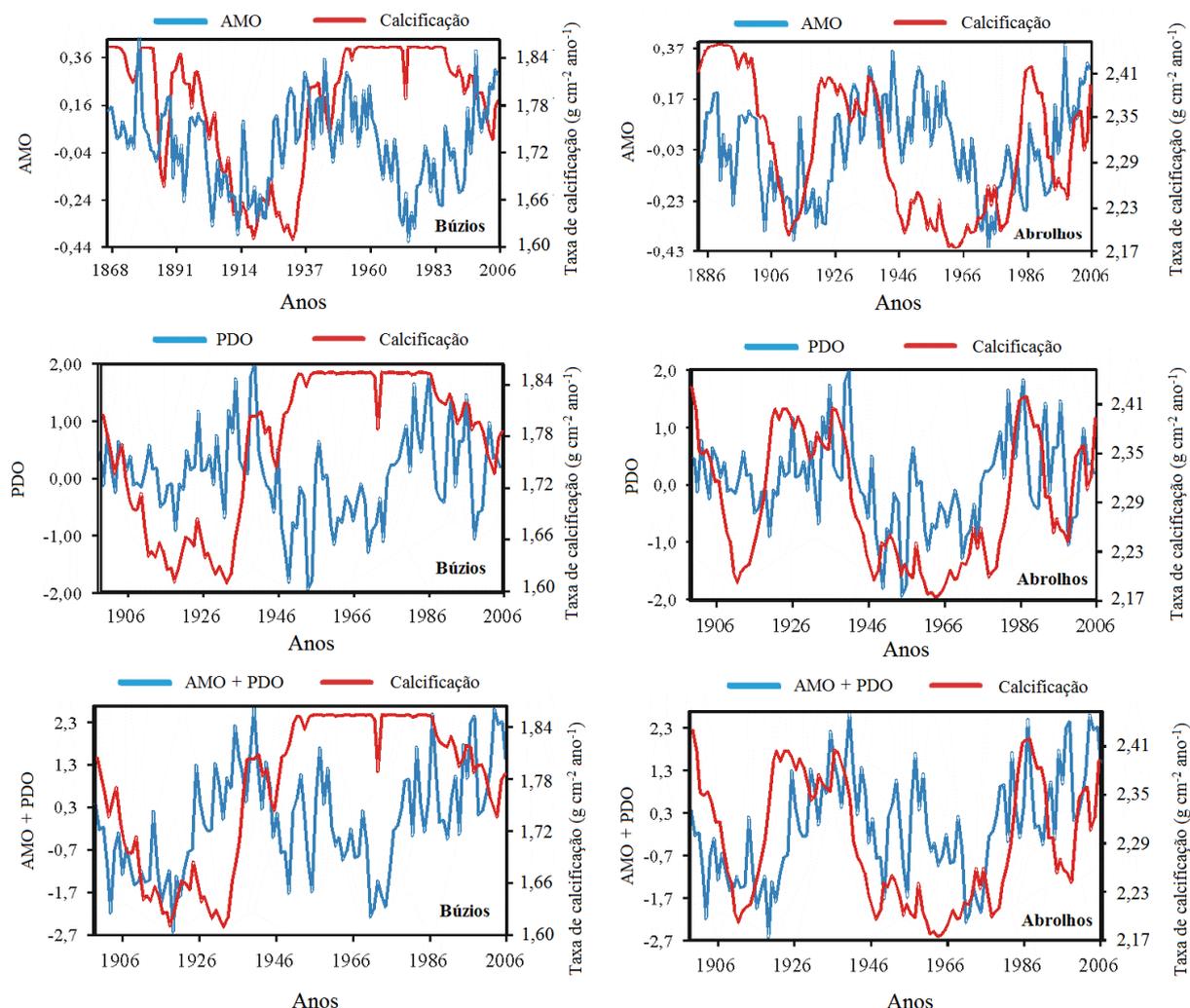
Figura 48 – Densitometria (Taxa de Calcificação) do testemunho de coral da espécie *Siderastrea stellata* encontrada em Salvador-BA com os valores das razões Sr/Ca e U/Ca sobrepostos



-Calcificação e índices climáticos

Foi realizada aqui uma comparação entre os dados de calcificação para Abrolhos e Búzios e os índices climáticos PDO e AMO (Figura 49). Neste contexto, a maior correlação, com o menor Lag temporal, é observado entre Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e PDO, com variabilidades aproximadamente concomitantes ao longo de toda a série.

Figura 49 – Sobreposição das séries climáticas de AMO, PDO e AMO+PDO com as taxas de calcificação dos corais



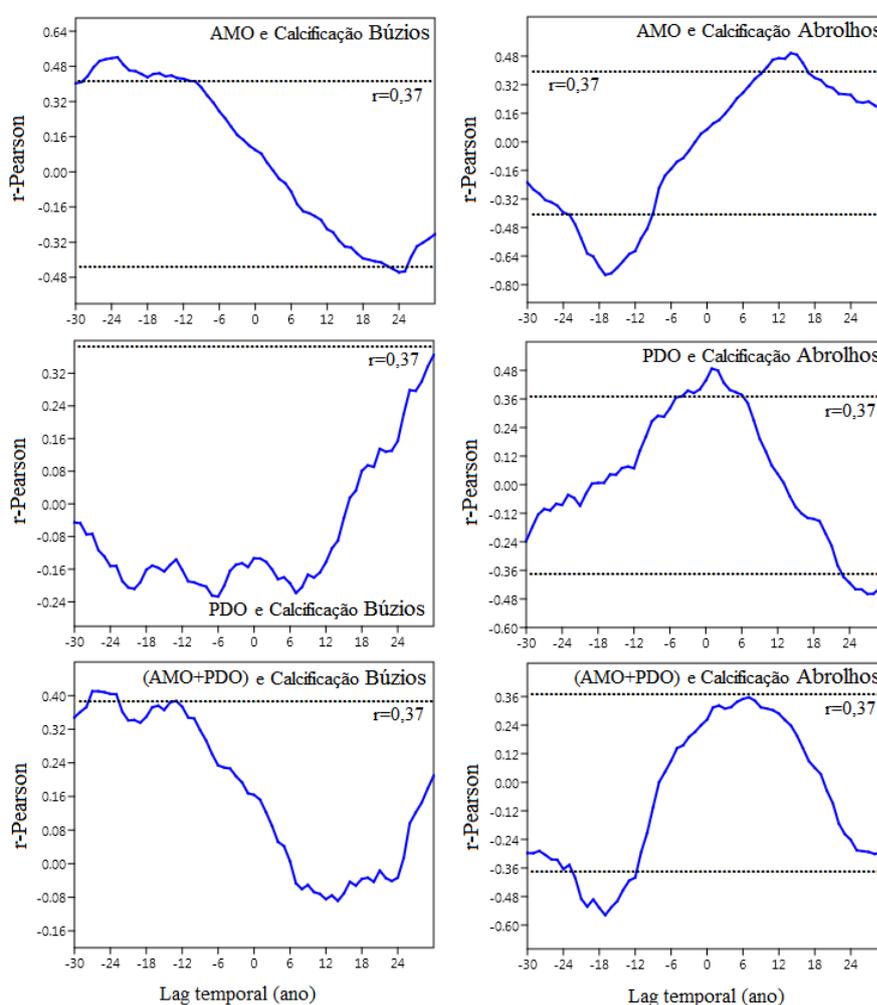
Legenda: Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (direita) e Armação dos Búzios (esquerda).

O fato de só se observar uma resposta da calcificação ao agente climático, este de impacto global (PDO), para o testemunho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos pode estar relacionado ao fato desta região estar mais afastada do continente, e de ter maior característica oceânica. Vários estudos já identificaram a ação dos fenômenos ENSO sobre os corais da costa brasileira (KELMO *et al.*, 2003; EVANGELISTA *et al.*, 2007). Pode-se observar que as correlações com Lag temporal só foram significativas, considerando-se uma resposta de calcificação na ordem de anos, para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e PDO, de acordo com a Figura 50.

Na Figura 50 observa-se a correlação entre a taxa de calcificação das amostras estudadas com os índices climáticos. É interessante notar que a resposta da correlação com

menor escala de Lag temporal (ano) foi entre a PDO e o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, com uma diferença estimada em 1 ano (dentro da margem de erro da datação do testemunho de coral), já para Armação dos Búzios a defasagem temporal foi de 30 anos. Já as outras correlações apresentaram Lag temporal (ano) com diferenças de aproximadamente entre 15 e 20 anos para AMO, e de 18 a 24 anos para AMO+PDO.

Figura 50 – Comparação das curvas dos índices climáticos (PDO e AMO) com a taxa de calcificação dos corais de Armação dos Búzios e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos



Nota: As retas pontilhadas mostram os limites de significância para os valores r-Pearson.

Para Armação dos Búzios o índice climático PDO e a calcificação coralina apresentam co-variabilidade para a metade da série temporal até aproximadamente 1950. Depois deste período até aproximadamente 1980, não se observa correlação entre estes parâmetros. Após 1980 até 2006 a co-variabilidade é restaurada (figura 50).

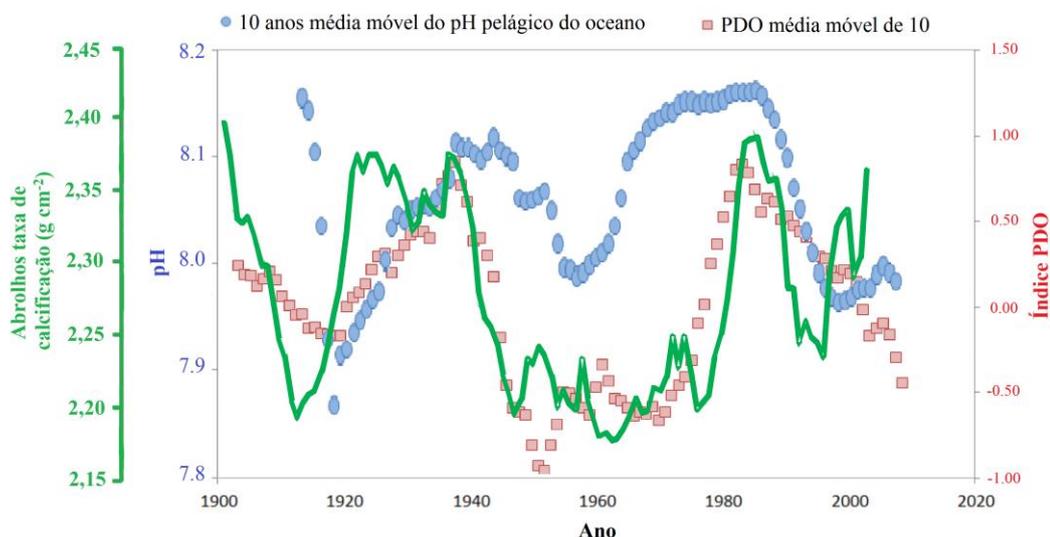
Como a PDO é definida para o Oceano Pacífico, uma provável associação deste evento com os registros coralinos do Atlântico (este trabalho) foi sugerido por CALIL (2009), o qual propõe uma influência de eventos de El Niño no processo de ressurgência. Neste caso o SOI e a média das TSMs nas épocas de ressurgência estariam relacionadas. Uma correlação significativa é encontrada entre os eventos mais expressivos de El Niño, com as temperaturas médias mais baixas na época de ressurgência, e, também, de eventos de La Niña, com temperaturas médias mais quentes.

O bloqueio na passagem de sistemas frontais, instituído pela Corrente de Jato Subtropical, que se intensifica em anos de El Niño (BJERKNES, 1969), é capaz de gerar condições típicas de verão, com persistência de ventos de NE, em outras épocas do ano. Isso faz com que ocorra uma intensificação do processo de ressurgência em anos sob influência de El Niño. Entretanto nossos dados mostram que durante as fases de PDO positiva, calcificações positivas e negativas podem ocorrer (indicando aporte de águas relativamente mais quentes ou frias), ao passo que durante a fase de PDO negativa (dominada pela ocorrência de La Niñas), as calcificações mantiveram-se abaixo da média.

-Calcificação e pH do Oceano

WALLACE (2015 – em andamento – <http://www.abeqas.com/global-ocean-ph-pdo/>) sugere que o pH do oceano tem variado, naturalmente, acompanhando o ciclo da PDO (figura 51), ou seja, dentro de uma variabilidade decadal entre 15 e 30 anos. TRIBOLLET *et al.* (2009) e REYES-NIVIA *et al.* (2013), sugeriram que a microbioerosão é provavelmente causada por dissolução química conduzida pela atividade metabólica dos microrredutores (fungos, cianobactérias, algas filamentosas). Enquanto a evidência recente indica que a dissolução do esqueleto de *Porites* sp. aumentou em condições de pH mais ácido, pouco se sabe sobre o efeito combinado de projeções futuras da acidificação dos oceanos e do aquecimento na microbioerosão em diferentes substratos. Embora o aumento da dissolução de algas calcárias incrustantes sob condições de temperatura elevadas $p\text{CO}_2$ e tem sido associada à presença de microrredutores, uma ligação não tem sido empiricamente quantificada (DIAZ-PULIDO *et al.*, 2012). Este fato cria um ambiente desfavorável para a preservação do CaCO_3 . Neste trabalho comparamos as curvas de calcificação com as de PDO e pH oceânico, observando-se boa correspondência entre estes parâmetros para o coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.

Figura 51 – Curvas do índice médio da PDO em comparação com o pH pelágicos do oceano global e da taxa de calcificação do coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos



Legenda: Curvas índice médio da PDO (vermelho); pH pelágicos do oceano global (azul); e da taxa de calcificação do coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (verde).

Fonte: Adaptado de (WALLACE, 2014 em fase preliminar de desenvolvimento) acessado em 25 de fevereiro de 2015 <http://www.abeqas.com/global-ocean-ph-pdo/>.

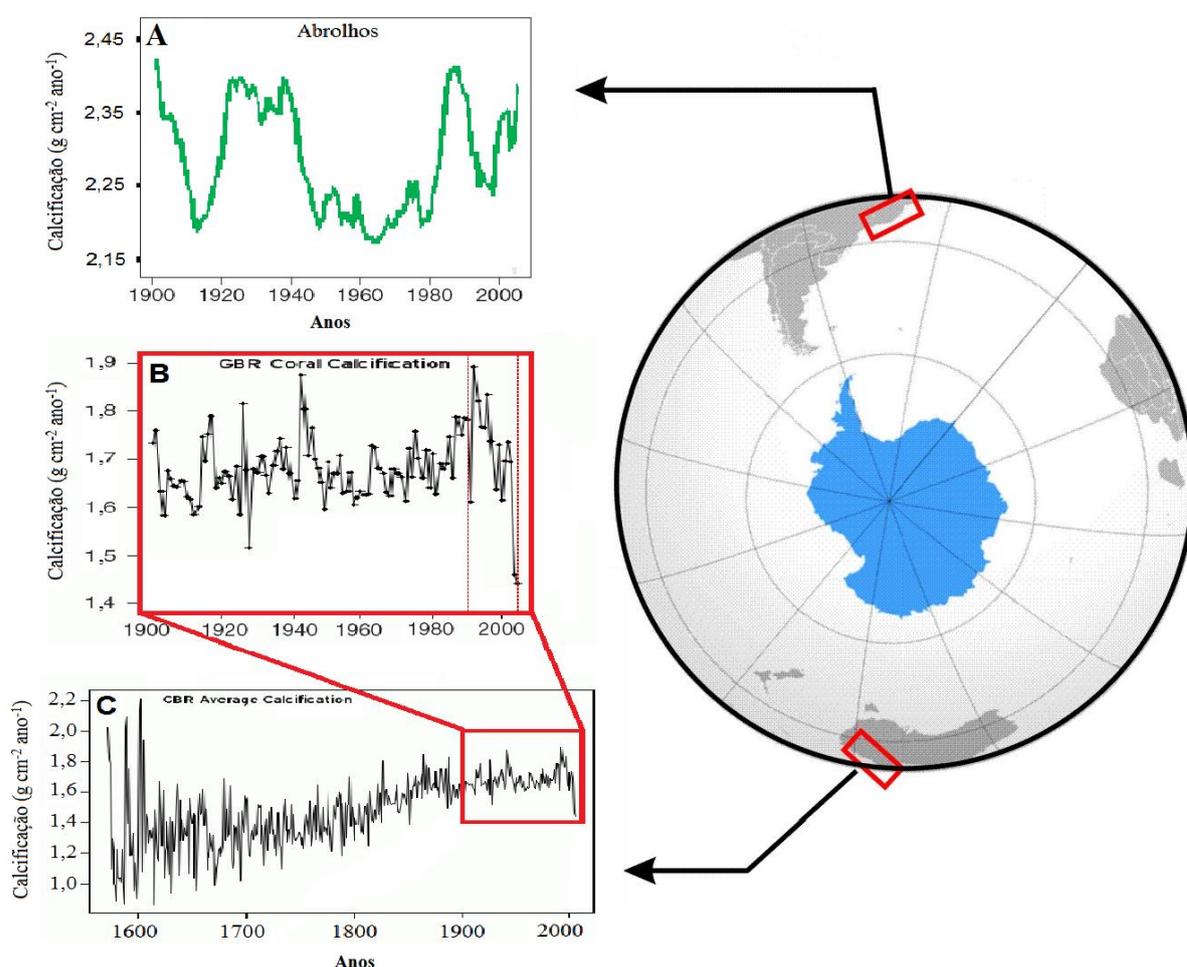
Apesar do trabalho de WALLACE (2015) estar associado ao Oceano Pacífico, onde os efeitos da PDO são diretos, o mecanismo de associação PDO-pH-calcificação parece aplicável para o Atlântico. Neste caso, a PDO em fase negativa, está associada a uma maior acidez do oceano e, portanto observamos queda na calcificação do testemunho de coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.

Para a Grande Barreira de Coral (GBC) na Austrália, DE'ATH *et al.* (2009) sugeriram um declínio para a taxa de calcificação dos corais, desde a última década do século XX, na ordem de 14,2%, variando de 1,76 para 1,51 g cm⁻² ano⁻¹. Embora este estudo coloque a acidificação dos oceanos como causa, nenhuma evidência direta é fornecida para apoiar esta reivindicação. Em contra-ponto a uma acidificação induzida pelo CO₂ atmosférico, McINTYRE, (2009 –<http://www.climateaudit.org/?p=6189>) conclui que as médias anuais das taxas de calcificação (figura 52 C), tem tendência de aumento nos corais da GBC quando considerado uma série temporal mais longa, no caso, desde o final dos anos 1500. O autor sugere que a queda aparente em 2004-05 pode ter sido por falta de dados, visto que nos últimos anos foram feitos relativamente menos medições coralinas (figura 52 B).

Na figura 52 A e B foi feita uma comparação das taxas de calcificação dos corais da GBC de McINTYRE, (2009) com o nosso exemplar mais oceânico (Parque Nacional Marinho

dos Abrolhos). Os testemunhos das 2 localidades exibiram comportamento parecido principalmente entre 1930 e 2000 sugerindo uma possível ação das mesmas forças oceânicas sobre os corais do Leste da América do Sul e do Leste da Austrália, dentro da mesma banda de latitude. Nos últimos anos da série temporal dos corais australianos, observa-se um antagonismo entre estas localidades, onde na Austrália foi registrada uma diminuição da taxa de calcificação e no testemunho brasileiro um aumento.

Figura 52 – Comparação das curvas de calcificação dos corais da Grande Barreira de Coral (GBC) na Austrália com a amostra do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos



Legenda: Calcificação da média coralina (A) da amostragem de Abrolhos; (B) de 1900-2005 da GBC e (C) de 1572-2005 da GBC.

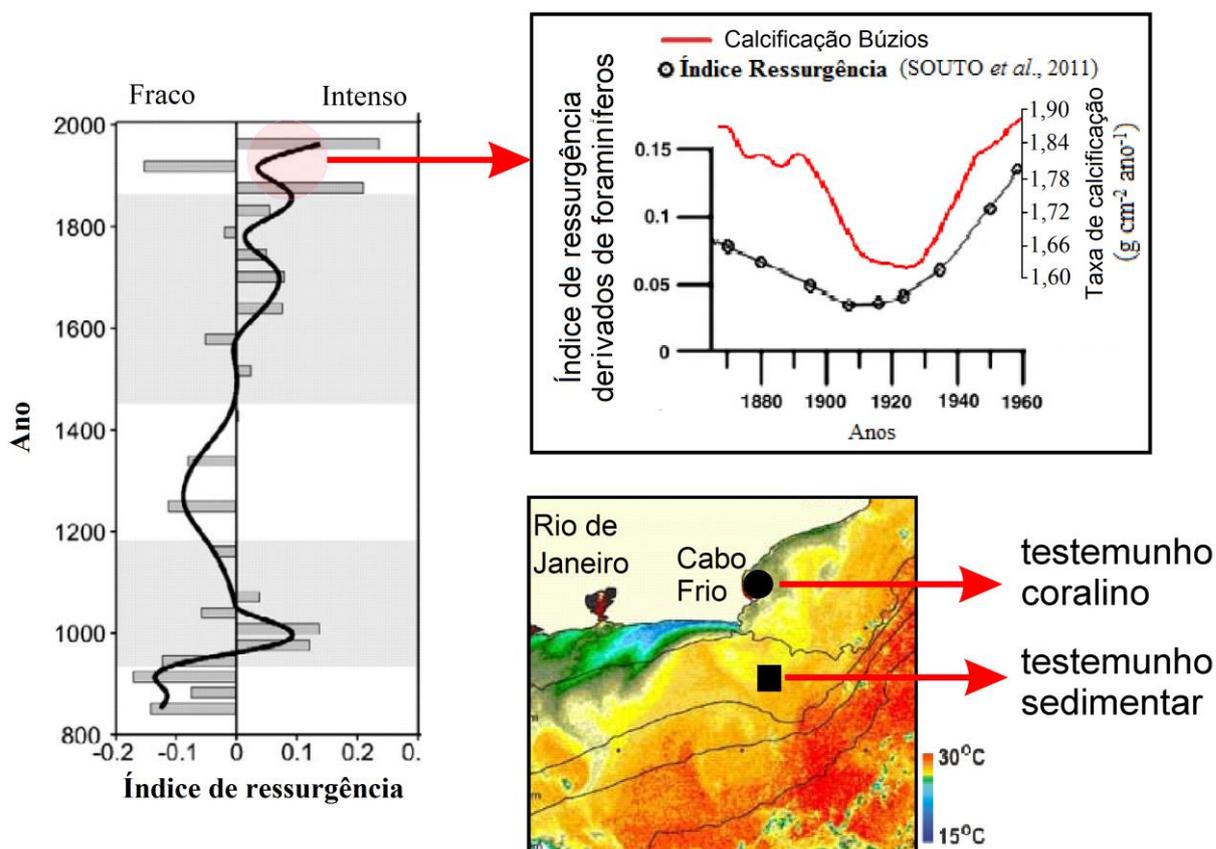
Fonte: (A) Presente trabalho; (B) e (C) McINTYRE, (2009).

-Calcificação e ressurgência

Para a região de Cabo Frio-RJ, SOUTO *et al.* (2011) empregaram a razão entre as abundâncias relativas dos foraminíferos *Globigerina bulloides* e *Globigerina ruber* (Gb/Gr) como indicadores de ressurgência, de forma que os valores da razão baixos representam TSMs mais quentes (ressurgência fraca), e elevados valores representam temperatura fria (ressurgência intensa) para a região próxima a Cabo Frio.

Comparando os resultados de calcificação, Sr/Ca e U/Ca para Armação dos Búzios obtidos neste trabalho com os de SOUTO *et al.* (2011) (foraminíferos para Cabo Frio), e considerando-se a mesma base de tempo para estes parâmetros, entre 1865 e 1960, observa-se uma variabilidade temporal inversa para o *proxy* de ressurgência, ou seja, os mínimos da razão (Gb/Gr), associados a apassivação da ressurgência que correspondem aos mínimos de calcificação (que no coral está associado à presença de água mais quente, identificada pela cor de tons de vermelho) e maior taxa de calcificação (associado à presença de água mais fria, identificada pela cor azul), (figura 53). Identificamos pelo menos 3 motivos para buscar uma explicação para tal resultado conflitante: (1) as resoluções temporais das análises são distintas, para o mesmo período entre 1865 e 1960, onde tem-se um total de 95 dados para calcificação, Sr/Ca e U/Ca; ao passo que para (Gb/Gr) tem-se apenas 9 dados; (2) como nenhum dos 2 testemunhos (sedimentar e coralino) estão exatamente sob o domínio geográfico mais frequente de ocorrências das ressurgências, então seus registros podem ser limitados quanto a esta variável; (3) alguns destes parâmetros não se aplica a questão da ressurgência de Cabo Frio, e portanto seu uso como *proxy* não seria válido.

Figura 53 – Comparação da curva do Índice de ressurgência com a calcificação do exemplar de Armação dos Búzios



Nota: 15 anos de média móvel da calcificação coralina de Armação dos Búzios.

A tabela 6 mostra uma comparação entre valores da taxa de calcificação anual da literatura e deste trabalho. Além de espécies diferentes, outras modalidades metodológicas são empregadas. Pode-se observar que os valores de calcificação para a espécie *Siderastrea stellata*, avaliada neste trabalho, são comparáveis a *Porites* spp. KUFFNER (2002) que apresentou as maiores taxas anual de calcificação com amostras do Hawaii, com taxas de 3,1 a 5,4 (g cm⁻² ano⁻¹), seguido dos resultados Indo-Pacífico oeste de LOUGH, (2008), com uma taxa anual de até 3,0 (g cm⁻² ano⁻¹), seguido do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com até 2,44 (g cm⁻² ano⁻¹), 2,0 (g cm⁻² ano⁻¹) em COOPER *et al.* (2008), Arnação dos Búzios com até 1,85 (g cm⁻² ano⁻¹) e Salvador com 1,53 (g cm⁻² ano⁻¹). CARRICART-GANIVET, (2003) com 1,63 (g cm⁻² ano⁻¹) no Mar do Caribe, CARRICART-GANIVET *et al.* (2000) no Mar do Caribe com 1,46 a 1,53 (g cm⁻² ano⁻¹). CARRICART-GANIVET & MERINO (2001) no Golfo do México com 1,25 a 1,53 (g cm⁻² ano⁻¹). DODGE & BRASS (1984) no Mar do Caribe com 1,12 a 1,29 (g cm⁻² ano⁻¹). Já os outros trabalhos apresentaram taxas de calcificação coralina com valores menores, onde o mínimo nesta pesquisa encontrado foi

relatado por BATES *et al.* (2010), que registraram uma taxa anual de calcificação de 0,25 (g cm⁻² ano⁻¹) na Bermuda (Tabelas 5 e 6).

Tabela 6 – Taxas de calcificação de várias espécies de corais derivados de dados de peso flutuantes ou calculados do exoesqueleto

Taxa calcificação (g cm ⁻² ano ⁻¹)	Espécies	Método	Localidade	Referências
1,3	<i>Montastraea annularis</i>	peso flutuante	Curaçao	MEESTERS <i>et al.</i> (1994)
0,2 a 0,5	<i>Montastraea faveolata</i>	peso flutuante	Florida Keys	COOK <i>et al.</i> (2002)
3,1 a 5,4	<i>Porites compressa</i>	peso flutuante	Hawaii	KUFFNER (2002)
0,25	<i>Diploria labyrinthiformis</i>	peso flutuante	Bermuda	BATES <i>et al.</i> (2010)
0,5	<i>Porites astreoides</i>	peso flutuante	Florida Keys	VEGA THURBER <i>et al.</i> (2012)
0,99	<i>Siderastrea siderea</i>	peso flutuante	Florida Keys	KUFFNER <i>et al.</i> (2013)
0,5 a 3,0	<i>Porites</i> spp.	Ext. linear x densidade	IWP	LOUGH (2008)
1,6 a 2,0	<i>Porites</i> spp.	Ext. linear x densidade	GBR	COOPER <i>et al.</i> (2008)
1,5 a 1,8	<i>Porites</i> spp.	Ext. linear x densidade	GBR	DE'ATH <i>et al.</i> (2009)
0,85 a 0,97	<i>Montastraea faveolata</i>	Ext. linear x densidade	Florida Keys	HELMLE <i>et al.</i> (2011)
1,19 a 1,53	<i>Siderastrea stellata</i>	Ext. linear x densidade	Salvador	PRESENTE TRABALHO
2,17 a 2,44	<i>Siderastrea stellata</i>	Ext. linear x densidade	Abrolhos	PRESENTE TRABALHO
1,61 a 1,85	<i>Siderastrea stellata</i>	Ext. linear x densidade	Armação dos Búzios	PRESENTE TRABALHO

Legenda: IWP = Indo-Pacífico oeste, GBR = Grande Barreira de Coral.

Fonte: CARRICART-GANIVET *et al.* (2000).

Para a composição das 3 amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (figura 45) observa-se declínio no crescimento coralino, onde a anomalia negativa inicia-se por volta de 1930 (P1), final da década de 1940 (Abrolhos/UFBA), em 1955 (CS1) e 1925 (z-Score). Resultados semelhantes também foram obtidos com 35 corais *Porites* analisados entre os anos de 1934 a 1982 da GBC da Austrália, onde o início deste declínio foi observado por volta do ano de 1945 por LOUGH & BARNES (1997), a partir de 1980, empregando-se 6 amostras de corais, e para o Mar Vermelho (*Diploria heliopora*) entre 1925 e 2008 (CANTIN *et al.*, 2010). As causas atribuídas a tais anomalias de crescimento estariam relacionadas aos eventos ENSO no caso da Austrália e aumento da TSM para o Mar Vermelho. Para os corais do Brasil, EVANGELISTA *et al.* (2015, submetido) associa esta resposta ao aumento da TSM na plataforma continental decorrente de mudanças nos padrões de vento zonal no Atlântico induzidos pelo aumento dos *westerlies* (ventos que circundam a Antártica) nas altas latitudes austrais.

LOUGH, (2008), em estudos com *Porites* na Grande Barreira de Corais da Austrália para registros entre 1934 e 1982 demonstrou que o crescimento destes corais subtropicais manteve-se constante. No presente estudo, as amostras de Salvador, Armação dos Búzios e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos apresentarem taxas de crescimento com padrões diferentes daqueles encontrados nas taxas de calcificação anual.

A uniformidade na taxa de crescimento ou na taxa de calcificação não significa necessariamente que os corais ou recifes de coral são saudáveis (EDINGER *et al.*, 2000), mas sim demonstram que os corais têm sido historicamente capazes de manter suas taxas de crescimento e calcificação em equilíbrio com as mudanças ambientais e climáticas locais. A manutenção destes parâmetros consiste em fator que determina se os corais apresentam tolerância às mudanças nas condições ambientais locais (HELMLE *et al.*, 2011).

Para este trabalho, as taxas de calcificação estiveram relacionadas com os *proxies* de TSM (Sr/Ca e U/Ca), semelhante aos resultados dos corais *Porites* no Tahiti (BESSAT & BUIGUES, 2001), os da GBC (LOUGH & BARNES, 1997) e na Flórida (HELMLE *et al.*, 2011), particularmente para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios. No entanto, não seria prudente afirmar que apenas a TSM explique a variabilidade na calcificação dos corais, pois nas séries temporais observadas neste trabalho há inversões nesta correspondência.

De um modo geral, os registros de crescimento de corais a longo prazo sugerem que as taxas de crescimento não têm exibido declínios lineares de longo prazo na calcificação, o que seria esperado com a acidificação dos oceanos no século XX, e que os declínios medidos para o crescimento têm sido limitados nas últimas décadas e, em grande parte, para o aumento da TSM (HELMLE *et al.*, 2011).

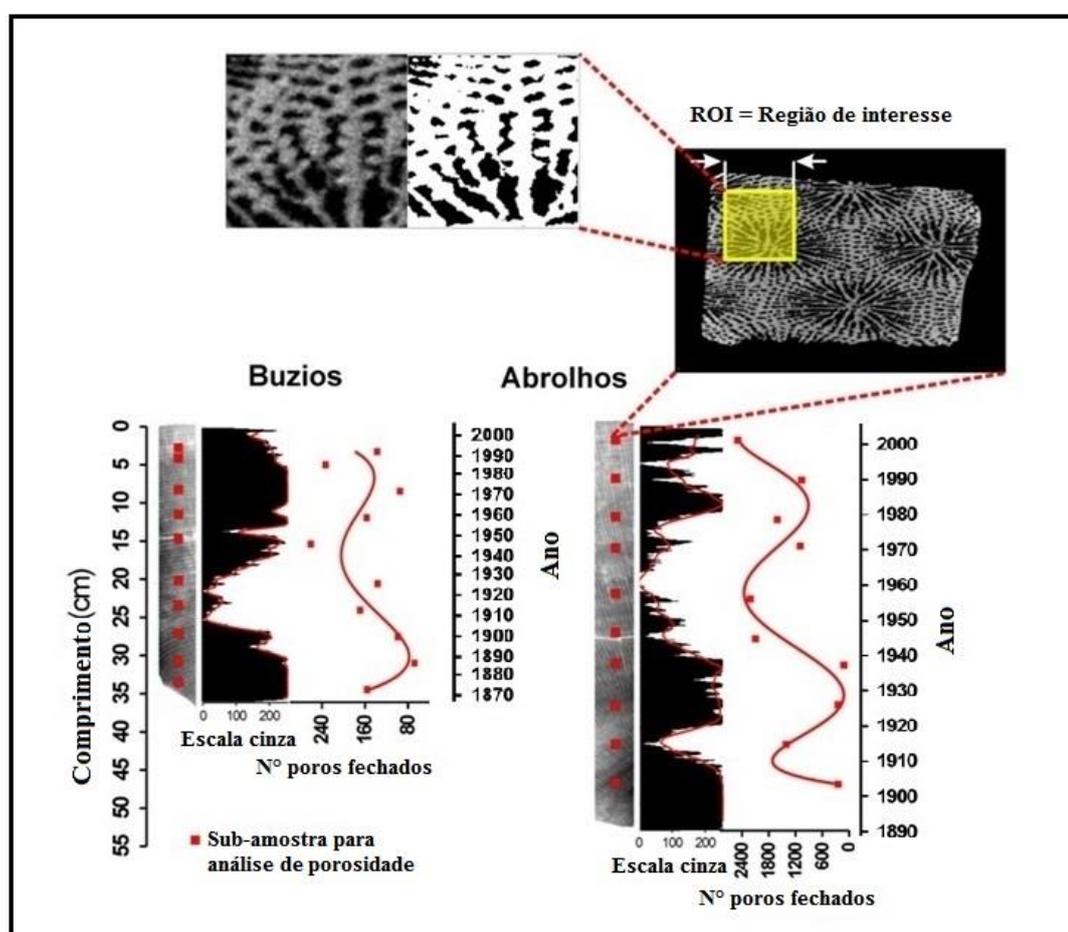
c) Microporosidade;

A Figura 54 mostra que há claramente uma correspondência da taxa de calcificação e a porosidade do coral. De acordo com HUGHES & JACKSON (1980), com respeito a estrutura do crescimento coralino, os mesmos observaram que a densidade coralina aumenta com a profundidade (no sentido da base) e está relacionada com o aumento do espaçamento dos pólipos, ou seja, menos pólipos por unidade de área da superfície de coral.

Observamos que nas subamostras do Parque Nacional Marinho do Abrolhos-BA, a porosidade variou em média entre 211 e 2358 ($r = 0,57$), ou seja, de forma significativa com o

crescimento (nível de confiança de 5%). Para as subamostras de Armação dos Búzios-RJ, a variabilidade além de ter sido uma ordem de grandeza menor, ou seja, entre 44 e 257, a correlação não foi significativa ($r = 0,35$); o que sugere que outros fatores ambientais atuem neste processo. Os resultados de densitometria mostraram que, apesar das amostras CS1 e B1 terem aproximadamente a mesma idade, a taxa de calcificação no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos mostrou-se mais variável ao longo do crescimento coralino quando comparado a Armação dos Búzios (figura 54).

Figura 54 – Comparação do número de poros fechados em subamostras do exoesqueleto coralino e os padrões de calcificação para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios

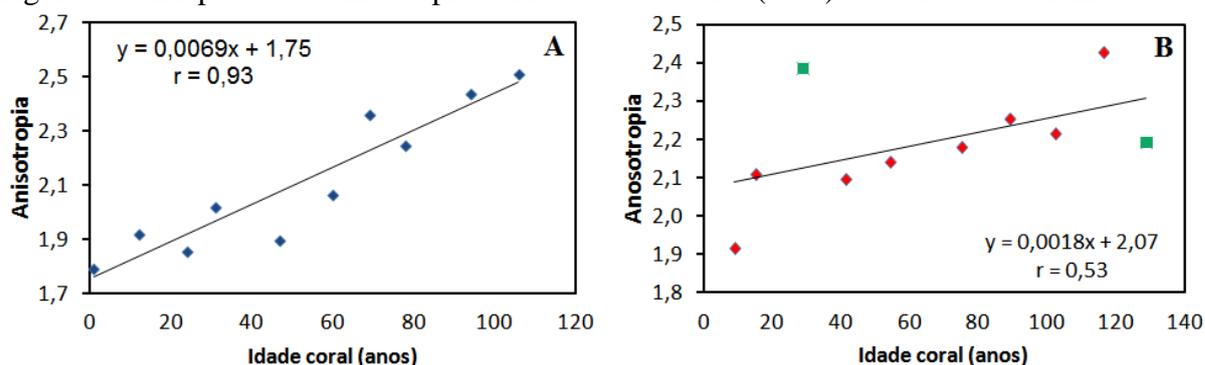


Uma das formas de quantificar a irregularidade da geometria dos poros é conhecendo-se o seu grau de anisotropia. As principais direções de crescimento são definidas como direções isotrópicas. Esta grandeza, juntamente com a quantificação dos poros e a densidade aparente podem caracterizar o estado físico da estrutura carbonática.

Outro fator que altera a estrutura coralina na micro-escala é a bioerosão, que consiste na remoção do substrato de carbonato de cálcio por agentes biológicos, NEUMANN, (1966). Os corais produzem regularmente carbonato de cálcio, ou calcário, para formar seus esqueletos, estas estruturas fornecem alimento e abrigo para a maioria dos organismos recifais enquanto os biorredutores naturalmente os decompõem. O equilíbrio entre a formação e erosão do exoesqueleto coralino é delicado. Se a bioerosão for excessiva, poderá culminar na morte do coral. A comunidade de biorredutores é constituída de muitos tipos diferentes de animais, plantas e até mesmo de bactérias. Esta ação é mais significativa em espécimes de coral morto, o que pode ocorrer mecanicamente ou quimicamente a partir da excreção de compostos ácidos que dissolvem o exoesqueleto. TRIBOLLET & GOLUBIC (2005) quantificaram baixas taxas de microbioerosão nos recifes costeiros no norte da GBC na Austrália. Este fato foi atribuído as águas turvas, onde as partículas em suspensão formam uma fina camada de lama (2-3 mm) que se depositam na superfície das amostras de *Porites lobata*, limitando o desenvolvimento de bactérias, algas e fungos. É provável que um processo semelhante possa ocorrer nos corais brasileiros fazendo com que a microporosidade em Armação dos Búzios seja menos variável que o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos Abrolhos. Segundo GLYNN (1997), a bioerosão aumenta o volume dos espaços internos (porosidade) de esqueletos de corais, portanto é necessária menor força mecânica para a ruptura da estrutura coralina. Assim, os recifes fortemente bioerodidos são mais susceptíveis aos intemperismos ambientais. Esta ação resulta no aumento dos níveis de produção de sedimentos, onde este produto trará efeitos deletérios sobre as populações de calcificadores.

Uma análise de correlação entre a anisotropia e as idades dos corais para as amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (A) e Armação dos Búzios (B) mostrou significância em ambos os casos com coeficientes de correlação linear de $r = 0,93$ e $r = 0,53$ respectivamente (figura 55). Fato importante de ser verificado é que apesar do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos apresentar maior irregularidade na taxa de calcificação e porosidade, sua anisotropia cresce de forma uniforme estando fortemente correlacionada com a idade, ou seja, a anisotropia parece menos sujeita ao intemperismo ambiental, mostrando-se mais inerente a natureza do coral.

Figura 55 – Dispersão da anisotropia com a idade do coral (anos) das amostras corálicas



Legenda: Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (A) e Armação dos Búzios (B).

Na Armação dos Búzios, dois pontos foram marcados como “outliers”, relativos aos anos de 1877 e 1977. Na ausência destes dados a correlação atingiria um patamar próximo ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos na ordem de $r = 0,89$. Nossos resultados destacam a importância do uso de μ CT como uma ferramenta para calcular as taxas de acreção e erosão nos recifes de coral. Estudos anteriores têm usado scans individuais, ou a Tomografia Computadorizada-CT para calcular a densidade do esqueleto (BOSSCHER, 1993; VAGO *et al.*, 1994), calcificação (BOSSCHER 1993, HEISS, 1995), a porosidade esquelética (ROCHE *et al.*, 2010), crescimento linear (CROOK *et al.*, 2013) e bandas de crescimento (LOGAN & ANDERSON, 1991). O μ CT fornece uma medida mais sensível de microestrutura coralina do que os métodos publicados anteriormente (por exemplo, EDINGER & RISK 1996; TRIBOLLET *et al.*, 2009; PERRY *et al.*, 2012), e é diretamente comparável entre os estudos (SILBIGER *et al.*, 2014).

d) Variabilidade da razão Ba/Ca nas amostras de coral;

A quantificação do bário no exoesqueleto coralino é variável devido a sua presença em uma fase não reticulada, distribuída sobre ou entre os cristais de aragonita e substituir o Ca na aragonita (SPEER, 1983). O bário pode co-precipitar pela oclusão (PINGITORE *et al.*, 1989), em outras palavras, aprisionado em defeitos da estrutura cristalina coralina, afetando o controle da taxa de crescimento através da absorção de bário. Outros casos têm evidenciado que partículas de pequenas dimensões podem ficar presas dentro do esqueleto coralino quando eventos de estresse causam uma retração no tecido do coral (BROWN & TUDHOPE, 1991). Como muitas fontes de particulados são altamente enriquecidas em bário (LEA &

BOYLE, 1993), altas taxas deste elemento podem ser detectadas a partir de um evento sazonalmente comum.

O ciclo biogeoquímico terrestre do bário mostra como os fatores biológicos, geológicos e químicos estão envolvidos na via cíclica deste elemento. Ao contrário do ciclo biogeoquímico do bário no oceano ser estável, a componente terrestre tem um crescente aporte antropogênico. Além disso, o sistema terrestre está sujeito a diversos fatores do clima o que o torna mais instável. Isto faz com que a componente biogeoquímico terrestre do bário esteja em contínua mudança, tornando-o mais dinâmico do que sua contra-parte oceânica (KAUR, 2013). Desta forma, acredita-se que a razão Ba/Ca nos corais reflita as alterações no sistema terrestre, principalmente ao se tratar de corais costeiros.

É importante compreender tais modificações para se inferir de quais atividades, antrópicas ou naturais, as concentrações de bário no coral estão predominantemente associadas. Neste tópico será focada na variabilidade da razão Ba/Ca no exoesqueleto coralino das três regiões estudadas da costa brasileira, e sua associação com as parametrizações naturais e antrópicas.

Os mecanismos sugerem que o sinal de bário coralino pode ser proveniente de diversas fontes. Para simplificar, estes podem ser generalizados em três categorias: (1) Fonte abiótica exógena (ou seja, decorrentes de alterações não-biológicas no ambiente, tais como aumentos na concentração de bário na massa de água circundante através de ressurgência, vazão de rios etc.), (2) Fonte biótica exógena (decorrente de alterações na concentração bário na massa de água circundante causada por processos biológicos), e (3) Fontes bióticas endógenas (decorrente de metabolismo interno ou processos fisiológicos) (SINCLAIR, 2005a). Cada categoria é discutida mais abaixo.

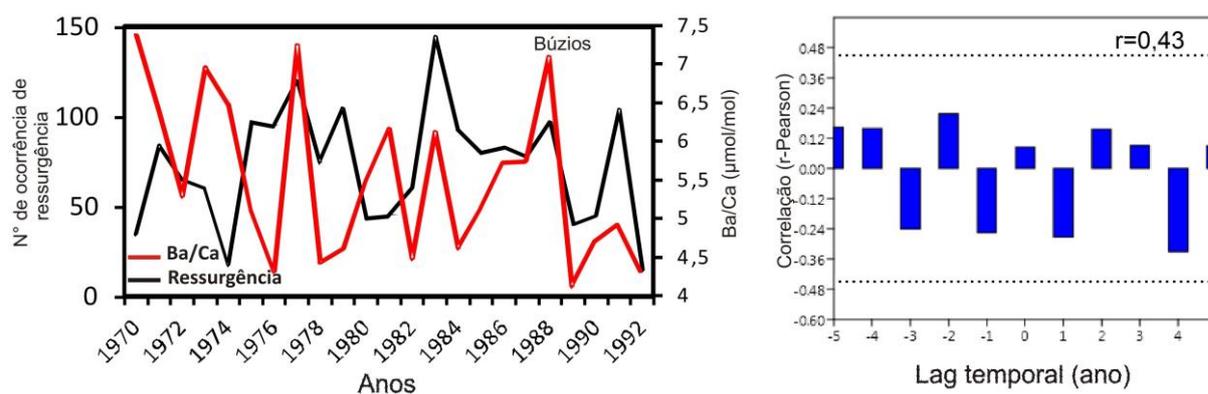
-Razão Ba/Ca e ressurgência

Foram feitas séries temporais de mesma base temporal para o testemunho de coral estudado em Amação dos Búzios entre os anos de 1970 a 1992 entre os dados geoquímicos das razões Ba/Ca ($\mu\text{mol/mol}$) e o Número de Ocorrência de Ressurgência, CALIL (2009). O intervalo foi fixado aqui em função da base de dados de ressurgência. Observando na figura 36 o valor de *z-Score* para Ba/Ca tem comportamento relativamente uniforme até o final da década de 1990 e apresenta uma rápida anomalia positiva na última década, aproximadamente. Desta forma, a correlação do Ba/Ca com a ressurgência ocorreu dentro do

período de “uniformidade” da série temporal. Considerando o número de dados nas séries, a correlação r-Pearson torna-se estatisticamente significativa a partir de r iguais a 0,43, para um intervalo de confiança de 95%.

A correlação da série temporal de Armação dos Búzios (série vermelha) (Figura 56) lado esquerdo, da variável acima não apresentou significância estatística ($r = -0,35$), mesmo considerando-se diversos lags de tempo na correlação (Figura 56) lado direito. Neste caso de Armação dos Búzios, o fato da proximidade com Cabo Frio não foi determinante para uma associação positiva. Como a literatura também reporta o bário como indicador terrígeno, e considerando-se que Armação dos Búzios está localizada em ambiente mais costeiro, sob maior influência de processos de *runoff*, é provável que tal influência terrígena tenha “mascarado” a variabilidade oceânica.

Figura 56 – Comparação da curva da razão Ba/Ca com o número de ocorrência de ressurgência e o lag temporal com o grau de significância para a amostra de Armação dos Búzios

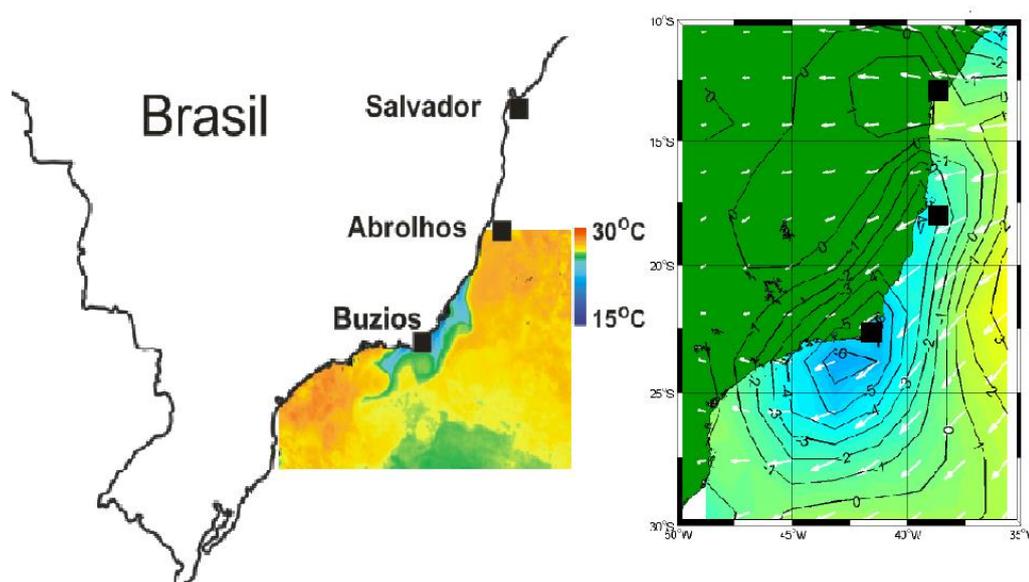


A figura 57 (lado esquerdo) mostra um detalhamento de um evento de ressurgência e sua área de impacto na costa da região Sudeste brasileira. O mapa da TSM foi gerado pelo sensor AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer para o dia 20 de fevereiro de 2013. Pode-se observar o impacto direto da TSM sobre Armação dos Búzios pela influência do rotacional de vento no verão nesta zona. A figura 57 (lado direito) mostra a intensificação do núcleo negativo do rotacional de vento no verão entre os anos de 1948 e 2006, CALIL (2009), quando o valor médio em Cabo Frio chega a $-6 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$. No período de inverno, embora os valores negativos ainda se mantenham, em média ficam próximos a $-2 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$, configurando um cenário menos expressivo em termos de contribuição para o processo de ressurgência. Valores médios próximos a esses, variando entre -5 e $-1 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$,

respectivamente para períodos de verão também foram encontrados para os anos de 2000 e 2004 em CASTELÃO & BARTH, (2006).

Na região em questão, a influência do bombeamento de *Ekman*, gerado pelo rotacional das tensões cisalhantes do vento, apresenta magnitude da mesma ordem que o transporte de *Ekman* causado pela presença da costa (CASTELÃO & BARTH, 2006), mostrando sua importância no processo de ressurgência local. Na figura 57 (lado direito) é mostrada a superposição do vetor vento, TSM e rotacional do vento. Pode-se observar que valores de $-3 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$ ocorrem eventualmente no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, acompanhando de queda na TSM. Desta forma é provável que mesmo Abrolhos localizando-se mais distante do foco da ressurgência tal influência seja perceptível na razão Ba/Ca.

Figura 57 – Mapa de temperatura superficial do mar (TSM) e rotacional médio de verão das tensões cisalhantes do vento na costa sudeste brasileira



Nota: (Esquerda) Temperatura superficial do mar (TSM) computados por dados coletados pelo sensor Advanced Very High Resolution Radiometer no dia 20 de fevereiro de 2013. (Direita) Rotacional médio de verão das tensões cisalhantes do vento na costa sudeste brasileira (10^{-7} N m^{-3}).

Fonte: (Direita) (NCEP). Agrupamento modificado de CALIL (2009).

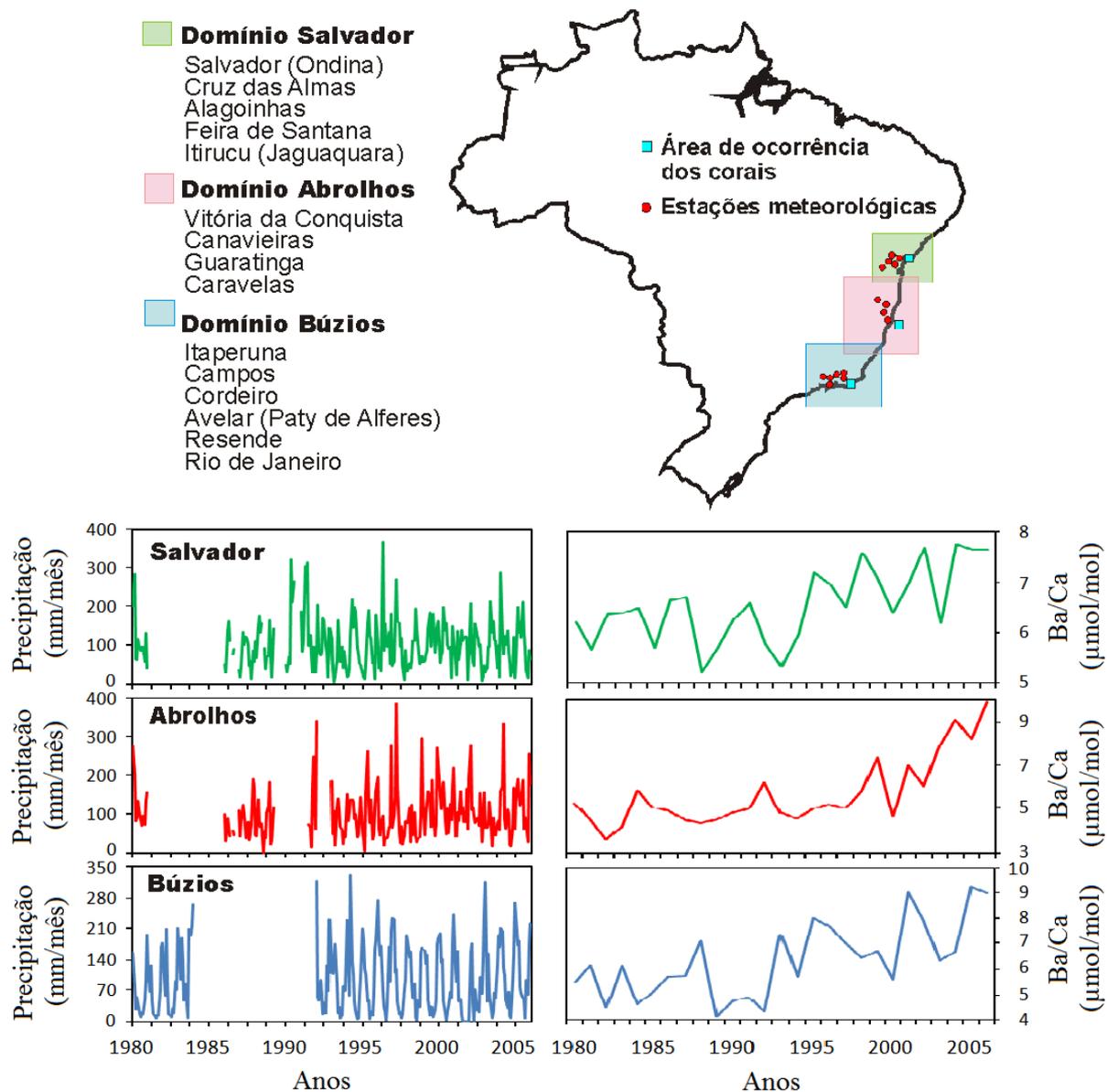
-Razão Ba/Ca e precipitação

Uma das vias de incorporação do bário pelos corais é através do *runoff* continental. Estudos têm demonstrado que a precipitação atinge as comunidades de corais via processo de *runoff*, o que leva a um aumento da sedimentação de micropartículas minerais e excesso de

nutrientes (COSTA Jr *et al.*, 2006; MOSES & SWART, 2006). Esse escoamento também pode ir em direção aos rios e daí ao oceano. (BRAUN & EREZ, 2004; CONSTANTZ, 1986). Na colônia coralina, os pólipos funcionam essencialmente como “mobilizadores de nutrientes” de cada unidade da colônia coralina. Alimentos ricos em bário poderiam aumentar significativamente a razão Ba/Ca no exoesqueleto. É também possível que a composição do fluido de calcificação possa ser ainda modificada por outros processos fisiológicos no coral (SINCLAIR, 2005a).

Foram feitas séries temporais de mesma base temporal entre os anos de 1980 a 2006 para as precipitações nas localidades próximas as áreas de ocorrência de corais deste estudo (figura 58). Estas séries foram tomadas como agentes de *runoff* continental e com potencial impacto sobre os corais. Esta premissa utiliza como base o reporte de associações positivas entre as razões Ba/Ca em esqueleto coralino e precipitação no continente para outros lugares do globo, como a GBC (McCULLOCH *et al.*, 2003). Em seguida calculamos os valores de *z-Score* de precipitação e esta série foi correlacionada com as razões de Ba/Ca de cada localidade. Os valores de correlação encontrados foram: $r = 0,05$ para o domínio de precipitação de Salvador x Ba/Ca_(Sal), $r = 0,06$ para o domínio de precipitação do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos x Ba/Ca_(Abr) e $r = 0,40$ para o domínio de precipitação de Armação dos Búzios x Ba/Ca_(Bz). Para os casos de Abrolhos e Salvador percebe-se claramente que nenhuma das correlações são estatisticamente significativas. Para o caso de Armação dos Búzios consideramos um teste estatístico (Student t monocaudal visto que vários estudos reportam aumento da concentração Ba/Ca com a precipitação continental) entre as 2 variáveis, tomando-se um nível de confiança de 0,05 obtendo-se valor de $t_{\text{crítico}} = 1,7396$ ($n = 18$). O valor de t para o problema foi calculado em 1,7510, ou seja, não significativo, mas bastante próximo do limiar de significância. De um modo geral, as séries de Ba/Ca apresentam comportamento diferente ao das precipitações. Se por um lado a precipitação permanece sem alterações de tendência ao longo de todo período estudado, a razão Ba/Ca apresenta a partir início de 1990 ligeira tendência de aumento gradativo até atingir um máximo em torno de 2006.

Figura 58 – Agrupamento das áreas de Domínio com as estações meteorológicas e z-Score dos dados de precipitação (mm) da área de ocorrência dos corais e série temporal da concentração da razão Ba/Ca das amostras coralinas (Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios)



Fonte: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>.

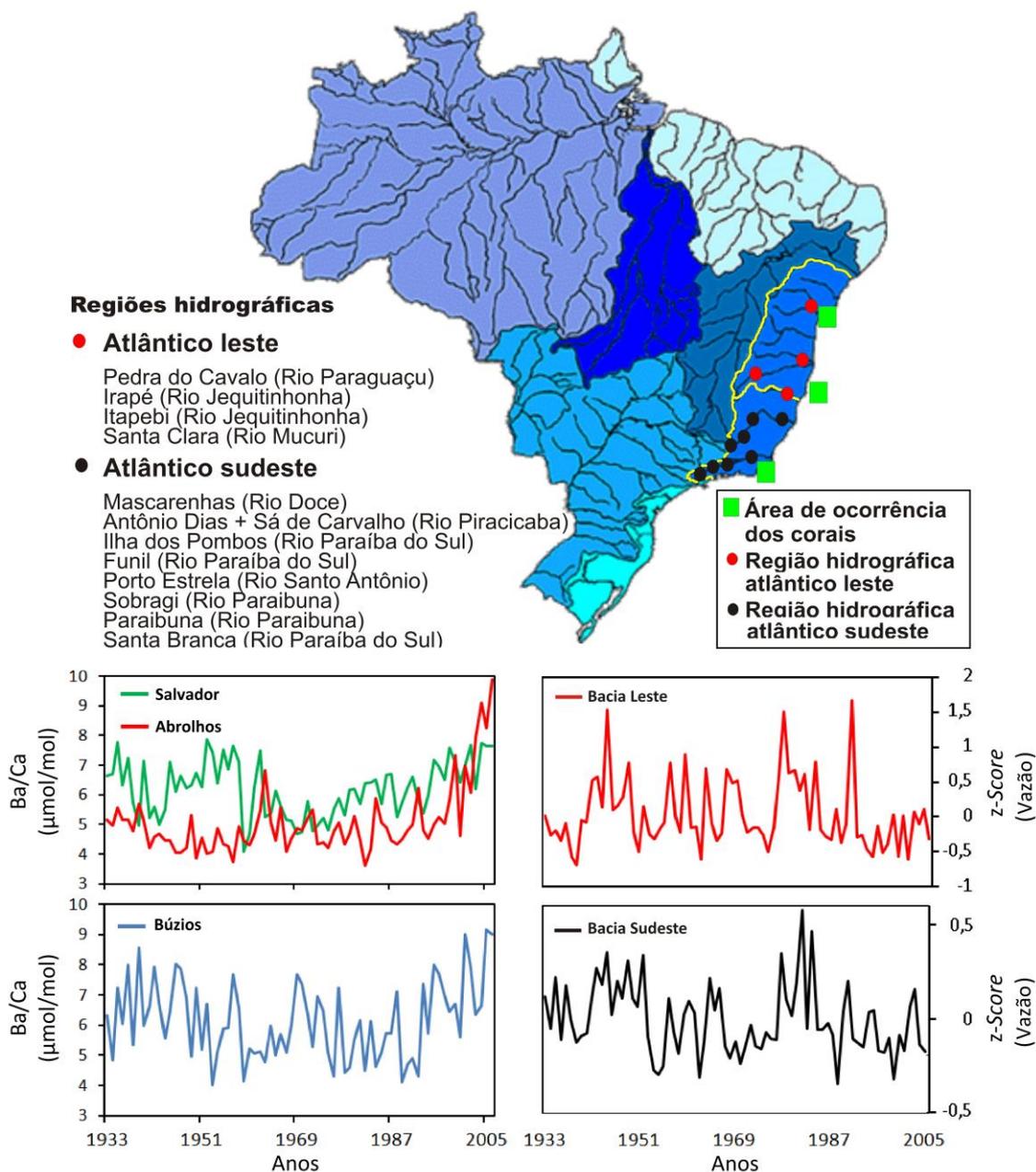
-Razão Ba/Ca e vazão de rios

De forma análoga à precipitação foi construída séries temporais de vazão dos rios entre 1933 e 2006, referentes às Bacias Hidrográficas diretamente associadas às áreas de ocorrência de corais, no intuito de comparar/correlacionar com as séries temporais da razão Ba/Ca dos testemunhos coralinos de Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e

Armação dos Búzios (figura 59). Para a costa do SE e parte do NE brasileiro, uma grande bacia hidrográfica se estende desde o Estado de Sergipe ao Paraná (Bacia Hidrográfica do Leste). A mesma é subdividida em Bacia Hidrográfica do Leste e Bacia Hidrográfica do Sudeste. Neste caso, as áreas de corais de Salvador e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos pertencem a Bacia Hidrográfica do Leste e Armação dos Búzios a Bacia Hidrográfica do Sudeste. Desta forma, foram tomados os dados disponíveis dos principais rios destas 2 Bacias e seus valores *z-Score* correlacionados com as razões Ba/Ca. Os valores de correlação encontrados foram: $r = 0,07$ para *z-Score* Bacia do Leste x Ba/Ca_(Sal), $r = 0,07$ para *z-Score* Bacia do Leste x Ba/Ca_(Abr) e $r = 0,20$ para *z-Score* Bacia do Sudeste x Ba/Ca_(Bz). As curvas dos dados de vazão mostraram um padrão relativamente semelhante a precipitação, observado no ponto de vista da tendência. Entretanto, nenhuma correlação estatisticamente significativa foi encontrada entre as 2 variáveis (Ba/Ca e vazão).

Para o caso específico de Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Búzios, a possibilidade de que as anomalias da razão Ba/Ca sejam causadas por grandes variações no conteúdo de bário na água costeira decorrentes de processos de *runoff* parece improvável. EVANGELISTA *et al.* (2007) demonstraram que as plumas de sedimentos naquelas localidades são provenientes de forçantes oceânicas e não continentais visto que são maiores durante o inverno austral (junho e julho), ao passo que o *runoff* continental atinge seu mínimo no mesmo período (NIMER, 1989). Este trabalho também demonstra que a turbidez na coluna d'água e a quantidade de sólidos sedimentáveis no inverno são modulados pela frequência de frentes frias (BEU & AMBRIZZI, 2006; EVANGELISTA *et al.*, 2007). Esta constatação foi baseada em estudos com armadilhas de sedimentos instalados no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e por dados de sensores em satélite (SEAWIFS) para o indicativo de turbidez da água K₄₉₀ (SEGAL-RAMOS, 2003).

Figura 59 – Regiões hidrográficas da Bacia do Atlântico Leste, a do Atlântico Sudeste, e as áreas de ocorrência dos corais com a série temporal da concentração da razão Ba/Ca coralino e as z-Score dos dados dos rios das bacias



Nota: Regiões hidrográficas da Bacia do Atlântico Leste (pontos e linha vermelha), a do Atlântico Sudeste (pontos e linha preta), ambas as vazões medidas na escala de m³/s. E as áreas de ocorrência dos corais com o z-Score da razão Ba/Ca coralino e as anomalias dos rios das bacias.

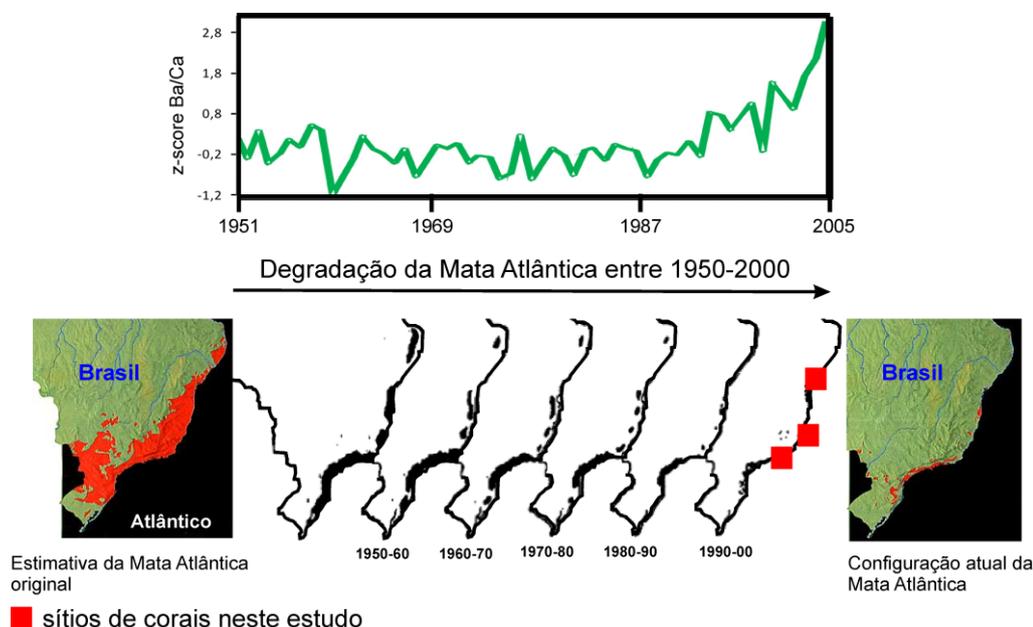
Fonte: http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx, <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoLeste.aspx> e <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx>.

-Razão Ba/Ca e índice de vegetação (NDVI)

Os dados de precipitação e vazão de rios por si só não representam, unicamente, o impacto do *runoff*. Da mesma forma, a ausência de correlação não indica necessariamente a inexistência do impacto por *runoff*. Isto decorre do fato que um segundo agente é fundamental para a caracterização do *runoff*: o uso do solo. Assim, mesmo sob um regime de pluviosidade constante, o *runoff* pode ser aumentado se desmatamentos ou outros tipos de uso do solo estiver presente. Como não dispomos de um modelo de erosão para cada sítio, utilizamos as séries temporais das imagens NDVI como indicadores de ação terrígena sobre a área costeira.

A partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e SOS Mata Atlântica sobre o desmatamento da vegetação nativa da costa brasileira entre 1940 a 2000, pode-se observar importante declínio neste período (Figura 60). Das estimativas da Mata Atlântica nativa restam entre 11,4 a 16% da cobertura vegetal (RIBEIRO *et al.*, 2009), sendo que, destes, menos de 8% são fragmentos com mais 100 hectares (INPE & SOS MATA ATLÂNTICA, 2008) e de 1,8 milhão km², restaram 149,7 mil km².

Figura 60 – Diagrama do desmatamento da Mata Atlântica e o z-Score da razão Ba/Ca das amostras corálicas



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e SOS Mata Atlântica.

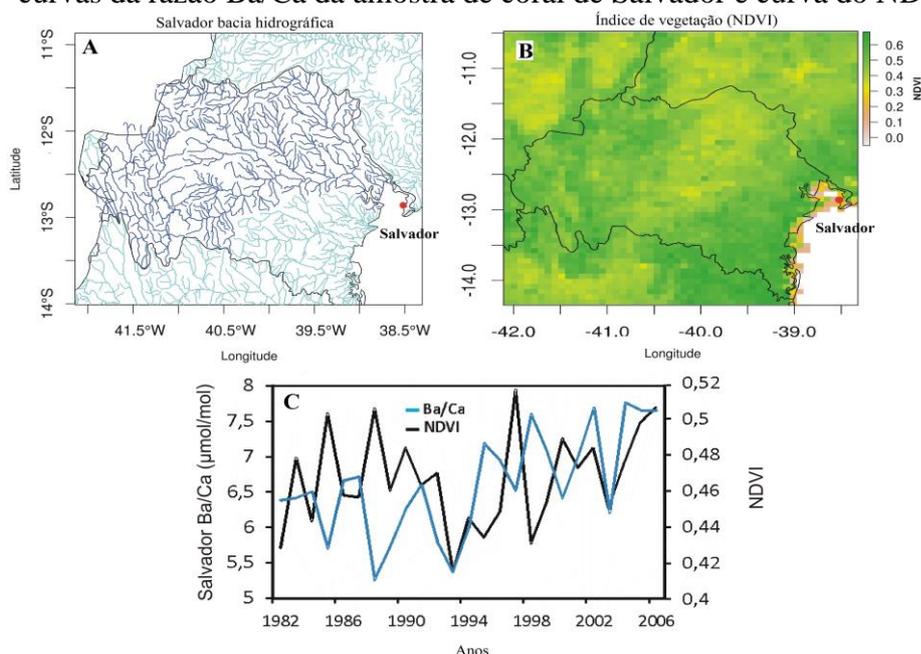
Para este trabalho, foram definidas, com auxílio das malhas hidrográficas da Agência Nacional de Águas - ANA de 2010, uma 'máscara' das bacias hidrográficas relevantes no

transporte de sedimentos para a zona costeira sobreposta ao mapa da região que potencialmente poderiam influenciar as áreas de ocorrência de corais para Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios. As Figuras 61, 62 e 63 mostram as Bacias Hidrográficas e os dados de NDVI, produzidos pelo GIMMPS com base nos dados observados pelo sensor AVHRR entre 1992 e 2006, e as curvas da razão Ba/Ca.

Os corais coletados perto das regiões de influência das bacias hidrográficas na Austrália têm similaridade da razão Ba/Ca com os eventos de descarga dos rios, e estão em fase com picos de luminescência (SINCLAIR 1999; ALIBERT *et al.*, 2003; McCULLOCH *et al.*, 2003; SINCLAIR & McCULLOCH 2004; SINCLAIR 2005a). A parte superior da bacia Tully é predominantemente floresta tropical úmida com apenas 10% de área desmatada para agricultura e pastagem (HAYNES *et al.*, 2001). Com o pasto ocupando 95% das terras de captação, o aumento da razão Ba/Ca coralino coincidiu com o aumento da população bovina (McCULLOCH *et al.*, 2003).

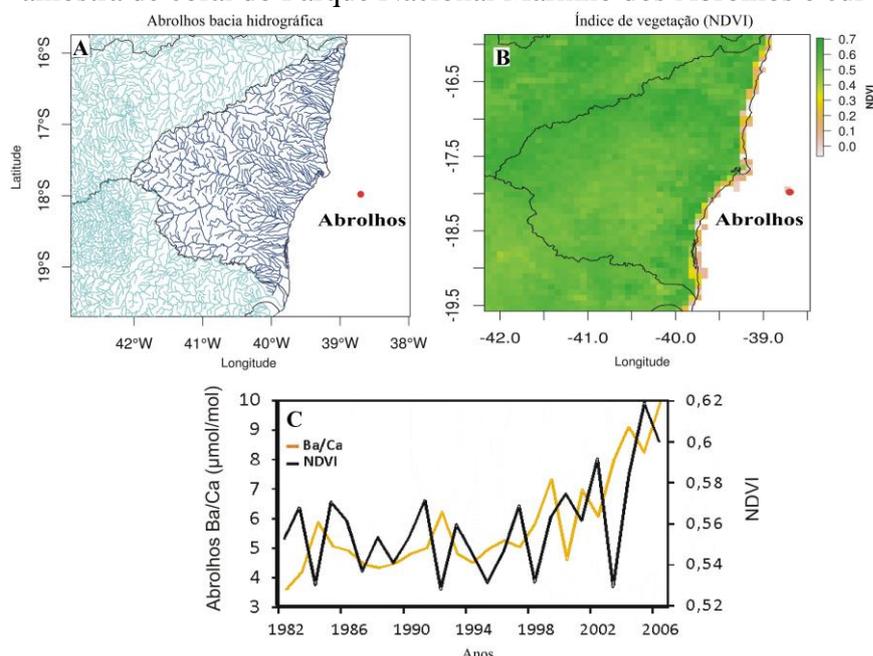
Estudos têm documentado aumento do escoamento superficial seguido da supressão de vegetação natural, particularmente florestas, devido à redução da evapotranspiração e infiltração (DOUGLAS, 1967; LIKENS *et al.*, 1970; PIMENTEL *et al.*, 1993; PIMENTEL *et al.*, 1995; SAHIN & HALL, 1996; COSTA *et al.*, 2003).

Figura 61 – Região da malha hidrográfica de Salvador com NDVI da região de influência e curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral de Salvador e curva do NDVI



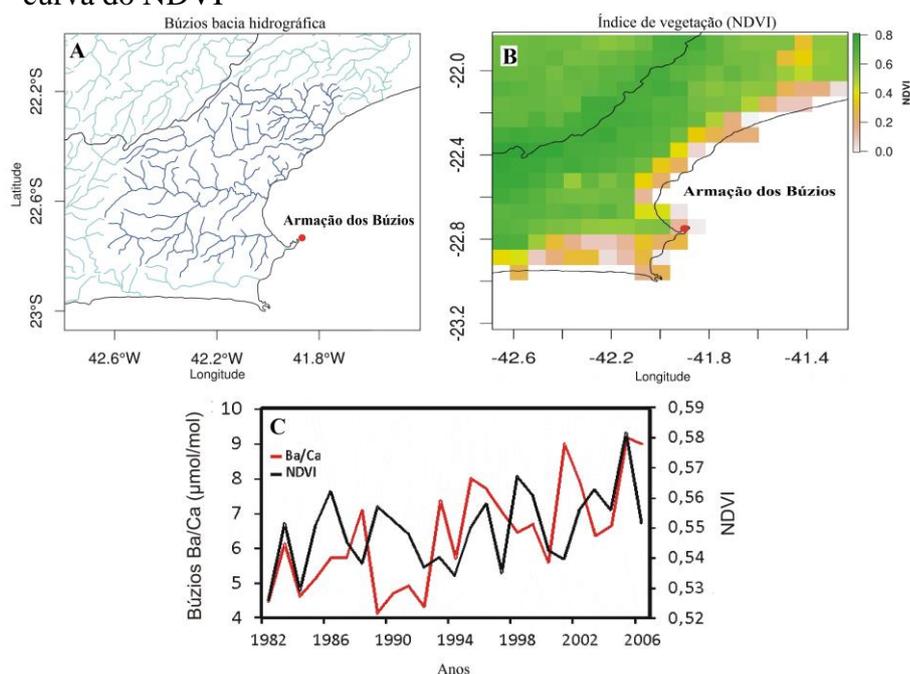
Legenda: (A) Malha hidrográfica de Salvador; (B) NDVI de 1982 a 2006 da região de influência e (C) curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral de Salvador e curva do NDVI. Série temporal de 1982 a 2006.

Figura 62 – Região da malha hidrográfica proximal ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos com NDVI da região de influência e curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e curva do NDVI



Legenda: (A) Malha hidrográfica do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; (B) NDVI de 1982 a 2006 da região de influência e (C) curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e curva do NDVI. Série temporal de 1982 a 2006.

Figura 63 – Região da malha hidrográfica de Armação dos Búzios com NDVI da região de influência e curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral de Armação dos Búzios e curva do NDVI

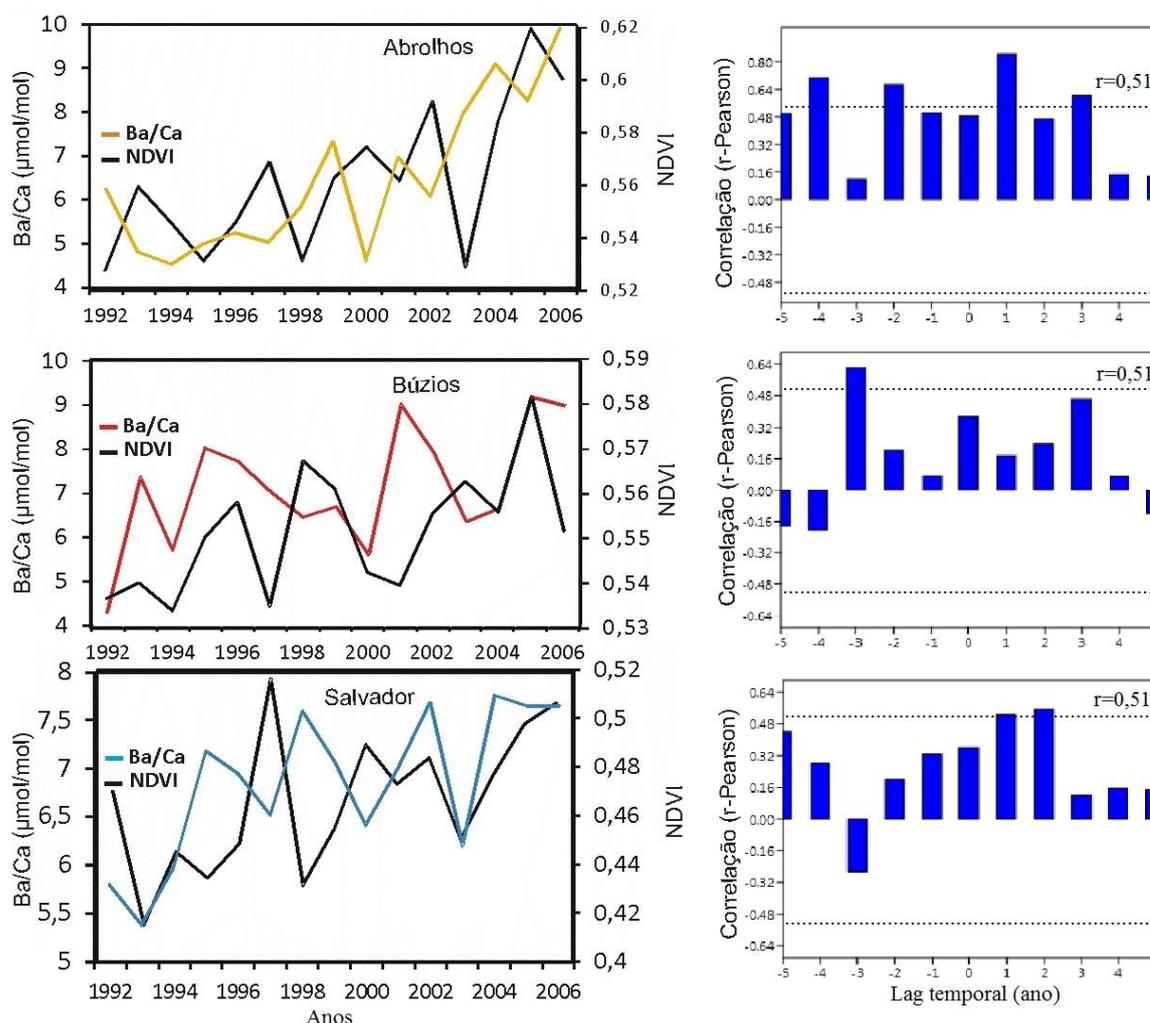


Legenda: (A) Malha hidrográfica de Armação dos Búzios; (B) NDVI de 1982 a 2006 da região de influência e (C) curvas da razão Ba/Ca da amostra de coral de Armação dos Búzios e curva do NDVI. Série temporal de 1982 a 2006.

A construção de represas e açúdes tende a aumentar o armazenamento de sedimentos e diminuir os rendimentos para a região próxima a costa (WALLING, 2000). No mundo, mais de 40% das vazões dos rios são interrompidos por represamentos, causando retenção global de sedimento em reservatórios que excedem 50% do fluxo de captações para o mar (VOROSMARTY *et al.*, 2003). O aumento contínuo do Ba/Ca pode ser explicado pela erosão das áreas ribeirinhas desmatadas e compensadas pela construção de represas e açúdes. Mesmo assim, é difícil de demonstrar uma relação direta entre a perda de vegetação e *proxies* de entrega de sedimentos durante este período estudado.

Foram usadas as informações de NDVI entre os anos de 1992 a 2006 para gerar séries temporais e estas correlacionadas com os dados geoquímicos das razões Ba/Ca para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (série amarela), Armação dos Búzios (série vermelha) e Salvador (série azul). As séries de NDVI (série preta) para as três áreas estudadas, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, Armação dos Búzios e Salvador apresentaram valores médios na ordem de $0,56 \pm 0,03$, $0,55 \pm 0,01$ e $0,47 \pm 0,03$, respectivamente. Considerando-se um intervalo de confiança de 95%, o valor mínimo para significância de r-Pearson para a razão Ba/Ca e NDVI é $r = 0,51$. Uma análise de regressão entre a *z-Score* do NDVI com Ba/Ca mostrou coeficiente de $r = 0,68$ ($n = 15$). Para Salvador a correlação encontrada foi de $r = 0,36$ com lag temporal de 2 anos, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos $r = 0,49$ com lag temporal de 1 ano e Armação dos Búzios $r = 0,37$ com lag temporal de 3 anos e (figura 64). Considerando-se a incerteza na datação do coral de no máximo 3 anos, todas as correlações são significativas com o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos tendo alta representatividade nesta associação.

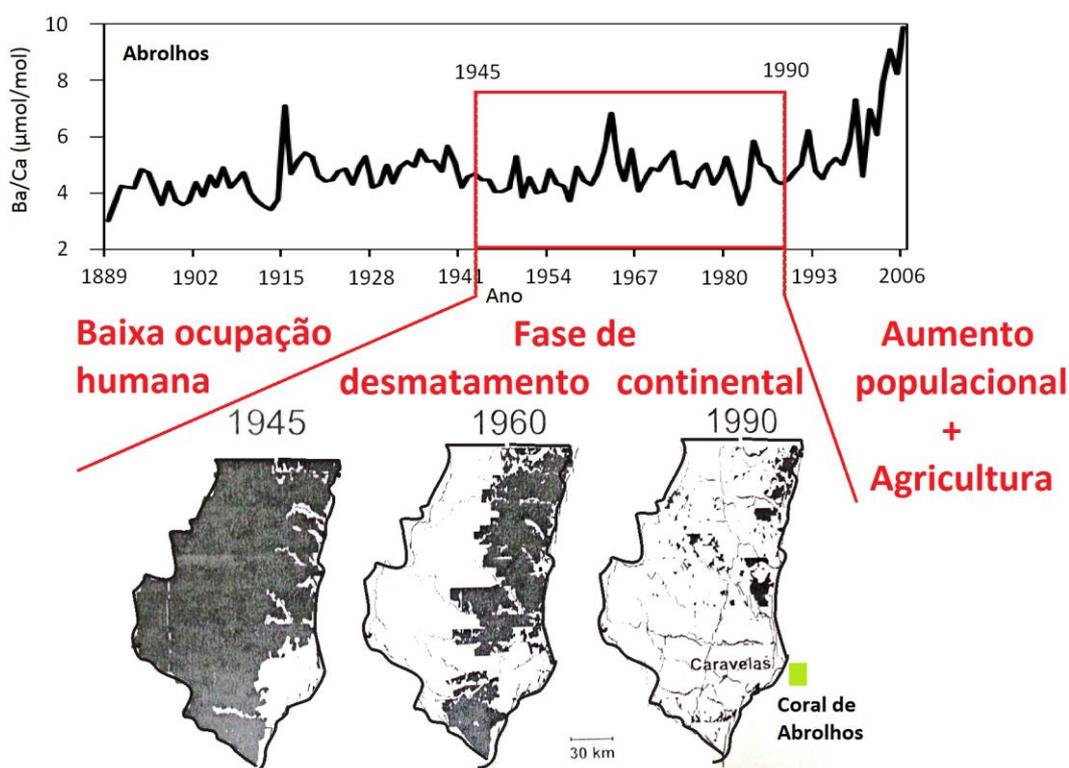
Figura 64 – Comparação das curvas da razão Ba/Ca com o NDVI e o lag temporal com o grau de significância para as três localidades amostras



Nas comparações das séries temporais da figura 64, tanto o NDVI quanto a razão Ba/Ca são crescentes desde 1992 a 2006. Este resultado, aparentemente, indicaria uma contradição visto que ele sugere que um maior índice de vegetação (maior NDVI) acarreta em maiores razões Ba/Ca no registro coralino. A explicação que encontramos a esta questão deriva do fato de que apesar das regiões terem sido submetidas à contínua degradação durante o século XX, nas últimas décadas foram alvo de desenvolvimento agrícola regional (o que tornou progressivamente maior os índices de vegetação). Neste caso, a atividade agrícola, que é responsável pelo revolvimento dos solos, pode ter favorecido a disponibilidade de material em suspensão nos rios da região, daí aumentando o aporte terrígeno para a zona costeira. Uma das práticas agrícolas, principalmente no Nordeste, consiste na queima da cana-de-açúcar antes da colheita, ARMOUR *et al.* (2009), resultando em aumento da erosão do solo e carreamento de nutrientes.

No caso específico de Abrolhos, KNOPPERS *et al.* (1999) mostraram um detalhado processamento digital do terreno, parte importante do sistema hidrológico regional, para o período 1945-1990. A figura 65 mostra que apesar do grande desmatamento na região a razão Ba/Ca pouco variou em relação a média. Isto sugere que o passo seguinte, após os anos de 1990 com a advento da agricultura tenha sido um fator mais relevante no trabalho do solo e sua exposição para a erosão.

Figura 65 – Curva de Ba/Ca comparada com o diagrama do desmatamentos no sul do Estado da Bahia



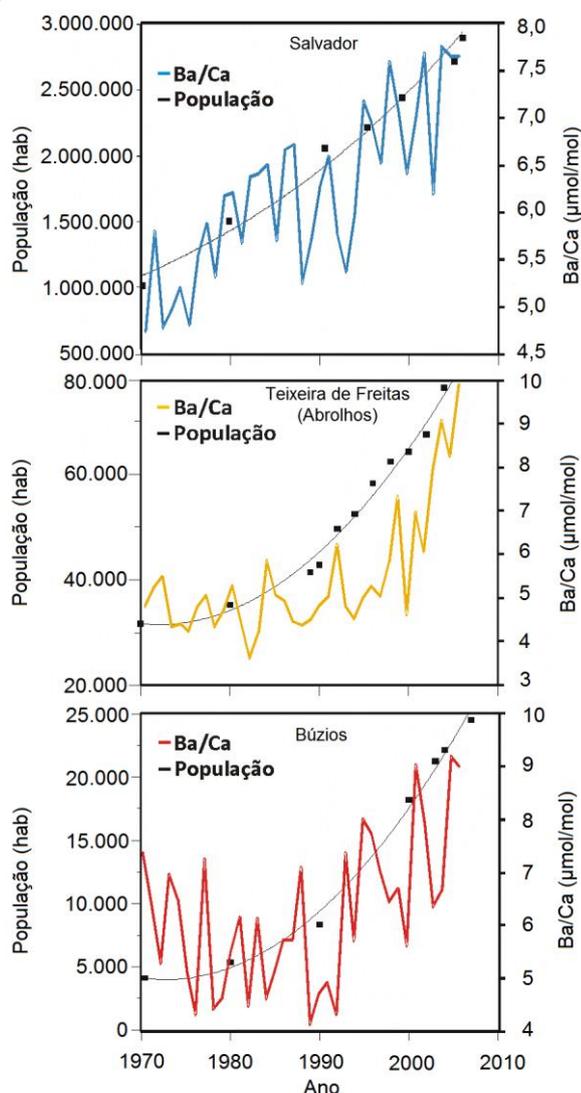
Fonte: Adaptado de KNOPPERS *et al.*, 1999.

-Razão Ba/Ca e aumento populacional humano

Os dados populacionais (hab) foram considerados neste trabalho em vista a uma possível relação direta com o uso do solo. Para isso, estas informações foram comparadas as razões Ba/Ca das três localidades (Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (Teixeira de Freitas) e Armação dos Búzios). Os bancos de dados consultados neste trabalho foram limitados ao início na década de 1970. As curvas populacionais apontaram um crescimento significativo até os últimos anos da pesquisa. Foram feitas séries temporais de mesma base temporal entre os anos de 1970 e 2006 entre os dados geoquímicos das razões

Ba/Ca ($\mu\text{mol/mol}$) e o aumento populacional humano (hab). Este período corresponde a fase de anomalia positiva da relação Ba/Ca, quando a razão aumentou em 61,1 % Salvador, 105,7 % no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e 22,0 % em Armação dos Búzios. É possível observar nos 3 casos aumento concomitante da razão geoquímica com o dados populacional. Uma análise de regressão entre a *z-Score* dos dados populacionais com Ba/Ca mostrou coeficiente de $r = 0,70$ ($n = 37$). Os coeficientes de correlação encontrados foi $r = 0,63$ para Salvador, $r = 0,79$ para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e $r = 0,59$ para Armação dos Búzios (figura 66). As correlações foram desenvolvidas com auxílio dos dados das curvas de tendência, pois os dados de evolução populacional são restritos.

Figura 66 – Curva de Ba/Ca comparada com os dados populacionais das três localidades amostradas



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - (IBGE), Censos Demográficos.

-Razão Ba/Ca e indústria do petróleo

Outro dado analisado foi a produção de petróleo *offshore* (Produção de Barris de Petróleo/dia), já que a barita é usada na extração petrolífera em plataformas *offshore*. A motivação do uso desta variável deu-se pelo fato de que os fluidos de perfuração ou lamas são materiais necessários para a perfuração de poços *offshore*. A composição destes fluidos é muito variada e complexa, tendo como substrato a barita e contendo hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, metais, argilas, polímeros artificiais, e biocidas (TREFREY *et al.*, 1981; HUDSON *et al.*, 1982; KENDALL *et al.*, 1983). Lamas de perfuração podem prejudicar os corais das seguintes maneiras: o enterro direto, o aumento da turbidez e toxicidade química (BOURDEAU *et al.*, 1989).

KENDALL *et al.* (1983) estudaram os efeitos de fluidos de perfuração no coral *Acropora cervicornis*, mantidas *in situ* em cúpulas de acrílico. A concentração da lama depois de 24 horas resultou em um decréscimo de 62% na taxa de calcificação, em comparação com os controles, além de uma modificação protéica do tecido coralino em cerca de 50% em relação aos controles. Destes parâmetros, a taxa de calcificação foi usada para ser o indicador mais sensível ao efeito da lama de perfuração. Isto indicou que os efeitos deletérios da utilização de lamas de perfuração de poços de petróleo não são simplesmente devido ao aumento da turbidez.

Uma forte mortalidade dos corais foi registrada nas Filipinas, por HUDSON *et al.* (1982), onde os efeitos da lama de perfuração sobre o coral *Montastraea annularis* foi investigada por DODGE, (1982) em laboratório, onde em mais de seis semanas de exposição contínua de *M. annularis* na concentração mais elevada de lama diminuiu significativamente a taxa de crescimento linear e aumentou a mortalidade. Um experimento de curto prazo com *M. annularis* utilizando concentrado de lama (pasta) de perfuração causou uma redução da taxa de crescimento da colônia (HUDSON & ROBBIN, 1980). Níveis de bário no esqueleto de coral aumentou de 11 mg/kg a cerca de 1200 mg/kg após o estudo. Estes dados mostram que apesar da insolubilidade do BaSO₄ (sulfato de bário) na água, foi possível uma absorção considerável deste composto tóxico a partir destas lamas de perfuração.

Em experimentos *in situ* realizados por THOMPSON & BRIGHT (1980), analisaram a resposta à lama de perfuração, que esteve associada à retração do número de pólipos. Para 100 µL/L de concentração de lama uma reação significativa com os pólipos foi observada para todos os corais, enquanto colônias de *M. annularis* não sobreviveram a esta dosagem.

THOMPSON *et al.* (1980) realizaram em corais tropicais de águas rasas, *in situ* e em laboratório, ensaios com a exposição a fluidos de perfuração de diferentes concentrações e lama carbonática normal. Descobriram que nenhuma das sete espécies estudadas de corais morreu após três dias de exposição a uma diluição da lama de perfuração de 10.000: 1. A uma diluição de 1000: 1, no entanto, morreram três espécies. A exposição à lama de perfuração e à lama carbonática normal no campo mostraram que a lama de perfuração causada mortalidade mais rápido que lama natural.

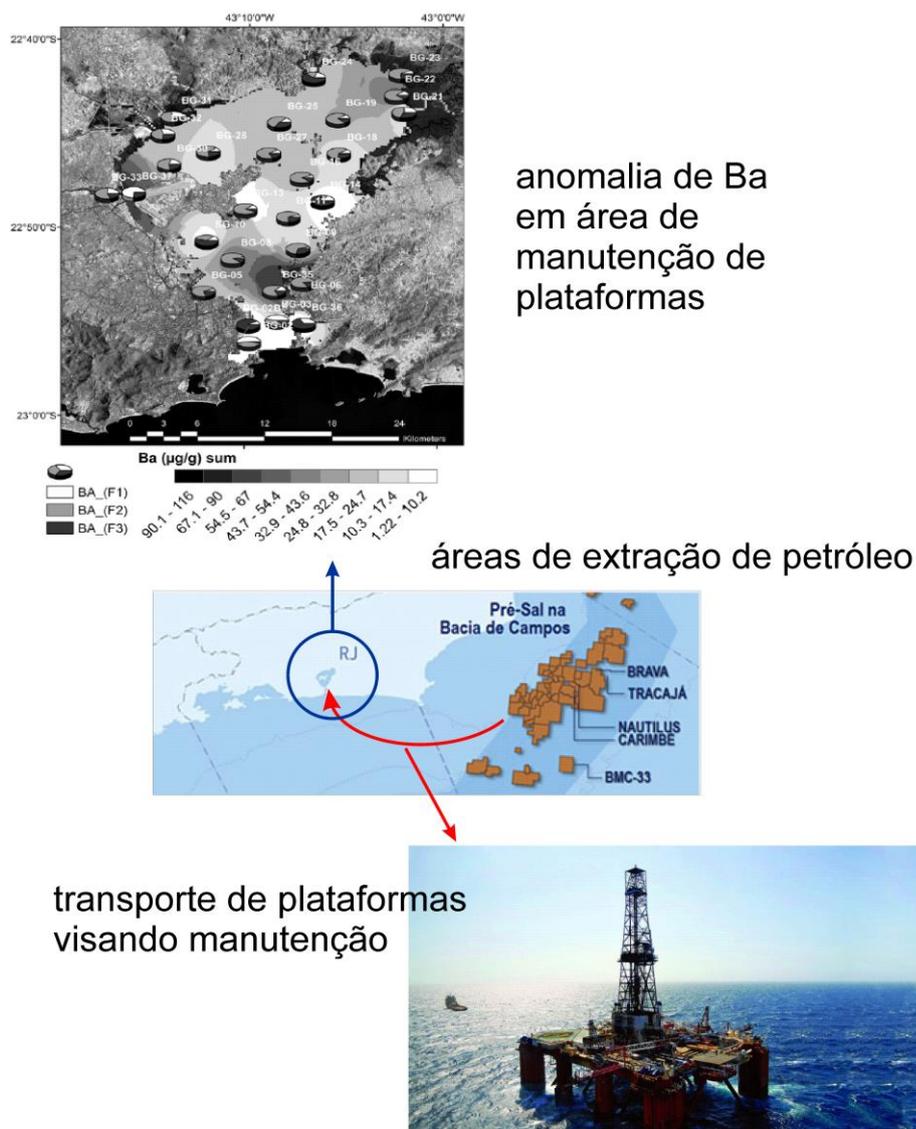
Além das regiões tropicais e subtropicais, os efeitos agudos e subletais de fluidos de perfuração para os organismos marinhos de regiões temperadas ou Árticas também foram investigados. Organismos estuarinos e comunidades bentônicas foram submetidos a teste de toxicidade por RUBINSTEIN *et al.* (1980) e demonstrou que os fluidos testados foram moderadamente tóxico para camarões e no crescimento de ostras, onde estas foram significativamente reduzidas. Os organismos marinhos larvais são mais sensíveis que os adultos, onde os efeitos em longo prazo foram observados em mexilhões pelas taxas de crescimento reduzidas (GERBER *et al.*, 1980).

A origem da granulação fina de barita em esqueletos coralinos de Salvador, Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios, mesmo estando relativamente distantes do local de perfuração é ambígua. Considerando as fortes correntes que ocorrem nas áreas de estudo, o transporte de fino grão de barita (lama de perfuração) através de longas distâncias é possível (LEPLAND *et al.*, 2000). Assim, o local de perfuração aparece como uma fonte plausível de bário visto que nos três exemplares estudados deste trabalho aumentos significativos foram observados durante a fase de maior exploração econômica do litoral brasileiro.

LEPLAND & MORTENSEN, (2007) demonstraram em seus estudos que os recifes mais afastados do local de perfuração, tais como os de distâncias de até 8 km, aparentemente estiveram salvos de quaisquer efeitos negativos da atividade de perfuração, mas se pode identificar barita em seus exoesqueletos.

Um exemplo de que a atividade petrolífera brasileira é potencialmente uma fonte de bário para o oceano pode ser constada em trabalho de CORDEIRO (2015) e colaboradores. Neste trabalho observa-se acentuada anomalia no porto da Baía de Guanabara e no estaleiro de Niterói onde são realizadas as manutenções das plataformas de petróleo (Figura 67).

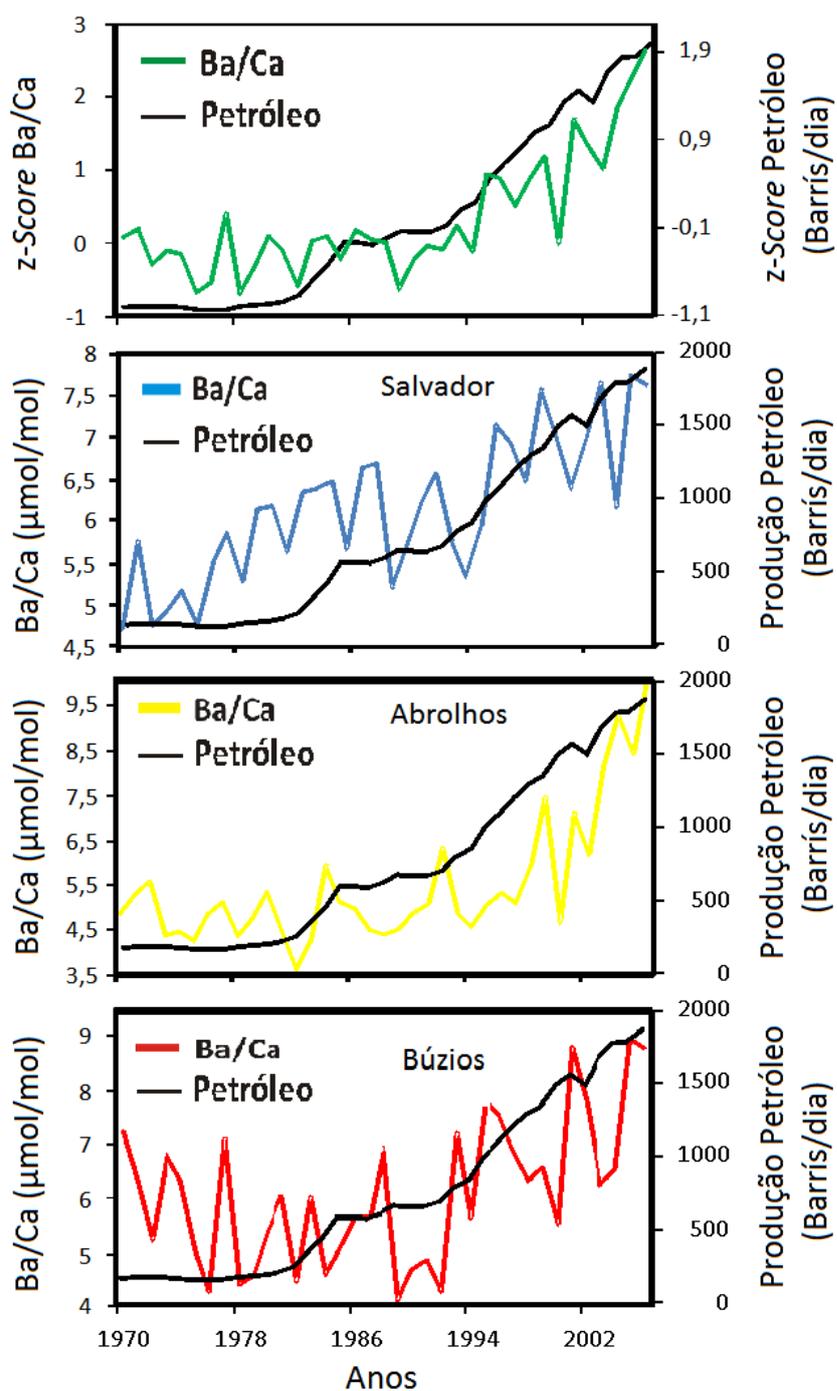
Figura 67 – Gradiente de concentração de bário em sedimento de fundo da Baía de Guanabara-RJ (CORDEIRO *et al.*, 2015) e tráfego marítimo de plataformas entre a área de exploração da Bacia de Campos e a Baía de Guanabara



Na figura 68, apresentam-se as comparações dos resultados referentes aos anos de 1970 a 2006, através de curvas comparativas dos dados de Produção de Petróleo (Barrís/dia) e Ba/Ca ($\mu\text{mol/mol}$) de todas as três regiões de interesse, como também as séries *z-Score*. A Produção de Petróleo nacional *offshore* apresentou média de $745,4 \pm 571,7$ Barrís/dia. Os resultados das médias das razões Ba/Ca de Salvador foi de $6,22 \pm 0,90 \mu\text{mol/mol}$, Armação dos Búzios $6,20 \pm 1,4 \mu\text{mol/mol}$ e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos $5,40 \pm 1,40 \mu\text{mol/mol}$. Uma análise de regressão entre as *z-Scores* de Produção de Petróleo com Ba/Ca mostrou coeficiente de $r = 0,81$ ($n = 37$). Para as demais localidades, obtivemos $r = 0,67$ para

Salvador, $r = 0,77$ para Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e $r = 0,57$ para Armação dos Búzios (figura 68).

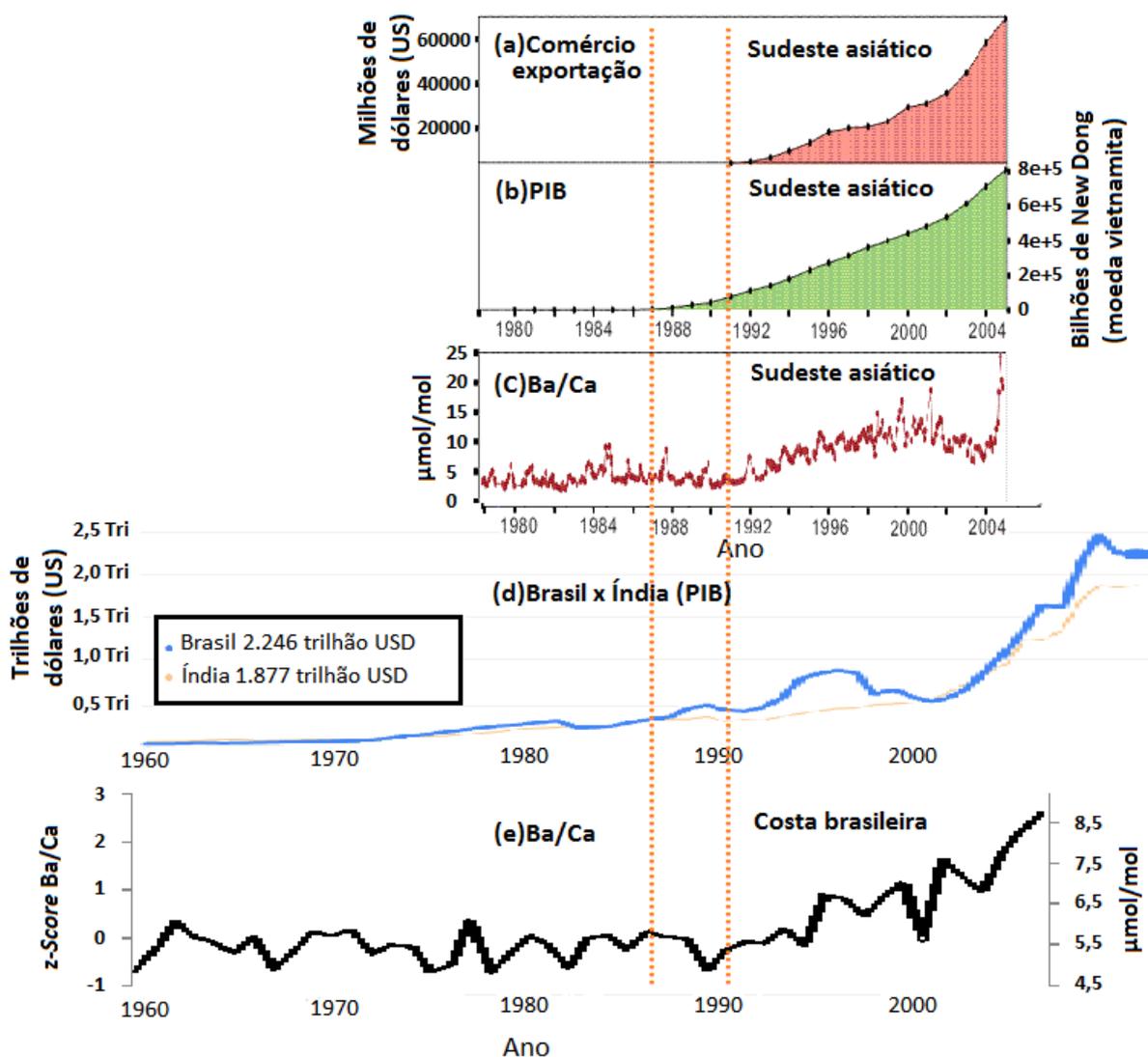
Figura 68 – Curvas das razões Ba/Ca, Produção de Petróleo e z-Score de cada localidade de interesse



As regiões de interesse estudadas através dos testemunhos de coral estão localizadas próximas a áreas de exploração petrolífera. O Parque Nacional Marinho dos Abrolhos localiza-se entre grandes bacias petrolíferas, ao norte: Recôncavo, Camamú-Almada e Jequitinhonha; e ao sul: Espírito Santo e Campos. No interior da BTS se encontra a refinaria Landulpho Alves (RLAM), primeira refinaria nacional de petróleo criada em 1950. Localizada no Recôncavo Baiano, sua operação possibilitou o desenvolvimento do primeiro complexo petroquímico planejado do país e maior complexo industrial do Hemisfério Sul, o Pólo Petroquímico de Camaçari. Hoje, a Landulpho Alves é a segunda maior refinaria brasileira em complexidade e capacidade instalada. O testemunho de Armação dos Búzios se encontra próximo a Bacia de Campos, a maior área produtora de petróleo do país. Entre as comparações coralinhas amostradas, este testemunho apresentou a “menor” significância entre as concentrações da razão Ba/Ca e produção de petróleo. Todas as amostragens apresentaram coeficientes estatisticamente significativos para nível de confiança de 5%.

O fator economia já foi observado como possível controlador de mudanças geoquímicas nos corais, ex. *Porites* do sudeste asiático (Oeste do Oceano Pacífico, Mar do Sul da China e do Oceano Índico) (Figura 69). Comparou-se a série temporal da economia regional do Vietnã (comércio de exportação **(a)**, Produto Interno Bruto **(b)**) com a razão Ba/Ca **(c)**, evidenciando uma forte correlação entre o desenvolvimento econômico doméstico com a entrada de sedimentos terrestre à zona costeira naquela região. O mesmo pode-se observar no litoral brasileiro, onde a série temporal da economia do país **(d)** apresenta uma semelhança com a *z-Score* e média da razão Ba/Ca dos corais analisados neste trabalho **(e)**. Observa-se que as razões Ba/Ca encontradas no sudeste asiático apresentam valores maiores que os da costa brasileira, entretanto, a elevação de ambas se dá no mesmo momento (linhas tracejadas laranja), apresentando um comportamento semelhante aos da curva de suas respectivas economias, sugerindo que o mercado possa estar influenciado no transporte do bário antropogênico até as regiões de ocorrência de corais. (Figura 69).

Figura 69 – Comparação das razões Ba/Ca dos corais asiáticos e brasileiros com suas economias locais em dólar americano (USD)



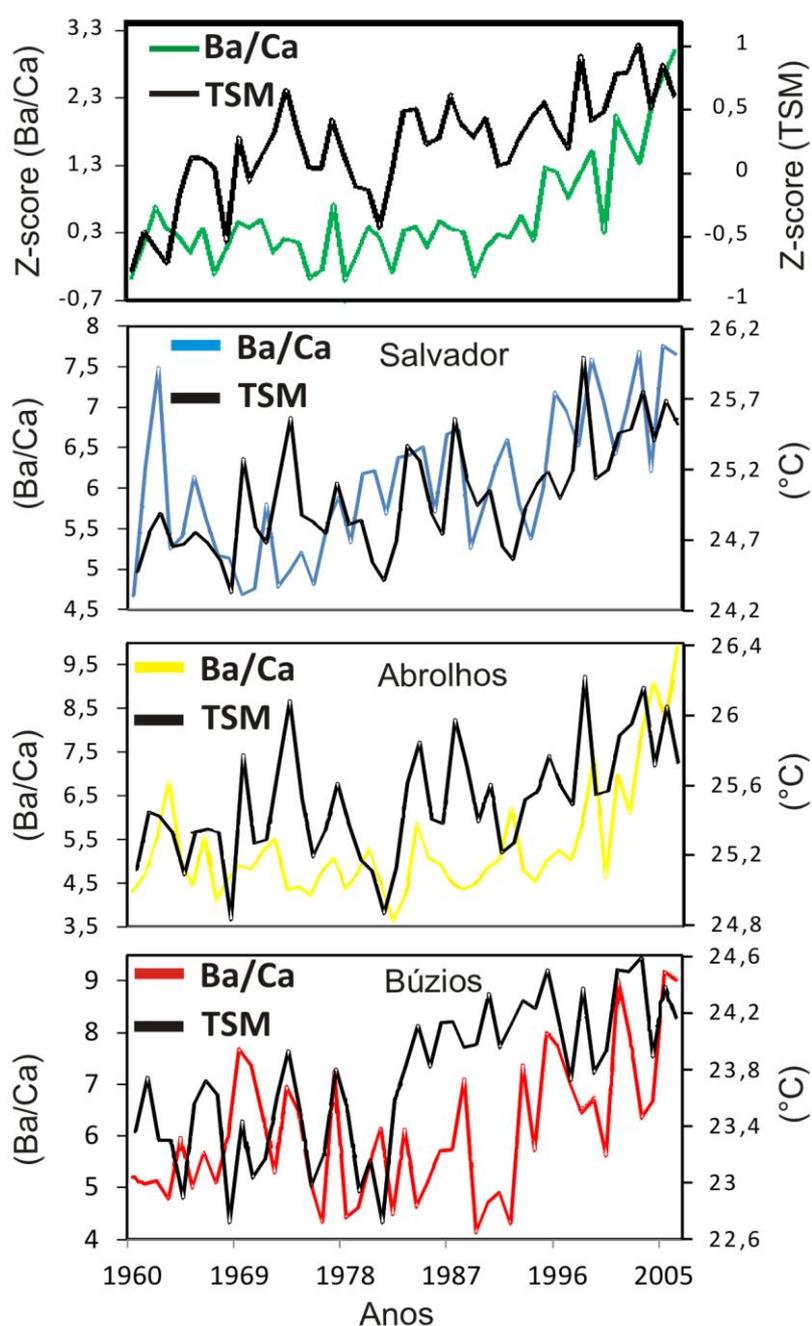
Fonte: Adaptado de <http://create.gl.ntu.edu.tw/main02-3.htm>

-Razão Ba/Ca e TSM

Na figura 70, apresentam-se as comparações dos resultados referentes aos anos de 1960 a 2006, através de curvas comparativas dos dados de TSM ($^{\circ}\text{C}$) e Ba/Ca ($\mu\text{mol/mol}$) de todas as três regiões de interesse, como também as séries *z-Score*. A amostra de Salvador-BA apresentou média de TSM de $25,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, Armação dos Búzios-RJ $23,7 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA $25,5 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Os resultados das médias das razões Ba/Ca de Salvador foi de $6,08 \pm 0,89 \mu\text{mol/mol}$, Armação dos Búzios $6,06 \pm 1,32 \mu\text{mol/mol}$ e Parque Nacional Marinho dos Abrolhos $5,32 \pm 1,32 \mu\text{mol/mol}$. Uma análise de regressão

entre os *z-Scores* de TSM com Ba/Ca mostrou coeficiente de $r = 0,76$ ($n = 47$) (figura 70). Para as demais localidades, obtivemos $r = 0,45$ para Salvador, $r = 0,42$ para Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e $r = 0,37$ para Armação dos Búzios. As curvas da razão Ba/Ca mostraram uma correlação maior com a TSM quando comparadas as séries temporais de precipitação e vazão, observadas no ponto de vista das tendências. Entretanto, nenhuma correlação estatisticamente significativa (para nível de confiança de 5%) foi encontrada entre as 2 variáveis (Ba/Ca e TSM).

Figura 70 – Curvas das razões Ba/Ca, TSM e *z-Score* de cada localidade de interesse



Nos estudos de correlação acima, foram tomados os parâmetros nos quais observamos correlações estatisticamente significativas (NDVI, aumento populacional, produção de petróleo e TSM) com a razão Ba/Ca, avaliados a partir da década de 1960. Foram identificados dois padrões de níveis de correlação : um com TSM e NDVI, em que o r variou entre 0,36 e 0,49 e outro com Aumento populacional e Produção de petróleo, de variação entre 0,57 e 0,79, este segundo mais alto; sugerindo que após os anos de 1990, a razão Ba/Ca reflete de forma inequívoca o impacto da ocupação humana e o fator econômico, além das variáveis oceânicas. Isto responde ao fato do porque o aumento da razão Ba/Ca ter sido observado em todos os sítios quase que concomitantemente (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação das curvas das razões Ba/Ca (locais) e *z-Score* (regionais) de cada área de interesse do crescimento coralino com as séries temporais das variáveis ambientais estatisticamente significativas para nível de confiança de 5%

Razão Geoq.	Avaliação Local				Avaliação Regional			
	NDVI	População	Petróleo	TSM	<i>z-Score</i>			
					NDVI	População	Petróleo	TSM
Ba/Ca Salvador	r = 0,36 (n = 15)	r = 0,63 (n = 37)	r = 0,67 (n = 37)	r = 0,45 (n = 47)	-	-	-	-
Ba/Ca Abrolhos	r = 0,49 (n = 15)	r = 0,79 (n = 37)	r = 0,77 (n = 37)	r = 0,42 (n = 47)	-	-	-	-
Ba/Ca Búzios	r = 0,37 (n = 15)	r = 0,59 (n = 37)	r = 0,57 (n = 37)	r = 0,37 (n = 47)	-	-	-	-
Ba/Ca <i>z-Score</i>	-	-	-	-	r = 0,68 (n = 15)	r = 0,70 (n = 37)	r = 0,81 (n = 37)	r = 0,76 (n = 47)

As mudanças no uso da terra e aumento populacional podem governar as tendências de longo prazo na produção de sedimentos e refletir nos *proxies* do ambiente coralino. Essas influências junto as alterações climáticas através da precipitação podem influenciar a quantidade de sedimentos transportados através de escoamento de rios até as águas costeiras, refletido na elevação Ba/Ca. Isso reforça a necessidade de incorporar a gestão do uso do solo terrestre no projeto de redes de proteção de recifes de coral.

Nenhum dos potenciais parâmetros abióticos exógenos (1) que foram examinados (TSM, vazão de rios e precipitação) para as três regiões pode ser responsáveis unicamente pelo aumento acentuado do sinal da razão Ba/Ca. Na tabela 7, a correlação do Ba/Ca com a TSM foi menor para Armação dos Búzios (zona de ocorrência de ressurgências) do que o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Salvador. A ressurgência ocorre periodicamente durante os meses de primavera e verão mais ao sul da região do Parque Nacional Marinho dos

Abrolhos (VALENTIN, 1984; VALENTIN *et al.*, 1987; RODRIGUES & LORENZZETTI, 2001). Em estudos com *Porites* de Shirigai Bay, Japão, picos de Ba/Ca coincidiram com a ressurgência, águas frias ricas em nutrientes (FALLON *et al.*, 1999). Enquanto os grandes eventos de ressurgência ocorrem durante os meses de verão ao longo da GBC, esses eventos incidem normalmente na margem ao largo dos recifes mais periféricos, e a difusão subsequente e propagação desta água em toda a plataforma continental raramente atinge áreas costeiras, dentro da isóbata de 40 m (ANDREWS & FURNAS, 1986; FURNAS & MITCHELL 1986; SINCLAIR 2005a). Portanto, a ressurgência é conhecida como um fenômeno que ocorre na região sudeste do Brasil, mas como explicado para a GBC, também pode ocorrer em regiões mais periféricas à costa. O fato de não se observar significativa correlação para Armação dos Búzios, que também está mais sujeito ao aporte de águas frias das massas d'água central do Atlântico Sul é bastante intrigante e pode estar relacionado com outras interferências não identificadas neste trabalho. Talvez um refinamento da pesquisa geoquímica com as razões Cd/Ca e V/Ca sejam mais elucidativas para o caso de Armação dos Búzios.

LEA *et al.* (1989) sugeriu que parte da variação de Ba/Ca em *Pavona clavus* da Ilha de Galápagos foi atribuída aos efeitos da temperatura sobre a sua assimilação, e Ba/Ca esteve correlacionada de forma mais significativa com registros de temperatura instrumentais no coral de água fria, *Plesiastria versipora* do sul da Austrália, do que os típicos *proxies* de temperatura Sr/Ca, B/Ca e U/Ca (BURGESS *et al.*, 2005). Na GBC, medições de Ba/Ca em *Porites* mostrou que a razão Ba/Ca não apresentou correlação com a TSM em alguns trabalhos (ex.: SINCLAIR *et al.*, 1998; SINCLAIR, 1999), resultados estes suportados por JUPITER (2006).

TUDHOPE *et al.* (1996), com estudos em corais de Omã, sugerem que o bário anômalo pode representar inclusões de barita biogênica produzida após as intensas florações que são acionadas pelas ressurgências, ricas em nutrientes, bem como a sincronia de registros de $\delta^{18}\text{O}$ coralino causado por ressurgência. Entretanto, o autor argumenta que a magnitude dos enriquecimentos seja muito grande para serem atribuídas somente a este fenômeno. SINCLAIR (2005a) também sugeriu enriquecimento local do bário dissolvido a partir de floração de *Trichodesmium* poderia explicar o *timing* anômalo de picos na primavera de Ba/Ca observados em duas amostras de *Porites*, perto de desembocaduras de rios. Para a origem biótica endógena (3) no aumento do bário, HART e colaboradores (HART & COHEN, 1996; HART *et al.*, 1997), sugerem que um processos endógenos (definição

biológica) podem induzir os picos de Ba/Ca no coral. Os processos fisiológicos têm o potencial de afetar a química do esqueleto coralino (McCONNAUGHEY, 1989; SINCLAIR, 2005b), e uma única perturbação sazonal regular do metabolismo coralino pode provocar um registro de pico de Ba/Ca. Entretanto, não há evidências nem monitoramento temporal de médio prazo no Brasil para este fenômeno.

JUPITER, (2006) observou que o enriquecimento de bário nas linhas de maior de maior luminescência parece uma hipótese razoável para regiões costeiras enriquecidas com nutrientes de fontes continentais. A análise da razão Ba/Ca está longe de ser simples. Várias ideias têm sido propostas para explicar a persistência de valores anormalmente positivos. CARROLL *et al.* (1993) sugeriram que os sedimentos terrestres enterrados próximos a costa como consequência de inundações continuam a sorver o bário, e este processo aumenta com o estresse de fortes ventos que gera a ressuspensão dos sedimentos. Da mesma forma, sedimentos depositados dentro dos mangues podem ser lentamente liberados do estuário (ALIBERT *et al.*, 2003; McCULLOCH *et al.*, 2003), especialmente em lugares como Salvador que têm grandes amplitudes de maré (até 2,8 m). GROVE *et al.* (2010) postularam que recentes aumentos na razão Ba/Ca estão associados a um aumento global na produção de sedimentos. O impacto da componente “vento” necessita de melhor investigação e será fruto de trabalhos posteriores.

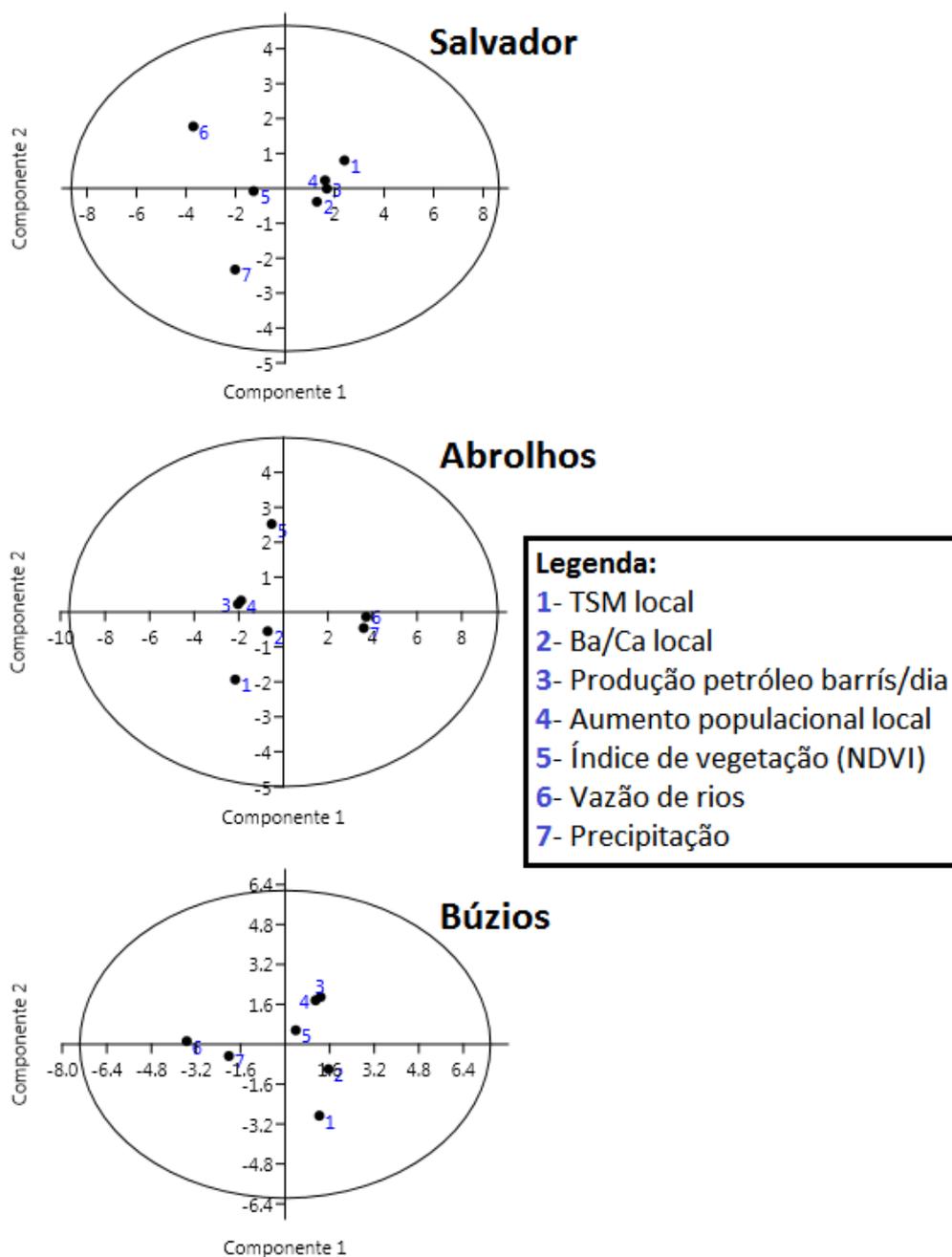
Resultados observados na GBC, por exemplo, indicou que muitos anos secos foram seguidos por anos chuvosos, e desta forma o potencial erosivo aumentou significativamente levando à perda de cobertura de solo. Consequentemente aumentando a carga de sedimentos em suspensão, resultando em sinais elevados de Ba/Ca (McCULLOCH *et al.*, 2003).

A partir das séries temporais das razões Ba/Ca dos testemunhos estudados e das variáveis acima foi desenvolvida uma Análise de Componente Principal (ACP) com a finalidade de melhor identificar o contexto das diferentes forçantes sobre a geoquímica coralina (Figura 71).

As ACPs realizadas para os três sítios evidenciaram o controle de três grandes grupos (economia, oceano e *runoff*) que guiam as concentrações de bário nas regiões de ocorrência dos corais estudados em função das variáveis analisadas. Para o testemunho de Salvador, evidenciou-se as variáveis que mais contribuíram para o aumento da razão Ba/Ca no coral, estiveram claramente associadas às forçantes de produção de petróleo e aumento populacional (economia), seguida da TSM (oceano) e por fim vazão de rios, precipitação e NDVI (*runoff*). Podemos observar que o testemunho de Salvador foi mais associado a variáveis econômicas

por estar localizado na região de BTS, onde ocorre a presença de refinarias de petróleo e a maior concentração populacional próxima a área de ocorrência de coral coletado. Para o testemunho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, as variáveis que estiveram mais claramente associadas foram as forçantes de produção de petróleo e aumento populacional (economia), seguida da TSM (oceano) e por fim vazão de rios, precipitação e NDVI (*runoff*). Observa-se que o testemunho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos foi maior associado a variáveis econômicas, por se localizar entre as maiores bacias petrolíferas. O fator oceano também é evidenciado devido a sua localização mais distante da costa e menor interferência continental, respondendo à menor evidência do fator continental ou *runoff*. Para o testemunho de Armação dos Búzios, as variáveis que estiveram mais claramente associadas foram as forçantes da TSM (oceano), produção de petróleo, aumento populacional e NDVI (economia), e por fim vazão de rios e precipitação (*runoff*). Observa-se que o testemunho Armação dos Búzios foi maior associado a variável oceânica por se localizar em uma região propícia ao fenômeno de ressurgência, que pode trazer águas enriquecidas em bário. Também se evidencia o fator economia por duas razões, área com crescimento populacional, apelo turístico e proximidade com a maior bacia petrolífera do país, Bacia de Campos.

Figura 71 – Análise de ACP para as razões Ba/Ca e os forçantes continental e marinho. O período considerado de forma que todas as variáveis tivessem a mesma escala de tempo foi entre 1992 a 2005



CONCLUSÕES

A vantagem de registros de corais em comparação com outros arquivos climáticos naturais é sua resolução sazonal clara. A desvantagem é que os registros gerados a partir de corais vivos geralmente se estendem para trás por apenas alguns séculos, com um máximo de 420 anos reportados para a reconstrução do clima da GBC (HENDY *et al.*, 2002). Uma abordagem para resolver este problema é juntar encaixes de registros fósseis de corais do último milênio (COBB *et al.*, 2003a), mas este provavelmente será possível somente em alguns raros locais. Outra abordagem é a utilização de corais de crescimento lento que têm o potencial de fornecer registros climáticos contínuos abrangendo até 1000 anos (WATANABE *et al.*, 2003). No entanto, trabalhos em curso sobre corais de crescimento lento no Oceano Atlântico, onde corais de crescimento rápido são relativamente raros, mostrou que a extração de informações climáticas pode ser complicada. Isso permite a avaliação da variabilidade natural do sistema climático sobre estes períodos com condições de contorno e de diferentes forçantes do atual, é fundamental para avaliar e melhorar os modelos climáticos (TRENBERTH & OTTO-BLIESNER, 2003).

a) Cronologia coralina;

Para a reanálise cronológica dos testemunhos estudados (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-CS1, Salvador-PA1 e Armação dos Búzios-B1), foram utilizadas três técnicas diferentes: imagens de Raio-X (Radiografia), luminescência e datação U/Th. Através das imagens radiográficas digitalizadas dos testemunhos de *Siderastrea stellata* foi possível observar quaisquer alterações nas bandas anuais de crescimento dos testemunhos, possibilitando realizar as contagens a olho nu. Toda a contagem foi refeita utilizando também as imagens de luminescência, que também auxiliaram na contagem das bandas de crescimento, já que algumas amostras, ou seções de amostras, não apresentaram com a devida clareza as estruturas de bandeamento para contagem ocular. E por fim, foram realizadas análises por meio de datação U/Th, que determinam as concentrações de composições isotópicas de urânio e tório, ferramenta cronológica absoluta robusta para organismos marinhos calcínicos ou aragoníticos.

Entre os três sítios de amostragem, o testemunho de Armação dos Búzios apresentou o padrão de bandeamento mais visível, enquanto o do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos o

menos visível. O testemunho de Salvador apresentou característica intermediária. Para Salvador (PA1) a contagem de bandas por raio-X, teve auxílio direto da imagem de luminescência. Já para o caso de Armação dos Búzios (B1), a imagem de luminescência teve função secundária dada a boa qualidade da imagem de raio-X. A amostra do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1) apresentou a maior dificuldade quanto a contagem a olho nu, visto que a imagem da luminescência apresentou praticamente inexistência de padrões de bandeamentos.

A amostra de Salvador, ou PA1, revelou um total de 72 pares de bandas, interpretado como correspondentes há 72 anos. Tendo sido o ano de coleta 2007, estimamos que o período total de crescimento da amostra iniciou-se em 1935 (figura 28). Para a do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, ou CS1, observou-se 124 pares, o que oferece uma estimativa de início da colônia no ano de 1883 (figura 29). Para a de Armação dos Búzios, ou B1, foram observados 141 pares, o que oferece uma estimativa de início da colônia no ano de 1866.

A correlação dos dados de cronologia obtidos pelas 2 técnicas (Raio-X (Radiografia) e datação U/Th). Os coeficientes de correlação r-Pearson para cada um dos três exemplares pesquisados foram iguais a $r = 0,99$, o que mostra total compatibilidade das técnicas. Observa-se que para o crescimento não há uma tendência negativa ou positiva significativa para os três exemplares. De um modo geral não há uma co-variabilidade entre as 3 amostras de forma notória. Os 3 exemplares parecem refletir a variabilidade regional de seus lugares de coleta. Destacam-se basicamente (1) uma anomalia positiva encontrada simultaneamente nos testemunhos do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Salvador em torno de 1960 e (2) negativa nas mesmas localidades em torno de 1973; (3) um forte evento de anomalia positiva em Armação dos Búzios em torno de 2002. Vale, no entanto, ressaltar, que na amostra de Abrolhos é onde se observa, mesmo que de forma bem suave, uma tendência de taxa de crescimento negativa em comparação as duas outras amostras estudadas.

b) Caracterização da calcificação dos corais;

O padrão de calcificação do testemunho CS1 (Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA) apresentou média de $2,03 \pm 0,08 \text{ g/cm}^2$ com mínimo de $2,17 \text{ g/cm}^2$ e máximo de $2,43 \text{ g/cm}^2$. Quedas pronunciadas na calcificação foram observadas entre os anos de 1920 a 1930, 1950 a 1985 e 1990 a 1995. Em Armação dos Búzios-RJ, foi encontrada média de $1,78 \pm 0,08 \text{ g/cm}^2$ na calcificação com mínima de $1,61$ e máxima de $1,85 \text{ g/cm}^2$, sendo estes

resultados médios mais elevados que os da amostra PA1. Nesta amostra também foram identificadas baixas pronunciadas em sua calcificação aproximadamente entre os anos de 1910 a 1940 e em 1955 a 1960. E para a amostra de PA1 (Salvador-BA), onde a calcificação apresentou média de $1,31 \pm 0,1 \text{ g/cm}^2$ com mínima de 1,19 e máxima $1,53 \text{ g/cm}^2$, quedas bem pronunciadas foram visíveis aproximadamente entre os anos de 1950 a 1960, 1970 a 1980 e de 1990 a 2000 (figura 33). Uma comparação entre as distribuições de calcificação dos 3 testemunhos mostra padrões distintos. Parque Nacional Marinho dos Abrolhos apresentou média de calcificação de $3,97 \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, seguido de Armação dos Búzios com $3,04 \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e Salvador com $2,26 \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. A distribuição dos dados de calcificação de Armação dos Búzios apresentou menor curtose e menor amplitude em relação as demais (Figura 46), ou seja, um padrão de calcificação relativamente mais uniforme. O fato de observarmos três padrões distintos para a mesma espécie pode refletir a ação diferenciada dos agentes ambientais regionais.

A comparação das distribuições da taxa de crescimento coralino (cm/ano) entre as amostras estudadas foram diferentemente marcadas. Salvador com a maior média de taxa de crescimento de $0,48 \pm 0,10 \text{ cm/ano}$, seguido do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, com taxa de crescimento de $0,42 \pm 0,10 \text{ cm/ano}$ e Armação dos Búzios apresentou a menor taxa de crescimento coralino com $0,25 \pm 0,04 \text{ cm/ano}$. Armação dos Búzios apresentou a distribuição dos dados com menor curtose em relação as demais (figura 40), ou seja, com menor variabilidade na taxa de crescimento. O fato de observarmos três padrões distintos para a mesma espécie pode refletir a ação diferenciada dos agentes ambientais regionais. Pode-se observar pela figura 44 que o crescimento dos corais estudados neste trabalho não apresentam uma resposta clara à TSM. A parte da figura 45(A), a linha de tendência que representa a *z-Score* do crescimento coralino não demonstrou variação em toda série temporal, diferentemente da média da TSM dos três sítios estudados que apresentou um aumento bem pronunciado durante este mesmo período, como representado por sua linha de tendência. Entretanto, os crescimentos anuais mantiveram-se relativamente constantes como é evidenciado independente do aumento da TSM. A falta de uma associação direta entre a taxa de crescimento do coral com a TSM local que observamos em todos os sítios pode indicar que (1) as temperaturas modeladas não refletem a realidade local, (2) uma maior complexidade do fator de crescimento com as parametrizações oceânicas, (3) a necessidade de uma melhor estatística para uma definição mais clara sobre o crescimento coralino em cada sítio. Em

última análise, uma melhor compreensão dos fatores que controlam as taxas de crescimento de corais é desejável.

Foram notadas variações significativas na calcificação dos corais em, Salvador, no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios dentro da cronologia estudada, (Figuras 47 e 48). As razões U/Ca e Sr/Ca acompanharam aproximadamente os padrões de variação das taxas de calcificação dos testemunhos de corais para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios.

Salvador apresentou uma relação difusa entre estes parâmetros. Por outro lado, a calcificação também varia diretamente com a TSM, de forma que nossos dados mostram um perfeito acoplamento entre a calcificação e a geoquímica dos corais para os sítios do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios (Figura 47). Para a amostra B1, Armação dos Búzios, a média foi de $8,99 \pm 0,08$ mmol/mol, onde é possível identificar um período de decréscimo acentuado da calcificação, aproximadamente entre os anos de 1915 a 1950. Para a razão Sr/Ca e U/Ca em Parque Nacional Marinho dos Abrolhos a média foi de $8,8 \pm 0,04$ mmol/mol. É possível identificar períodos onde as razões Sr/Ca e U/Ca aumentaram de forma acentuada nos anos de 1920 a 1930, entre 1955 a 1970 e no final da década de 1990 a 1995. A razão U/Ca apresentou uma curva bastante similar a do Sr/Ca. Para a amostra de Armação dos Búzios a média foi de $1,16 \pm 0,06$ μ mol/mol, para Parque Nacional Marinho dos Abrolhos a média foi de $1,09 \pm 0,04$ μ mol/mol. A amostra de Salvador foi comparada separadamente, visto a não concordância dos valores das razões Sr/Ca e U/Ca com a calcificação.

Comparando os resultados de calcificação, Sr/Ca e U/Ca para Armação dos Búzios deste trabalho com SOUTO *et al.* (2011) (foraminíferos para Cabo Frio), e considerando-se a mesma base de tempo para estes parâmetros, ou seja entre 1865 e 1960, observa-se uma variabilidade temporal inversa para o *proxy* de ressurgência, ou seja, os mínimos da razão (Gb/Gr), que estão associados à apassivação da ressurgência correspondem aos mínimos de calcificação (que no coral está associado a presença de água fria), (figura 53). Sugerimos 3 motivos para buscar uma explicação para tal resultado conflitante: (1) as resoluções temporais das análises são distintas, para o mesmo período entre 1865 e 1960, onde tem-se um total de 95 dados para calcificação, Sr/Ca e U/Ca; ao passo que para (Gb/Gr) tem-se apenas 9 dados; (2) como nenhum dos 2 testemunhos (sedimentar e coralino) estão exatamente sob o domínio geográfico mais frequente de ocorrências das ressurgências, seus registros podem ser

limitados quanto a esta variável; (3) alguns destes parâmetros não se aplicam a questão da ressurgência de Cabo Frio, e portanto seu uso como *proxy* não seria válido.

Os padrões de ciclicidade significativos encontrados para as séries de anomalia de crescimento pelas *ondeletas* e *redfit* mostram padrões distintos entre si com periodicidade em torno de 2,9 anos e 9,1 anos para Salvador (PA1) desde meados da década de 1950, 3,3 anos para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1) e 2,1 anos para Armação dos Búzios (B1) (Figura 41) (lado direito). A amostra de Salvador-PA1 apresentou uma periodicidade de aproximadamente três anos, que pode estar associada aos fenômenos ENSO, já que o Niño 3 também apresenta periodicidade em torno de três anos, sendo este sinal periódico mais intenso para as décadas de 60-80, tal como ocorre em PA1. Por outro lado não encontramos um motivo para que tal sinal não ficasse evidente nas outras amostras. Os resultados das *ondeletas* cruzadas das séries de anomalias de crescimento não mostram um padrão periódico com os índices climáticos PDO e a AMO (figura 41), exceto para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-CS1 que apresentou um sinal multidecadal. A TAV, quando observada sua periodicidade com o crescimento coralino apresentou um padrão multidecadal (11-17 anos) significativo a série, em especial com Salvador-PA1 na qual apresenta uma série periódica de ~10 anos.

A maior correlação, com o menor lag temporal, foi observada entre a taxa de calcificação do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e PDO, com variabilidades aproximadamente concomitantes ao longo de toda a série. O fato de só se observar uma resposta da calcificação ao agente climático, este de impacto global (PDO), para o testemunho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos pode estar relacionado ao fato desta região estar mais afastada do continente e de ter maior característica oceânica. Para Armação dos Búzios a defasagem temporal foi de 30 anos. Já as outras correlações apresentaram Lag temporal (ano) com diferenças de aproximadamente entre 15 e 20 anos para AMO e de 18 a 24 anos para AMO+PDO. Para Armação dos Búzios o índice climático PDO e a calcificação coralina apresentam co-variabilidade para a metade da série temporal até aproximadamente 1950. Depois deste período até aproximadamente 1980, não se observa correlação entre estes parâmetros. Após 1980 até 2006 a co-variabilidade é restaurada. Entretanto nossos dados mostram que durante as fases de PDO positiva, calcificações positivas e negativas podem ocorrer (indicando aporte de águas relativamente mais quentes ou frias), ao passo que durante a fase de PDO negativa (dominada pela ocorrência de La Niñas) as calcificações mantiveram-se abaixo da média (figura 50). A PDO em fase negativa está associada a uma maior acidez

do oceano e, portanto observamos queda na calcificação do testemunho de coral do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.

Os valores de calcificação para a espécie *Siderastrea stellata*, avaliada neste trabalho, são comparáveis a *Porites* spp. na literatura, particularmente para o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios. No entanto, não seria prudente afirmar que apenas a TSM explique a variabilidade na calcificação dos corais, pois nas séries temporais observadas neste trabalho há inversões nesta correspondência.

c) Microestrutura coralina;

A amostra do Arquepélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1) (Figura 35) apresentou Grau de Anisotropia média de $2,1 \pm 0,26$ com tendência de redução no sentido do presente. O coeficiente de correlação entre a anisotropia e o tamanho do coral (indiretamente a idade) foi de $r = 0,92$, exibindo assim uma constante uniformidade de declínio (Tabela 3). O N° de Poros Fechados apresentou tendência crescente com o tamanho/idade. Com exceção do N° de Poros Fechados e o tamanho do coral (indiretamente a idade) para a amostra CS1 com coeficiente de correlação de $r = 0,57$, para todos os outros parâmetros microestruturais as correlações foram significativas. Para a amostra de Armação dos Búzios (B1) (figura 35), o Grau de Anisotropia apresentou média de $2,19 \pm 0,15$ e coeficiente de correlação $r = 0,53$. O N° de Poros Fechados exibiu média de $136,13 \pm 66,31$ e $r = 0,35$. O ANEXO C mostra as curvas de variabilidade de todas as demais características de morfologia encontrada para as amostras neste trabalho.

A Figura 54 mostra que há claramente uma correspondência a taxa de calcificação e a porosidade do coral. Uma análise de correlação entre a anisotropia e as idades dos corais para as amostras do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (A) e Armação dos Búzios (B) mostrou significância em ambos os casos com coeficientes de correlação linear de $r = 0,93$ e $r = 0,53$ respectivamente (figura 55). Fato importante de ser verificado é que apesar do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos apresentar maior irregularidade na taxa de calcificação e porosidade, sua anisotropia cresce de forma uniforme estando fortemente correlacionada com a idade, ou seja, a anisotropia parece menos sujeita ao intemperismo ambiental, mostrando-se mais inerente a natureza do coral. Assim, nossos resultados destacam a importância do uso de μ CT como uma ferramenta para calcular as taxas de acreção e erosão nos recifes de coral.

d) Variabilidade da razão Ba/Ca nas amostras de coral;

Conclui-se que para os três sítios analisados, três grandes grupos (economia, oceano e *runoff*) guiam as concentrações de bário nas regiões de ocorrência dos corais estudados em função das variáveis analisadas. Dentro dos estudos, observamos correlações estatisticamente significativas (NDVI, Aumento populacional, produção de petróleo e TSM) com a razão Ba/Ca, avaliados a partir da década de 1960 com dois padrões de níveis de correlação : um com TSM e NDVI, variando entre 0,36 e 0,49 e outro patamar com Aumento populacional e Produção de petróleo, onde o *r* variou entre 0,57 e 0,79. Este segundo é mais alto, sugerindo que após os anos de 1990, a razão Ba/Ca reflete de forma inequívoca o impacto da ocupação humana e o fator econômico, além das variáveis oceânicas. Isto responde ao fato do aumento da razão Ba/Ca ser observado em todos os sítios quase que concomitantemente.

Em Salvador, evidenciou-se que as variáveis que mais contribuíram para o aumento da razão Ba/Ca no coral, estiveram claramente associadas às forçantes de produção de petróleo e aumento populacional (economia), seguida da TSM (oceano) e por fim vazão de rios, precipitação e NDVI (*runoff*). Para o testemunho do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, as variáveis que estiveram mais claramente associadas foram as forçantes de produção de petróleo e aumento populacional (economia), seguida da TSM (oceano) e por fim vazão de rios, precipitação e NDVI (*runoff*). Para o testemunho de Armação dos Búzios, as variáveis que estiveram mais claramente associadas foram as forçantes da TSM (oceano), produção de petróleo, aumento populacional e NDVI (economia), e por fim vazão de rios e precipitação (*runoff*).

REFERÊNCIAS

- ABRAM, N. J. et al. Coral reef death during the 1997 Indian Ocean dipole linked to Indonesian Wildfires. **Science**, v. 301, p. 952-955, 2003.
- ABRAMOVITCH-GOTTLIB, L.; KATOSHEVSKI, D.; VAGO, R. A computerized tank system for studying the effect of temperature on calcification of reef organisms. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, v.50, p. 245-252, 2002.
- ACKER, J. G. et al. Use of SeaWiFS ocean color data to estimate neritic sediment mass transport from carbonate platforms for two hurricaneforced events. **Coral Reefs**, v. 23, n.1, p. 39-47, 2004.
- AL-HORANI, F. A.; AL-MOHRABI, S. M. & DE BEER D., The mechanism of calcification and its relation to photosynthesis and respiration in the scleractinian coral *Galaxea fascicularis* **Mar. Biol.** v. 142, p. 419–426, 2003.
- ALIBERT, C. et al. Source of trace element variability in Great Barrier Reef corals affected by the Burdekin flood plumes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. v. 67, n.2, p. 231–246, 2003.
- ALIBERT, C.; MCCULLOCH, M. T. Strontium/calcium ratios in modern *Porites* corals from the Great Barrier Reef as a proxy for sea surface temperature: Calibration of the thermometer and monitoring of ENSO. **Paleoceanography**, v. 12, n. 3, p. 345-463, 1997.
- ALLEMAND, D. et al. Coral calcification, cells to reefs. In: Dubinsky, Z., Stambler, N. (Eds.), **Coral Reefs: An Ecosystem in Transition**. Springer, Netherland, pp. 119–150. 2011.
- ALVES, J. **Petróleo na Água: Problemas e Soluções**. Monografia. UNISUAM. Rio de Janeiro, 29p. 2005.
- ANDREWS, J.C. & FURNAS, M.J. Subsurface intrusions of Coral Sea water into the central Great Barrier Reef--I. Structures and shelf-scale dynamics. **Continental Shelf Research** n. 6, p. 491-514, 1986.
- ANIJAR, J. R. **Densitometria óssea na prática médica**. São Paulo: Sarvier; 2003.
- ANTHONY, K.R.N. & FABRICIUS, K.E. Shifting roles of heterotrophy and autotrophy in coral energetics under varying turbidity. **J Exp Mar Biol Ecol.** v. 252, p.221–253, 2000.
- ANTHONY, K. R. N. & LARCOMBE, P. **Coral reefs in turbid waters: sediment–induced stresses in corals and likely mechanisms of adaptation**. Proc. 9th Int. Coral Reef Symp., 1:239–244. 2000.
- ARAÚJO, I. R. et al. **Cálculo de NDVI no Suporte as Estudo de Desertificação no Município de Orocó – PE. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife: [s.n.]. p. 1-6. 2010.

ARGENTA, M. A. **Metodologia Para Simulação Computacional do Comportamento Mecânico de Estruturas Trabeculares Ósseas Específicas**. (D. Sc.). Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - PPGMNE, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2011.

ARMOUR, J. D.; HATELEY, L. R.; PITT, G. L. Catchment modelling of sediment, nitrogen and phosphorus nutrient loads with SedNet/ANNEX in the Tully-Murray basin. **Mar Freshw Res** v. 60, p. 1091-1096, 2009.

BARNES, D. J., & CHALKER, B. E. **Calcification and photosynthesis in reef-building corals and algae, in Coral Reefs, Ecosyst.** World, vol. 25, edited by Z. Dubinsky, pp. 109–131, Elsevier, Amsterdam. 1990.

BABCOCK, R. & SMITH, L. **Effects of sedimentation on coral settlement and survivorship**. In: International Coral Reef Symposium, 9. Bali, Indonesia. Proceedings. Indonesia, Indonesian Institute of Sciences, 1:245-248. 2000.

BAK, R. P. M. & MEESTERS, E. H. Coral population structure: the hidden information of colony sizefrequency distributions. **Mar. Ecol.- Prog. Ser.**, v.162, p. 301-306, 1998.

BARNES, D. J. & LOUGH, J. M. On the nature and causes of density banding in massive coral skeletons. **J Exp Mar Biol Ecol** v. 167, p. 91–108, 1993.

BARNES, D. J. & LOUGH, J. M. Coral skeletons: storage and recovery of environmental information. **Global Conservation Biology**. v. 2, n. 6, p. 569-582, 1996.

BARNES, D. J. & TAYLOR, R. B. On the nature and causes of luminescent lines and bands in coral skeletons. **Coral Reefs** v. 19, p. 221–230, 2001.

BARNES, D.J.; TAYLOR, R.B. & LOUGH, J.M. Measurement of luminescence in coral skeletons. **J Exp Mar Biol Ecol** v. 295, n. 2003, p. 91– 106, 2003.

BARTON, A. D. & CASEY, K. S. Climatological context for large-scale coral bleaching. **Coral Reefs** v. 24, n. 4, p. 536-554, 2005.

BATES, N. R.; AMAT, A. & ANDERSSON, A. J. Feedbacks and responses of coral calcification on the Bermuda reef system to seasonal changes in biological processes and ocean acidification. **Biogeosciences** v. 7, p. 2509-2530, 2010.

BECK, J. W.; RECY, J.; TAYLOR, F. W.; EDWARDS, R. L. & CABIOCH, G. Abrupt changes in early Holocene sea surface temperature derived from coral records. **Nature** v. 385, p. 705–707, 1997.

BECK, J. W. et al. C. Sea-surface temperature from coral skeletal strontium/calcium ratios. **Science**, v. 257, p. 644-647, 1992.

BELLWOOD, D. R.; HUGHES, T. P. & NYSTRÖM, M. Confronting the coral reef crisis. **Nature** v. 429, p. 827–833, 2004.

- BERGER, W.H., PÄTZOLD, J., WELFER, G. **Times of quiet, times of agitation: Sverup's conjecture and the Bermuda coral record.** *Climate Development and History of the North Atlantic Realm*: p.89-99. 2002.
- BERKELMANS, R., G. DE'ATH, S. KININMONTH, & W. SKIRVING. A comparison of the 1998 and 2002 coral bleaching events on the Great Barrier Reef; spatial correlation, patterns, and predictions. **Coral Reefs** v. 23, p.74–83, 2004.
- BESSAT, F. & BUIGUES, D. Two centuries of variation in coral growth in a massive *Porites* colony from Moorea (French Polynesia): a response of ocean-atmosphere variability from south central Pacific. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** v. 175, p. 381–392, 2001.
- BIRKELAND, C. **Life and death of coral reefs.** Chapman & Hall, New York. 1997.
- BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. 97, p. 163-172. 1969.
- BODEK, I. **Environmental inorganic chemistry: Properties, Processes and Estimation Methods.** Elmsford, NY: Pergamon Press. 1988.
- BOROWITZKA, M. A., LARKUM, A. W. D. Calcification in algae: mechanisms and the role of metabolism. **Crit. Rev. Plant Sci.** v. 6, p.1–45, 1987.
- BOURDEAU, P.; HAINES, J. A.; KLEIN, W. & KRISHNA MURTI C. R. (Eds.), *Ecotoxicology and Climate. Effects in Marine Ecosystems.* LAY J. P. AND ZSOLNAY A. p. 195–218. 1989.
- BOSSCHER, H. Computerized tomography and skeletal density of coral skeletons. **Coral Reefs** v. 12, p. 97-103, 1993.
- BOTO, K. & ISDALE, P. Fluorescent bands in massive corals result from terrestrial fulvic-acid inputs to nearshore zone. **Nature** v. 315, p. 396–397, 1985.
- BOUVIER, D. J. **Double Time Cubes: a fast surface construction algorithm for volume visualisation.** Unpublished report, University of Arkansas, 313 Engineering Hall, Fayetteville, AR 72701, USA, 2000.
- BOWEN. H. J. M. **Trace Elements 'ii Biochemistry.** Academic Press, London, Chap. 5, p 61-84. 1966.
- BOWN, B. E. & OGDEN, J. C. Coral bleaching – environmental stress can cause irreparable harm to coral reefs. **Sci. Am.** v. 268, n.1, p.64-70, 1993.
- BRADLEY, R. S. **Paleoclimatology: reconstructing climates of the quaternary.** 2nded. San Diego: Academic Press, 1999.
- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **The nature and properties of soils,** twelfth edition. New Jersey: Prentice Hall. 881 p. 1999.

- BRAUN, A. & EREZ, J. **Preliminary observations on sea water utilization during calcification in Scleractinian corals**, *Eos Transactions*. AGU Fall Meeting Supplement 85 (47), Abstract B14B-04, 2004.
- BRIES, J.M.; DEBROT, A.O.; MEYER, D.L. Damage to the leeward reefs of Curacao and Bonaire, Netherlands Antilles from a rare storm event: Hurricane Lenny, November 1999. *Coral Reefs* v. 23, n.2, 297-307, 2004.
- BROWN, B.E. et al. Experience shapes the susceptibility of a reef coral to bleaching. *Coral Reefs* v. 21, n.2, 119-126, 2002.
- BROWN, B.E. **Coral bleaching: causes and consequences**. v. 16, p. 129-138, 1997.
- BROWN, B.E.; TUDHOPE, A.W.; LE TISSIER, M.D.A. & SCOFFIN, T.P. A novel mechanism for iron incorporation into coral skeletons, *Coral Reefs* v. 10, p. 211 –215, 1991.
- BRUNO, J.F.; PETES, L.F.; HARVELL, C.D.; HETTINGER, A. Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. *Ecology Letters*. v. 6, n. 12, p. 1056-1061. 2003.
- BRUNO, J.F. et al. Thermal stress and coral cover as drivers of coral disease outbreaks. *Public Library of Science Biology* v. 5, n. 8, 1-8, 2007.
- BUDDEMEIER, R.W.; MARAGOS, J.E.; KNUTSON, D.W. Radiographic studies of reef coral exoskeletons: rates and patterns of coral growth. *J Exp Mar Biol Ecol* v. 14, p. 179-200, 1974.
- BURGESS, S.N.; McCULLOCH, M.T.; GAGAN, M.K. & WARD, T. Geochemical ecology of a high latitude coral: *Plesiastrina versipora* a new paleo-environmental archive. In: Proceedings of the Third International Symposium on Deep-Sea Corals Science and Management, Miami, FL, USA, pp. 185. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami. 2005.
- CALADO, R.; LIN, J.; RHYNE, A.L.; ARAÚJO, R.; NARCISO, L. Marine ornamental decapods: popular, pricey, and poorly studied. *Journal of Crustacean Biology*. v. 23, n. 4, p. 963-973, 2003.
- CALIL, E. L. M. **Variabilidade interanual da ressurgência de Cabo Frio – RJ**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2009.
- CONSTANTZ, B.R. Coral skeleton construction: a physiochemically dominated process, *Palaios* v.1, p. 152– 157, 1986.
- CANTIN, N. E.; COHEN, A. L.; KARNAUSKAS, K. B.; TARRANT, A .M.; McCORKLE, D.C. Ocean Warming Slows Coral growth in Central Red Sea. *Science*, v.329, p322-325. 2010.
- CAPONE, D. G. & CARPENTER, E. J. Nitrogen fixation in the marine environment. *Science*. v. 217, n. 4565, 1140-1142, 1982.

CARDINAL, D.; HAMELIN, B.; BARD, E.; PATZOLD, J. Sr/Ca, U/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ records in recent massive corals from Bermuda: relationships with sea surface temperature. **Chemical Geology**, v. 176, p. 213-233, 2001.

CARILLI, J.E.; NORRIS, R.D.; BLACK, B.A.; WALSH, S.M. & MCFIELD, M. Local Stressors Reduce Coral Resilience to Bleaching. **PLoS ONE** v. 4, n. 7, p. 6324, 2009.

CARRICART-GANIVET, J.P & MERINO, M. In J.P. Carricart-Ganivet, M. Merino Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico **Bull. Mar. Sci** v. 68, pp. 133–146. 2001.

CARRICART-GANIVET, J. P.; BELTRAN-TORRES, A. U.; MERINO, M. & RUIZ-ZARATE, M. A. Skeletal extension, density and calcification rate of the reef building coral *Montastraea annularis* (Ellis and Solander) in the Mexican Caribbean. **Bull Mar Sci** v. 66: 215-224, 2000.

CARRICART-GANIVET, J. P. Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** v. 302, p. 249–260, 2004.

CARROLL, J.; FALKNER, K.K.; BROWN, E.T. & MOORE, W.S. The role of the Ganges-Brahmaputra mixing zone in supplying barium and ^{226}Ra to the Bay of Bengal. **Geochimica et Cosmochimica Acta** v. 57, p. 2981-2990, 1993.

CASTELÃO, R. M. & BARTH, J. A., "Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress curl" **Geophys. Res. Letters**, v. 33, n. L03602, 2006.

CASTRO, C. B. **Corals of Southern Bahia**. Pages 160-176 in B. HETZEL & C. B. CASTRO. Corals of Southern Bahia. Nova Fronteira, Rio de Janeiro. 1994.

CASTRO, C. B. & PIRES, D. O. Brazilian coral reefs: what we already know and what is still missing. **Bull. mar. Sci.**, v. 69, n.2, p. 357-371. 2001.

CASTRO, C. B. & PIRES, D. O. A bleaching event on a Brazilian coral reef. **Rev. Bras. Oceanografia**. v. 47, n. 1, p. 87-90, 1999.

CASTRO, C. B.; ECHEVERRÍA, C. A.; PIRES, D. O.; MASCARENHAS, B. J. A.; FREITAS, S. G. Distribuição de Cnidaria e Echinodermata no infralitoral de costões rochosos de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n.3, 471-480, 1995.

CAUSEY, A. R., WOO, C. H., & HOLT, R. A. The effect of intergranular stresses on the texture dependence of irradiation growth in zirconium alloys. v. 159, n. 1, p. 225-236, 1988.

CAUSEY, A. R., WOO, C. H., & HOLT, R. A. **J. nucl. Mater.** 159, 225. 1988.

CAYAN, D. R *et al.*, Decadal Variability of Precipitation over Western North America. **J. Climate**, v. 11, p. 3150-3166, 1998.

CESAR, H.; LUNDIN, C. G.; BETTERNCOURT, S.; DIXON, J. Indonesian coral reefs: an economic analysis of a precious but threatened resource. **Ambio**. v. 26, n. 6, p. 345-350. 1997.

CESAR, R., BOFFA, R.S., FACHINE, L.T., LEIVAS, T.P., SILVA, A.M.H., PEREIRA, C.A.M. *et al.* Evaluation of trabecular microarchitecture of normal osteoporotic and osteopenic human vertebrae. **Procedia Eng.** v. 59, p. 6–15, 2013.

CESAR, R. **Avaliação da microarquitetura e biomecânica de ossos trabeculares normais, osteopênicos e osteoporóticos de vértebras humanas por técnicas de ensaios mecânicos, microtomografia de raios-X e homogeneização assintótica.** 2014. Tese (Doutorado) - EGSU/SP, 2014.

CHALKER, B.E. Simulating light–saturation curves for photosynthesis and calcification by reef-building corals. **Mar. Biol.** v.63, p. 135–141, 1981.

CHALKER, B. E.; BARNES, D.J.; DUNLAP, W.C. & JOKIEL, P.L. Light and reef-building corals. **Interdisc. Sci. Rev.** v.13, p. 222–237, 1988.

CHALKER, B. E. & BARNES, D. J. Gamma densitometry for the measurement of skeletal density. **Coral Reefs** v. 9, p.11-23, 1990.

CHAMBERLAIN, J. A. Jr. Mechanical properties of coral skeleton: compression strength and its adaptive significance. **Paleobiol.** v. 4, p. 419-435, 1978.

CHENG, H.; ADKINS, J.; EDWARDS, R. L. & BOYLE, E. A. U-Th dating of deep-sea corals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.64, n.14, p. 2401–2416, 2000.

CHURCH, T M. AND KENNETH W. Marine Barite Saturation. North-Holland Publishing. v.15, p. 35-44, 1972.

CIDE – Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. *Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro*. 2001. Disponível em: <http://www.cide.rj.gov.br>. Acesso em: 7 out 2013.

COBB, K. M.; CHARLES, C. D.; CHENG, H. & EDWARDS, R. L. El Niño/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. **Nature** v. 424, p. 271–276, 2003a.

COBB, K. M.; CHARLES, C. D.; CHENG, H.; KASTNER, M. & EDWARDS, R. L. U/Th-dating living and young fossil corals from the central tropical Pacific. **Earth Planet. Sci. Lett.** v. 210, p. 91–103. 2003b.

COBLENTZ, B. E. Consumption of coral reef fish suggests non-sustainable extraction. **Conservation Biology**. v, 11, n. 2, p. 559-561, 1997.

COHEN, A. L.; SMITH, S. R.; MCCARTNEY, M. S.; VAN ETTEN, J. How brain corals record climate: an integration of skeletal structure, growth and chemistry of *Diploria labyrinthiformis* from Bermuda. **Marine Ecology Progress Series**, v. 271, p. 147- 158, 2004.

- COHEN, A. L. & HOLCOMB, M. Why corals care about ocean acidification: uncovering the mechanism. **Oceanography** v, 22, p. 118–127, 2009.
- COLE, J. E., R. G. FAIRBANKS, & G. T. SHEN, Recent variability in the Southern Oscillation: Isotopic results from a Tarawa Atoll coral, **Science**, v. 260, 1790- 1793, 1993.
- COLES, S. L., JOKIEL, P. L., Synergistic effects of temperature, salinity and light on the hermatypic coral *Montipora verrucosa*. **Mar. Biol.** v. 49, p. 187– 195, 1978.
- COLOMBO, A. F. & JOLY, C. A. “Brazilian Atlantic Forest *Lato Sensu*: the Most Ancient Brazilian Forest, and a Biodiversity Hotspot, Is Highly Theatened by Climate Change”, in **Brazilian Journal of Biology** v.70, n.3, pp. 697-708, 2010.
- CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. **Science** v. 199. n.4335, p. 1302-1310,1978.
- COOK, C.B.; LOGAN, A.; WARD, J.; LOCKHURST, B.; BERG, J.R. Elevated temperatures and bleaching on a high latitude coral reef: the 1988 Bermuda event. **Coral Reefs** v. 9, n.1, p. 45-49,1990.
- COOK, C. B.; MUELLER, E. M.; FERRIER, M. D. & ANNIS, E. The influence of nearshore waters on corals of the Florida reef tract. In: Porter JW, Porter KG (eds) *The Everglades, Florida Bay, and coral reefs of the Florida Keys: An ecosystem sourcebook*. CRC Press, Boca Raton, FL, p 771-788, 2002.
- COOPER, T.F.; DE'ATH, G.; FABRICIUS, K. E. & LOUGH, J. M. Declining coral calcification in massive *Porites* in two nearshore regions of the northern Great Barrier Reef. **Global Change Biol** v. 14, p. 529-538, 2008.
- CORDEIRO, R. C.; MACHADO, W.; SANTELLI, R. E.; FIGUEIREDO, JR. A. G.; SEOANE, J. C. S.; OLIVEIRA, E. P.; FREIRE, A. S.; BIDONE, E. D.; MONTEIRO, F. F.; SILVA, F. T. & MENICONI M. F. G. Geochemical fractionation of metals and semimetals in surface sediments from tropical impacted estuary (Guanabara Bay, Brazil). **Environ Earth Sci**.
- CORRÈGE, T. Sea surface temperature and salinity reconstruction from coral geochemical tracers. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 232, n. 2-4, p. 408-428. 2006.
- COSTA Jr, O.S.; ATTRILL, M.J. & NIMMO, M. Seasonal and spatial controls on the delivery of excess nutrients to nearshore and offshore coral reefs of Brazil. **J Mar Syst** v. 60, p. 63–74, 2006.
- COSTA, M.H., BOTTA, A. & CARDILLE, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology** v. 283, p. 206-217,2003.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.; SUTTON, P.;

VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**. v. 387, p.253-260, 1997.

CRABBE, M. J. C. & CARLIN, J. P. Industrial sedimentation lowers coral growth rates in a turbid lagoon environment, Discovery Bay, Jamaica. **IJIB**, v. 1, n. 1, p.37, 2007.

CRABBE, M. J. C. Globalwarming and coral reefs: modelling the effect of temperature on *Acropora palmata* colony growth. **Computational Biology and Chemistry** v. 31, p.294–297. 2007.

CRABBE, M. J. C. & SMITH, D. J. Sediment impacts on growth rates of *Acropora* and *Porites* corals from fringing reefs of Sulawesi, Indonesia. **Coral Reefs**, v. 24, n.3 ,pp.437-441, 2005.

CRABBE, M.J.C., WALKER, E.L.L., STEPHENSON, D.B. The impact of weather and climate extremes on coral growth. In: Diaz, H., Murnane, R. (Eds.), *Climate Extremes and Society*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 165–188. 2008a.

CRABBE, M.J.C., MARTINEZ, E., GARCIA, C., CHUB, J., CASTRO, L., GUY, J. Growth modelling indicates hurricanes and severe storms are linked to low coral recruitment in the Caribbean. **Marine Environmental Research** v. 65, p.364–368, 2008b.

CREED, J. C. & AMADO FILHO, G. M. Disturbance and recovery of the macroflora of a seagrass (*Halodule wrightii* Ascherson) meadow in the Abrolhos Marine National Park, Brazil: an experimental evaluation of anchor damage. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** v. 235, p. 285-306. 1999.

CROOK, E.D.; COHEN, A.L.; REBOLLEDO-VIEYRA, M.; HERNANDEZ, L. & PAYTAN, A. Reduced calcification and lack of acclimatization by coral colonies growing in areas of persistent natural acidification. *Proc Natl Acad Sci USA* v. 110, p. 11044–11049. 2013.

CRUZ, I. C. S.; KIKUCHI, R. K.P. & LEÃO, Z.M.A.N. Characterization of Coral Reefs from Todos os Santos Bay Protected Area for Management Purpose, Bahia, Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 9, n. 3, p. 3-23, 2009.

CRUZ-PINON, G.; CARRICART-GANIVERT, J. P. & ESPINOZA-AVALOS, J. Monthly skeletal extension rates of the hermatypic corals *Montastrea annularis* and *Montastrea faveolata*: biological and environmental controls. **Mar Biol** v. 143, p. 491–500, 2003.

CUTLER, K. B.; EDWARDS, R. L.; TAYLOR, F. W.; CHEN, H.; ADKINS, J.; GALLUP, C. D.; CUTLER, P. M.; BURR, G. S. & BLOOM, A. L. Rapid sea-level fall and deep-ocean temperature change since the last interglacial period. **Earth Planet. Sci. Lett.** v. 206, p. 253–271, 2003.

DANTAS, H. G. R. & BOHRER, C. B. A. Mapeamento ecológico da paisagem de Búzios (RJ), Brasil. **I Reunión Binacional de Ecología Chileno-Argentino**, Bariloche, 90p. 2001.

DARWIN, C. **The structure and distribution of coral reefs**. (1st Edition: Reprint). Berkeley and Los Angeles: University of California Press. 1962.

DAVID, C.P. Heavy metal concentrations in growth bands of corals: a Record of mine tailings input through time (Marinduque Island, Philippines). **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, p. 187-196, 2003.

DE'ATH, G.; LOUGH, J. M.; FABRICIUS, K. E. Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. **Science**, v.323, p116-119. 2009.

DEUSER W., ROSS E. H., & ANDERSON R. F. Seasonality in the supply of sediment to the deep Sargasso Sea and implications for the rapid transfer of matter to the deep ocean. **Deep-Sea Res.** v. 28, p. 495–505, 1981.

DEVANTIER, L.M. & PILCHER, N. *The status of coral reefs in Saudi Arabia 2000*, pp 45. Disponível em: <http://www.denix.osd.mil>. 2000. Acesso em: 7 out 2013.

DEVILLIERS, S.; NELSON, B. K.; CHIVAS, A. R. Biological controls on coral Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ reconstructions of sea surface temperatures. **Science**, v. 269, p. 1247- 1249, 1995.

DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments, 2nd edition. SSSA Book Series 1. Madison, Soil Science Society of America. 1244 pages. 1989.

DODGE, R.E. & GILBERT, T.R. Chronology of lead pollution contained in banded coral skeletons. **Marine Biology**. v. 82, n.1, p. 9-13, 1984.

DODGE, R.E. & BRASS, G.W. Skeletal extension, density, and calcification of the reef coral, *Montastrea annularis*: St. Croix, U.S. Virgin Islands. **Bul Mar Sci** v. 34, p. 288-307, 1984.

DODGE, R. E. Effects of drilling mud on the reef-building coral *Montastraea annularis*. **Mar. Biol.**, v. 71, p. 141- 47, 1982.

DODGE, R. E. & VAISNYS, J. R. Coral populations and growth patterns: responses to sedimentation and turbidity associated with dredging. **J. mar. Res.**, v. 35, n. 4, p. 715-730, 1977.

DOIG, A. T. Baritosis: a benign pneumoconiosis. *Thorax*, v. 31, n.1, p. 30-39, 1976.

DONE, T.J. & JONES, R. Tropical coastal ecosystems and climate change prediction: global and local risks. In: *Coral reefs and climate change: science and management*, pp. 5-32. **Coastal and Estuarine Studies** (61). American Geophysical Union. 2006.

DONE, T.J. Coral community adaptability to environmental change at the scales of regions, reefs and reef zones. **American Zoologist** v. 39, p. 66-79, 1999.

DONNER, S.D.; SKIRVING, W.J.; LITTLE, C.M.; OPPENHEIMER, M.; HOEGH-GULDBERG, O. Global assessment of coral bleaching and required rates of adaptation under climate change. **Global Change Biology** v. 11, p. 2251-2265, 2005.

DONNER, S.D.; KNUTSON, T.R.; OPPENHEIMER, M. **Proc Natl Acad Sci USA** v. 4, p. 5483–5488, 2007.

DOTTA, G. & VERDADE, L. M. “Trophic Categories in a Mammal Assemblage: Diversity in an Agricultural Landscape”, in *Biota Neotropica* 7(2). 2007. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n2/en/fullpaper?bn01207022007+en>. Acesso em: 15 dez. 2010.

DOUGLAS, I. Man, vegetation and the sediment yields of rivers. **Nature** v. 215, p. 925-928, 1967.

DRASCHBA, S.; PATZOLD, J.; WEFER, G. North Atlantic climate variability since AD 1350 recorded in $\delta^{18}\text{O}$ and skeletal density of Bermuda corals. **Int J Earth Sci** v. 88, p.733–741, 2000.

DULVY, N.K.; STANWELL-SMITH, D.; DARWALL, W.R.T.; HERRILL, C.J. Coral mining at Mafia Island, Tanzania: a management dilemma. **Ambio**. v. 24, n.6, p. 358-365. 1995.

DUNK, R. M.; MILLS, R. A.; JENKINS, W. J. A reevaluation of the oceanic uranium budget for the Holocene. **Chemical Geology**, v. 190, p. 45-67, 2002.

DUTRA, L.X.C. O branqueamento de corais hermatípicos no Litoral Norte da Bahia associado ao evento El-Niño/98. Monografia de Bacharelado, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Salvador, Bahia. 2000.

ECHEVERRÍA, C. A; PIRES, D. O.; MEDEIROS, M. S.; CASTRO, C.B. Cnidarians of the Atol das Rocas, Brazil. Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium. Panamá. v. 1, pp443-446, 1997.

EDINGER, E. N.; LIMMON, G. V.; JOMPA, J.; WIDJATMOKO, W.; KEIKOOP, J. M. & RISK, M. J. Normal coral growth rates on dying reefs: Are coral growth rates good indicators of reef health?, **Mar. Pollut. Bull.**, v. 40, p. 404–425.

EDINGER, E. N. & RISK, M.J. Sponge borehole size as a relative measure of bioerosion and paleoproductivity. *Lethaia*, v. 29, p. 275–286, 1996.

EDMUNDS, P.J. Long-term dynamics of coral reefs in St. John, US Virgin Islands. **Coral Reefs**/ v, 21, n.4, p. 357-367, 2002.

EDWARDS, R. L.; CHEN, J. H.; KU, T. L. & WASSERBURG, G. J. Precise timing of the last interglacial period from mass spectrometric determination of thorium-230 in corals. **Science**, v. 236, p. 1547-1553, 1987.

EMILIANI C., HUDSON J. H., SHINN E., & GEORGE R. Y. Oxygen and carbon isotopic growth record in a reef coral from the Florida Keys and a deep-sea coral from Blake Plateau. **Science**, v. 202, p. 627–629. 1978.

ENFIELD, D.B.; MESTAS-NUÑEZ, A.M. & TRIMBLE, P.J. The Atlantic Multi-decadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in continental U.S. **Geophysical Research Letters**, v. 28, p. 2077-2080, 2001.

EVANGELISTA, H.; GODIVA, D.; SIFEDDINE, A.; LEÃO, Z. M. A. N.; RIGOZO, N. R.; SEGAL, B.; AMBRIZZI, T.; KAMPEL, M.; KIKUCHI, R. K. P. & LE CORNEC, F. Evidences linking ENSO and coral growth in the Southwestern-South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 29, p. 869-880, 2007

FABRICIUS, K. E. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 50, n. 2, p. 125-146, 2005.

FABRICIUS, K. E.; GOLBUU, Y. & VICTOR, S. Selective mortality in coastal reef organisms from an acute sedimentation event. **Coral Reefs**. v. 26, 69, 2007.

FAIRBANKS, R.G.; EVANS, M.N.; RUBESTONE, J.L.; MORTLOCK, R.A.; BROAD, K.; MOORE, M.D.; CHARLES, C.D. Evaluating climate indices and their geochemical proxies measured in corals, International Coral Reef Symposium, v. 2, p. 107-116, 1997.

FALLON, S.J., McCULLOCH, M.T., van WOESIK, R. & SINCLAIR, D.J. Corals at their latitudinal limits: laser ablation trace element systematics in *Porites* from Shirigai Bay, Japan. **Earth and Planetary Science Letters** v.172, p. 221-238, 1999.

FAURE G. Degradation of coral reefs at Moorea Island (French Polynesia) by *Acanthaster planci*. **Journal of Coastal Research**. v. 5, n.2, p. 295-305, 1989.

FAUTIN, D.G. & BUDDEMEIER, R.W. Adaptive bleaching: a general phenomenon. **Hydrobiologia** 530/531(1-3):459-467. 2004.

FEEMA/PETROBRAS. **Vocabulário Básico de Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, 246p. 1990.

FELDKAMP, L.A.; DAVIS, L.C. & KRESS, J.W. Practical cone-beam algorithm. **J. Opt. Soc. Am.** 1 n. 6, p. 612-619. 1984.

FENNER, D. & BANKS, K. Orange cup coral *Tubastraea coccinea* invades Florida and the Flower Garden Banks, Northwestern Gulf of Mexico. **Coral Reefs** v. 23, n. 4, 505-507, 2004.

FERNANDEZ, G. B. *Caracterização morfodinâmica do prisma praial, sob influência de sedimentos fluviais, no embaçamento Rio das Ostras-Cabo Búzios, RJ*. Dissertação de (Mestrado) . Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 52p. 1998.

FERRIER-PAGÈS, C.; HOOGENBOOM, M. & HOULBRÈQUE, F. The role of plankton in coral trophodynamics, in *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*, edited by Z. Dubinsky and N. Stambler, pp. 215–230, **Springer**, Berlin. 2011.

FERRIER-PÀGES, C.; GATTUSO, J-P.; DALLOTE, S.; JAUBERT, J. Effect of nutrient enrichment on growth and photosynthesis of the zooxanthellate coral *Stylophora pistillata*. **Coral Reefs**, v. 19, p. 103 – 113. 2000.

FIGUEIREDO, M. A. O. Colonization and growth of crustose coralline algae in Abrolhos, Brazil. Proc. **8th Int. Coral Reef Symp.**, Panama 1: p. 689-694, 1997.

FILHO, C. V. S. M. Incorporação de metais traço no esqueleto do coral *Siderastrea stellata* VERRILL, 1868. Universidade Federal da Bahia – UFBA. 2008.

FINELLI, C.M.; HELMUTH, BST.; PENTCHEFF, N.D.; WETHY, D.S. Water flow influences oxygen transport and photosynthetic efficiency in corals. **Coral Reefs** v. 25, n.1, p. 47-57, 2006.

FITT, W.K.; BROWN, B.E.; WARNER, M.E.; DUNNE, R.P. Coral bleaching: interpretation of thermal tolerance limits and thermal thresholds in tropical corals. **Coral Reefs** v. 20, n.1, p. 51-65, 2001.

FRANCHITO, S.H.; RAO, V.B.; STECH, J.L.; LORENZZETTI, J.A. The effect of coastal upwelling on the sea-breeze circulation at Cabo Frio, Brazil: a numerical experiment. **Annual Geophysicae** v.16, p. 866-881, 1998.

FREIRE, N. C.F, PACHECO, A. P. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE. 2005.

FOX, H.E. & CALDWELL, R.L. Recovery from blast fishing on coral reefs: a tale of two scales. **Ecological Applications**. v. 16, n.5, p. 1631-1635, 2006.

FURNAS, M.J. & MITCHELL, A.W. Phytoplankton dynamics in the central Great Barrier Reef--I. Seasonal change in biomass and community structure and their relation to intrusive activity. **Continental Shelf Research** v.6, p. 363-384, 1986.

GAGAN, M. K. & CHIVAS, A. R. Oxygen isotopes in western Australian coral reveal Pinatubo aerosol-induced cooling in the Western Pacific Warm Pool. **Geophys. Res. Lett.** v. 22, p. 1069–1072, 1995.

GAGAN, M.; AYLIFFE, L. K.; HOPLEY, D.; CALI, J. A.; MORTIMER, G. E.; CHAPPELL, J.; McCULLOCH, M. T. & HEAD, M. J. Temperature and surface-ocean water balance of the mid-Holocene tropical Western Pacific. **Science** v. 279, p. 1014–1018, 1998.

GARDNER, T.A.; COTE, I.M.; GILL, J.A.; GRANT, A.; WATKINSON, A.R. Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. **Ecology** v. 86, n., p. 174-184, 2005.

GARDNER, T.A.; COTE, I.M.; GILL, F.A.; GRANT, A. & WATKINSON, A.R. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. **Science** v. 301, n.5635, p. 958-960, 2003.

GATES, R.D. Seawater temperature and sublethal bleaching in Jamaica. **Coral Reefs**, v. 8, n. 4, p. 193-197, 1990.

GATTUSO, J.-P.; FRANKIGNOULLE, M.; SMITH, S.V.; WARE, J.R.; WOLLAST, R.; BUDDEMEIER, R.W.; KAYANNE, H. Coral reefs and carbon dioxide. **Science**. v. 271, n.5253, p. 1298-1300, 1996.

GATTUSO, J.-P., ALLEMAND, D. & FRANKIGNOULLE, M. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral reefs: a review on interactions and control by carbonate chemistry. **Am. Zool.** v. 39, p. 160–183 1999.

GERBER, R. P., GILFILLAN, E. S., EDWARD, S., PAGE, B. T., DAVID, S. & HOTHAM, J. Short and long-term effects of used drilling fluids on marine organisms. *Proc. Symp. Res. Environ. Fate Eff Drill. Fluids Cuttings*, pp. 882-911. American Petroleum Institute, Washington, D.C. 1980.

GISCHLER, E. & OSCHMANN, W. GOETHE-UNIVERSITA, J. W. Historical Climate Variation in Belize (Central America) as Recorded in Scleractinian Coral Skeletons. **PALAIOS**, v. 20, p. 159-174, 2005.

GLYNN, P. W.; DRUFFEL, E. M. & DUNBAR, R. B. A dead central American coral reef tract: possible link with the Little Ice Age. **J. Mar. Res.** v. 41, p. 605–637, 1983.

GLYNN, P.W. Coral reef bleaching: ecological perspectives. **Coral Reefs** v. 12, n.1, p. 1-17, 1993.

GLYNN, P.W. Bioerosion and coral reef growth a dynamic balance. In: BIRKELAND, C. (ed.) *Life and Death on Coral Reefs*. pp 68–95. Chapman and Hall. New York. Available at: http://www.marine.usf.edu/reefslab/documents/evol_ecol2007/Glynn%28inpress%29.pdf (last accessed 02.09.2011). 1997.

GODIVA, D. **Reconstrução da variabilidade climática do Atlântico Sul através da geoquímica inorgânica de corais do litoral brasileiro**. Niterói-RJ: [s.n.]. 2010.

GODIVA, D.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; LICINIO, M. V. & MUNITA, C. Combined use of aerogammaspectrometry and geochemistry to access sediment sources in a shallow coral site at Armação dos Búzios, Brazil. Estuarine, **Coastal and Shelf Science** 87: 526 e 534. 2010.

GOFFREDO, S. & CHADWICK-FURMAN, N. E. Comparative demography of mushroom corals (Scleractinia: Fungiidae) at Eilat, northern Red Sea. **Mar. Biol.**, v. 142, p. 411-418, 2003.

GOLBUU, Y.; VICTOR, S.; PENLAND, L.; IDIP, D.; EMAUROIS, C.; OKAJI, K.; YUKIHIRA, H.; IWASE, A.; VAN, WOESIK, R. Palau's coral reefs show differential habitat recovery following the 1998-bleaching event. **Coral Reefs** v. 26, n. 2, p. 319-332, 2007.

- GOODKIN, N. F.; HUGHEN, K. A.; COHEN, A. L.; SMITH, S. R. Record of Little Ice Age sea surface temperature at Bermuda using a growth-dependent calibration of coral Sr/Ca. **Paleoceanography**, v. 20, n. PA4016, p. 1-9, 2005.
- GOREAU T.F. Mass expulsion of zooxanthellae from Jamaican reef communities after Hurricane Flora. **Science** v. 145, p.383-386, 1964.
- GOREAU, T.J.; CERVINO, J.; GOREAU, M.; HAYES, R.; HAYES, M.; RICHARDSON, L.; SMITH, G.; DEMEYER, K.; NAGELKERKEN, I.; GARZON-FERRERA, J.; GIL, D.; GARRISON, G.; WILLIAMS, E.H.; BUNKLEY-WILLIAMS, L.; QUIROLO, C.; PATTERSON, K.; PORTER, J.W.; PORTER, K. Rapid spread of diseases in Caribbean coral reefs. **Revista Biological Tropical**. v. 46, Supl. 5, p. 157-171, 1998.
- GOREAU, T.J. Balancing atmospheric carbon dioxide. **Ambio**. v. 9, n.5, p. 230-236, 1990.
- GOREAU, T.J. & MACFARLANE, A.H. Reduced growth rate of *Montastrea annularis* following the 1987-88 coral-bleaching event. **Coral Reefs** v.8, p. 101-215, 1990.
- GRAY, J. S. Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. **Biodiversity and Conservation**. v. 6, n.1, p. 153-175, 1997.
- GREGUS, Z. & KLAASSEN, C. D. Mechanisms of toxicity. Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, Klaassen, CD (Ed), McGraw-Hill, NY. 1996.
- GREYER, R. The importance of suppression of turbulence by stratification on the estuarine turbidity maximum. **Estuarine Research Federation**. v. 16, p. 113-125, 1993.
- GROTTOLI, A. G. & EAKIN, C. M. A review of modern coral $d^{18}O$ and $D^{14}C$ proxy records. **Earth Sci Rev** v. 81, p. 67-91, 2007.
- GROVE, C.A., ZINKE, J., SCHEUFEN, T., MAINA, J., EPPING, E., BOER, W., RANDRIAMANANTSOA, B., BRUMMER, G.J.A., Spatial linkages between coral proxies of terrestrial runoff across a large embayment in Madagascar. **Biogeosciences Discussion** 9, 3099-3144. 2012.
- GROVE, C. A.; NAGTEGALL, R.; ZINKE, J.; SCHEUFEN, T.; KOSTER, B.; KASPER, S.; MCCULLOCH, M. T.; VAN DEN BERGH, G. & BRUMMER, G. J. A. River runoff reconstructions from novel spectral luminescence scanning of massive coral skeletons, **Coral Reefs**,v. 29,p.579-591, 2010.
- GUNDLACH, E.R & HAYES, E.R. **RPI – Research Planning Institute. Coastal processes field manual for oil spill assessment**.(eds), 1978.
- GUZMÁN, H.M. & JARVIS, K.E. Vanadium century record from Caribbean reef corals: A tracer of oil pollution in Panama. **Ambio**, v.25, p. 523-526, 1996.
- GUZMÁN, H. M. & TUDHOPE, A. W. Seasonal variation in skeletal extension rate and stable isotopic (C-13/C-12 and O-18/O-16) composition in response to several environmental

variables in the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*, **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 166, p. 109–118, 1998.

HAARSMA, R.J., E. CAMPOS, W. HAZELEGER, A. PIOLA, & F. MOLTENI, Mechanisms generating dominant modes of variability in the South Atlantic Ocean: A study with a hierarchy of ocean models. **J. Climate**, submitted. 2003.

HARRIGAN TP, MANN RW. Characterization of microstructural anisotropy in orthotropic materials using a second rank tensor. **Journal of Material Science**. v.19, p.761-767, 1984.

HANOR, J. S. Barite-Celestine Geochemistry and Environments of Formation. Department of Geology and Geophysics. 2000.

HART, S.R. & COHEN, A.L. An ion probe study of annual cycles of Sr/Ca and other trace elements in corals, **Geochim. Cosmochim. Acta** v. 60, n.16, p. 3075–3084, 1996.

HART, S.R.; COHEN, A.L. & RAMSAY, P. Microscale analysis of Sr/Ca and Ba/Ca in Porites, Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, v. 2, pp. 1707– 1712. 1997.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Mon. Wea. Rev.** v.112, p.1097-1107, 1984.

HAWKINS JP & ROBERTS CM. Effects of recreational scuba diving on coral reefs: trampling on reef-flat communities. **Journal of Applied Ecology**. v. 30, n.1, p. 25-30, 1993.

HAY, M.E. The ecology and evolution of seaweed-herbivore interactions on coral reefs. **Coral Reefs**. v.16, Suppl 1, S67-S76, 1997.

HAYES R.L. & BUSH PG. Microscopic observations of recovery in the reef-building scleractinian coral, *Montastraea annularis*, after bleaching on a Cayman reef. **Coral Reefs** v. 8, n.4, p.203-209, 1990.

HAYNES, D., BASS, D., BRODIE, J., CHRISTIE, C., DEVLIN, M., MICHALEK-WAGNER, K., MORRIS, S., RAMSAY, M., STORRIE, J., WATERHOUSE, J. & YORKSTON, H. Great Barrier Reef water quality: current issues. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Australia. 2001.

HEISS, G.A. Carbonate production by scleractinian corals at Aqaba, Gulf of Aqaba, Red Sea. **Facies** v. 33,p. 19-34, 1995.

HENDY, E. J.; GAGAN, M. K. & LOUGH, J. M. Chronological control of coral records using evidence for non-stationary ENSO teleconnections in northeast Australia. **The Holocene** v. 13, p. 187–199, 2003.

HENDY, E. J.; GAGAN, M. K.; ALIBERT, C. A.; McCULLOCH, M. T.; LOUGH, J. M. & ISDALE, P. J. Abrupt decrease in tropical Pacific sea surface salinity at end of Little Ice Age. **Science** v. 295, p. 1511–1514, 2002.

HELMLE, K. P.; DODGE, R. E.; SWART, P. K.; GLEDHILL, D. K. & EAKIN, C. M. Growth rates of Florida corals from 1937 to 1996 and their response to climate change. **Nature Comm** v. 2, n. 215, 2011.

HELMLE, K.P.; DODGE, R.E. & KETCHAM, R.A. Skeletal architecture and density banding in *Diploria strigosa* by X-ray computed tomography. In: Proc 9th Int Coral Reef Symp, Bali, Indonesia 23–27 October 2000, 1:365–371. 2002.

HOEGH-GULDBERG, O. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. **Marine and Freshwater Research** v. 50, p. 839-866, 1999.

HOEGH-GULDBERG O, MUMBY PJ, HOOTEN AJ, STENECK RS, GREENFIELD P, GOMEZ E, HARVELL CD, MUTHIGA NA, BRADBURY RH, DUBI A, HATZIOLOS ME. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. **Science** v. 318, p. 1737-1742, 2007.

HOWE, S.A. & MARSHALL, A.T. Temperature effects on calcification rate and skeletal deposition in the temperate coral, *Plesiastrea versipora* (Lamarck). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** v. 275, p. 63–81, 2002.

HUANG, B.; SCHOPF, P. S.; SHUKLA, J. Intrinsic Ocean-Atmosphere Variability of the Tropical Atlantic Ocean. **Journal Of Climate**, v. 17, p. 2058-2077, 2004.

HUDSON, J. H. & ROBBIN, D. M. Effects of an offshore drilling fluid on selected corals. In: *Proc. Symp. Res. Environ. Fate Eff. Drill. Fluids Cuttings*, pp. 1044-1078. American Petroleum Institute, Washington, D.C. 1980.

HUDSON, J. H.; SHINN, E. A. & ROBBIN, D. M. Effects of offshore oil drilling on Philippine reef corals. **Bull. Mar. Sci.**, v. 32 , n. 4, p. 890-908, 1982.

HUGHES, T.P.; BAIRD, A.H.; BELLWOOD, D.R.; CARD, M.; CONNOLLY, S.R.; FOLKE, C.; GROSBERG, R.; HOEGH-GULDBERG, O.; JACKSON, J.B.C.; KLEYPAS, J.A.; LOUGH, J.M.; MARSHALL, P.; NYSTROM, M.; PALUMBI, S.R.; PANDOLFI, J.M.; ROSEN, B.; ROUGHGARDEN, J. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. **Science** v. 301, n. 5635, p. 929-933, 2003.

HUGHES, T.P. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. **Science**. v. 265, n. 5178, p. 1547-1551, 1994.

HUGHES, T. P. & JACKSON, J. B. C. Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion. **Science** v. 209, p. 713–715, 1980.

HUMANN, P. & DELOACH, N. **Reef Coral Identification. Second.** Jacksonville: New World Publications, Inc. 2002.

HUNT, B.; & VINCENT, A.C.J. Scale and sustainability of marine bioprospecting for pharmaceuticals. **Ambio**. v. 35, n. 2, p. 57-64, 2006.

INPE & SOS MATA ATLÂNTICA. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica 2005 a 2008*. Fundação SOS Mata Atlântica, 2008.

IPCC. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp 104. 2007.

ISDALE, P. Fluorescent bands in massive corals record centuries of coastal rainfall. **Nature** v. 310, p. 578–579, 1984.

JACKSON J.B.C. *et al.*, Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. **Science**. v. 293. n. 5530. P. 629-638, 2001.

JACKSON, J.B.C. Adaptation and diversity in reef corals. **BioScience**. v. 41, n. 7, p.475-482. 1991.

JEFFERY F.G & JENNINGS C.A. An alternative view on estimating subsistence consumption of coral reef fishes in the U.S. Virgin Islands. **Conservation Biology**. v. 13, n.4, p. 939-941, 1999.

JIMENEZ, C. & CORTES, J. Growth of seven species of scleractinian corals in an upwelling environment of the eastern Pacific (Golfo de Papagayo, Costa Rica). **Bull Mar Sci** v. 72, p. 187–198, 2003.

JOHNSTONE, R.W.; MUHANDO, C.A.; FRANCIS, J. The status of the coral reefs of Zanzibar: one example of a regional predicament. **Ambio**. v. 27, n.8, p.700-707, 1998.

JOKIEL, P. L. & COLES, S. L. Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. **Coral Reefs** 8:155–162. 1990.

JOLY, C. A.; HADDAD, C. F. B.; VERDADE, L. M.; OLIVEIRA, M. C. L.; BOLZANI, V. S. & BERLINCK, R. G. S. Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. **REVISTA USP**, São Paulo, n.89, p. 114-133, março/maio 2011.

JONES, R. J.; HOEGH-GULDBERG, O.; LARKUM, A. W. D. & SCHREIBER, U. Temperature-induced bleaching of corals begins with impairment of the CO₂ fixation mechanism in zooxanthellae. **Plant Cell Environ**. v. 21, 1219-1230. 1998.

JUPITER, S. D. From cane to coral reefs: Ecosystem connectivity and downstream responses to land use intensification. Chapter 4. *Geochemical Proxies for Delivery of Suspended Sediment to Nearshore Waters off Mackay*. UNIVERSITY OF CALIFORNIA/SANTA CRUZ. 317 p. 2006.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soils and Plants**. CRC Press. 4. 142-144. 2011.

KAJIWARA, K., NAGAI, A., UENO, S., YOKOCHI, H. Examination of the effect of temperature, light intensity, and zooxanthellae concentration on calcification and photosynthesis of Scleractinian coral *Acropora pulchra*. Faculty of Marine Science and Technology, Tokai University 40, pp. 95–103. 1995.

KARL, T. R. & TRENBERTH, K. E. Modern global climate change. **Science**, 302, 1719-1723. 2003.

KAYANNE, H., SUZUKI, A. & SAITO, H. Diurnal changes in the partial pressure of carbon dioxide in coral reef water. **Science** 269, 214–216. 1995.

KAUR, M. The Terrestrial Biogeochemical Cycle of barium: A proposed study to examine barium flux in Mojave Desert dust. Scripps Senior Theses. Paper 150. 2013. Disponível em: http://scholarship.claremont.edu/scripps_theses/150 . Acesso em: 7 out 2014.

KELMO, F.; ATTRILL, M. J.; JONES, M. B. Effects of the 1997-1998 El Niño on the cnidarian community of a high turbidity coral reef system (northern Bahia, Brazil). **Coral Reefs**, v. 22, p. 541-550, 2003.

KENDALL, J. J.; POWELL, E. N.; CONNOR, S. J. & BRIGHT, T. J. The effects of drilling fluids (muds) and turbidity on the growth and metabolic state of the coral *Acropora cervicornis*, with comments on methods of normalization for coral data. **Bull. Mar. Sci.**, v. 33, n.2, p. 336-352, 1983.

KIKUCHI, R.K.P. Rocas Atoll, southwestern equatorial Atlantic, Brazil. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (Edit.) **Geological and Paleontological Sites of Brazil** – 033, 1999.

KIKUCHI, R.K.P.; LEÃO, Z.M.A.N.; TESTA, V.; DUTRA, L.X.C. & SPANÓ, S. Rapid assessment of Abrolhos reefs, eastern Brazil (Part 1: stony corals and algae) **Atoll Res. Bull.** v. 496, p.172-188, 2003.

KILBOURNE, K. H.; QUINN, T. M.; TAYLOR, F. W.; DELCROIX, T. & GOURIOU, Y. El Niño-Southern Oscillation-related salinity variations recorded in the skeletal geochemistry of a Porites coral from Espiritu Santo, Vanuatu. **Paleoceanography** v.19. 2004.

KLEYPAS J.A & LANGDON C. Coral reefs and changing seawater carbonate chemistry. In Coral reefs and climate change: science and management, 73-110. **Coastal and Estuarine Studies** (61), American Geophysical Union. 2006.

KLEYPAS J.A, BUDDEMEIER R.W, ARCHER D, GATTUSO J.-P, LANGDON C, OPDYKE B.N. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. **Science** v. 284, n. 5411, p. 118-120, 1999.

KLEYPAS, J. A.; BUDDEMEIER, R. W.; EAKIN, C. M.; GATTUSO, J.-P.; GUINOTTE, J.; HOEGH-GULDBERG, O.; IGLESIAS-PRIETO, R.; JOKIEL, P. L.; LANGDON, C.; SKIRVING, W.; STRONG, A. E. Comment on “Coral reef calcification and climate change: The effect of ocean warming”. **Geophysical Research Letters**, v. 32, L08601, , 2005.

KLEYPAS, J. A; DANABASOGLU, G. & LOUGH, J. M. Potential role of the ocean thermostat in determining regional differences in coral reef bleaching events. **Geophys. Res. Lett.**, 35:L03613, 2008.

KNAP, A.H; SLEETER, T.D; DODGE, R.E; WEYERS, S.C; FRITH, H.R; SMITH, S.R. The effects of oil spills and dispersants use on corals: a review and multidisciplinary approach. **Oil Pertochem Poll** v. 1, p. 157-169. 1983.

KNOPPERS, B., J. Particulate organic matter and nutrients. Pages 36-37 in W. Ekau and B. Knoppers, comps. Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters of East and Northeast Brazil. Joint Oceanographic Projects. JOPS II. Cruise report and first results. Center for tropical marine ecology, Bremen. 1996.

KNOPPERS, B.; MEYERHOEFER, M.; MARONE, E.; DUTZ, J.; LOPES, R.; LEIPE, T. & DE CAMARGO, R. Compartments of the pelagic system and material exchange at the Abrolhos Bank coral reefs, Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**. v. 47, n. 2-3, p. 285-306, 1999.

KNOWLTON, N.C. & JACKSON J.B.C. **The ecology of coral reefs**. In: Marine Community Ecology. Bertness MW, Gaines SD, Hay ME (Eds.). Sunderland, Massachusetts. Sinauer Associates, Inc. 2001.

KNOWLTON, N.C. & JACKSON, J.B.C. Shifting baselines, local impacts and global change on coral reefs. **PLoS Biol**. v.6, n.2, p. 0215-0220, 2008.

KNUTSON, D. W., BUDDERMEIER, R. W., SMITH, S. V.; “*Coral Chronometers: Seasonal Growth Bands in Reef Corals*”, **Science**, v.177, pp270-272, Mar.1972.

KOWALCHUK, R. M, & DALINKA, M. K. The radiologic assessment of osteoporosis. **Orthop J**. v.11, p. 67-72. 1998.

KRAUSKROPF, K. B.; BIRD, D. K. **Introduction to Geochemistry**. 3rd edition. EUA: WBC-McGraw-Hill, 647 p. 1995.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; KANASHIRO, M. M.; YWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R.; GUILLAUMON, J. R.; BARRADAS, A. M. F.; PAVÃO, M.; MANETTI, L. A. & BORGIO, S. C. **Mapeamento e Quantificação do Reflorestamento no Estado de São Paulo**. São Paulo, Instituto Florestal, 2000.

KUFFNER, I. B. Effects of ultraviolet radiation and water motion on the reef coral, *Porites compressa* Dana: a transplantation experiment. **J Exp Mar Biol Ecol** v. 270, p. 147-169, 2002.

KUFFNER, I. B.; HICKEY, T. D. & MORRISON, J. M. Calcification rates of the massive coral *Siderastrea siderea* and crustose coralline algae along the Florida Keys (USA) outer-reef tract. **Coral Reefs** v. 32, p 987–997, 2013.

KÜHLMANN, D.H.H. The sensitivity of coral reefs to environmental pollution. **Ambio** v. 17, n.1, p. 13-21, 1988.

KUNHERT, H.; PATZOLD, J.; SCHNETGER, B.; WEFER, G. Sea-surface temperature variability in the 16th century at Bermuda inferred from coral records, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2769: 1-13, 2002.

LAMOUNIER, S. I. B. Distribuição Espaço-Temporal do Meioentos na Praia Rasa (Búzios, Rio de Janeiro): Ênfase no Estudo dos Tipos Tróficos da Nematofauna. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). USU. 126 p. 2009.

LANGDON, C. Review of experimental evidence for effects of CO₂ on calcification of reef builders. **Proceedings 9th International Coral Reef Symposium**, Bali, Indonesia. **2**, 1091–1098 2002.

LANGDON, C.; TAKAHASHI, T.; SWEENEY, C.; CHIPMAN, D.; GODDARD, J.; MARUBINI, F.; ACEVES, H.; BARNETT, H. & ATKINSON, M. J. Effect of calcium carbonate saturation state on the calcification rate of an experimental coral reef, **Global Biogeochem. Cycles**, v.14, n.2, p. 639–654, 2000.

LANGDON, C. & ATKINSON, M. J. Effect of elevated pCO₂ on photosynthesis and calcification of corals and interactions with seasonal change in temperature/irradiance and nutrient enrichment. **J. Geophys. Res.** v. 110, C09S07. 2005.

LANGMEAD, O. & SHEPPARD, C. Coral reef community dynamics and disturbance: a simulation model. **Ecol. Mod.**, v. 175, p. 271-290, 2004.

LEÃO, Z. M. A. N. **The coral reefs of Southern Bahia**. Pages 151-159 in B. Hetzel and C. B. Castro. Corals of Southern Bahia. Nova Fronteira, Rio de Janeiro. 1994.

LEÃO, Z. M. A. N. The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the major environmental impacts. *An. Acad. bras. Ci.* v. 68, n. 3, p. 339-452. 1996.

LEÃO, Z. M. A. N. **Abrolhos - O complexo recifal mais extenso do Oceano Atlântico Sul**. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1999. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio090/sitio090.htm> 1999. Acesso em 6 jul 2011.

LEÃO, Z. M. A. N.; ARAÚJO, T. M. F. & NOLASCO, M. C. The coral reefs off the coast of Eastern Brazil. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, Australia v. 3, p. 339-347, 1988.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; MAIA, M. P. & LAGO, R. A. L. A catastrophic coral cover decline since 3,000 years B. P., Northern Bahia, Brazil. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, Panama v. 1, p. 583-588, 1997.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; TESTA, V.; TELLES, M.; PEREIRA, J.; DUTRA, L. & SAMPAIO, C. First coral reef assessment in the Southern Hemisphere applying the AGRA rapid protocol (Caramuanas Reef, Bahia, Brazil). Page 122 in National Coral Reef Institute and NOVA Southeastern University Oceanographic Center, orgs. International Conference on Scientific Aspects of Coral Reef Assessment, Monitoring, and Restoration, April 14-16, 1999, Program and Abstracts. Fort Lauderdale, Florida. 1999.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P. & TESTA, V. **Corals and Coral Reefs of Brazil**. In *Latin America Coral Reefs* (J. Cortês ed.). Elsevier Publisher, Amsterdam, p.9-52. 2003.

LECLERCQ, N.; GATTUSO, J-P.; JAUBERT, J. CO₂ partial pressure controls de calcification rate of a coral community. **Global Change Biology**, v.6, p. 329-334. 2000.

LEDER J.J, SZMANT A.M, SWART P.K. The effect of prolonged "bleaching" on skeletal banding and stable isotopic composition in *Montastraea annularis*. **Coral Reefs** v. 10, n.1, p. 19-27, 1991.

LEITE, A. F.; FIGUEIREDO, P. T. S.; GUIA, C. M.; MELO, N. S. & PAULA, A. P. Radiografia panorâmica: instrumento auxiliar no diagnóstico de osteoporose. **Rev Bras Reumatol.** v. 48, n. 4, p.226-33, 2008.

LEPLAND, A.; SÆTHER, O. & THORSNES, T. Accumulation of barium in recent Skagerrak sediments: sources and distribution controls. **Mar Geol** v. 163, p. 13–26, 2000.

LESSER M.P & FARRELL J.H. Exposure to solar radiation increases damage to both host tissues and algal symbionts of corals during thermal stress. **Coral Reefs** v. 23, n.3, p. 367-377, 2004.

LESSER M.P, STOCHAJ W.R, TAPLEY D.W, SHICK J.M. Bleaching in coral reef anthozoans: effects of irradiance, ultraviolet radiation, and temperature on the activities of protective enzymes against active oxygen. **Coral Reefs** v. 8, n. 4, p. 225-232, 1990.

LESSER M.P. Oxidative stress causes coral bleaching during exposure to elevated temperatures. **Coral Reefs** v. 16, n.3, p. 187-192, 1997.

LESSIOS H.A, ROBERTSON D.R, CUBIT J.D. Spread of *Diadema* mass mortality through the Caribbean. **Science.** v. 226, n. 4672, p. 335-337, 1984.

LEVITUS, S., ANTONOV, J.I. & BOYER, T.P. Warming of the World Ocean, 1955-2003. **Geophys. Res. Lett.**, 32,L02604. 2005.

LEWIS, J.B. Effects of crude oil and oil spill dispersant on reef corals. **Mar Pollut Bull** v. 2, p. 59-62, 1971.

LI, Y.H. & CHAN, L. H. Desorption of Ba and 226Ra from river-borne sediments in the Hudson estuary. **Earth Planet. Sci. Lett.** v. 43, p. 343–350, 1979.

LEA, D.W. & BOYLE, E.A. Determination of carbonate-bound barium in foraminifera and corals by isotope dilution plasma-mass spectrometry, **Chem. Geol.** v. 103, p. 73–84, 1993.

LEA, D. W., SHEN, G. T. & BOYLE, E. A. Coralline barium records temporal variability in Equatorial Pacific upwelling. **Nature** v. 340, p. 373–376, 1989.

LIKENS, G.E., BORMANN, F.H., JOHNSON, N.M., FISHER, D.W. & PIERCE, R.S. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. *Ecological Monographs* v. 40, p. 23-47, 1970.

LIMBURG, K. E. The biogeochemistry of Strontium: a review of H.T. Odum's contributions. *Ecological Modelling*, v. 178, p. 31-33, 2004.

LINS-DE-BARROS, M. M. História de vida e fecundidade do coral recifal endêmico do Brasil *Siderastrea stellata* Verrill, 1868 (Anthozoa, Scleractinia). 107 f. Tese (Doutorado em Zoologia) – Departamento de Invertebrados, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

LINS-DE-BARROS, M. M. & PIRES, D. O. Colony size-frequency distributions among different populations of the scleractinian coral *Siderastrea stellata* in southwestern Atlantic: implications for life history patterns. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 54, n.4, p. 213-223, 2006.

LINSLEY, B. K.; MESSIER, R. G. & DUNBAR, R. B. Assessing between-colony oxygen isotope variability in the coral *Porites lobata* at Clipperton Atoll. **Coral Reefs** v.18, p. 13–27. 1999.

LIRMAN, D.; ORLANDO, B.; MACIA, S.; MAQNZELLO, D.; KAUFMAN, L.; BIBER, P. & JONES, T. Coral communities of Biscayne Bay, Florida and adjacent offshore areas; diversity abundance, distribution and environmental correlates. **Aqu Conserv—Mar Freshwater Ecosyst** v. 13, p.121–135, 2003.

LITTLER M.M, LITTLER D.S, TITLYANOV E.A. Comparisons of N- and P-limited productivity between high granitic islands versus low carbonate atolls in the Seychelles Archipelago: a test of the relative dominance paradigm. **Coral Reefs**. v. 10, n.4, p. 199-209. 1991.

LOGAN, A, & ANDERSON, I.H. Skeletal extension growth rate assessment in corals, using CT scan imagery. **Bull Mar Sci** v. 49, p. 847-850, 1991.

LANGDON, C.; GATTUSO, J. P. & ANDERSSON, A. J. Measurements of calcification and dissolution of benthic organisms and communities. In: Riebesell U, Fabry VJ, Hansson L, Gattuso JP (eds) Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting. Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp 213-230. 2010.

LOPES, R. & DUTZ, J. Zooplankton. Pages 38-39 in: W. Ekau and B. Knoppers, comps. Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters of East and Northeast Brazil. Joint Oceanographic Projects. JOPS II. Cruise report and first results. Center for tropical marine ecology, Bremen. 1996.

LOUGH, J. M. Tropical river flow and rainfall reconstructions from coral luminescence: Great Barrier Reef, Australia. **PALEOCEANOGRAPHY**, v. 22, p. 2218, 2007.

LOUGH, J.M. Coral calcification from skeletal records revisited. **Marine Ecology Progress Series** v. 373, p. 257–264, 2008.

LOUGH, J. M. Climate records from corals. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Climate Change** v. 1, p. 318–331, 2010.

LOUGH, J. M. Measured coral luminescence as a freshwater proxy: comparison with visual indices and a potential age artefact. **Coral Reefs** v.30, p.169–182, 2011a.

LOUGH, J. M. Great Barrier Reef coral luminescence reveals rainfall variability over northeastern Australia since the 17th century, **Paleoceanography**, v.26, p.2201, 2011b.

LOUGH, J.M & BARNES, D.J Possible relationships between environmental variables and skeletal density in a coral colony from the Great Barrier Reef. **J Exp Mar Biol Ecol** v.134, p.221-241, 1990.

LOUGH, J.M. & BARNES. D.J. Several centuries of variation in skeletal extension, density and calcification in massive *Porites* colonies from the Great Barrier Reef: a proxy for seawater temperature and a background of variability against which to identify unnatural change. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, v. 211, p. 29-67, 1997.

LOUGH, J. M. & BARNES, D. J. Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** v.245, p. 225–243, 2000.

LOUGH, J. M. Coral calcification from skeletal records revisited. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** v.373, p. 257–264, 2008.

MACDONALD, I. A. & PERRY, C. T. Biological degradation of coral framework in a turbid lagoon environment, Discovery Bay, north Jamaica. **Coral Reefs** v.22, p. 523–535, 2003.

MAHIQUES, M.M.; BÍCEGO, M.C.; SILVEIRA, I.C.A.; SOUSA, S.H.M.; LOURENÇO, R.A.; FUKUMOTO, M.M. Modern sedimentation in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, .n 3, p. 535-548, 2005.

MAIDA M. & FERREIRA, B. P. Estudo preliminar sobre o assentamento de corais em um recife na Baía de Tamandaré – PE. **Bol. Técn. Cient. CEPENE**. v.3, n.1, p. 23-36, 1995.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. & BELLINI, C. Avaliação preliminar do recife da Baía do Sueste, Fernando de Noronha, com ênfase nos corais escleractíneos. **Bol. Técn. Cient. CEPENE**. v. 3, n., p.37-47, 1995.

MANAHAN, S.E. **Toxicological Chemistry and Biochemistry**. 3rd ed. Lewis Publishers. 2000.

MANZELLO, D. P.; ENOCHS, I. C.; BRUCKNER, A.; RENAUD, P. G. ; KOLODZIEJ, G. ; BUDD, D. A. ; CARLTON, R. & GLYNN, P. W. Galápagos coral reef persistence after ENSO warming across an acidification gradient, **Geophys. Res. Lett.**, v. 41, p. 9001–9008, 2014.

MALLELA, J.; LEWIS, S.E.; CROKE, B. Coral Skeletons Provide Historical Evidence of Phosphorus Runoff on the Great Barrier Reef. **PLoS ONE** v. 8, n. 9: p.75663, 2013.

MARENGO, J. A. *et al.* Hydro-climatic and ecological behavior of the drought of Amazonia in 2005. *Phil. Trans. R. Soc. B*, v. 363, p. 1773–1778. doi:10.1098/rstb.2007.0015. 2008.

MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of climate**, v. 21, p. 495-516, fev., 2008.

MARENGO, J. A.; Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2º ed. Brasília, MMA, 2006.

MARONE, E. & CAMARGO, R. Leg 3: physical oceanography. Pages 35-36 in W. Ekau and B. Knoppers, comps. Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters of East and Northeast Brazil. Joint Oceanographic Projects. JOPS II. Cruise report and first results. Center for tropical marine ecology, Bremen. 1996.

MARSHALL, A. T., & CLODE, P. Calcification rate and the effect of temperature in a zooxanthellate and an azooxanthellate scleractinian reef coral. **Coral Reefs** v. 23, p. 218–224. 2004.

MARTIN-BADOSA, E.; ELMOUTAOUAKKIL, A.; NUZZO, S.; AMBLARD, D.; VICO, L.; et al. A method for the automatic characterization of bone architecture in 3D mice microtomographic images. *Comput Med Imag Grap.* v. 27, p. 447–458, 2003.

MARTIN, G. B.; THORROLD, S. R.; JONES, C. M. Temperature and salinity effects on strontium incorporation in otoliths of larval spot (*Leiostomus xanthurus*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 61, p. 34-42, 2004.

McCONNAUGHEY, T. ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibrium in biological carbonates: I. Patterns, **Geochim. Cosmochim. Acta** v. 53, p. 151– 162, 1989.

McCONOCHIE, J. D.; HARDY, T. A.; MASON, L. B. Modelling tropical cyclone over-water wind and pressure fields. *Ocean Engineering*. 2004.

McCULLOCH, M. T.; FALLON, S.; WYNDHAM, T.; HENDY, E. J.; LOUGH, J. M. & BARNES, D. Coral record of increased sediment flux to the inner Great Barrier Reef since European settlement. **Nature** v. 421, p. 727–730, 2003.

McCULLOCH, M. T.; TUDHOPE, A. W.; ESAT, T. M.; MORTIMER, G. E.; CHAPPELL, J.; PILLANS, B.; CHIVAS, A. R. & OMURA, A. Coral record of equatorial sea-surface temperatures during the penultimate deglaciation at Huon Peninsula. **Science** v. 283, p. 202–204, 1999.

McCULLOCH M.T., GAGAN M.K., MORTIMER G.E., CHIVAS A.R. & ISDALE P.J. A high-resolution Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ coral record from the Great Barrier Reef, Australia, and the 1982-1983 El Niño. **Geochem. Cosmochim. Acta**, p. 2747-2754, 1994.

McINTYRE, S. “Unprecedented” in the past 153 Years, by Steve McIntyre on June 3rd (<http://www.climateaudit.org/?p=6189>). 2009.

McLAUGHLIN, C.J.; SMITH, C.A.; BUDDEMEIRE, R.W.; BARTLEY, J.D.; MAXWELL, B.A. Rivers, runoff and reefs. **Global and Planetary Change**, v.39, p. 191-199, 2003.

- McNEIL, B. I.; MATEAR, R. J.; BARNES, D. J. Coral reef calcification and climate change: The effect of ocean warming. **GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS**, VOL. 31, L22309, doi:10.1029/2004GL021541, 2004.
- McWILLIAMS, J.P., I.M. CÔTÉ, J.A. GILL, W.J. SUTHERLAND & A.R. WATKINSON, Accelerating impacts of temperature-induced coral bleaching in the Caribbean. **Ecology**, v. 86, p. 2055-2060, 2005.
- MEDINA-ELIZALDE, M.; GOLD-BOUCHOT, G.; CEJA-MORENO, V. Lead contamination in the Mexican Caribbean recorded by the coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander). **Marine Pollution Bulletin**. 2001.
- MEESTERS, E. H.; NOORDELOOS, M. & BAK, R. P. M. Damage and regeneration: links to growth in the reef-building coral *Montastrea annularis*. **Mar Ecol Prog Ser** v. 112, p. 119-128, 1994.
- MÉLICE, J.-L. & SERVAIN, J. The tropical Atlantic meridional TSM gradient index and its relationships with the SOI, NAO and Southern Ocean Climate Dynamics, v. 20, p. 447-464, 2003.
- MELO, U.; SUMMERHAYES, C. P. & ELLIS, J. P. Part 4. Salvador to Vitória, Southeastern Brazil. Pages 78-116 in J. D. Milliman and C. Summerhayes, eds. Upper continental margin sedimentation off Brazil. *Contr. Sedimentology*. 4. 1975.
- MENDEZ, J., *et al.*, Density of fat and bone mineral of mammalian body, **Metabolism** v. 9 , p. 472-477, 1960.
- MILLER, M. W.; WEIL, E. & SZMANT, A. M. Coral recruitment and juvenile mortality as structuring factors for reef benthic communities in Biscayne National Park, USA. **Coral Reefs**, v.19, p.115-123, 2000.
- MILLER J, WAARA R, MULLER E, ROGERS C.S. Coral bleaching and disease combine to cause extensive mortality on reefs in the U.S. Virgin Islands. **Coral Reefs**. v. 25, n.3, 418. 2006.
- MIMURA N & NUNN P.D. Trends of beach erosion and shoreline protection in rural Fiji. **Journal of Coastal Research**. v. 14, n.1, p.37-46, 1998.
- MIN, G. R.; EDWARDS, R. L.; TAYLOR, F. W.; RECY, J.; GALLUP, C. D.; BECK, J. W. Annual cycles of U/Ca in coral skeletons and U/Ca thermometry. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, n. 10, p. 2025-2042, 1995.
- MITSUGUCHI T. Reconstruction of Palaeoceanic Environment from Multi-elemental Analysis of Annually-banded Coral Skeletons, PhD Thesis, Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya University, Japan. 2000.
- MITSUGUCHI T., MATSUMOTO E., ABE O., UCHIDA T., ISDALE P.J., Magnesium/Calcium ratio of coral skeletons as a paleothermometer, International Coral Reef Symposium, v. 2, p. 1701-1706, 1997.

- MOBERG F & FOLKE C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**. v. 29, n.2, p. 215-233, 1999.
- MONTENEGRO, A. M.; FONSECA, C. A. & CAMPOS, E. J. D. Implementação do modelo oceânico da Universidade de Princeton para estudo da circulação e dispersão de materiais na Baía de Todos os Santos. *Ciê.n.biol. Meio Amb.*, v. 2, n. 2, p. 10-18, 1999.
- MOORE, W. S., KRISHNASWAMI, S.;" *Coral Growth Rates Using 228Ra and 210Pb*", **Earth and Planetary Science Letters**, v.15, pp187-190,1972.
- MORTENSEN, P. B. & LEPLAND, A. Ecological consequences of exploration drilling on coral reefs in the Træna Deep. **Fisken og havet** v.6, p. 1–145, 2007.
- MOSES, C.S. & SWART, P.K. Stable isotope and growth records in corals from the Island of Tobago: not simply a record of the Orinoco. *Proc 10th Int Coral Reef Symp* 580–587. 2006.
- MOSES, C. S.; SWART, P. K.; ROSENHEIM, B. E. Evidence of multidecadal salinity variability in the eastern tropical North Atlantic. **Paleoceanography**, v. 21, n. PA3010, p. 1-12, 2006a.
- MOSES, C. S.; SWART, P. K.; DODGE, R. E. Calibration of stable oxygen isotopes in *Siderastrea radians* (Cnidaria: Scleractinia): implications for slow-growing corals. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 7, n. 9, p. 1-14, 2006b.
- MULLER E.M, ROGERS C.S, SPITZACK A.S, VAN WOESIK R. Bleaching increases likelihood of disease on *Acropora palmata* in Hawksnest Bay, St. John, US Virgin Islands. **Coral Reefs** 27(1):191-195. 2008.
- MULLER-PARKER, G. & D'ELIA, S.F. Interactions between corals and their symbiotic algae. In *Life and depth of coral reefs* (C. Bikerland, ed.). Chapman and Hall, New York., p.96-112, 1997.
- MUMBY P.J. The impact of exploiting grazers (*Scaridae*) on the dynamics of caribbean coral reefs. **Ecological Applications**. v. 16, n.2, p. 747-769, 2006.
- MUSCATINE, L. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals. In: Dubinsky, Z. (Ed.), *Coral Reefs, Ecosystems of the World*. Elsevier, Amsterdam, pp. 75–87. 1990.
- NATAWIDJAJA, D. H.; SIEH, K.; WARD, S. N.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L.; GALETZKA, J. & SUWARGADI, B. W. Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia. **J. Geophys. Res.** v. 109, 2004.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment (Report of an Ad Hoc Study group on Carbon Dioxide and Climate), 22 pp., Natl. Acad. Sci., Washington, D. C. 1979.
- NEUBRAND, A. Room•Temperature Solubility Behavior of Barium Titanate in Aqueous

Media. **Journal of the American Ceramic Society**. v. 83, n4, p. 860-864, 2000.

NEUMANN, A. C. Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of boring rate of sponge *Cliona lampa*. **Limnology and Oceanography** v. 11, p. 92-108, 1966.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. *Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*. 2º Edição. 421p. 1989.

NOTT, J. Palaeotespestology: the study of prehistoric tropical cyclones – a review and implications for hazard assessment. *Environmental International*, v. 30, p. 433-447, 2004.

NUGUES, M.M. & ROBERTS, C.M. Partial mortality in massive reef corals as an indicator of sediment stress on coral reefs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46,p. 314-323, 2003.

NYBERG, J.; MALMGREN, B. A.; WINTER, A.; JURY, M. R.; KILBOURNE, K. H. & QUINN, T. M. Low Atlantic hurricane activity in the 1970s and 1980s compared to the past 270 years. **Nature** v. 447, p. 698–702, 2007.

ODGAARD, A. Three-dimensional methods for quantification of cancellous bone. *Bone*, v. 20, p. 315-328, 1997.

OIGMAN-PSZCZOL, S. S.; FIQUEIREDO, M. A. O.; CREED, J. C. Distribuição de Comunidades Bentônicas de Substrato Rochoso do Infralitoral de Armação de Búzios, Sudeste Brasil. **Marine Ecology**, v. 25, n. 3, p. 173-190, 2004.

OLIVEIRA, M. D. M. Efeito do aquecimento global sobre a extensão linear, densidade e taxa de calcificação do esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* Verrill 1868, no último século (Abrolhos, Bahia). Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 161 pp. 2007.

OLIVEIRA, M. D. M.; KIKUCHI, R. K. P.; LEÃO, Z. M. A. N. & DUTRA, L. X. C. Coral bleaching in Brazil, Western South Atlantic. In Abstract 10th Intern. Coral Reef Symp. Japoneze Coral Reef Society, Okinawa, p.406. 2004.

OLIVEIRA, R. L. Esclerocronologia, geoquímica e registro climático em coral *Siderastrea stellata* do Atol das Rocas, RN, Brasil / Raphael Logato de Oliveira. – Niterói : UFF. Programa de Geoquímica, p.105. 2012.

OURBAK, T.; CORRÈGE, T.; MALAIZÉ, B.; LE CORNEC, F.; CHARLIER, K. & PEYPOUQUET, J. P. A high-resolution investigation of temperature, salinity, and upwelling activity proxies in corals. **Geochemistry Geophysics Geosystems** 7: doi: 10.1029/2005GC001064. issn: 1525-2027. 2006.

PADDOCK M. J, COWEN R. K, SPONAUGLE S. Grazing pressure of herbivorous coral reef fishes on low coral-cover reefs. **Coral Reefs** v. 25, n.3, p.461-472, 2006.

PANDOLFI, J. M.; BRADBURY, R. H.; SALA, E.; HUGHES, T. P.; BJORNDAL, K. A.; COOKE, R. G.; McARDLE, D.; McCLENACHAN, L.; NEWMAN, M. J. H.; PAREDas,

G.; WARNER R. R. & JACKSON J. B. C. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. **Science**. v. 301, n. 5635, p. 955-958, 2003.

PASTOROK, R. A., & BILYARD, G. R. Effects of sewage pollution on coral-reef communities. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** v. 21, p. 175–189, 1985.

PAULAY, G. Diversity and distribution of reef organisms. Pages 298-353 in Birkeland, C. (ed.) Life and death of coral reefs. Chapman and Hall, New York. 1997.

PELEJERO, C.; CALVO, E. & HOEGH-GULDBERG, O. Paleo-perspectives on ocean acidification, 5 **Trends Ecol. Evol.**, v. 25, p.332–344., 2010.

PEREIRA, G. C. Previsão da variabilidade dos fatores químicos e biológicos em área de ressurgência de Arraial do Cabo através de redes neurais. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

PERRY, C.T.; EDINGER, E.; KENCH, P.; MURPHY, G.; SMITHERS, S.; STENECK R. & MUMBY, P. Estimating rates of biologically driven coral reef framework production and erosion: a new census-based carbonate budget methodology and applications to the reefs of Bonaire. **Coral Reefs** v. 31, p.853–868, 2012.

PHILIPP, E. & FABRICIUS, K. Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. v. 287, p. 57–78, 2003.

PIMENTEL, D.; ALLEN, J.; BEERS, A.; GUINAND, L.; HAWKINS, A.; LINDER, R.; MCLAUGHLIN, P.; MEER, B.; MUSONDA, D.; PERDUE, D.; POISSON, S.; SALAZAR, R.; SIEBERT, S. & STONER, K. Soil erosion and agricultural productivity. In: Pimentel, D. (ed.), World Soil Erosion and Conservation. pp. 277-292. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1993.

PIMENTEL, D. P.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, K.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R. & BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science** v. 267, p. 1117-1123, 1995.

PINET, P.R. Invitation to Oceanography St. Paul: West Publishing Company. 1996.

PINGITORE, N.E.J.; RANGEL, Y. & KWARTENG, A. Barium variation in *Acropora palmata* and *Montastrea annularis*, **Coral Reefs** v. 8, p. 31–36, 1989.

PIRRUNG, M.; ILLNER, P. & MATTHIESSEN, J. Biogenic barium in surface sediments of the European Nordic Seas. **Marine Geology**. v.250. 89-103. 2008.

PITOMBO, F. B., RATTO, C. C. & BELÉM, M. J. C. Species diversity and zonation pattern of hermatypic corals at two fringing reefs at Abrolhos Archipelago, Brazil. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Australia 2: 817-820. 1988.

POCKLEY, P. Global warming identified as main threat to coral reefs. **Nature**, v. 497. 2000.

PUTRON, S. J.; McCORKLE, D. C.; COHEN, A. L.; DILLON, A. B. The impact of seawater saturation state and bicarbonate ion concentration on calcification by new recruits of two Atlantic corals. **Coral Reefs**. 2010.

QUINN, T. M. & SAMPSON, D. E. A multiproxy approach to reconstructing sea surface conditions using coral skeleton geochemistry. **Paleoceanography**, v. 17, n. 4, 2002.

RAJASURIYA, A.; RANJITH, M. W. & ÖHMAN, M. C. Coral reefs of Sri Lanka: human disturbance and management issues. v. 24, n.7/8, 428-437, 1995.

RAYMUNDO, L. J.; COUCH, C. S.; BRUCKNER, A. W.; HARVELL, C. D.; WORK, T. M.; WEIL, E.; WOODLEY, C. M.; JORDAN-DAHLGREEN, E.; WILLIS, B. L.; SATO, Y. & AEBY, G. S. Coral disease handbook: Guidelines for assessment, monitoring, and management. Raymundo LJ, Couch CS, Harvell CD (Eds.). Melbourne: Currie Communications. 2008.

REIS, M. A. C. A ação bioerosiva da esponja *Cliona celata* (Grant 1826) (Porífera-Desmospongiae) no coral *Siderastrea stellata* Verrill, 1868, dos recifes do litoral norte do estado da Bahia. Tese de Doutorado, UFBA. Pós-graduação em Geologia. 2001.

REIS, M. A. C. & LEÃO, Z. M. A. N. Bioerosion rate of the sponge *Cliona celata* (Grant 1826) from reefs in turbid waters, north Bahia, Brazil. Proceedings in 9th International Coral Reef Symposium, v. 1, p. 273-278, 2000.

REVELLE, R.; BROECKER, W.; CRAIG, H.; KEELING, C. D. & SMAGORINSKY, J. Appendix Y4, in Restoring the Quality of Our Environment-Report of the Environmental Pollution Panel, pp. 112 – 133, **Pres. Sci. Advis. Comm.**, Washington, D.C. 1965.

REUER, M. K.; BOYLE, E. A. & COLE, J. E. A mid-twentieth century reduction in tropical upwelling inferred from coralline trace element proxies. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 210, n. 3-4, p. 437-452, 2003.

REYES-NIVIA, C.; DIAZ-PULIDO, G. ; KLINE, D.; HOEGH-GULDBERG, O. & DOVE, S. Ocean acidification and warming scenarios increase microbioerosion of coral skeleton, **Global Change Biol.**, v.19, p. 1919–1929, 2013.

REYNAUD, S. *et al.*, Interacting effects of CO₂ partial pressure and temperature on photosynthesis and calcification in a scleractinian coral. **Global Change Biology**, v.9, n. 11, p. 1660-1668, 2003.

RIBEIRO, C. A análise da qualidade de água da Baía de Guanabara entre 1980 e 1993. Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 137p. 1996.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZO NI, F. J. & HIROTA, M. M. “The Brazilian Atlantic Forest: How Much Is Left, and How Is the Remaining Forest Distributed? Implications for Conservation”, in **Biological Conservation** v. 142. pp. 1.141-53, 2009.

- RICHARDSON L. L. Coral diseases: what is really known? Trends in **Ecology & Evolution**. v. 13, n.11, p. 438-443, 1998.
- RISK, M. J.; SINCLAIR, D. J. A numerical modelo of trace-element coprecipitation in a physicochemical calcification system: Application to coral biomineralization and trace-element 'vital effects'. **Geochimica et Cosmochimica Acta** v. 70, pp 3855-3868, 2006.
- ROBINS, C. R; BROCK-HON, A. L; BUCK, B. J. Conceptual Mineral Genesis Models for Calcic Pendants and Petrocalcic Horizons, Nevada. **Soil Science Society of America Journal**. 2012.
- ROCHE, R. C.; ABEL, R. A.; JOHNSON, K. G. & PERRY, C. T. Quantification of porosity in *Acropora pulchra* (Brook 1891) using X-ray micro-computed tomography techniques. **J Exp Mar Biol Ecol** v. 396, p.1–9, 2010.
- RODRIGUES, R.R.; LORENZZETTI, J.A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 371-394, 2001.
- ROGERS, C. S. Hurricanes and coral reefs: the intermediate disturbance hypothesis revisited. **Coral Reefs**. v. 12, n.3-4, 127-137. 1993.
- ROSSBY, C. Current problems in meteorology, in *The Atmosphere and Sea in Motion*, pp. 9–50, Rockefeller Inst. Press, New York. 1959.
- RUBINSTEIN, N. I., RIGBY, R. & D'ASARO, C. N. Acute and sublethal effects of whole used drilling fluids on representative estuarine organisms. In: **Proc. Symp. Res. Environ. Fate Eff. Drill. Fluids Cuttings**, pp. 828-846. **American Petroleum Institute**, Washington, D.C. 1980.
- RUEDA, J. *et al.*, Metodologia para determinar densidad de microfracturas en rocas, a partir de parametros anisótropos: una aproximación en núcleos sintéticos. **bol.geol.** [online]. vol.32, n.1, pp. 79-93.
- SAENGER, C., COHEN, A. L., OPPO, D. W., HALLEY, R. B. & CARILLI, J. E. Surface-temperature trends and variability in the low-latitude North Atlantic since 1552. **Nat. Geosci.** v. 2, p. 492–495, 2009.
- SAENGER, C.; COHEN, A. L.; OPPO, D. W.; HUBBARD, D. Interpreting sea surface temperature from strontium/calcium ratios in *Montastrea* corals: link with growth rate and implications for proxy reconstructions. **Paleoceanography**, v. 23, n. PA3102, p. 1-11, 2008.
- SAHIN, V. & HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**, v.178, p. 293-309, 1996.
- SANDERS, D. & BARON-SZABO, R.-C. Scleractinian assemblages under sediment input: their characteristics and relation to the nutrient input concept. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** v. 216, p. 139–181, 2005.

- SANTER, B. D. *et al.*, Forced and unforced ocean temperature changes in Atlantic and Pacific tropical cyclogenesis regions. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, v. 103, n. 13, p. 905–13, 2006.
- SANTOS, M. G.; AMARAL, F. D.; MACHADO, J. & SASSI, R., Crescimento esquelético de *Siderastrea stellata* VERRILL, 1868 (CNIDARIA: SCLERACTINIA) do litoral Paraibano, Brasil. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. 2007.
- SARHADI, A. & MODARRES, R.: Flood seasonality-based regionali- sation methods: a data-based comparison, *Hydrol. Process.*, v. 25, p. 3613–3624, 2011.
- SCHLAGER, W. Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy. **SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology**, v. 8, 200pp, 2005.
- SCHUTTER, M.; VAN VELTHOVEN, B.; JANSE, M.; OSINGA, R.; JANSSEN, M.; WIJFFELS, R. & VERRETH, J. The effect of irradiance on long-term skeletal growth and net photosynthesis in *Galaxea fascicularis* under four light conditions. **Journal Experimental Marine Biology and Ecology**. v.367, p. 75–80, 2008.
- SEBENS K. P. Biodiversity of coral reefs: what are we losing and why? **American Zoologist**. v. 34, n. 1, p. 115-133, 1994.
- SEGAL, B. & CASTRO, C. B. Slope preferences of reef corals (Cnidaria, scleractinia) in the Abrolhos Archipelago, Brazil, **Boletim do Museu Nacional**, n 418, junho 2000.
- SEGAL, B.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; GONÇALVES, A. C.; POLITO, P. S.; SANTOS, E. A. Potential impacts of polar fronts on sedimentation processes at Abrolhos coral reef (South-West Atlantic Ocean/Brazil). **Continent. Shelf. Res.**, v. 28, p. 533-544, 2008.
- SEGAL-RAMOS, B. Corais e comunidades recifais e sua relação com a sedimentação no Banco de Abrolhos, Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Rio de Janeiro. 2003.
- SEMESI, A. K.; MGAYA, Y. D.; MURUKE, M. H. S.; FRANCIS, J.; MTOLERA, M. & MSUMI, G. Coastal resources utilization and conservation issues in Bagamoyo, Tanzania. *Ambio*. v. 27, n.8, p.635-644, 1998.
- SERVAIN, J. *et al.* A pilot research moored array in the tropical Atlantic (PIRATA). **Bulletin of American Meteorological Society**, v.79, n.10, p.2019-2031. 1998.
- SHEN, G. T. & DUNBAR, R. B. Environmental controls on uranium in reef corals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, n. 10, p. 2009-2024, 1995.
- SHEN, C.-C.; LEE, T.; CHEN, C.-Y.; WANG, C.-H.; DAI, C.-F. & LI, L.- A. The calibration of D[Sr/Ca] versus sea surface temperature relationship for *Porites* corals. **Geochim. Cosmochim. Acta** 60, 3849–3858. 1996.

SHEN, C.-C.; LEE, T.; LIU, K.-K.; HSU, H.-H.; EDWARDS, R. L.; WANG, C.-H.; LEE, M.-Y.; CHEN, Y.-G.; LEE, H.-J. & SUN, H.-T. An evaluation of quantitative reconstruction of past precipitation records using coral skeletal Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ data. **Earth Planet. Sci. Lett.** v. 237, p. 370–386, 2005.

SHEN, C.-C.; LI, K.-S.; SIEH, K.; NATAWIDJAJA, D.; CHENG, H.; WANG, X.; EDWARDS, R. L.; LAM, D. D.; HSIEH, Y.-T.; FAN, T.-Y.; MELTZNER, A. J.; TAYLOR, F. W.; QUINN, T. M.; CHIANG, H.-W. & KILBOURNE, K. H. “Variation of initial $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ and limits of high precision U–Th dating of shallow-water corals,” **Geochimica et Cosmochimica Acta** v. 72, p. 4201–4223, 2008.

SIEH, K.; WARD, S. N.; NATAWIDJAJA, D. & SUWARGADI, B. W. Crustal deformation at the Sumatran subduction zone revealed by coral rings. **Geophys. Res. Lett.** v. 26, p. 3141–3144, 1999.

SILVA, I. R. & SOUZA, J. R. F. Sensibilidade ambiental de praias: um exemplo de análise para a pensínsula de Marau, sul do estado da Bahia, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 38, n.2, 147-157, 2011.

SILVA, L. da; COSTA FILHO, J. F. da; LIMA, E. R. V. & ALMEIDA, H. A. de. Análise do Albedo e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) em uma Bacia Hidrográfica usando o SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa – MG. Disponível em. Acesso em: 25 mar 2011. 2009.

SILVERMAN, J.; LAZAR, B.; CAO, L.; CALDEIRA, K. & EREZ, J. Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO_2 doubles. **Geophys. Res. Lett.** v. 36, L05606. 2009.

SIMPSON M. C *et al.* An overview of modeling climate change impacts in the Caribbean region with contribution from Pacific islands. United Nations Development Programme (UNDP). Barbados, West Indies. Site: <http://www.ncep.noaa.gov/> - Fonte dos dados de TSM da Região de Armação do Búzios, RJ – Brasil. 2009.

SINCLAIR, D. J. High spatial-resolution analysis of trace elements in corals using laser ablation ICP-MS. Ph.D. Thesis. The Australian National University, Canberra, Australia. 1999.

SINCLAIR, D. J. Non-river flood barium signals in the skeletons of corals from coastal Queensland, Australia. **Earth and Planetary Science Letters** v. 237, p.354– 369, 2005a.

SINCLAIR, D. J. Correlated trace element “vital effects” in tropical corals: a new geochemical tool for probing biomineralization, **Geochim. Cosmochim. Acta.** v.69, n. 13, p. 3265– 3284, 2005b.

SINCLAIR, D. J.; KINSEY, L.P.J. & McCULLOCH, M. T. High resolution analysis of trace elements in corals by laser ablation ICP-MS. **Geochimica et Cosmochimica Acta** v. 62, p. 1889-1901. 1998.

SINCLAIR, D. J. & McCULLOCH, M. T. Corals record low mobile barium concentrations in the Burdekin River during the 1974 flood: evidence for limited Ba supply to rivers? **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** v. 214, p. 155-174, 2004.

SIQUEIRA, M. F. & PETERSON, A. T. “Consequences of Global Climate Change for Geographic Distributions of Cerrado Tree Species”, in *Biota Neotropica* 3(2). 2003. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v3n2/pt/abstract?article+BN00803022003>. Acesso em: 15 out 2010.

SILBINGER, N. J.; GUADAYOL, Ò.; THOMAS, F. I. M. & DONAHUE, M. J. Reefs shift from net accretion to net erosion along a natural environmental gradient. **Marine Ecology Progress Series**. 515: 33 DOI:10.3354/meps10999. 2014.

SLOWEY, N. C., & CROWLEY, T. J. Interdecadal variability of Northern Hemisphere circulation recorded by Gulf of Mexico corals, **Geophys. Res. Lett.**, v. 22, n. 17, 2345–2348, doi:10.1029/95GL02236. 1995.

SMITH, N. P. Weather and hydrographic conditions associated with coral bleaching: Lee Stocking Island, Bahamas. **Coral Reefs** v. 20, n.4, p. 415-422, 2001.

SMITH, S. V.; BUDDEMEIER, R. W.; REDALJE, R. C.; HOUCK, J. E. Strontium- Calcium thermometry in coral skeletons. **Science**, v. 204, p. 404-407, 1979.

SMITH, S. V.; BUDDERMEIER, R. W. Global Change and Coral Reef Ecosystems, **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.23, pp89-118. Nov. 1992.

SOMMERFIELD, P. J.; JAAP, W. C.; CLARKE, K. R.; CALLAHAN, M.; HACKETT, K.; PORTER, J.; LYBOLT, M.; TSOKOS, C. & YANEV, G. Changes in coral reef communities among the Florida Keys, 1996-2003. **Coral Reefs**. v. 27, n. 4, p. 951-965, 2008.

SOPPA, M. A.; GHERARDI, D. F. M.; SOUZA, R. B. & PEZZI, L. P. Variabilidade temporal da temperatura superficial do mar e vento estimados por satélites e reanálises em áreas de recife de coral no Brasil. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, pp. 4715–4722. 2007.

SOROKIN, Y.I. Biological Factors of Formation and Erosion. Coral Reef Ecology, p.465, 2a. edição, Ed. Springer, Berlin. 1995.

SPEER, A.J. The kinetics of calcium carbonate dissolution and precipitation, in: R.J. Reeder (Ed.), Carbonates: Mineralogy and Chemistry, Reviews in Mineralogy, vol. 11, Mineralogical Society of America, Chelsea, MI, pp. 145–190, 1983.

STEARNS, C. W.; SCOFFIN, T. P. & MARTINDALE, W. Calcium carbonate budget of a fringing reef on the west coast of Barbados. Part I. Zonation and productivity. **Bull. mar. Sci.** v. 27, p. 479-510, 1977.

STOLL, H. M.; SCHRAG, D. P. Effects of Quaternary sea level cycles on strontium in seawater. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 62, n. 7, p. 1107-1118, 1998.

SUERTEGARY, D. M. A. Desertificação: Recuperação e Desenvolvimento Sustentável. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. Geomorfologia e Meio Ambiente. RJ: Bertrand Brasil, 1996.

SUN, Y.; SUN, M.; WEI, G.; LEE, T.; NIE, B. & YU, Z. Strontium content of a Porites coral from Xisha Island, South China Sea: a proxy for sea surface temperature of the 20th century. **Paleoceanography** v. 19, p.1–10, 2004.

SWART, P. K.; WHITE, K. S.; ENFIELD, D.; DODGE, R. F.; MILNE, P. Stable oxygen isotopic composition of corals from the Gulf of Guinea as indicators of periods of extreme precipitation conditions in the sub-Saharan. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. C12, p. 27885-27891, 1998.

SWART, P. K.; ELDERFIELD, H. & GREAVES, M. J. A high-resolution calibration of Sr/Ca thermometry using the Caribbean coral *Montastraea annularis*. **Geochemistry Geophysics Geosystems**, v. 3, n. 11 (8402), p. 1-11, 2002.

SZMANT A.M. Nutrient enrichment on coral reefs: Is it a major cause of coral reef decline. **Estuaries and Coasts**. v. 25, n. 4, p. 743-766, 2002.

SZMANT, A.M. & GASSMAN, N.J. The effects of prolonged bleaching on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. **Coral Reefs** v. 8, n.4, p. 217-224. 1990.

THOMPSON, J. H. Jr. & BRIGHT, Th. J. Effects of an offshore drilling fluid on selected corals. In: *Proc. Symp. Res. Environ. Fate E/Jf Drill. Fluids Cuttings*, pp. 1044-1078. American Petroleum Institute, Washington, D.C. 1980.

THOMPSON, W. G. & GOLDSTEIN, S. L. Open-system coral ages reveal persistent suborbital sea-level cycles. **Science** v. 308, 401–404. 2005.

TORRENCE, C. & COMPO, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 1, p. 61-78, 1998.

TREFREY, J. H., TROCINE, R. P., PIERCE, R. H. JR., WEICHERT, B. A., & MEYER, D. B. The potential impact of drilling fluids on the Texas Flower Gardens. Cited in Rogers (1982). **Mar. Biol.**, 71, 141. 1981.

TRIBOLLET, A. & GOLUBIC, S. Cross-shelf differences in the pattern and pace of bioerosion of experimental carbonate substrates exposed for 3 years on the northern Great Barrier Reef, Australia. **Coral Reefs** 24:422-434. 2005.

TRIBOLLET A.; GODINOT, C.; ATKINSON, M. J. & LANGDON, C. Effects of elevated $p\text{CO}_2$ on dissolution of coral carbonates by microbial euendoliths, **Global Biogeochem. Cycles**, 23, GB3008, doi:10.1029/2008GB003286. 2009.

TUCKER, C.J., J.E. PINZON, & M.E. BROWN Global Inventory Modeling and Mapping Studies, NA94apr15b.n11-VIg, 2.0, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland. 2004.

- TUCKER, C.J., J. E. PINZON, M. E. BROWN, D. SLAYBACK, E. W. PAK, R. MAHONEY, E. VERMOTE & N. EL SALEOUS, An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n.20, pp 4485-5598. 2005.
- TUDHOPE, A.W., LEA, D.W., SHIMMIELD, G.B., CHILCOTT, C.P., SCOFFIN, T.P., FALLICK, A.E., JEBB, M. Climatic records from massive *Porites* corals in Papua New-Guinea: a comparison of skeletal Ba/Ca, skeletal $\delta^{18}\text{O}$ and coral rainfall. Proceedings Eighth International Coral Reef Symposium, Panama, 2, 1719–1724. 1997.
- TUDHOPE, S. & COLLINS, M. The past and the future of El Niño. **Nature**, 424: 261-262. 2003.
- TUDHOPE, A. W., LEA, D. W., SHIMMIELD, G. B., CHILCOTT, C. P. & HEAD, S. Monsoon climate and Arabian Sea coastal upwelling recorded in massive corals from Southern Oman, **Palaos** v. 11, p. 347– 361. 1996.
- UNEP/AIMS. Monitoring Coral Reefs for Global Change. Reference Methods for Marine Pollution studies. No 61, 72 Pp. 1993.
- UNICA – União da Indústria Canavieira. “Estatística de Produção de Açúcar no Brasil”. Disponível em <http://www.unica.com.br/dados/Cotacao/estatistica/>. Acesso em: 7 dez 2010. 2008.
- URBAN, F. E.; COLE, J. E. & OVERPECK, J. T. Influence of mean climate change on climate variability from a 155-year tropical Pacific coral record. **Nature** v. 407, p. 989–993. 2000.
- VAGO, R.; SHAI, Y.; BEN-ZION, M.; DUBINSKY, Z.; ACHITUV, Y. Computerized tomography and image analysis: A tool for examining the skeletal characteristics of reef-building organisms. **Limnol Oceanogr** v. 39,p. 448-452, 1994.
- VALENTIN, J. L. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil), **Marine Biology**, v. 82, p. 259-276, 1984.
- VALENTIN, J. L., ANDRÉ, D.L. & JACOB, S. A. Hidrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a Wind cycle, **Continental Shelf Research**, v.7, n. 1, p. 77-88, 1987.
- VÁSQUEZ-BEDOYA, L. F., COHEN, A. L. OPPO, D. W. & BLANCHON, P. Corals record persistent multidecadal SST variability in the Atlantic Warm Pool since 1775 AD, **Paleoceanography**, 27, PA3231, doi:10.1029/2012PA002313. 2012.
- VEGA THURBER, R.; BURKEPILE, D. E.; CORREA, M. S.; THURBER, A. R.; SHANTZ, A. A.; WELSH, R.; PRITCHARD, C. & ROSALES, S. Macroalgae decrease growth and alter microbial community structure of the reef-building coral, *Porites astreoides*. **PLoS One** 7: e44246. 2012.

- VEIGA, I. G. Avaliação da origem dos hidrocarbonetos em sedimentos superficiais de manguezais da região norte da Baía de Todos os Santos / Bahia. 249p. Dissertação (Mestrado) Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 2003.
- VERON J. E. N. Corals of the World. Vol. 1. 3 vols. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science and CCR Qly Pty Ltd. 2000a.
- VERON J. E. N. Corals of the World. Vol. 2. 3 vols. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science and CCR Qly Pty Ltd. 2000b.
- VERON J. E. N. Corals of the World. Vol. 3. 3 vols. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science and CCR Qly Pty Ltd. 2000c.
- VERON, J. E. N. Corals in space and time: the biogeography & evolution of the Scleractinia. Sidney, UNSW Press. 321 p. 1995.
- VILLAÇA, R. C. & PITOMBO, F. B. Benthic communities of shallow-water reefs of Abrolhos, Brazil. **Rev. bras. Oceanogr.** v. 45, n (1/2), p. 35-43, 1997.
- VOSS J.D & RICHARDSON L.L. Nutrient enrichment enhances black band disease progression in corals. **Coral Reefs** v. 25, n.4, p. 569-576, 2006.
- VOROSMARTY, C.J., MEYBECK, M., FEKETE, B., SHARMA, B., GREEN, K. & SYVITSKI, J.P.M. Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. **Global and Planetary Change** v. 39, p. 169-190, 2003.
- WAINER, I.; SERVAIN, J. & CLAUZET, G. Is the decadal variability in the tropical Atlantic a precursor to the NAO? **Annales Geophysicae**, v. 26, p. 1-7, 2008.
- WALLACE, M.G. (em fase preliminar de desenvolvimento). <http://www.abeqas.com/global-ocean-ph-pdo/>. 2014. Acesso em: 25 out 2015.
- WALLING, D.E. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. **Hydrobiologia** v. 410, p. 223-240, 2000.
- WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T.J.C.; FROMENTIN, J.M.; HOEGH-GULDBERG, O. & BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature** v. 416, n. 6879, p. 389-395, 2002.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.
- WARREN-RHODES K, SADOVY Y, CESAR H. Marine ecosystem appropriation in the Indo-Pacific: a case study of the live reef fish food trade. **Ambio**. v. 32, n.7, p. 481-488, 2003.
- WATANABE, T.; MINAGAWA, M.; OBA, T.; WINTER, A. Pretreatment of coral aragonite for Mg and Sr analysis: implications for coral thermometers. **Geochemical Journal**, v. 35, p. 265-269, 2001.

- WEBER, J.N. Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. **Geochim. Cosmochim. Acta** v.37, p. 2173-2190, 1973.
- WEI, G.; SUN, M.; LI, X.; NIE, B. Mg/Ca, Sr/Ca and U/Ca ratios of a Porites coral from Sanya Bay, Hainan Island, South China Sea and their relationships to sea surface temperature. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 162, p. 59-74, 2000.
- WHELAN K.R.T, MILLER J, SANCHEZ O, M PATTERSON. Impact of the 2005 coral bleaching event on Porites porites and Colpophyllia natans at Tektite Reef, US Virgin Islands. **Coral Reefs** v. 26, n.3, p. 689-693, 2007.
- WHITEHOUSE, W. J. The Quantitative Morphology of Anisotropic Trabecular Bone. **Journal of Microscopy**, v. 101, p. 153-168, 1974.
- WIEBE, W.J, JOHANNES, W.J, & WEBB, K.L. Nitrogen fixation in a coral reef community. **Science**. v. 188, n.4185, p. 257-259. 1975.
- WILD, F.J.; JONES, A.C. & TUDHOPE, A.W. Investigation of luminescent banding in solid coral: the contribution of phosphorescence. **Coral Reefs** v. 19, p.132–140, 2000.
- WILKINSON C & SOUTER D. Status of Caribbean corals reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Centre. 2008.
- WILKINSON C, CHOU LM, GOMEZ E, RIDZWAN AR, SOEKARNO S, SUDARA S. 1996. Status of coral reefs in Southeast Asia: threats and responses. v. 76, n. 2, p.217. 1996.
- WILKINSON C. Status of coral reefs of the world. Townsville, Queensland. Australian Institute of Marine Science. 2000.
- WILKINSON C. Status of coral reefs of the world. Townsville, Queensland. Global Coral Reef Monitoring Network. 2008.
- WILKINSON, C. Status of coral reefs of the world. GCRMN. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia, p.7-44. 2002.
- WILKINSON, C.; LAUDEN O.; CESAR, H.; HODGSON, G.; RUBENS, J. & STRONG, A. Ecological and socioeconomic impacts of 1998 coral mortality in the Indian Ocean. An ENSO impact and a warning of future change? **Ambio** v. 28, p. 188-196, 1999.
- WINTER A, APPELDORN R.S, BRUCKNER A, WILLIAMS, J.R. EH, GOENAGA C. Sea-surface temperatures and coral bleaching off La Parguera, Puerto Rico. **Coral Reefs** v. 17, n. 4, p. 377-382, 1998.
- WOLANSKI, E. Physical oceanographic processes of the Great Barrier Reef. CRC Press. 1994.
- WOOD R. Reef Evolution. New York: Oxford University Press, Inc. 1999.

XAVIER, M. A. P. *Ocupações irregulares e degradação ambiental em Búzios*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura) – Universidade Federal Fluminense, Centro Tecnológico, Niterói, 2001. 57p.

XAVIER, M. A. P. Búzios: estética, poder e território. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, R.J, 2006. 243p.

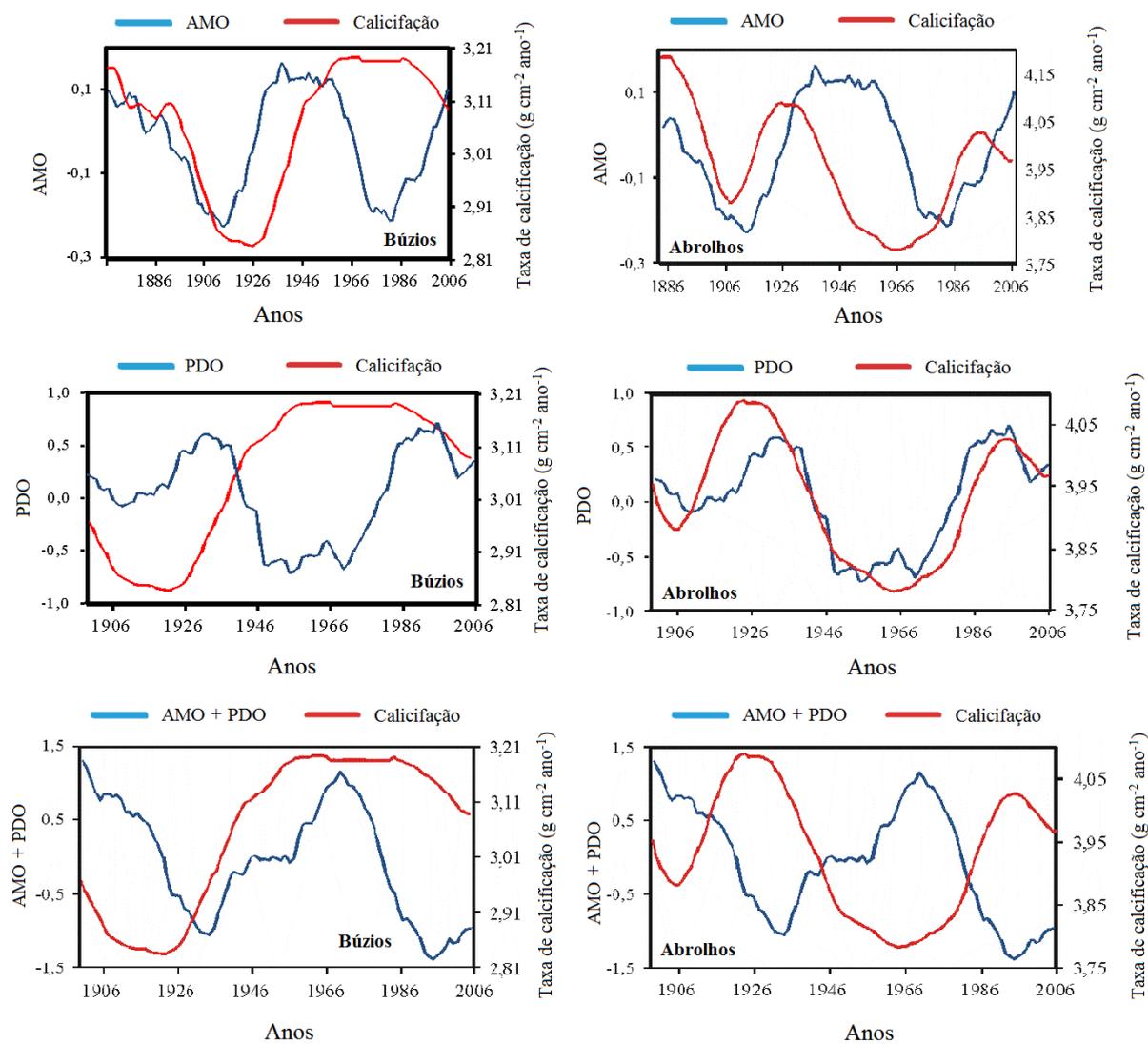
YEE-WAN, S.; MOFFETT, D.; RONEYNE, N.; INGERMAN, L. & SWARTS, S. Priority Data needs for Barium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry/ Division of Toxicology and Environmental Medicine (ATSDR/DTEM). N.200-2004-09793. 2012.

YOKOI, S.; TAKAYABU, Y. N.; NISHII, K.; NAKAMURA, H.; ENDO, H.; ICHIKAWA, H.; INOUE, T.; KIMOTO, M.; KOSAKA, Y.; MIYASAKA, T.; OSHIMIDA, K.; SATO, N.; TSUSHIMA, Y.; WATANABE, M. Application of Cluster Analysis to Climate Model Performance Metrics. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 50, p. 1666-1675, 2011.

YU, K.-F.; ZHAO, J.-X.; LIU, T.-S.; WEI, G.-J.; WANG, P.-X. & COLLERSON, K. D. High-frequency winter cooling and reef coral mortality during the Holocene climatic optimum. **Earth Planet. Sci. Lett.** v. 224, p. 143–155, 2004.

ZHANG, R. & DELWORTH, T. L. Simulated tropical response to a substantial weakening of the Atlantic thermohaline circulation, **J. Clim.**, v. 18, p. 1853– 1860, 2005.

ANEXO A – Gráficos de sobreposição das séries climáticas da AMO, PDO e AMO+PDO com as taxas de calcificação dos corais do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Armação dos Búzios. Curvas com 15 σ anos média móvel



Uranium and Thorium isotopic compositions and ²³⁰Th ages for Brazilian coral samples by MC-ICPMS, Thermo Electron Neptune, at HISPEC, NTU.

Localidade	NTU ID	Peso g	Ponto de coleta (cm)	²³⁸ U ppb	²³² Th ppt	$\delta^{234}\text{U}$ medido ^a	[²³⁰ Th/ ²³⁸ U] atividade ^c	[²³⁰ Th/ ²³² Th] ppm ^d	Idade não corrigida	$\delta^{234}\text{U}_{\text{inicial}}$ corrigida ^b	Idade corrigida ^e	Tamanho da amostra (cm)
Pedra Alva - Salvador	PA1	0,3016	1,4 - 2,6	2404,3 ± 2,2	472,4 ± 2,5	146,0 ± 1,5	0,000101 ± 0,0000084	8,51 ± 0,70	9,65 ± 0,80	146,0 ± 1,5	5,1 ± 2,4	*
	PA2	0,3024	11,3 - 12,5	2434,7 ± 2,4	494,9 ± 2,4	147,6 ± 1,8	0,000339 ± 0,0000093	27,51 ± 0,77	32,23 ± 0,89	147,6 ± 1,8	27,5 ± 2,5	*
	PA3	0,1060	21,4 - 22,4	2388,1 ± 5,4	512,3 ± 7,1	147,7 ± 3,3	0,000552 ± 0,000020	42,5 ± 1,6	52,6 ± 1,9	147,7 ± 3,3	47,6 ± 3,1	**
	PA4	0,0965	35,7 - 36,8	2369,4 ± 6,3	432,0 ± 7,4	153,8 ± 3,2	0,000807 ± 0,000023	73,1 ± 2,4	76,4 ± 2,2	153,8 ± 3,2	72,3 ± 3,0	**
Chapeirão - Abrolhos	CS1	0,1008	1,3 - 2,4 e 2,4 - 3,3	2276,1 ± 4,2	230,4 ± 7,0	146,3 ± 2,4	0,000131 ± 0,000019	21,3 ± 3,2	12,5 ± 1,8	146,3 ± 2,4	10,1 ± 2,2	**
	CS2	0,1023	13,9 - 15,0	2295,3 ± 4,2	270,5 ± 6,9	148,9 ± 2,3	0,000466 ± 0,000020	65,3 ± 3,3	44,3 ± 1,9	148,9 ± 2,3	41,6 ± 2,4	**
Praia da Tartaruga - Búzios (B1)	CS3	0,1115	29,2 - 30,7	2278,8 ± 4,5	219,5 ± 6,3	149,4 ± 2,8	0,000819 ± 0,000020	140,4 ± 5,3	77,8 ± 1,9	149,4 ± 2,8	75,6 ± 2,2	**
	CS4	0,0960	52,3 - 53,2	2556,9 ± 4,0	553,0 ± 7,5	148,5 ± 2,5	0,001341 ± 0,000022	102,3 ± 2,2	127,5 ± 2,1	148,6 ± 2,5	122,6 ± 3,3	**
Búzios (B1)	TA1	0,1041	1,4 - 2,6	2213,6 ± 3,7	1063,8 ± 7,1	145,1 ± 2,2	0,000180 ± 0,000019	6,20 ± 0,67	17,2 ± 1,9	145,1 ± 2,2	6,1 ± 5,9	**
	TA2	0,0952	11,3 - 12,5	2464,6 ± 5,6	1758,3 ± 8,7	144,9 ± 3,2	0,000718 ± 0,000023	16,62 ± 0,53	68,5 ± 2,2	144,9 ± 3,2	52,0 ± 8,5	**
	TA3	0,1105	21,4 - 22,4	2404,2 ± 2,6	1572,2 ± 7,4	145,0 ± 1,8	0,001116 ± 0,000025	28,18 ± 0,63	106,5 ± 2,4	145,0 ± 1,8	91,4 ± 7,9	**

ANEXO B – Urânio e Tório, composições isotópicas e idades para amostras de corais de Pedra Alva-Salvador-BA (PA1, 2, 3 e 4), Chapeirão-Parque Nacional Marinho dos Abrolhos-BA (CS1, 2, 3 e 4) e Praia da Tartaruga-Armação dos Búzios-RJ (TA1, 2 e 3)

A parte química foi realizada em 20 de maio (**) e 26 de julho (*) do ano de 2010 (SHEN *et al.*, 2003); Foi utilizado o método de MC-ICP-MS, com medições feitas em 13 de agosto de 2010 (SHEN *et al.*, 2010). Os erros analíticos são 2σ da média.

Nota:

$$^a \delta^{234}\text{U} = ([^{234}\text{U}/^{238}\text{U}]_{\text{atividade}} - 1) \times 1000.$$

^b $\delta^{234}\text{U}_{\text{inicial}}$ correção foi calculada com base na ²³⁰Th age (T), i.e., $\delta^{234}\text{U}_{\text{inicial}} = \delta^{234}\text{U}_{\text{medido}} \times e^{\lambda^{234} \cdot T}$, e T é a idade corrigida.

$$^c [^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}]_{\text{atividade}} = 1 - e^{-\lambda^{230}T} + (\delta^{234}\text{U}_{\text{medido}}/1000)[\lambda^{230}/(\lambda^{230} - \lambda^{234})](1 - e^{-(\lambda^{230} - \lambda^{234})T}), \text{ onde } T \text{ é a idade.}$$

Constantes de decaimento são $9.1577 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ para ²³⁰Th, $2.8263 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ para ²³⁴U (CHENG *et al.*, 2000), e $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ para ²³⁸U (JAFFEY *et al.*, 1971).

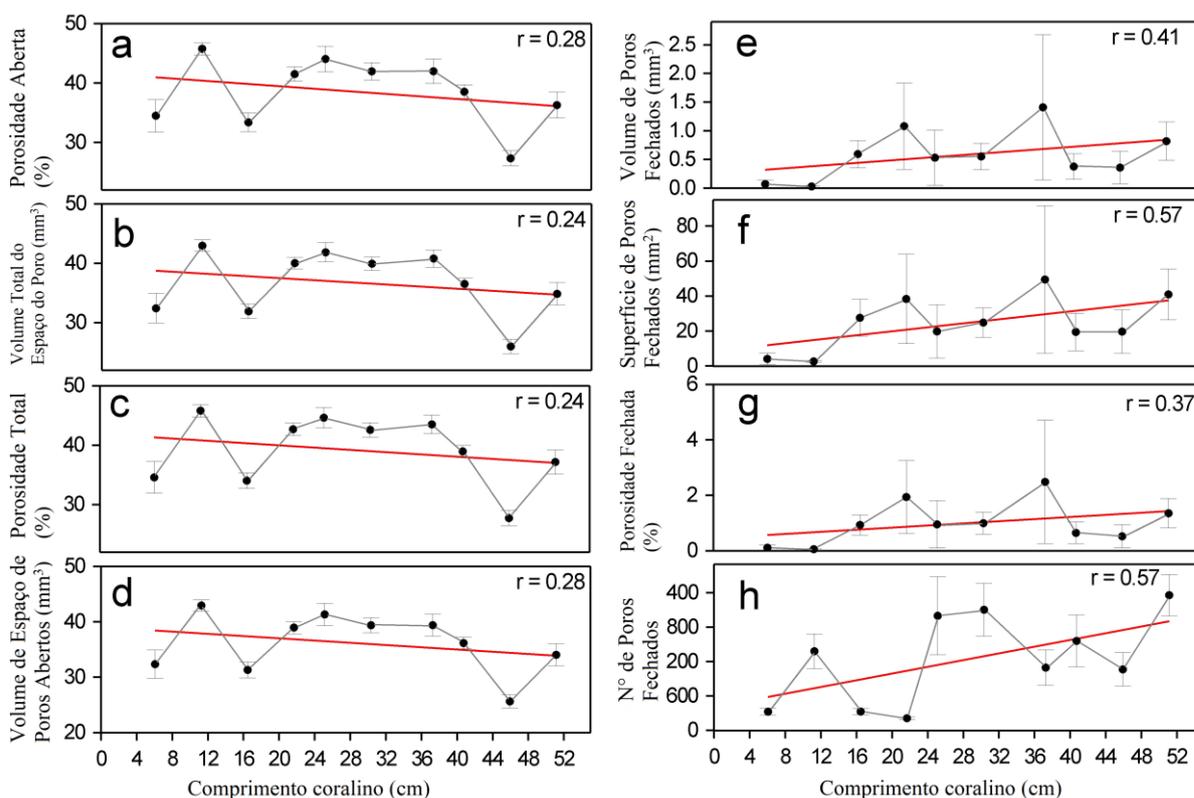
^dO grau detrital de contaminação do ²³⁰Th é indicado pela razão atômica [²³⁰Th/²³²Th] em vez da proporção da atividade.

^eCorreções de idade foram calculados utilizando uma estimativa da razão atômica ²³⁰Th/²³²Th de 4 ± 2 ppm.

ANEXO C – Linhas de tendências obtidas com os diferentes resultados da análise de dados da microestrutura coralina da amostra CS1 feito no software CTAn da marca Skyskan

Para a amostra do Arquipélago do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (CS1) a Porosidade Aberta (%) **(a)** apresentou média de $38,5 \pm 5,66$, $r = 0,28$ (correlação com o tamanho/idade), em relação ao Volume Total do Espaço do Poro (mm^3) **(b)** a média foi de $36,7 \pm 5,4$ e $r = 0,24$, Porosidade Total (%) **(c)** com média de $39,1 \pm 5,77$, $r = 0,24$. E o Volume de Espaço de Poros Abertos (mm^3) **(d)** com média de $36,14 \pm 5,32$, $r = 0,28$. Todos estes resultados apresentaram linhas de tendências negativas suaves ou pouco pronunciadas e coeficiente de correlação positivo variando de $r = 0,24$ e $r = 0,92$ (Tabela 3).

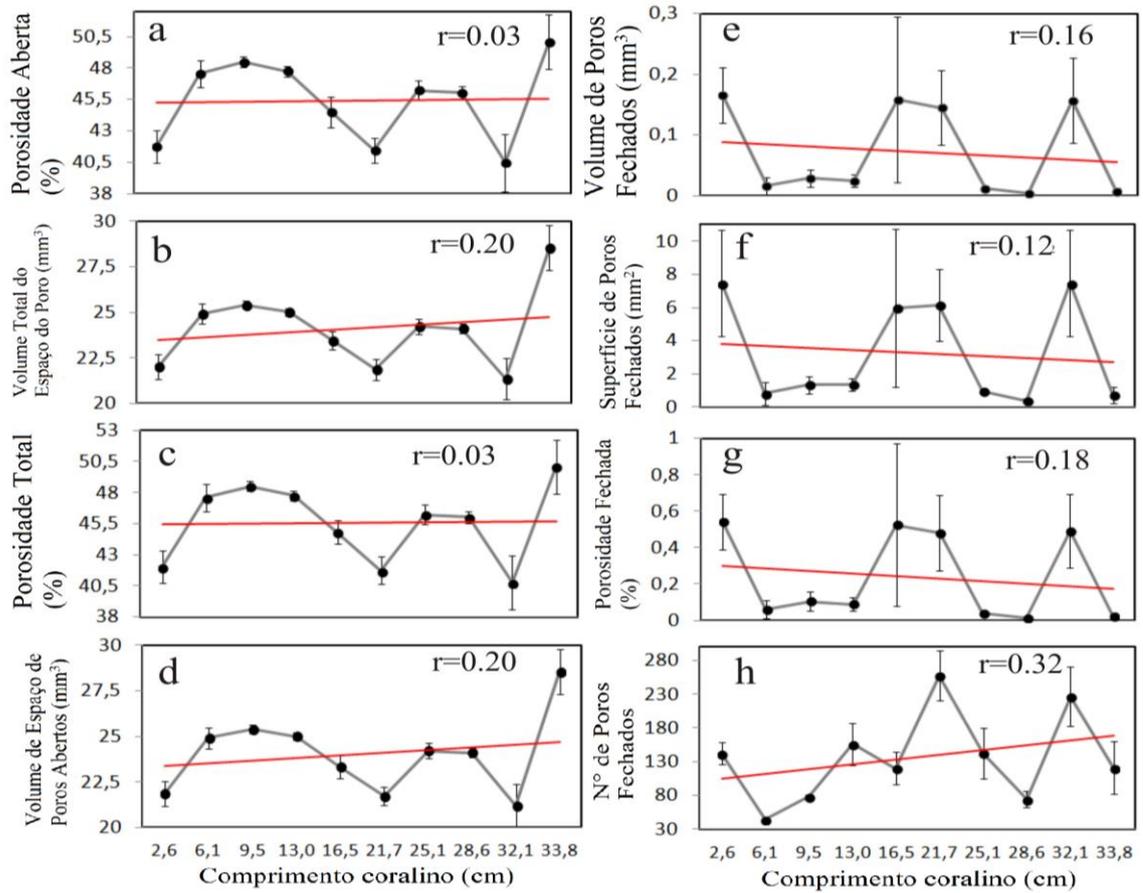
O Volume de Poros Fechados (mm^3) **(e)** apresentou média de $0,58 \pm 0,43$ e coeficiente de correlação de $r = 0,41$. A Superfície de Poros Fechados (mm^2) **(f)** com média de $24,68 \pm 15,1$ e $r = 0,57$. A Porosidade Fechada (%) **(g)** com média de $0,99 \pm 0,76$, $r = 0,37$. No N° de Poros Fechados **(h)** exibiu média de $1242,27 \pm 779,9$ e $r = 0,57$. Todos estes com resultados do coeficiente de correlação positivo variaram de $r = 0,37$ a $r = 0,57$ com linhas de tendências positivas pouco pronunciadas, exceto o N° de Poros Fechados **(h)** que apresentou uma linha positiva bem pronunciada e os pontos semelhantes a curva de anomalia da TSM (Tabela 3).



ANEXO D – Linhas de tendências obtidas com os diferentes resultados da análise de dados da microestrutura coralina da amostra B1 feito no software CTAn da marca Skyskan

Na amostra de Armação dos Búzios (B1) **ANEXO D**, o Grau de Anisotropia apresentou uma média de $2,19 \pm 0,15$ e linha de tendência negativa bem pronunciada e coeficiente de correlação positivo de $r = 0,55$. A Porosidade Aberta (%) (**a**) com média de $45,42 \pm 3,28$, $r = 0,03$. Em relação ao Volume Total do Espaço do Poro (mm^3) (**b**) a média foi de $24,1 \pm 2,12$ e $r = 0,20$. A Porosidade Total (%) (**c**) com média de $45,56 \pm 3,15$, $r = 0,03$. E o Volume de Espaço de Poros Abertos (mm^3) (**d**) com média de $24,03 \pm 2,17$, $r = 0,20$. E no N° de Poros Fechados (**h**) exibiu média de $136,13 \pm 66,31$ e $r = 0,32$. Todos estes resultados apresentaram linhas de tendências positivas suaves ou pouco pronunciadas com coeficiente de correlação positivo variando de $r = 0,03$ e $r = 0,32$ (Tabela 3).

O Volume de Poros Fechados (mm^3) (**e**) apresentou média de $0,072 \pm 0,07$ e coeficiente de correlação de $r = 0,16$. A Superfície de Poros Fechados (mm^2) (**f**) com média de $3,26 \pm 3,1$ e $r = 0,12$. A Porosidade Fechada (%) (**g**) com média de $0,24 \pm 0,24$, $r = 0,18$. Todos estes resultados de coeficiente de correlação positivo variaram de $r = 0,12$ a $r = 0,18$ com linhas de tendências positivas pouco pronunciadas (Tabela 3).



ANEXO E – Série temporal da precipitação por área de coleta dos corais (mm/mês)

Ano	Precipitação Salvador	Precipitação Abrolhos	Precipitação Búzios
1980	111,4	124,01	63,49
1981			69,76
1982			80,06
1983			139,0
1984			
1985			
1986	92,30	72,24	2,40
1987	76,94	86,99	
1988	113,1		
1989	77,64	57,47	
1990	144,1		
1991	146,2	91,44	
1992	111,5	263,1	99,28
1993	64,45	77,79	86,45
1994	103,3	97,37	104,7
1995	90,99	113,0	102,8
1996	115,3	73,72	113,6
1997	103,9	104,6	92,74
1998	90,08	91,25	92,22
1999	124,1	128,4	84,99
2000	107,6	124,2	94,96
2001	91,41	101,7	
2002	90,46	111,8	89,00
2003	98,19	71,71	105,1
2004	100,8	112,6	109,9
2005	110,1	133,9	116,2

ANEXO F – Série temporal da vazão dos rios de represas e hidrelétricas da Bacia Atlântico Leste (m³/s)

Ano	Bacia Atlântico Leste			SANTA CLARA MG
	PEDRA DO CAVALO	IRAPÉ	ITAPEBI	
1933	87,58	156,67	398,92	100,00
1934	98,92	107,33	281,75	79,75
1935	111,33	115,58	302,50	83,75
1936	78,83	99,58	263,75	76,58
1937	87,00	138,75	358,50	95,58
1938	54,00	66,75	189,92	67,00
1939	61,33	48,50	132,33	61,50
1940	200,42	123,25	317,58	59,75
1941	123,42	142,58	343,08	73,17
1942	102,75	220,92	588,08	144,08
1943	72,08	264,42	624,58	133,50
1944	106,83	173,33	429,42	106,58
1945	198,33	414,00	879,00	201,25
1946	58,08	161,50	467,17	109,83
1947	156,92	170,08	432,83	77,50
1948	164,92	180,75	478,83	83,75
1949	108,00	243,92	716,17	147,17
1950	73,42	128,50	319,67	72,00
1951	59,42	102,17	214,75	39,08
1952	76,83	192,00	451,33	106,75
1953	49,92	127,33	321,33	77,00
1954	139,50	94,17	247,25	56,50
1955	97,08	130,58	326,67	63,83
1956	109,83	136,08	354,92	84,33
1957	194,92	246,42	623,00	152,58
1958	102,25	152,25	375,25	110,50
1959	56,00	167,58	307,75	60,33
1960	236,33	207,75	677,92	174,08
1961	41,33	157,25	370,58	66,42
1962	52,75	163,17	350,92	78,08
1963	83,83	58,67	165,92	42,33
1964	335,08	194,92	507,25	133,42
1965	62,92	145,33	341,83	130,83
1966	83,83	119,67	243,83	68,08
1967	91,33	120,67	302,08	74,33
1968	148,67	220,17	651,67	135,33

1969	213,92	189,58	543,58	90,50
1970	173,67	195,75	567,25	126,25
1971	53,08	161,17	392,67	134,25
1972	75,33	126,33	294,42	93,92
1973	77,83	154,75	320,08	84,25
1974	145,75	117,83	274,08	101,33
1975	96,58	127,00	263,83	81,25
1976	73,92	90,75	192,42	63,08
1977	90,67	136,92	323,67	81,67
1978	228,42	221,58	488,42	163,67
1979	131,50	383,58	951,92	204,75
1980	235,25	242,92	537,00	114,42
1981	151,42	267,17	586,67	147,50
1982	54,83	206,42	543,92	161,42
1983	88,33	239,08	645,42	149,00
1984	65,67	102,92	355,00	94,08
1985	149,25	218,08	654,83	200,08
1986	51,17	120,92	370,75	72,83
1987	46,50	106,42	349,67	58,08
1988	72,50	98,33	312,42	44,00
1989	162,42	123,42	466,92	51,08
1990	64,17	69,50	327,42	45,50
1991	72,58	128,50	380,75	86,75
1992	229,42	303,08	993,00	251,75
1993	22,67	98,00	321,50	109,83
1994	60,58	121,08	307,00	77,33
1995	46,25	107,17	227,25	60,58
1996	32,58	81,50	216,50	48,92
1997	159,92	119,50	300,25	69,50
1998	34,92	98,25	236,25	41,83
1999	86,17	105,75	243,58	52,50
2000	121,75	143,50	354,25	132,08
2001	48,92	68,42	159,00	97,92
2002	118,58	131,58	387,17	108,92
2003	64,58	81,67	158,50	51,92
2004	121,08	160,83	375,25	119,08
2005	69,42	159,50	322,58	113,42
2006	92,25	180,42	377,00	149,75

ANEXO G – Série temporal da vazão dos rios de represas e hidrelétricas da Bacia Atlântico Sudeste (m³/s)

Ano	Bacia Atlântico Sudeste							
	MASCARENHAS	ANTÔNIO DIAS + SÁ CARVALHO	ILHA DOS POMBOS	FUNIL	PORTO ESTRELA	SOBRAGI	PARAIBUNA	SANTA BRANCA
1933	1353,50	117,17	540,83	176,83	216,75	79,17	48,42	57,25
1934	984,58	87,83	507,58	205,67	161,58	63,25	57,42	69,33
1935	1416,67	87,33	643,50	243,33	227,83	91,75	64,25	76,75
1936	791,42	70,25	546,92	232,00	138,25	62,25	63,42	74,67
1937	1243,83	112,25	691,58	266,58	194,17	93,42	62,08	73,33
1938	800,00	79,83	717,25	274,75	134,92	99,17	74,67	88,08
1939	765,17	76,50	544,58	230,67	115,42	72,67	64,33	76,08
1940	742,33	73,83	625,00	230,75	127,42	88,17	62,83	77,33
1941	916,83	83,25	523,75	188,58	156,58	83,92	54,33	65,42
1942	1257,25	105,25	593,42	210,08	179,67	89,33	54,67	64,67
1943	1478,33	143,25	705,08	193,33	247,58	112,50	49,25	56,17
1944	1408,75	95,42	615,08	223,83	171,25	95,67	67,33	76,5
1945	1728,00	153,42	593,75	238,33	267,67	81,75	63,17	74
1946	1083,00	98,75	558,33	219,92	167,08	78,17	57,00	66
1947	944,50	92,00	908,25	365,25	168,08	116,17	93,25	112,17
1948	1055,00	102,17	675,33	286,25	192,67	83,58	74,75	91,5
1949	1633,50	148,75	574,58	215,42	289,08	86,08	63,50	74,25
1950	979,00	91,67	740,83	321,25	167,00	75,08	86,42	101,25
1951	956,92	92,17	644,42	272,92	193,50	103,92	85,92	98,92
1952	1547,58	117,83	698,00	258,42	269,08	104,58	75,08	90,17
1953	1031,42	80,00	423,75	152,67	148,33	72,25	49,92	59,58
1954	744,33	56,75	350,67	162,25	99,17	44,67	44,75	54,25
1955	665,50	69,17	358,50	144,75	106,75	51,17	44,92	52,67
1956	639,83	63,25	421,92	179,75	122,75	53,67	57,00	67,25
1957	1187,83	100,33	590,00	235,42	224,83	78,42	65,58	77,5
1958	867,33	75,08	530,58	249,42	149,00	62,58	71,92	87
1959	653,00	52,50	519,33	218,75	126,00	64,00	69,33	81,25
1960	1021,67	83,08	603,58	231,83	169,17	87,17	65,33	79,67
1961	910,33	92,50	769,08	275,25	184,25	120,17	78,08	97,33
1962	916,25	93,25	650,33	271,50	164,75	92,25	73,92	92,83
1963	499,42	50,00	421,00	200,00	96,42	56,50	58,42	70,17
1964	893,67	91,25	464,92	179,08	146,83	70,75	51,08	58,67
1965	1221,08	107,25	746,75	252,08	244,92	108,25	71,92	87,25
1966	822,58	87,00	762,08	290,75	144,83	96,08	87,67	104,17

1967	836,67	76,00	936,33	384,17	116,25	97,50	117,08	137,67
1968	864,00	69,08	448,08	189,92	136,17	54,33	60,67	70,33
1969	682,00	63,25	481,17	184,17	113,67	62,17	62,50	71,5
1970	826,00	66,75	483,42	236,42	122,00	55,50	74,58	86,08
1971	689,75	56,17	413,33	188,17	97,58	48,50	69,75	76,58
1972	698,33	69,08	567,67	204,58	108,67	80,00	68,33	77,5
1973	901,25	87,42	588,83	192,67	163,42	110,00	68,83	74,58
1974	722,67	75,75	522,75	197,83	134,17	91,17	67,67	74,67
1975	700,42	63,58	542,75	192,25	135,33	71,50	67,83	74,75
1976	637,58	61,75	675,25	318,17	114,00	74,33	95,42	106,17
1977	806,67	73,42	536,17	209,08	149,92	65,67	74,67	82,5
1978	865,42	79,75	504,75	167,00	170,33	75,67	55,75	62,75
1979	1714,58	152,33	600,50	186,25	307,17	96,17	59,17	70,75
1980	1285,08	102,58	539,08	205,17	204,50	70,83	67,58	76,75
1981	1090,33	85,83	548,00	208,08	172,17	71,42	68,58	74
1982	1250,42	112,83	697,08	254,83	215,83	96,75	75,08	87,5
1983	1593,08	132,92	1059,08	385,58	235,83	151,50	109,25	132,92
1984	1047,67	75,92	501,92	170,58	128,58	77,17	57,50	70,67
1985	1804,83	140,67	751,50	239,75	243,67	126,92	93,25	105,42
1986	915,83	79,25	540,58	205,42	134,33	80,08	75,25	91,17
1987	802,25	71,42	599,00	271,92	117,83	71,58	85,08	98,17
1988	809,50	68,58	682,92	252,33	136,17	85,17	81,67	91,25
1989	689,33	63,58	648,00	262,00	128,08	70,42	83,50	95,08
1990	526,50	41,58	390,67	156,58	83,00	51,25	51,67	58,08
1991	1060,17	81,83	622,58	231,33	156,08	73,83	73,25	83,58
1992	1496,58	116,42	555,58	177,83	267,92	70,17	59,75	66,5
1993	881,33	65,25	500,67	208,17	145,75	60,33	61,58	70,67
1994	877,50	65,75	500,58	169,58	124,92	68,50	58,58	66,75
1995	707,83	65,00	536,50	245,08	107,58	58,92	75,25	86,5
1996	758,67	68,42	783,50	327,92	116,33	76,67	107,08	124,67
1997	1100,25	103,83	591,08	205,58	174,92	78,58	61,83	74,17
1998	736,92	73,92	483,25	203,25	129,83	60,08	64,08	79,58
1999	650,67	59,67	548,50	223,67	107,50	61,33	65,50	79,17
2000	799,17	79,25	551,83	223,83	145,58	56,08	68,17	80,17
2001	515,58	52,00	436,42	173,83	87,58	42,67	53,92	64
2002	910,17	81,83	509,17	192,92	168,92	47,17	58,67	70
2003	799,75	81,25	502,50	143,17	137,75	67,67	45,08	53,42
2004	1060,67	98,33	676,42	198,00	190,00	94,08	61,08	69,5
2005	1215,92	94,08	703,33	237,42	202,17	74,08	72,58	83,92
2006	725,83	71,33	563,08	206,17	152,50	61,42	61,58	72