



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO – DEDC CAMPUS VIII – PAULO AFONSO/ BA
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ITALA JULIANA FIDELES BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE CRESCIMENTO DE COLÔNIAS DE CORAIS DA
ESPÉCIE *SIDERASTREA STELLATA*, DA REGIÃO COSTEIRA DO RIO GRANDE
DO NORTE**

PAULO AFONSO – BA
2024

ITALA JULIANA FIDELES BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE CRESCIMENTO DE COLÔNIAS DE CORAIS DA
ESPÉCIE *SIDERASTREA STELLATA*, DA REGIÃO COSTEIRA DO RIO GRANDE
DO NORTE**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da
Bahia – UNEB, Departamento de Educação – DEDC,
Campus VIII, como pré-requisito para obtenção de
Grau de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Natan Silva Pereira

**PAULO AFONSO – BA
2024**

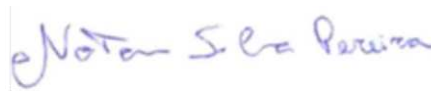
ITALA JULIANA FIDELES BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE CRESCIMENTO DE COLÔNIAS DE
CORAIIS DA ESPÉCIE *SIDERASTREA STELLATA*, DA REGIÃO
COSTEIRA DO RIO GRANDE DO NORTE.**

Monografia apresentada à Universidade do
Estado da Bahia – UNEB, Departamento
de Educação – DEDC, *Campus VIII*, como
pré-requisito para obtenção de Grau de
Licenciada em Ciências Biológicas.


Data da defesa: 19/07/2024

BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. Natan Silva Pereira
Universidade do Estado da Bahia (Orientador)

Documento assinado digitalmente

 **ADRIANA MARIA CUNHA DA SILVA**
Data: 19/08/2024 10:51:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Adriana Maria Cunha da Silva
Universidade do Estado da Bahia (Membro)

Documento assinado digitalmente

 **PATRICIA BARROS PINHEIRO**
Data: 19/08/2024 09:19:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Patricia Barros Pinheiro
Universidade do Estado da Bahia (Membro)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por permitir que eu chegasse até aqui, aos meus orientadores: Prof. Dr. Natan Silva Pereira por todo apoio e inspiração a Profa. Dra. Wbaneide Martins de Andrade por me apoiar nessa reta final. Também quero agradecer aos meus amigos do curso de Ciências Biológicas e do NESP, pela troca de conhecimento e pelo companheirismo. Sem vocês, a jornada não teria sido tão especial. Muito obrigado a todos!

Agradeço a minha amada mãe Maria Do Carmo Fideles Barbosa por todo amor e cuidado e ao meu amado e saudoso pai José Serafim Barbosa por ter sido meu herói, exemplo de amor, carinho e dignidade, paiinho o senhor jamais será esquecido! gratidão por toda ajuda a mim oferecida, pelos seus incentivos e apoio seja financeiro ou sentimental. A vocês dois, meu muito obrigado, sou muito feliz e orgulhosa por tê-los em minha vida.

Minha irmã Ingride e meus sobrinhos, amo muito vocês e agradeço por estarem presente em minha vida. Obrigado pelos conselhos, atenção, apoio e carinho, vocês são muito importantes para mim. Um grande obrigado também aos professores e coordenadores do Curso de Ciências Biológicas. Aprendi muito com o conhecimento que cada professor compartilhou comigo.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão a Deus, que foi minha fonte de força durante os últimos acontecimentos e na elaboração deste trabalho. Sua presença em minha vida me ajudou a superar as dificuldades e a encontrar o caminho certo para alcançar meus objetivos.

*O ideal do amor e da verdadeira
generosidade é dar tudo de si, mas sempre
sentir como se isso não houvesse lhe
custado nada.
Simone de Beauvoir*

RESUMO

Corais do gênero *Siderastrea* são capazes de armazenar uma elevada quantidade de informações geoquímicas por comprimento do seu esqueleto comparada com as demais espécies. A calibração entre o proxy utilizado e a reação da variável ambiental examinada é determinante para firmar a relação entre o estímulo ambiental e sua resposta no organismo. Considerando a indisponibilidade de longas séries temporais para registros instrumentais, principalmente na costa do Rio Grande do Norte, se torna imprescindível entender o padrão de crescimento e como uma espécie de coral registra informações sobre o ambiente em que vive. O propósito deste estudo foi estimar as taxas de crescimento do coral *Siderastrea stellata* proveniente de uma determinada área dos Parrachos de Maracajaú (RN-Brasil), para isto, foi gerado placas de aproximadamente 5 mm de espessura do esqueleto do coral, posteriormente radiografada e analisada esclerocronologicamente no software Coral XDS®. A análise esclerocronologica do esqueleto com base na contagem das bandas de crescimento constatou um crescimento de $3,75 \pm 0,7$ mm/ano, estimativa aproximada para a taxa de crescimento dessa espécie dentro do gênero em outras localidades do Atlântico Sul, principalmente para a região costeira. Nesse sentido, este estudo destaca o crescimento do coral *Siderastrea stellata* como um potencial bioindicador dos parâmetros ambientais marinhos nessa região.

Palavras-chave: Corais; Esclerocronologia; Paleoclimatologia

ABSTRACT

Corals of the *Siderastrea* genus are capable of storing a high amount of geochemical information per skeleton length compared to other species. The calibration between the proxy used and the reaction of the environmental variable examined is crucial to establishing the relationship between the environmental stimulus and its response in the organism. Considering the unavailability of long time series for instrumental recordings, especially on the coast of Rio Grande do Norte, it is essential to understand the growth pattern and how a species of coral records information about the environment in which it lives. The purpose of this study was to estimate the growth rates of the coral *Siderastrea stellata* from a certain area of the Parrachos de Maracajaú (RN-Brazil). For this purpose, plates of approximately 5 mm thickness were generated from the coral skeleton, subsequently x-rayed and analyzed. sclerochronologically in Coral XDS® software. The sclerochronological analysis of the skeleton based on counting the growth bands found a growth of 3.75 ± 0.7 mm/year, an approximate estimate for the growth rate of this species within the genus in other locations in the South Atlantic, mainly for the coastal region. In this sense, this study highlights the growth of the coral *Siderastrea stellata* as a potential bioindicator of marine environmental parameters in this region.

Keywords: Corals; Scleronology; Paleoclimatology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação de Simbiose entre zooxantelas e corais. Pólipos de uma colônia de coral apresentando em seu tecido a presença de zooxantelas (em verde).....	14
Figura 2. Imagem de um recife de coral evidenciando a sua complexidade e diversidade faunística e florística.....	16
Figura 3. Cinco dos corais zooxantelados endêmicos da costa brasileira: A) <i>Mussismilia braziliensis</i> ; B) <i>Mussismilia hispida</i> ; C) <i>Mussismilia harttii</i> ; D) <i>Favia leptophylla</i> ; E) <i>Siderastrea stellata</i> . Adaptado de Soares et al. (2016). Fotos Ruy K. Kikuchi.	17
Figura 4. A. Imagem mostrando uma colônia do coral <i>Siderastrea stellata</i>	19
Figura 5. Imagem apresentando uma comunidade de corais que sofreram branqueamento.	20
Figura 6. Localização da área de estudo evidenciando a região de Maracajaú, RN, Atlântico Sul equatorial.....	24
Figura 7. Coleta de testemunho do coral <i>S. stellata</i> , Maracajaú, RN. (a) amostra do testemunho coletado. (b) amostra de testemunho ao lado da colônia perfurada.	25
Figura 8. Lâmina da amostra analisada do coral <i>Siderastrea stellata</i>	27
Figura 9. Crescimento da colônia <i>S. stellata</i> ao longo do tempo.....	28

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Revisão Bibliográfica	13
2.1 Ambientes Recifais: Biologia dos corais, importância ecológica e econômica	13
2.1.1 Biologia dos Corais	13
2.1.2 Importância Ecológica e Econômica	14
2.2 Recifes de Corais Brasileiros	16
2.2.1 Características da espécie <i>Siderastrea stellata</i>	18
2.2.2 Mudanças climáticas e vulnerabilidade dos ecossistemas de recifes de corais	19
2.3 Corais como arquivos paleoclimáticos	21
2.3.1 Taxa de crescimento	21
3. Metodologia	23
3.1 Caracterização da área de estudo	23
3.2 Trabalho de campo e coleta das colônias	24
3.3 Etapas de laboratório	25
3.4 Corte e radiografia	26
3.5 Software Coral XDS	26
4. Resultados e Discussão	27
4.1 Crescimento	27
4.2 Esclerocronologia	28
5. Considerações Finais	30
6. Referências	31

1. INTRODUÇÃO

Os corais estão distribuídos ao redor do globo, principalmente nas regiões tropicais, formando ecossistemas recifais de grande importância e proporções, comparáveis em termos de biodiversidade às florestas em terra firme, esses ecossistemas recifais protegem peixes, algas e outros organismos da força das correntes marítimas, fornecem alimento em abundância e oferecem proteção contra predadores (Kikuchi et al., 2013). Nos últimos anos, houve um aumento significativo de pesquisas buscando compreender os processos responsáveis pela riqueza, diversidade e estrutura desses importantes sistemas (Segal; Castro, 2000).

Os corais são formados a partir da acreção biológica de cristais de aragonita, uma das formas cristalinas do carbonato de cálcio (CaCO_3), que são secretados pela base de seus pólipos, constituindo um esqueleto externo (exoesqueleto) (Wood, 1999). Diversos fatores podem influenciar a formação do esqueleto dos corais, como temperatura, nutrientes dissolvidos, taxa de sedimentação, disponibilidade de luz, turbidez e fatores endógenos da reprodução (Cruz-Piñón et al., 2003).

A formação de bandamentos de alta e baixa densidade está atrelada à variação de temperatura e disponibilidade de luz (Hudson et al., 1976; Barnes; Lough, 1993). Estudos mostram que essas variações cíclicas produzem padrões de bandamentos na estrutura do esqueleto dos corais, visíveis através de radiografia de raios-X (Knutson; Buddemeier; Smith, 1972; Buddemeier et al., 1974). Assim, variações de temperatura decorrentes da sazonalidade influenciam as densidades das bandas, regulando o crescimento do coral (Weber et al., 1973).

Corais sob estresse ambiental, como eutrofização e aumento da taxa de sedimentação, podem apresentar taxas de extensão do esqueleto iguais ou maiores, mesmo que isso signifique uma diminuição da taxa de calcificação, resultando na redução da densidade do esqueleto, essa resposta é conhecida como modulação do alongamento do crescimento do esqueleto (Carricart-Ganivet; Merino, 2001; Cruz-Piñón et al., 2003).

Entender os fatores que influenciam a formação do esqueleto é essencial para interpretações acuradas sobre o padrão de formação dos bandamentos, elementos traços associados e registros de isótopos (Inoue et al., 2004). Os bandamentos fornecem registros do desenvolvimento de corais hermatípicos ao longo do tempo e sob diferentes condições ambientais, permitindo projeções de possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os

recifes de corais (Kinsey; Hopley, 1991). Para utilizar reconstruções ambientais confiáveis com testemunhos de corais, é fundamental compreender o padrão de crescimento e como diferentes espécies de corais registram informações sobre o ambiente em que vivem (Cruz-Piñón et al., 2003).

Os recifes de coral no Brasil se estendem por cerca de 3.000 km da costa nordeste, podendo ser divididos em quatro principais regiões: região norte, recifes da costa nordestina, recifes da costa oriental e ecossistemas recifais das ilhas oceânicas (Leão et al., 2003; Ferreira et al., 2013). A espécie de coral *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) é endêmica do Brasil e integra a ordem Scleractinia, sendo um dos corais pétreos com maior ocorrência ao longo do litoral brasileiro, desde o Parcel Manuel Luiz (00°53' S, 044°16' W) até Arraial do Cabo (23° S, 042° W) (Hetzl; Castro; Leão, 1994; Freitas; Oliveira; Kikuchi, 2012; Cordeiro et al., 2015). Esses corais dependem de relações simbióticas com zooxantelas do gênero *Symbiodinium*, sendo limitados a zonas com maior luminosidade para a realização da fotossíntese (Cordeiro; Amaral, 2009).

A descoberta das bandas de densidade esclerocronológicas nos corais, reveladas por raios-X, permitiu recuperar informações sobre o crescimento dos corais e registros paleoclimáticos e ambientais (Barnes; Lough, 1993). Corais do gênero *Siderastrea* mostram uma alta capacidade de armazenar informações geoquímicas devido à sua reduzida taxa de crescimento comparada a outras espécies (Moses; Swart, 2006).

Os recifes de coral enfrentam desafios locais e impactos antropogênicos globais, como pesca excessiva, poluição, destruição de habitat, introdução de espécies exóticas e acidificação dos oceanos (Hughes et al., 2003). O aquecimento global é a maior ameaça aos recifes de coral, com modelos climáticos prevendo um aumento médio na temperatura da superfície do mar de 0,027 °C por ano de 1990 a 2090 (Conti, 2011). O principal efeito negativo desse aumento é o branqueamento de coral, a ruptura das relações simbióticas entre corais e dinoflagelados da família *Symbiodiniaceae*, afetando a fisiologia e o orçamento energético do coral (Lesser, 2010). Prolongada, essa perturbação pode levar a altos níveis de mortalidade de corais (Berkelmans et al., 2004; Oliver; Palumbi, 2009; Eakin; Sweatman; Brainard, 2019).

O presente estudo tem como objetivo determinar a taxa de crescimento de colônias da espécie *Siderastrea stellata* na região costeira do Rio Grande do Norte. Definir a taxa de crescimento de corais é crucial para compor bons arquivos paleoclimáticos, pois, uma vez determinada a taxa de crescimento média, é possível definir a resolução que um

determinado arquivo pode gerar. Assim, o estudo da taxa de crescimento de *Siderastrea stellata* contribuirá para a compreensão dos impactos das mudanças ambientais sobre essa espécie e auxiliará na preservação dos recifes de coral do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ambientes Recifais: Biologia dos corais, importância ecológica e econômica

2.1.1 Biologia dos Corais

Os corais são organismos representados pelo do Cnidária, classe Anthozoa, nessa classe esta presente a ordem Scleractinia que constitui-se de corais que apresentam exoesqueleto, sendo possível distinguir dois grupos que são: corais hermatípicos, que apresentam zooxantelas e corais ahermatípicos que não possuem a presença de zooxantelas (Hanna; Wells, 1992).

Os recifes de corais são frequentemente comparados às florestas tropicais dos oceanos devido à sua enorme biodiversidade, muitos dos organismos que vivem nos recifes são essenciais para o crescimento da comunidade, embora somente uma fração produza calcário, no entanto, sendo os corais os principais responsáveis pela criação desse ambiente imensamente complexo. (Kennedy; Woodroffe, 2002).

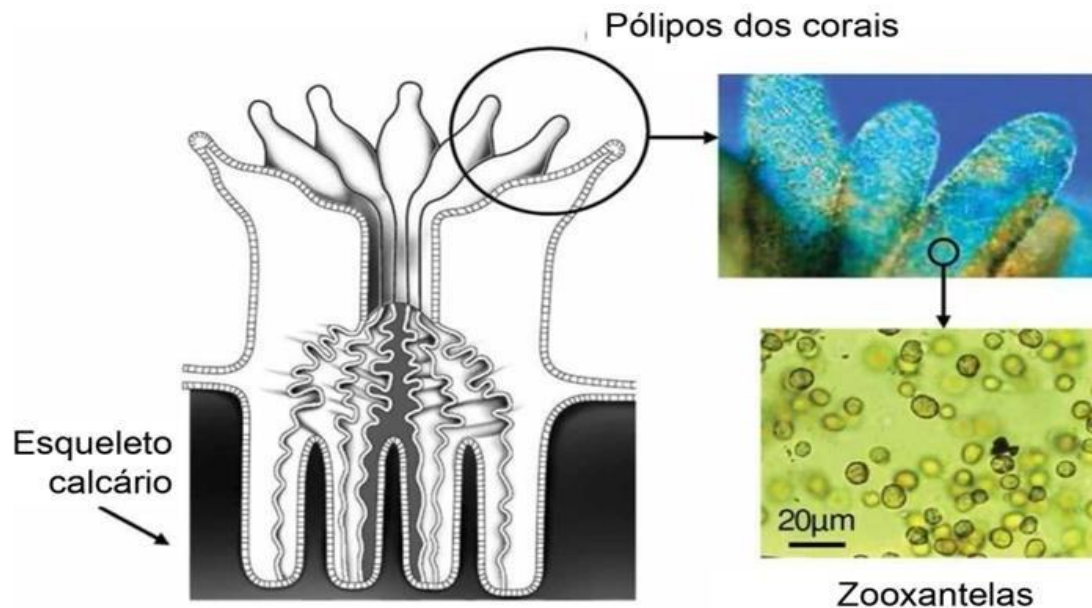
Os principais bioconstrutores dos recifes necessitam de condições bastante particulares como luz e temperatura, para determinar em que área podem se desenvolver, a maioria das comunidades recifais se concentra em águas quentes, claras, rasas e oligotróficas das zonas tropicais e subtropicais do globo. (Kennedy; Woodroffe, 2002).

Os corais sustentam um importante e delicado ecossistema marinho, abrigando uma diversidade surpreendente de animais e algas, embora ocupem apenas 0,02% da área global dos oceanos, eles abrigam ¼ de todas as espécies marinhas, sendo os ecossistemas marinhos mais produtivos e excelentes indicadores das mudanças climáticas globais (Kikuchi et al, 2003).

Os corais podem possuir o hábito solitário ou o hábito colonial, consistem em um pólipos e apresentam estrutura de um rígido exoesqueleto formado de carbonato de cálcio, denominado coralito que se divide em compartimentos verticais chamados de septos, tendo a boca circundada por tentáculos utilizados para captura de presas (Pinet et al., 2017).

As zooxantelas, endossimbiontes localizados no tecido gastrodérmico dos corais (figura 1) além de darem cor aos corais, fornecem entre 60% e 98% do carbono fotossintético produzido por elas, em troca, os corais fornecem abrigo para as algas e elementos químicos necessários à sua sobrevivência (Kennedy; Woodroffe, 2002).

Figura 1. Relação de Simbiose entre zooxantelas e corais. Pólipos de uma colônia de coral apresentando em seu tecido a presença de zooxantelas (em verde).



Fonte: disponível em: <<https://www.io.usp.br/index.php/noticias/1586-corais-brasileiros-recorrem-a-jeitinho-para-resistir-ao-aquecimento-dos-oceanos.html>>

2.1.2 Importância Ecológica e Econômica

Os recifes de corais ocorrem em todo o mundo e são uma das construções mais antigas e mais importantes construídas por organismos vivos (Wilkinson, 2002). Nesse ambiente, quase todos os filos animais tem representantes (Salvat; Pailhe, 2002).

Os recifes de corais são essenciais para a biodiversidade marinha, abrigando milhares de espécies de peixes, invertebrados, desse ambiente, eles funcionam como áreas de berçário para muitas espécies comerciais de peixes, fornecendo locais de desova, proteção contra predadores e fontes de alimento para os jovens peixes (Reaka-Kudla, 1997). Além disso, os recifes de corais protegem as costas contra a erosão, absorvendo a energia das ondas e diminuindo os danos causados por tempestades e tsunamis (Spalding; Ravilious; Green, 2001).

Esses recifes são extremamente ricos em recursos de grande importância ecológica, econômica, natural e social nos países que estão presentes, além de apresentarem uma grande biodiversidade e fornecerem inúmeros recursos para a pesca, a bioprospecção e a ciência, esses ambientes proporcionam um habitat rico em fonte de alimentos para uma grande variedade de organismos (Maida; Ferreira, 1997). Muitos desses organismos dependem das comunidades recifais, principalmente como áreas de reprodução, alimentação e refúgio, entre esses

organismos estão peixes, comuns nos recifes e em seu entorno, e vegetais que dependem direta ou indiretamente desses ambientes (Mortensen et al., 2001).

Os corais são capazes de se desenvolver em diversos tipos de substratos, abrigando uma fauna e flora bastante diversificada (Figura 2), essa complexidade de organismos resulta em uma grande produção de substâncias químicas usadas na competição por espaço (Moberg; Folke, 1999).

Os corais participam diretamente no balanço do carbono do planeta, tanto devido aos processos de calcificação como de fotossíntese e são importantes ferramentas em estudos de monitoramento ambiental e precisam ser preservados (Wilkinson, 2008). As particularidades da ecologia de corais e suas determinadas relações com as mudanças climáticas como salinidade, pH e temperatura dos oceanos, fazem dessas espécies ferramentas valiosas, não apenas para estudos de contaminação ambiental, mas também para estudos de alterações globais e suas influências nos ecossistemas costeiros (Eça; Filho; Hatje, 2012).

Economicamente, os recifes de corais têm um valor incalculável, eles são a base para a pesca artesanal e comercial, fornecendo alimentos e emprego para milhões de pessoas em todo o mundo, além disso, são uma atração turística significativa, contribuindo com bilhões de dólares anualmente para a economia global através do turismo de mergulho e outras atividades recreativas (Cesar; Burke; Pet-Soede, 2003).

Ambientes coralíneos fornecem matéria-prima para pesquisas na área farmacológica, compostos extraídos de corais são utilizados na pesquisa de medicamentos para tratar doenças como câncer, HIV e outras infecções virais (Bruckner; Titgemeyer, 2002).

Figura 2. Imagem de um recife de coral evidenciando a sua complexidade e diversidade faunística e florística.



Fonte: <https://marsemfim.com.br/conheca-os-projetos-de-restauracao-de-corais-no-brasil/>

2.2 Recifes de Corais Brasileiros

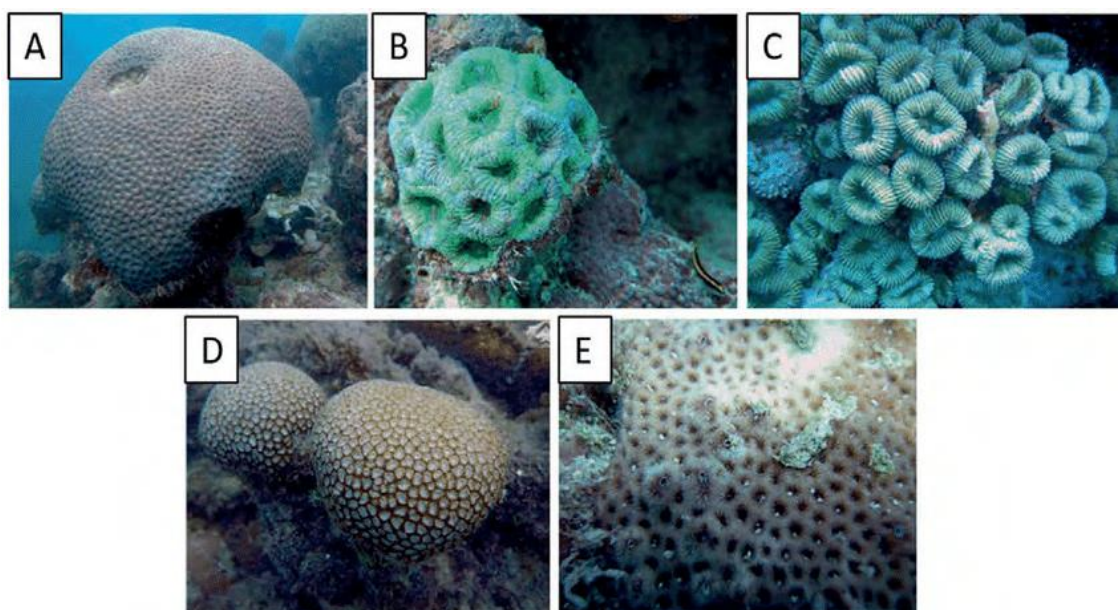
No Brasil são encontrados os únicos recifes verdadeiros do Atlântico Sul; no entanto, sua diversidade é baixa, tendo apenas 16 espécies de corais-pétreos zooxantelados, além de grandes discontinuidades e, em grande parte de sua distribuição como estreitas linhas próximas à costa (Marangoni et al., 2019).

Dentre os estados abrangidos por estas regiões estão: o estado do Maranhão; Ceará; Rio Grande do Norte incluindo as ilhas do Atol das Rocas; Fernando de Noronha e o arquipélago de São Pedro e São Paulo; o estado da Paraíba; Pernambuco; Sul do estado de Alagoas (próximo a foz do rio São Francisco); Sergipe e litoral norte do estado da Bahia (Zilberberg et al., 2016) onde estão localizados os maiores e mais ricos recifes de corais de todo o Atlântico Sul, estes são favorecidos pelas ótimas condições de salinidade, temperatura e profundidade incluindo a região de Abrolhos (Leão et al., 2016).

O filo Cnidaria no Brasil, é representado por 23 espécies de corais duros e cinco espécies hidrocorais, onde, sete são endêmicos sendo eles: *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868),

Favia gravida (Verrill, 1868), *Favia leptophylla* (Verrill, 1868), *Estrangia brasilienses* (Vouga, 1906), *Mussismilia harttii* (Verrill, 1868), *Mussismilia braziliensis* (Verrill 1867), *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) (Figura 3). Essas informações são corroboradas por estudos de Leão et al. (2016) e Zilberberg et al. (2016).

Figura 3. Cinco dos corais zooxantelados endêmicos da costa brasileira: A) *Mussismilia braziliensis*; B) *Mussismilia hispida*; C) *Mussismilia harttii*; D) *Favia leptophylla*; E) *Siderastrea stellata*. Adaptado de Soares et al. (2016). Fotos Ruy K. Kikuchi.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-102-Corais-zooxantelados-endemicos-da-costa-brasileira-A-Mussismilia_fig1_353982792

A grande contribuição para o conhecimento das comunidades recifais brasileiras foi realizada entre 1961 e 1964 pelo pesquisador francês Jacques Laborel, fornecendo uma descrição qualitativa e semi-quantitativa dos recifes brasileiros para a costa nordestina, posteriormente a história geológica dos recifes brasileiros é melhor conhecida por meio de trabalhos desenvolvidos por Zelinda Leão (Ferreira; Maida, 2006).

Segundo Leão et al., (2015), as construções físicas dos recifes são classificadas como: recifes de franja, sendo os mais comuns no litoral brasileiro, se formando ao redor da costa de ilhas e continentes; os recifes em barreira, que crescem paralelamente a costa, onde são separados por lagos; os atóis que se encontram no meio dos oceanos; os recifes em mancha pequenos e separados que se formam na base de plataformas ou ilhas; e os chapeirões, que detêm formato de coluna ou cogumelo, que é próprio do Brasil, principalmente encontrado no sul da Bahia.

2.1.3 Características da espécie *Siderastrea stellata*

Siderastrea stellata é uma espécie de coral endêmica do Brasil, pertencente à ordem Scleractinia, família Siderastreidae, conhecido por sua capacidade de sobreviver em condições ambientais variadas, o que o torna um componente importante dos recifes de coral brasileiros (Neves et al., 2010).

Apresenta uma morfologia maciça, com colônias que podem atingir grandes dimensões, pólipos pequenos, com cerca de 3,2 mm de diâmetro, possuem aparência estrelada, o que é refletido no nome da espécie (*Siderastrea* – constelação; *stellata* – estrelas), essa morfologia permite que o coral resista a diferentes estresses ambientais, como variações de temperatura, exposição aérea e alta turbidez da água (Lins-de-Barros; Pires, 2007).

É encontrada ao longo da costa brasileira, desde o Parcel Manuel Luiz, no Maranhão (00°53' S, 044°16' W), até Arraial do Cabo, no Rio de Janeiro (23° S, 042° W), também ocorre nas comunidades recifais adjacentes à foz do Rio Amazonas, na costa do Pará, essa ampla distribuição geográfica é um testemunho da adaptabilidade da espécie a diferentes condições ambientais (Cordeiro, 2015).

Siderastrea stellata é um coral hermatípico, ou seja, é um construtor de recifes que depende de relações simbióticas com dinoflagelados do gênero Symbiodinium (zooxantelas). Essas microalgas vivem nos tecidos dos corais e realizam a fotossíntese, fornecendo uma parte significativa das necessidades energéticas do coral (Moses; Swart, 2006). Em troca, os corais fornecem um habitat protegido e nutrientes para as zooxantelas, essa relação simbiótica é fundamental para a saúde e crescimento dos recifes de corais (Cordeiro; Amaral, 2009).

O coral *Siderastrea stellata* tem sido utilizada como uma espécie modelo em estudos de esclerocronologia, que envolvem a análise das bandas de crescimento no esqueleto calcário dos corais para inferir condições ambientais passadas (DeLong et al., 2013).

A descoberta das bandas de densidade esclerocronológicas nos corais revelou que essas bandas podem fornecer registros detalhados das condições ambientais e climáticas ao longo do tempo (Knutson; Buddemeier; Smith, 1972). *Siderastrea stellata*, em particular, tem mostrado uma alta capacidade de armazenar informações geoquímicas em seu esqueleto, devido à sua taxa de crescimento relativamente lenta (Moses; Swart, 2006).

Esses estudos são importantes para entender as respostas dos corais às mudanças ambientais e para prever os impactos futuros das mudanças climáticas nos ecossistemas recifais,

a capacidade de *Siderastrea stellata* de sobreviver em condições extremas e sua ampla distribuição geográfica fazem dela uma espécie-chave para a conservação e manejo dos recifes de coral no Brasil (Costa et al., 2014).

Siderastrea stellata é uma espécie de coral de grande importância ecológica e científica, sua resiliência e adaptabilidade tornam-na uma peça fundamental nos ecossistemas recifais brasileiros e um valioso indicador das condições ambientais passadas e presentes (Leão; Kikuchi; Oliveira, 2019).

Figura 4. A. Imagem mostrando uma colônia do coral *Siderastrea stellata*.



Fonte: <https://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/turismo-desordenado-ameaca-recuperacao-dos-corais-da-paraiba/>

2.1.4 Mudanças climáticas e vulnerabilidade dos ecossistemas de recifes de corais

O planeta Terra sempre enfrentou ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma maneira que momentos de alta atividade geológica lançaram à superfície terrestre grandes quantidades de gases criando um efeito estufa natural. (Marengo, 2007).

Para compreender interações do clima, dos ecossistemas e das atividades humanas é preciso entender os impactos das mudanças climáticas e a vulnerabilidades desses sistemas, é crucial avaliar também, o potencial da humanidade em alterar, ao longo do tempo, o clima do nosso planeta, além de examinar como o crescimento econômico e mudanças no

comportamento social podem promover efeitos positivos e negativos no ambiente (Moss et al., 2010).

Alterações do clima global estão ocorrendo, o que torna indispensável avaliar as causas baseando-se numa ampla investigação levando em conta não só ações antrópicas, mas também, os processos naturais incluindo os da esfera geológica e astronômica (Conti, 2011).

A resiliência dos recifes de corais às mudanças climáticas depende de vários fatores, incluindo a diversidade das espécies de corais, a saúde geral do ecossistema, e a ausência de outros estresses antropogênicos como poluição e pesca excessiva (Bellwood et al., 2004).

O aumento da temperatura pode causar o fenômeno conhecido como branqueamento de corais (Figura 5), onde os corais perdem suas zooxantelas, as algas simbióticas que vivem em seus tecidos são cruciais para a sobrevivência dos corais. (Leão et al., 2008).

As zooxantelas são responsáveis pelo fornecimento de nutrientes utilizados na manutenção do crescimento e da intensidade da coloração que está intrinsecamente ligado à incidência de radiação, ou seja, quanto menor a radiação, maior será a incidência de zooxantelas e quanto maior a radiação, menor será a quantidade de zooxantelas. (Hedley; Mumby, 2002).

Figura 5. Imagem apresentando uma comunidade de corais que sofreram branqueamento.



Fonte: <https://www.preparaenem.com/biologia/branqueamento-corais.htm>

Segundo Zilberberg et al. (2016) a temperatura da superfície do mar (TSM) é o principal influenciador do branqueamento dos corais. O estresse térmico altera o metabolismo e

reprodução, além de regular a saturação da aragonita que é a principal fonte de cálcio para a estrutura do coral. Seu estado de saturação é elevado em águas com alta temperatura e salinidade, apresentando constante circulação de água (Kleypas; McManus; Meñez, 1999).

2.3 Corais como arquivos paleoclimáticos

Conseqüentemente, estes sistemas enfrentam uma série de desafios locais e impactos antropogênicos globais, como pesca excessiva, poluição, habitat destruição, introdução de espécies exóticas e acidificação dos oceanos (Hughes et al. 2003). No entanto, o aquecimento global é indiscutivelmente o maior ameaça aos recifes de coral em todo o mundo, especialmente tendo em conta que os modelos climáticos globais preveem um aumento médio na superfície do mar temperatura (TSM) de 0,027 °C por ano de 1990 a 2090 (Bopp et al., 2013).

2.1.5 Taxa de crescimento

A taxa de crescimento dos corais é um parâmetro fundamental para compreender a saúde e a dinâmica dos recifes de corais, esse índice refere-se à velocidade com que os corais depositam carbonato de cálcio para formar seus esqueletos, um processo que pode ser influenciado por diversos fatores ambientais (Silva, 2019).

Entre os fatores mais críticos está a temperatura da água, temperaturas ideais promovem uma calcificação eficiente, enquanto temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem inibir o crescimento ou causar danos aos corais (Trevizan et al., 2006). Além disso, colônias vivas fornecem registros centenários e combinado com corais fósseis podem revelar condições ambientais do passado. Os corais crescem através da deposição de CaCO₃ (aragonita) precipitada por uma fina camada de tecido vivo na parte superior da colônia (Barnes; Lough, 1993).

Corais como a *Siderastrea stellata* mostram uma alta capacidade de armazenar uma grande quantidade de informações geoquímicas ao longo de seus esqueletos, isso se deve à sua comprovada redução na taxa de crescimento quando comparada a outras espécies, permitindo uma resolução mais detalhada dos registros paleoclimáticos (Moses; Swart, 2006).

As bandas de densidade esclerocronológicas nos corais, reveladas por raios-X, fornecem registros valiosos do desenvolvimento de corais hermatípicos ao longo do tempo e sob

diferentes condições ambientais, essas informações são cruciais para projeções de possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os recifes de corais (Kinsey; Hopley, 1991).

Compreender a taxa de crescimento dos corais é, portanto, crucial não apenas para estudos de contaminação ambiental, mas também para pesquisas sobre alterações globais e suas influências nos ecossistemas costeiros (Eça; Filho; Hatje, 2012). Dada a crescente ameaça das mudanças climáticas, é imperativo continuar estudando esses organismos para desenvolver estratégias eficazes de conservação e manejo que possam mitigar os impactos ambientais adversos e preservar esses ecossistemas críticos para as gerações futuras (Sun et al., 2008).

3. METODOLOGIA

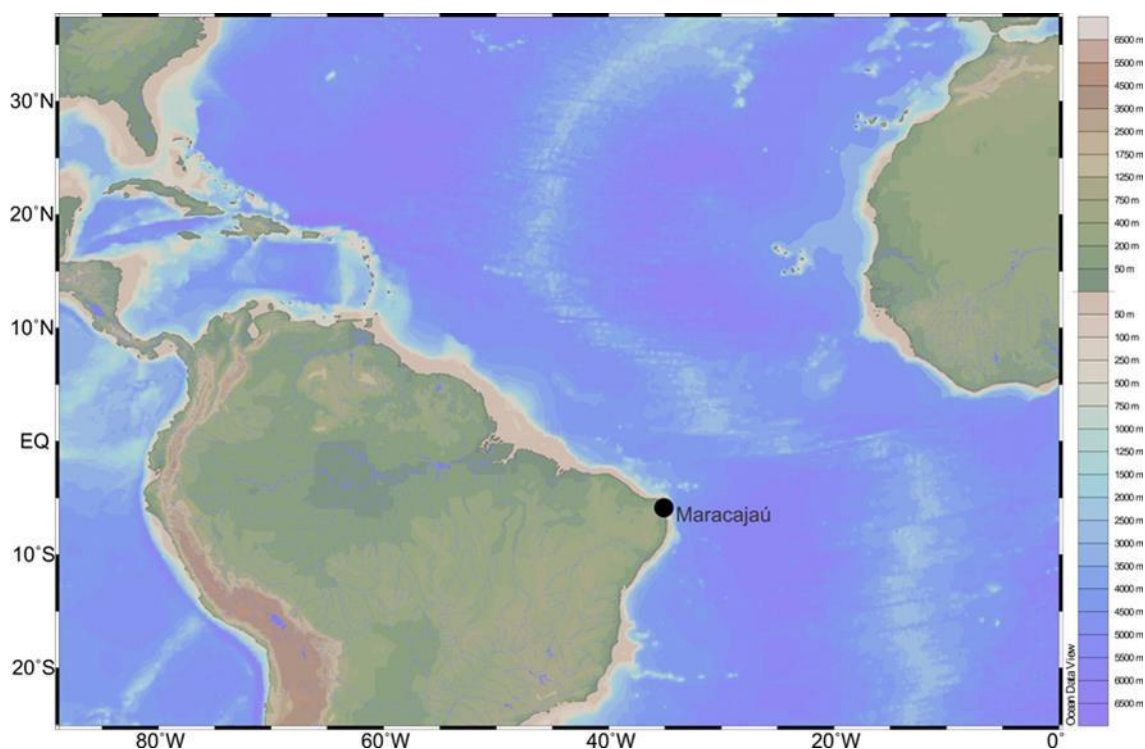
3.1 Caracterização da área de estudo

A comunidade costeira de Maracajaú está localizada no município de Maxaranguape, localizada a 67 km ao norte de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte (05°25'S e 35°19'W), os recifes de corais da região amplamente conhecidos como os Parrachos de Maracajaú, termo muito comum entre a população local, constituem formações não contínuas e esparsas, caracterizadas por uma rica fauna e flora (Maida; Ferreira, 1997) Esses recifes repousam sobre uma base arenítica, estendendo-se por aproximadamente 10 km de comprimento e 3 km largura, situando-se a cerca de 6 km da linha da costa, durante as marés mais baixas, boa parte dos recifes fica exposta, revelando sua biodiversidade única, a temperatura média das águas locais é de 28°C (Santos et al., 2007).

A composição dos recifes é baseada em corais escleractínios, com destaque para *Siderastrea stellata*, responsável por cerca de 80% da estrutura recifal, apresentando camadas entre 2-4 metros de altura, além de algas calcárias (Laborel, 1967). Além de abrigar outras espécies de corais escleractínios, como *Porites astreoides*, *Favia gravida*, *Agaricia agaricites*, *Mussismilia hispida* (considerado raro), e os hidrocorais *Millepora alcicornis*, que forma “coroas” nos topos dos recifes, e *Millepora nitida*, que é menos abundante (Santos et al., 2007).

A formação recifal de Maracajaú (Figura 6) é considerada a mais importante da costa norte do Rio Grande do Norte, sendo parte integrante da Área de Preservação Ambiental dos Recifes de Corais, uma unidade de conservação criada em junho de 2001, que também inclui a faixa costeira dos municípios de Rio do Fogo e Touros (Silva, 2005).

Figura 6. Localização da área de estudo evidenciando a região de Maracajaú, RN, Atlântico Sul equatorial.

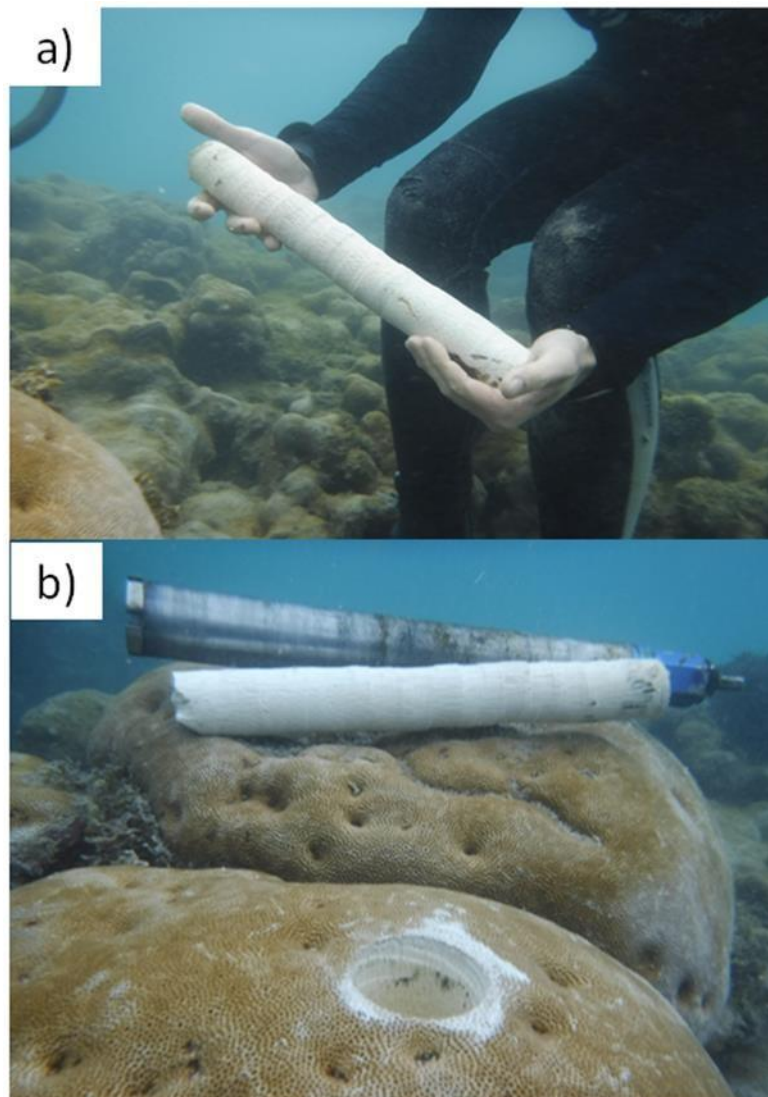


Fonte: Mapa elaborado no software Ocean Data View com a localização da área de estudo na Comunidade de Maracajaú/Maxaranguape, Natal -Rio grande do Norte.

3.2 Trabalho de campo e coleta das colônias

Um testemunho de *S. stellata* foi coletado durante uma expedição realizada em 2 de agosto de 2018 (Figura 7). Para a coleta do testemunho, uma equipe de quatro mergulhadores equipados com SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus) e furadeiras pneumáticas acopladas a um tanque de ar, perfuraram uma colônia de 1 metro de diâmetro localizada a aproximadamente 1 metro de profundidade nos recifes de Maracajaú, RN ($5^{\circ}21'12''S$, $35^{\circ}14'30''W$), recuperando um núcleo de 34 cm de comprimento. O núcleo 18SM-C1 foi então dividido em duas metades, paralelas ao eixo de crescimento de toda a colônia de *S. stellata*. A coleta foi autorizada pelo Instituto Chico Mendes para Biodiversidade – ICMBIO (licença nº 63248-1).

Figura 7. Coleta de testemunho do coral *S. stellata*, Maracajaú, RN. (a) amostra do testemunho coletado. (b) amostra de testemunho ao lado da colônia perfurada.



Fonte: Autor

3.3 Etapas de laboratório

Após o procedimento de coleta, a amostra foi levada ao laboratório da Universidade do Estado da Bahia – UNEB Departamento de Educação – DEDC Campus VIII – Paulo Afonso/BA, onde foi lavada e exposta ao sol por cinco dias para remoção de tecido vivo. Em seguida, a amostra do coral foi etiquetada com seu código correspondente: 18SM-C1.

3.4 Corte e radiografia

O coral foi cortado em placa de 5 mm de espessura utilizando uma serra de mesa, procedimento realizado no Núcleo de Estudos em Sedimentologia e Paleoclimatologia da Universidade do Estado da Bahia – NESP-UNEB Campus VIII. Em seguida, a placa foi radiografada em uma clínica particular na cidade de Paulo Afonso-BA, utilizando os seguintes parâmetros radiográficos: 50 kVA, 100 mA e 0,03 s. Com o objetivo de gerar as imagens de background, cinco chapas de alumínio, cada uma delas com 1 mm de espessura, foram empilhadas (5 mm de espessura total) e radiografadas com as mesmas configurações/parâmetros radiográficos utilizados para a placa do coral.

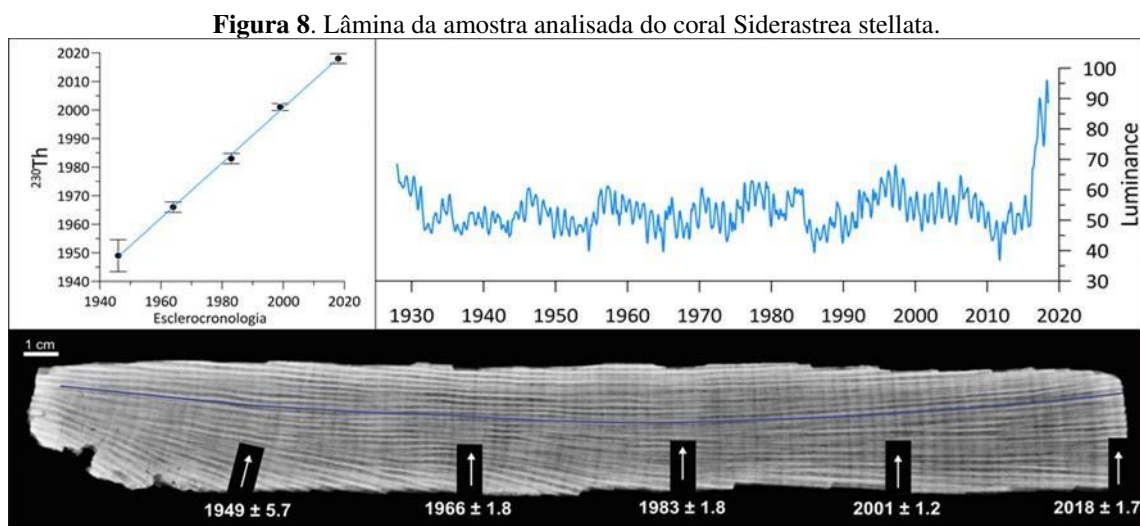
3.5 Software Coral XDS

A radiografia gerada foi digitalizada no NESP-UNEB e analisada esclerocronologicamente utilizando o software Coral XDS (Figura 8), um programa fundamentado no Windows desenvolvido pelo National Coral Reef Institute of Florida (EUA). Este software proporcionar ferramenta para obtenção de valores da extensão linear, calcificação e densidade média de bandamentos do coral. Nesse estudo, as bandas de crescimento anual da amostra foram contadas a olho nu, aprimorando a identificação do eixo de crescimento contínuo do testemunho coralíneo.

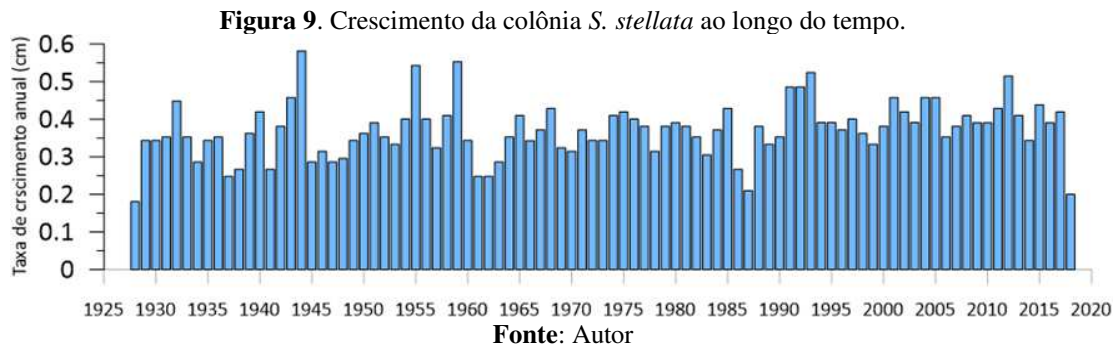
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento

A análise da radiografia da placa da colônia coletada nos Parrachos de Maracajaú, RN permitiu calcular a idade e as taxas de crescimento do coral *S. Stellata* (Figura 9). A colônia coletada, foi estimada com 93 anos de idade, tendo início do registro em 1925 e fim no ano de 2018, ano da coletada da mostra. A radiografia revelou bandas de densidades com boa qualidade visual, possibilitando determinar a taxa de crescimento que variou de 2,1 a 5,8 mm ano⁻¹, com média de $3,75 \pm 0,7$ mm/ano (Figura 8).



Os períodos de menor taxa de crescimento foram observados nos anos de 1987 (2,1 mm/ano - 1); 1937 e 1962 (2,47 mm/ano - 1); 1961 (2,48 mm/ano - 1), 1938, 1941 e 1986 (2,67 mm/ano - 1). Já os anos de maior taxa de crescimento foram destacados em 2012 (5,15 mm/ano - 1), 1993 (5,24 mm/ano - 1), 1955 (5,43 mm/ano - 1), 1959 (5,53 mm/ano - 1) e 1944 (5,81 mm/ano - 1).



4.2 Esclerocronologia

Para este trabalho, as colônias da espécie *Siderastrea stellata* analisadas estão dentro das médias esperadas para essa espécie na região da Costa do Brasil. Estudos realizados por Pereira et al. (2018) no Atol das Rocas, encontraram taxa de crescimento para *S. stellata* entre 2,76 e 3,46 mm/ano enquanto Lins-de-Barros e Pires (2006), no Litoral Sul da Bahia, relataram uma taxa de crescimento de 2.73 ± 0.35 mm/ano.

Comparativamente, em uma região de ilha oceânica como o Atol das Rocas/Brasil, Oliveira (2012) observou taxa de crescimento mais elevada para a mesma espécie, variando de 3,76 a 8,53 mm/ano através da análise de bandamentos anuais. Pinheiro et al. (2017) também encontraram uma taxa de crescimento alta de $6,8 \pm 0,7$ mm/ano, seguidos por Evangelista et al. (2018) com taxa de crescimento de $6,01 \pm 1,08$ mm/ano. Esses resultados destacam como a mesma espécie pode apresentar diferentes padrões de crescimento em função de sua localização geográfica.

Além das variações entre espécies, uma mesma espécie de coral pode exibir padrões de crescimento distintos, principalmente em função da região e seu posicionamento em relação ao recife (zona recifal e profundidade).

Comparando com outras espécies do mesmo gênero, como *Siderastrea siderea*, estudos realizado por Guzman e Tudhope, (1998) no Panamá apontaram taxa de crescimento anuais de $7,6 \pm 0,7$ mm/ano. Em um estudo anterior, Guzman e Cortes, (1989), também observaram taxas anuais de crescimento variando de 5,2 mm a 6,3 mm durante os anos de 1976 a 1986, enquanto em Tortugas, Flórida, EUA, os autores Maupin, Quinn e Halley (2008) encontraram taxa de crescimento de $4,94 \pm 0.73$. Vasseur et al., (2014) registraram 4.06 ± 1.44 mm/ano e Flannery et al. (2017) 4.9 ± 0.9 mm/ano para a mesma região.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra do coral escleractíneo *Siderastrea stellata* coletado na região dos Parrachos de Maracajaú/RN, apresentou uma taxa média geral de extensão linear de $3,75 \pm 0,7$ mm/ano. Constatou-se que essa estimativa está em consonância com dados de taxa de crescimento de *S. stellata* em outras localidades do Atlântico Sul, principalmente para a região costeira.

O uso dos corais como indicador dos parâmetros ambientais marinhos tem sido bastante difundido no meio científico mundial. No entanto, este potencial precisa ser mais explorado no Brasil, particularmente na costa do Rio Grande do Norte, que abriga recifes com uma ampla diversidade biológica do oceano Atlântico Sul. Este estudo destaca que o coral *S. stellata* possui um potencial bioindicador, podendo ser utilizado como ferramenta paleoceanográfica de avaliação ambiental.

6. REFERÊNCIAS

- BARNES, D. J.; LOUGH, J. M. On the nature and causes of density banding in massive coral skeletons. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1993. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002209819390186R>
- BELLWOOD, D. et al. Confronting the coral reef crisis. **Nature** 429, 827–833, 2004. Disponível: <https://www.nature.com/articles/nature02691#citeas>
- BERKELMANS, R. et al. 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. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-003-0353-y>
- BOPP, L. et al. Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: Multiple stressors of ecosystems in the 21st century ocean: projections with CMIP5 models, **Biogeosciences**, 2013. Disponível: <https://doi.org/10.5194/bg-10-6225-2013>
- BRUCKNER, R.; TITGEMEYER, F. Repressão de catabólitos de carbono em bactérias: escolha da fonte de carbono e limitação autorregulatória da utilização de açúcar. **FEMS Microbiology Letters** 2, 2002. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb11123.x>
- BUDDEMEIER, R. W.; MARAGOS, J. E.; KNUTSON, D. W. Radiographic studies of reef coral exoskeletons: Rates and patterns of coral growth. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1974. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022098174900240>
- CARRICART-GANIVET, J. P.; MERINO, M. Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. **Bulletin of Marine Science**, v. 68, n. 1, p. 133-146, 2001. Disponível: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrmsas/bullmar/2001/00000068/00000001/art00013>
- CESAR, H.; BURKE, L.; PET-SOEDE, L. **The economics of worldwide coral reef degradation**, 2003. Disponível: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122412/records/6473698a08fd68d546062c52>
- CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista Do Departamento De Geografia**, 2011. Disponível: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0007>
- CORDEIRO, R. T. S. et al. Mesophotic coral ecosystems occur offshore and north of the Amazon River. **Bulletin of Marine Science**, 2015. Disponível: <https://doi.org/10.5343/bms.2015.1025>
- CORDEIRO, R.; AMARAL, F. Ocorrência de cnidários construtores de recifes em ambientes de profundidade no nordeste do Brasil. **Pesquisa e Extensão**, 2009. Disponível: https://www.academia.edu/54305871/Ocorr%C3%Aancia_De_Cnid%C3%A1rios_Construtores_De_Recifes_Em_Ambientes_De_Profundidade_No_Nordeste_Do_Brasil

COSTA; J. F. et al. Expansion of an invasive coral species over Abrolhos Bank, Southwestern Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, 2014. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14003634?casa_token=qb7w1vmodpiaaaaa:ujttopptsditdizsae0czga0mdk3j1ohrbcd6vy6bhgadhkhkklbsl3e1swe1h84dnhz8gzgpk

CRUZ-PIÑÓN, G. et al. hermatypic corals *Montastraea annularis* and *Montastraea faveolata*: **biological and environmental controls**, 2003. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00227-003-1127-3>

DELONG, K. L. et al. Improving coral-base paleoclimate reconstructions by replicating 350 years of coral Sr/Ca variations. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 373, p. 6-24, 2013. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018212004956?casa_token=oZamwYGbm98AAAAA:eOvJZGG0RZo_0_JBAyenzFCu07gc5SmLUXVU7UJGKyRouFM-dQDoiW2vHnL66iAxNJe-SYG5Vwo

EAKIN, C. Mark; SWEATMAN, Hugh PA; BRAINARD, Russel E. The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. **Coral Reefs**, v. 38, n. 4, p. 539-545, 2019. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-019-01844-2>

EÇA, G. F.; FILHO, C. V. S. F.; HATJJE, V. Corais como organismos biomonitores: aplicação, pré- tratamento e determinação de elementos majoritários e minoritários. **Quim Nova**, 2012. Disponível: <https://www.scielo.br/j/qn/a/nnDKWq5GNrzWJCzyQcFNs6J/>

EVANGELISTA, H. et al. Climatic constraints on growth rate and geochemistry (Sr/Ca and U/Ca) of the coral *Siderastrea stellata* in the Southwest Equatorial Atlantic (Rocas Atoll, Brazil). **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 19, n. 3, p. 772-786, 2018. Disponível: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017GC007365>

FERREIRA, B. P. et al. The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic. **Coral reefs**, v. 32, p. 441-454, 2013. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-012-0992-y>

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil Situação Atual e Perspectivas**, 2006. Disponível: https://repositorio.icmbio.gov.br/bitstream/ceca/1504/1/Monitoramento_dos_Recifes_de_Coral_do_Brasil_Livro.pdf

FLANNERY, J. A. et al. Multi-species coral Sr/Ca-based sea-surface temperature reconstruction using *Orbicella faveolata* and *Siderastrea siderea* from the **Florida Strait**, 2017. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018216306289?casa_token=vFtcWSSI1Y8AAAAA:INbTanpv3QE5rTm0GOFMZrAgsgTiwzO_iIW8NtPrsX7vVrKtwikvZd-6bYpO3_-i4EJiZStCb6k

FREITAS, L. M.; OLIVEIRA, M. D. M.; KIKUCHI, R. K. P. Os mecanismos de sobrevivência dos corais diante do impacto das mudanças climáticas sobre o ecossistema de recifes. **Revista caderno de geociências**, 2012. Disponível: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/11574>

GUZMAN, H. M.; CORTES, J. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern Pacific (Costa Rica). **Bulletin of Marine Science**, v. 44, n. 3, p. 1186-1194, 1989. Disponível: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1989/00000044/00000003/art0001>

GUZMÁN, H. M.; TUDHOPE, A. W. Seasonal variation in skeletal extension rate and stable isotopic ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) composition in response to several environmental variables in the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 166, p. 109-118, 1998. Disponível: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v166/p109-118/>

HANNA, N.; WELLS, S. The Greenpeace book of coral reefs. **New York: Smithmark Pub**, 1992. Disponível: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19921850240>

HEDLEY, J. D.; MUMBY, P. J. Biological and remote sensing perspectives of pigmentation in coral reef organisms. **Advances in Marine Biology**, Academic Press, v. 43, 29 p., 2002. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065288102430064>

HETZEL, B.; CASTRO, C. B.; LEÃO, Z. M. **Corals of South Bahia**, 1994. ed. R. J. Nova Fronteira.

HUDSON, J. H. et al. Sclerochronology: a tool for interpreting past environments. **Geology**, v. 4, n. 6, p. 361-364, 1976. Disponível: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/4/6/361/191573/Sclerochronology-A-tool-for-interpreting-past>

HUGHES, T. P. et al. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. **Science**, 2003. Disponível: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1085046>

INOUE, M. et al. Coral skeletal tin and copper concentrations at Pohnpei, Micronesia: possible index for marine pollution by toxic anti-biofouling paints. **Environmental Pollution**, 2004. Disponível:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974910300469x?casa_token=v8wbpb9eypaaaaa:ijfjiqzstdqzgc4hin5ocqsoeigtwhz2lkqlhm3fntukdhzjt7jafx5gtjdfxlawbi68nwdje

KENNEDY, D.M.; WOODROFFE, C.D. Fringing reef growth and morphology: a review. **Earth-Science Reviews**, v. 57, n. 3-4, p. 255-277, 2002. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825201000770?casa_token=qk5iN13sgEAAAAA:gxIHtVUW0N02gbY11WxtkJ6kUdyU82IYjUBqkZsMw35eqayy85kaCiXNot9VH4XcLlFd2fEsEkQ

KIKUCHI, R. K. P. et al. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia associado aos efeitos do El Niño 2003. **Cong. Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**, 2004. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/216027471_Branqueamento_de_corais_nos_recifes_da_Bahia_associado_aos_efeitos_do_El_Nino_2003

KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M.D.M.; LEÃO, Z.M.A.M. Density banding pattern of the south western Atlantic coral *Mussismilia braziliensis*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 449, p. 207-214, 2013. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022098113003389?casa_token=58FIjOlxNW0AAAAA:5CYn_US6z2sNgSVNTCz7th76e9b5flouqpL02ctb7uTQTqzHBWipnw2tNUUViUV9dF71CpNQ2ag

KINSEY, D. W.; HOPLEY, D. The significance of coral reefs as global carbon sinks—response to greenhouse. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 89, n. 4, p. 363-377, 1991. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003101829190172N>

KLEYPAS, J. A.; MCMANUS, J. W.; MEÑEZ, L. A. B. Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line?. **American zoologist**, v. 39, n. 1, p. 146-159, 1999.

Disponível: <https://academic.oup.com/icb/article/39/1/146/124572>

KNUTSON, D. W.; BUDDEMEIER, R. W.; SMITH, S. V. Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. **Science**, v. 177, n. 4045, p. 270-272, 1972. Disponível: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.177.4045.270>

LABOREL, J. A revised list of Brazilian scleractinian corals and description of a new species. **Postilla**, 107, 1-14, 1967. Disponível: https://elischolar.library.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1106&context=peabody_museum_natural_history_postilla

LEÃO, Z. M. A. N et al. Brazilian coral reefs in a period o global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanography**, 2016. Disponível: <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/5c9Qsjx4DGVCNGL8Y3W5Fwm/>

LEÃO, Z. M. A. N et al. Monitoramento dos recifes e ecossistemas coralinos. *In*: TURRA, A.; DENADAI, M. R., orgs. **Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015. Disponível: <https://books.scielo.org/id/x49kz/pdf/turra-9788598729251-13.pdf>

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R K P.; OLIVEIRA, M. D. M. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. **Artigos Biota Neotrop**, 2008. Disponível: <https://www.scielo.br/j/bn/a/FdqSnZqXGmMtpYFsXzsjsCm/?lang=pt>

LEÃO, Z. M.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M. The coral reef province of Brazil. *In*: **World seas: An environmental evaluation**. Academic Press, p. 813-833, 2019. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128050682000486>

LEÃO, Z. M. A. N. et al. Corals and coral reefs of Brazil, **Latin American Coral Reefs**. 2003. Disponível: <https://doi.org/10.1016/B978-044451388-5/50003-5>

LESSER, M. P. Interactions between stressors on coral reefs: analytical approaches, re-analysis of old data, and different conclusions: Comment on Dunne (2010). **Coral reefs**, v. 29, p. 615-619, 2010. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-010-0625-2>

LINS-DE-BARROS, M.; PIRES, D. Comparison of the reproductive status of the scleractinian coral *Siderastrea stellata* throughout a gradient of 20° of latitude. **Brazilian journal of Oceanography**, 2007. Disponível: <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/5cfrzqxvcgc4rh5sy3hgnch/?format=pdf&lang=en>

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. Coral reefs of Brazil: an overview, 1997. **In Proceedings of the 8th Internacional Coral Reef Symposium**. Disponível: <https://www.researchgate.net/profile/Beatrice->

MARANGONI, F. L. B. et al. Oxidative stress biomarkers as potential tools in reef degradation monitoring: a study case in a South Atlantic reef under influence of the 2015–2016 El Niño/Southern Oscillation (ENSO). **Ecological Indicators**, v. 106, p. 105533, 2019. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19305187?casa_token=xqjimerbgcwiaaaaa:9ghjlb9z3cebq_g5hh6jbgxoaudpkn1mxqk02y7gvkn3fmtwijntc1rf45ytluqtbjja067g9e

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, E. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**, 2007. Disponível:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-41372-3_12

MAUPIN, C. R.; QUINN, T. M.; HALLEY, R. B. Extracting a climate signal from the skeletal geochemistry of the Caribbean coral *Siderastrea siderea*. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 9, n. 12, 2008. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2008GC002106>

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological economics**, v. 29, n. 2, p. 215-233, 1999. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800999000099>

MORTENSEN, P. B. et al. Distribution, abundance and size of *Lophelia pertusa* coral reefs in mid-Norway in relation to seabed characteristics. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 81, n. 4, p. 581-597, 2001. Disponível: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-the-marine-biological-association-of-the-united-kingdom/article/abs/distribution-abundance-and-size-of-lophelia-pertusa-coral-reefs-in-midnorway-in-relation-to-seabed-characteristics/D511FAECA55D6D08773A528522D63531>

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. *In: Proceedings of the 10th International coral reef Symposium (Okinawa)*. p. 580-587, 2006. Disponível: https://www.researchgate.net/profile/ChristopherMoses/publication/242741860_Stable_isotope_and_growth_records_in_corals_from_the_island_of_Tobago_Not_simply_a_record_of_the_Orinoco/links/5462d2290cf2c0c6aec1b9c3/Stable-isotope-and-growth-records-in-corals-from-the-island-of-Tobago-Not-simply-a-record-of-the-Orinoco.pdf

MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, 2010. Disponível: <https://www.nature.com/articles/nature08823>

NEVES, N. G. et al. Cnidaria, Scleractinia, Siderastreidae, *Siderastrea siderea* (Ellis and Solander, 1786): Hartt Expedition and the first record of a Caribbean siderastroid in tropical Southwestern Atlantic. **Check List**, v. 6, n. 4, p. 505-510, 2010. Disponível: <https://checklist.pensoft.net/article/18093/download/pdf/>

OLIVER, T. A.; PALUMBI, S. R. Distributions of stress-resistant coral symbionts match environmental patterns at local but not regional scales. **Marine ecology progress series**, v. 378, p. 93-103, 2009. Disponível: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v378/p93-103/>

PEREIRA, N. S. et al. Carbon stable isotope record in the coral species *Siderastrea stellata*: A link to the Suess Effect in the tropical South Atlantic Ocean. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 497, p. 82-90, 2018. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018217310751?casa_token=NJxO8XZANLoAAAAA:MD8xVVzxEUOihhMRliAjZaaQDH8PATnTmuwR7K2OaC7mKWPVPrcmyrpw8Rqj_RprbfpkqRjnBRo

PINET, P. R. **Fundamentos da Oceanografia**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PINHEIRO, B. R. et al. Population dynamics of *Siderastrea stellata* Verrill, 1868 from Rocas Atoll, RN: implications for predicted climate change impacts at the only South Atlantic atoll. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 2017. Disponível: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/GRn8VD4XkZTSPCGXs9JTqgB/?lang=en>

REAKA-KUDLA, M. L. The global biodiversity of coral reefs: A comparison with rainforests. *In: REAKA-KUDLA, M. L., WILSON, D. E.; WILSON, E. O. (eds.). Biodiversity II: Understanding and Protecting Our Natural Resources*, v. 2, p. 551, 1997. Disponível:

https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=X5OAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA83&dq=Reaka-Kudla,+1997&ots=f4RlIA226s&sig=OoSVtbiRgHJK7JwDIy15h8PIYM&redir_esc=y#v=onepage&q=Reaka-Kudla%2C%201997&f=false

SALVAT, B.; PAILHE, C. Islands and coral reefs, population and culture, economy and tourism: world view and a case study of French Polynesia. **Tourism, biodiversity and information**, v. 14, p. 213-231, 2002.

SANTOS, C. L. A. et al. Mapeamento de recifes submersos na costa do Rio Grande do Norte, NE Brasil: Macau a Maracajau. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 27-36, 2007. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2007000500004>

SEGAL, B.; CASTRO, C. B. Community structure at the Abrolhos Archipelago, Brazil. *In: Proceedings of 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia*. p. 23-27, 2000. Disponível: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f3b50c47a820915ee0935989158a610f29fe3fc3>

SILVA, I. B. et al. Diferenças estruturais entre duas comunidades de macroalgas ocorrentes nos recifes de Maracajaú, na Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais, Rio Grande do Norte. 2005. Disponível: <https://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiceb/resumos/547a.pdf>

SILVA, I. C. B. S. Ciclos isotópicos e taxa de crescimento em *Mussismilia hispida* (verrill, 1902): um registro para o Atlântico Sul, 2019. Disponível: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/11641>

SPALDING, M.; RAVILIOUS, C.; GREEN, E. P. **World atlas of coral reefs**. University of California Press, 2001.

SUN, D. Et al. Variability of skeletal growth and $\delta^{13}\text{C}$ in massive corals from the South China Sea: Effects of photosynthesis, respiration and human activities. **Chemical Geology**, 2008. Disponível: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254108003070?casa_token=9umgcc8hwauaaaa:3np9igf_mpd_k_mohxb9_f9u4r2jkkjvulduur3mdifmk4imjkluzuiopj3pxcj4nbcuywshsfy

TREVIZAN, L. C. et al. *In: Trends in Sample Preparation*; ARRUDA, M. A. Z. ed; Nova Science Publishers: New York, 2006, ch. 2. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/256325963_Trends_in_Sample_Preparation

VASSEUR, D. A. et al. Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. **Proceedings of the royal society B: biological sciences**, v. 281, n. 1779, p. 20132612, 2014. Disponível: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspb.2013.2612>

WEBER, J. N. Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 37, n. 9, p. 2173-2190, 1973. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/001670377390015X>

WILKINSON, C. **Status of coral reefs of the world**. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre. 2008. Disponível: https://gcrmn.net/wp-content/uploads/2022/07/GCRMN_Status_Coral_Reefs_2008.pdf

WILKINSON, C. **Status of coral reefs of the world: 2002.** GCRMN/AIMS. Monitoring Network and Australian Institute of Marine Science, Townsville, Austrália. 378 p., 2002.

WOOD, R. **Reef evolution.** Oxford University Press, 1999. Disponível: [https://books.google.com.br/books?hl=ptbr&lr=&id=h_ah6hzip4ac&oi=fnpa3&dq=wood,\(1999\)&ots=1b8ngud0l&sig=29sr8kzzz63wrcp8gf66cyz7icc#v=onepage&q=wood%2c%20\(1999\)&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=ptbr&lr=&id=h_ah6hzip4ac&oi=fnpa3&dq=wood,(1999)&ots=1b8ngud0l&sig=29sr8kzzz63wrcp8gf66cyz7icc#v=onepage&q=wood%2c%20(1999)&f=false)

ZILBERBERG, C. et al. **Conhecendo os recifes brasileiros: rede de pesquisas Coral Vivo.** Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016. Disponível: https://numeb.furg.br/images/stories/pdf/conhecendo_os_recifes_brasileiros_versao_digital.pdf