



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR – LABOMAR**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**JADSON PINTO DE LIMA**

**TAXA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  $\text{CaCO}_3$  DE RODOLITOS NA COSTA  
SEMIÁRIDA BRASILEIRA**

**FORTALEZA-CE**

**2019**

**JADSON PINTO DE LIMA**

**TAXA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  $\text{CaCO}_3$  DE RODOLITOS NA COSTA  
SEMIÁRIDA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Prospecção de recursos marinhos.

Orientadora: Prof. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira

**FORTALEZA-CE**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L698t Lima, Jadson Pinto de.

Taxa de crescimento e produção de CaCO<sub>3</sub> de rodolitos na costa semiárida brasileira / Jadson Pinto de Lima. – 2019.  
32 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.

Coorientação: Prof. Dr. Pedro Bastos de Macedo Carneiro.

1. rodolitos. 2. taxa de crescimento. 3. carbonatos biogênicos. 4. algas coralíneas. I. Título.

CDD 551.46

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM CIENCIAS MARINHAS TROPICAIS

Como parte das exigências para concessão do grau de mestre, às 09:00 horas do dia 21 de Março de 2019, realizou-se a sessão pública da defesa de dissertação de mestrado do aluno JADSON PINTO DE LIMA. O trabalho tinha como título: “TAXA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  $\text{CaCO}_3$  DE RODOLÍTOS NA COSTA SEMIÁRIDA BRASILEIRA”.

Compunham a banca examinadora os professores(as) doutores(as) CRISTINA DE ALMEIDA ROCHA-BARREIRA, orientadora, HELENA MATTHEWS CASCON e WILSON FRANKLIN JUNIOR. O candidato expôs oralmente a dissertação, em seguida os membros da banca procederam à arguição, e a sessão foi finalizada com a APROVAÇÃO, por parte da banca examinadora, do trabalho sem ressalvas.

Foi lavrada a presente ata que é abaixo assinada pelos membros da referida banca:

---

CRISTINA DE ALMEIDA ROCHA-BARREIRA

Orientadora

---

HELENA MATTHEWS CASCON

Examinadora Interna

---

WILSON FRANKLIN JUNIOR

Examinador Externa à Instituição

Fortaleza, 21 de Março de 2019

## RESUMO

Rodolitos são estruturas de vida livre formadas por algas vermelhas coralíneas não articuladas. Esses organismos possuem grande importância no ciclo do carbono, já que podem estocar carbono na forma de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Além disso, devido sua complexidade estrutural, os bancos de rodolitos podem abrigar uma grande diversidade de organismos associados. O presente trabalho analisou a taxa de crescimento dessas algas assim como a taxa de produção de carbonato de cálcio de um banco de rodolitos em uma área da plataforma interna da costa semiárida brasileira. Foi utilizado a metodologia de marcação por Alizarina vermelha e após 7 meses verificou-se uma taxa de crescimento de  $2,46 \pm 0,19\text{mm/ano}$ , valor maior do que em latitudes baixas com águas mais frias. Adicionalmente, o teste de Mann-Whitney mostrou uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a taxa de crescimento de diferentes padrões de crescimento. Já a taxa de produção de carbonato calculada foi  $99,36 \pm 3,45 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , uma produção menor do que em outras latitudes devido ao pequeno número de rodolitos por  $\text{m}^2$  encontrados no local. Após comparar o resultado obtido com dados extraídos de uma revisão sistemática de literatura foi observado que as taxas de crescimento de algas calcárias crescem em direção ao equador. Este trabalho pode servir como base para estudos quantitativos sobre a produção de carbonatos biogênicos nos oceanos assim como trabalhos sobre as respostas desses organismos às mudanças ambientais.

**Palavras chave:** rodolitos, taxa de crescimento, carbonatos biogênicos, algas coralíneas

## ABSTRACT

Rhodoliths are free-living structures formed by non-articulated coralline red algae. These organisms have great importance in the carbon cycle, as they can stock carbon in the form of calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>). In addition, a wide range of associated organisms can shelter in rhodolith beds due to their structural complexity. The present research reported the growth rate of these algae as well as the calcium carbonate production rate of a rhodolith bed in an area of the internal continental shelf of the Brazil's semiarid coast. The red Alizarin tagging method was applied and after 7 months a growth rate of  $2.46 \pm 0.19$  mm.year<sup>-1</sup> was observed, a higher value than in low latitudes, which has colder waters. In addition, the Mann-Whitney test revealed a significant difference ( $p < 0.05$ ) between the growth rate of different growth patterns. The carbonate production rate was  $99.36 \pm 3.45$  g.m<sup>-2</sup>.year<sup>-1</sup>, a lower production than in other latitudes due to the small number of rhodolites per m<sup>2</sup> found on the site. After comparing the results obtained and data extracted from a systematic literature review, it was observed that the growth rates of calcareous algae grow towards the equator line. This work can serve as a basis for quantitative studies on the production of biogenic carbonates in the oceans and for studies on the responses of these organisms to environmental changes.

**Keywords:** Rhodolith, growth rate, biogenic carbonates, coralline algae

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
2	HIPÓTESE.....	11
3	OBJETIVOS	
	3.1 Objetivos Gerais.....	12
	3.2 Objetivos Específicos.....	12
4	METODOLOGIA.....	13
5	RESULTADOS.....	20
6	DISCUSSÃO.....	25
7	CONCLUSÃO.....	28
8	REFERÊNCIAS.....	29

## 1. INTRODUÇÃO

Rodolitos e “Maërl” são os termos mais comuns usados para algas vermelhas calcárias de forma de vida livre que vivem sobre sedimento. De acordo com Foster (2001), os rodolitos são estruturas de vida livre compostas na maioria das vezes por mais de 50% de algas calcárias (Rhodophita, Corallinaceae) não articuladas, enquanto que “Maërl” pode se referir, também, a ambientes compostos principalmente de tais algas coralinas, vivas ou mortas, ou uma mistura dos dois. Já Crouan e Crouan (1867) explicam que “Maërl” é um termo bretão usado para algas coralíneas ramificadas, soltas, vivas ou mortas, que ocorrem frequentemente em depósitos extensos ou cascalhos de algas encontrados ao longo da costa noroeste da França. Para Hall-Spencer *et al.* (2010), “Maërl” é um conjunto de algas vermelhas coralíneas, não articuladas que vivem soltas. Steller *et al.* (2003) consideram os termos rodolitos e “Maërl” sinônimos por possuírem a mesma função ecológica.

As algas calcárias podem formar bancos que, juntamente com as florestas de kelps, prados de angiospermas marinhas e recifes de corais, formam os quatro grandes habitats marinhos com maior diversidade de organismos bentônicos associados (FOSTER, 2001).

Esse habitat está amplamente distribuído por todos os mares e oceanos, sendo abundante no Mar Mediterrâneo, Golfo da Califórnia, Noruega, Irlanda, Escócia, costa leste do Canadá, Caribe e Brasil (FOSTER, 2001) (Figura 1). As algas calcárias podem ser encontradas associadas a áreas de recifes tropicais, prados de angiospermas marinhas de ambientes tropicais ou temperados e florestas de kelps em áreas temperadas ou formar extensos bancos isolados tanto em áreas tropicais quanto em áreas temperadas (BOSENCE, 1983b).

No Brasil, esses bancos estão distribuídos ao longo da plataforma continental, desde a fronteira com a Guiana Francesa (VALE *et al.*, 2018) até o estado do Rio de Janeiro (BAHIA *et al.* 2010), podendo ainda ser encontrados em ilhas oceânicas e costeiras (AMADO-FILHO *et al.*, 2012b).

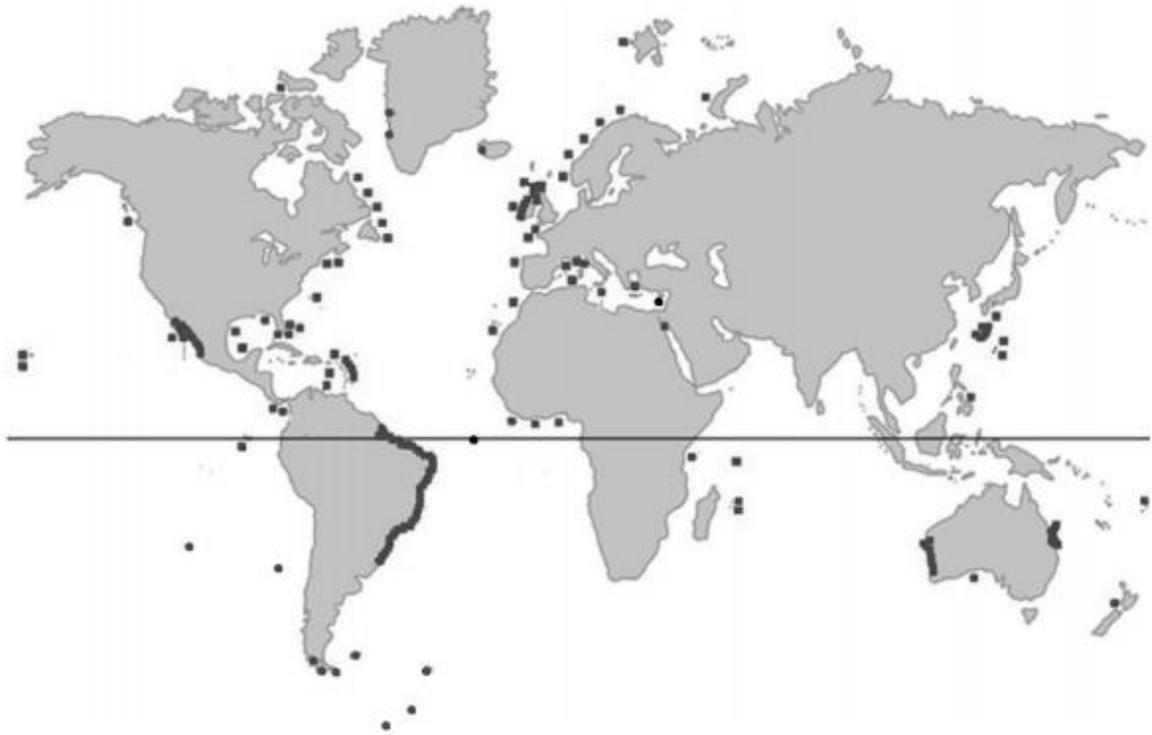


Figura 1 – Distribuição mundial de bancos de rodolitos vivos. (Fonte: Burdett, 2013)

Os bancos de rodolitos, quando relacionados à sua variação de tamanhos e formas dos rodolitos vivos ou mortos, proporcionam diferentes habitats de substrato consolidado, já quando relacionados à variação de tamanhos dos fragmentos de rodolitos misturados com sedimentos vivos, proporcionam habitat de substrato inconsolidado, assim, tais bancos funcionam tanto como substrato consolidado e inconsolidado (FOSTER, 2001). Além disso, bancos de rodolitos podem ser bastante extensos com uma cobertura entre 30-100% de ocupação da área, principalmente em areias grossas e limpas ou em sedimentos mistos enlameados que ocorrem na costa ou em canais na zona entre-marés (FOSTER *et al.* 1997).

Rodolitos, individualmente, podem ser monoespecíficos ou multiespecíficos (VILLAS-BÔAS *et al.* 2014), podendo se desenvolver ao redor de um núcleo esquelético ou não esquelético ou ainda podem crescer sem a presença de um material no centro (RIVERA *et al.* 2004). Entretanto, rodolitos com o núcleo formado por rocha ou outro material não coralíneo indica que o recrutamento por esporos ocorre no local (FOSTER, 2001). Outra característica dos rodolitos é sua ampla variedade de formas de crescimento, podendo ser classificados quanto à morfologia externa (esferoide, elipsoide e discoidal), quanto à densidade de ramificação (I: ramo único, II: ramos abertos, III: ramos frequentes; IV: densamente ramificado) ou quanto à forma de crescimento algal (laminar, concêntrico ou “boxwork”, ramificado ou colunar)

(BOSENCE, 1976; 1983a *apud* AGUIRRE *et al.*, 2017). O padrão de crescimento dos rodolitos também é classificado, podendo ser do tipo “foliose” (folioso), “fruticose” (fruticoso), rugoso e verrugoso (WOELKERLING *et al.*, 1993). A morfologia externa dos rodolitos é estabelecida usando o diagrama triangular de classificação da forma de seixo de Sneed e Folk (1958) (BOSENCE, 1976) (Figura 2). A densidade de ramificação dos rodolitos pode ser classificação dependente do autor. Steller e Foster (1995) quantificam a densidade de ramos como o número médio de pontas apicais em cinco áreas de 1cm<sup>2</sup> amostradas aleatoriamente; enquanto que Basso *et al.* (2009) usam o grau de protuberância a fim de evitar o uso da palavra densidade, uma vez que pode ter um significado diferente.

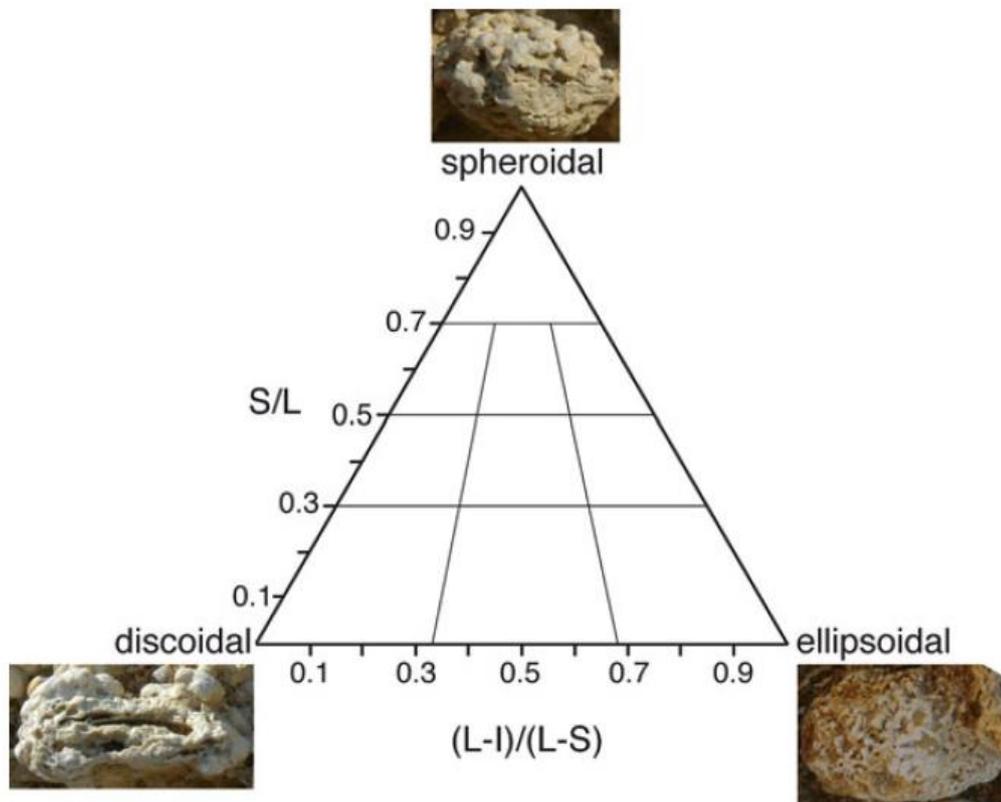


Figura 2 - Diagrama triangular usado para representar a morfologia externa dos rodolitos. L, I e S indicam os eixos maior, intermediário e menor, respectivamente, dos rodolitos. (Fonte = RIOSMENA-RODRÍGUEZ *et al.* 2017)

De acordo com Foster (2001), uma única espécie pode apresentar uma enorme variedade de formas como *Lithophyllum margaritae* (RIOSMENA-RODRIGUEZ *et al.*, 1999), porém não se sabe precisamente como isso ocorre. Alguns autores afirmam que o movimento da água e bioturbadores podem raspar, enterrar e exumar tais algas do sedimento, além do estresse ambiental causar branqueamento, o que podem afetar sua forma, padrões de branqueamento e

densidade de ramos (BOSELLINI; GINSBURG, 1971, BOSENCE, 1976, FOSTER *et al.*, 1997). Fatores que influenciam a distribuição, morfologia e tamanho dos rodolitos são a: profundidade, movimento da água, disponibilidade de luz e sedimentação (STELLER; FOSTER, 1995).

Foster (2001) propôs um modelo para a estrutura e dinâmica dos rodolitos, bancos de rodolitos e estruturas geológicas derivadas deles. Ele explica que fragmentos vivos podem ser produzidos em um banco ou podem ser transportados para eles ou ainda pequenas algas podem se desenvolver a partir de esporos. Além disso, fatores como luz, nutrientes, temperatura, movimento e espécie podem influenciar a taxa de crescimento e a morfologia desses rodolitos. Fragmentos também podem ser quebrados a partir de talos maiores durante o movimento da água, bioturbação, pastagem e arrasto e que esses processos podem produzir areia e pequenas partículas calcárias. Por fim, o soterramento pode ser causado por distúrbio devido ao movimento da água e bioturbação, e junto com as incrustações e mudanças do nível da água podem causar a morte de bancos inteiros (Figura 3)

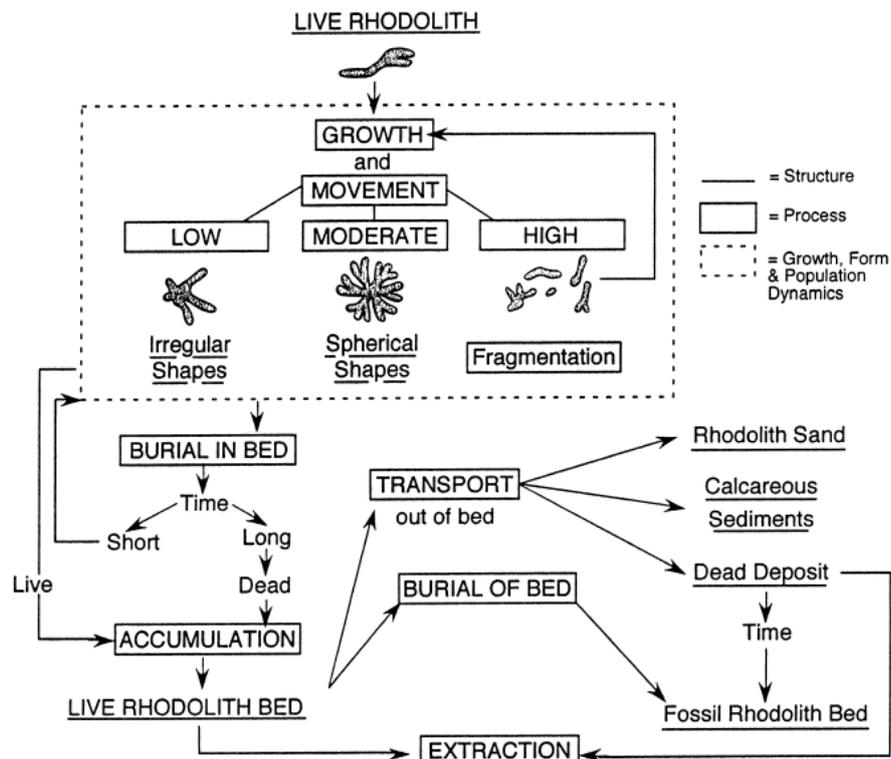


Figura 3 – Modelo de Foster (2001) para a estrutura e dinâmica dos rodolitos

Os bancos de rodolitos, através de suas altas taxas de respiração, fotossíntese, produção e dissolução de  $\text{CaCO}_3$ , tem grande importância no ciclo do carbono e carbonatos em

ecossistemas costeiros rasos, sendo os principais contribuintes para o fluxo de CO<sub>2</sub> (MARTIN *et al.* 2005, 2007; MARTIN *et al.* 2006, 2007). Adicionalmente, organismos marinhos calcificantes, como as algas calcárias, podem registrar sinais físicos ou químicos do ambiente dentro de seu material esquelético, assim, podem ser usados como registradores ou “proxies” das condições ambientais. As algas calcárias possuem várias características que as fazem ideais como “proxies” paleoambientais como: o crescimento de novos talos na superfície de um banco de rodolitos fazendo com que os talos mais antigos fiquem cobertos por sedimento criando um depósito morto; talos individuais de algas coralíneas podem crescer entre 700 e 850 anos, com acumulações de depósitos ao longo dos últimos 20.000 anos; possuem uma distribuição mundial de águas rasas polares a mares tropicais, tornando-os ferramentas úteis para reconstruir condições ambientais em áreas onde existem poucos outros “proxies”. Além disso, as algas calcárias crescem formando bandas de crescimento de carbonato de cálcio anuais e sub-anuais com alto teor de magnésio, onde tal crescimento é determinado pelas condições ambientais (KAMENOS *et al.* 2017). Geralmente, o crescimento é mais rápido em temperaturas mais quentes, formando células maiores e menos calcificadas, já em temperaturas mais frias o crescimento tende a ser mais lento com células menores e mais calcificadas (KAMENOS E LAW, 2010) (Figura 4).

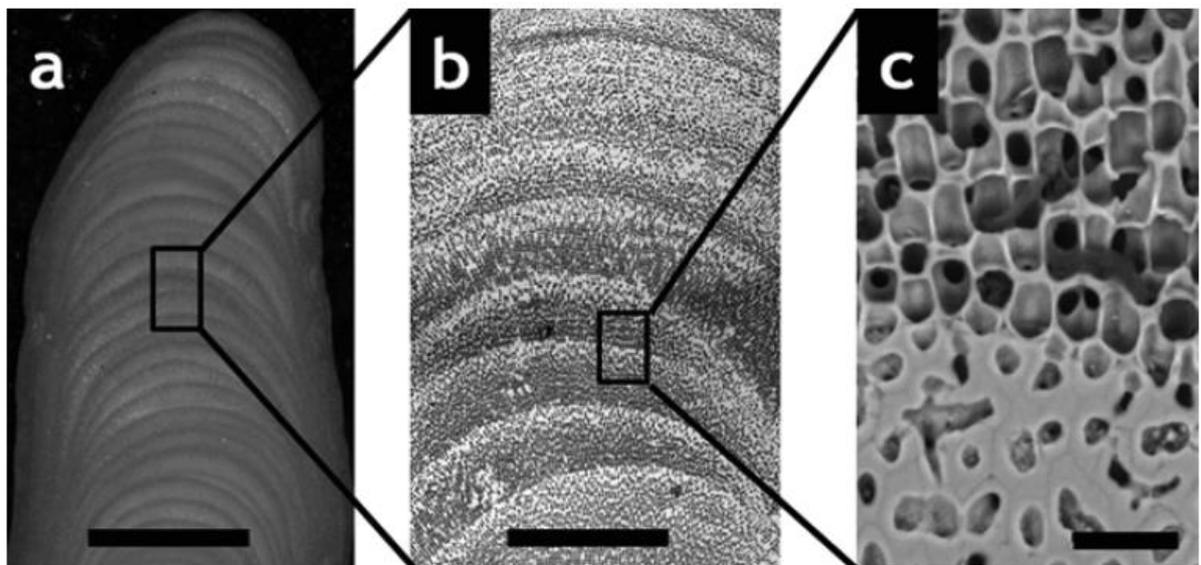


Figura 4 – Corte longitudinal de um ramo de *Lithothamnion glaciale*. Bandas de crescimento visíveis em a) escala = 1mm e b) escala = 500µm. A área escura representa o crescimento em temperaturas quente e a área clara o crescimento em temperaturas frias. c) crescimento celular individual, mostrando células menos calcificadas em temperaturas quentes (topo) e células mais calcificadas em temperaturas frias (base) (escala = 20µm). (Fonte = Kamenos *et al.* 2017)

De acordo com Amado-Filho *et al.* (2012a), os rodolitos são os maiores bioprodutores de  $\text{CaCO}_3$  na costa brasileira, entretanto, não há estudos sobre a produção de carbonato de cálcio por bancos de rodolitos na costa semiárida do Brasil.

Algas calcárias devido ao seu alto teor de carbonato de cálcio possuem grande importância econômica (BLUNDEN *et al.* 1981), sendo assim, sua exploração está associada à sua utilização na agricultura, indústria de cosméticos e alimentícia (DIAS, 2000), na construção civil e na exploração de hidrocarbonetos, já que a porosidade do calcário coralino o torna uma potencial reserva, estando associado à importantes campos (COLETTI *et al.* 2017).

Considerando o grau de complexidade estrutural dos rodolitos, esses habitats também podem sustentar uma grande diversidade de organismos. Dentre esses, os mais representativos são crustáceos, equinodermos, moluscos e poliquetas (RIOSMENA-RODRÍGUEZ, 2017). De acordo com Dozen (1968 *apud* RIOSMENA-RODRÍGUEZ, 2017), a área que sustenta essa biodiversidade não é apenas o habitat produzido pelos rodolitos em si, mas também o sedimento produzido a partir dessas algas. Além disso, estudos vêm demonstrando que os bancos de rodolitos proporcionam refúgio para espécies, em estágio juvenil, comercialmente importantes como as vieiras *Aequipecten opercularis* (KAMENOS *et al.* 2004a. b) e *Agropecten ventricosus* (STELLER; CACERES 2009) e os peixes bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*), Saithe (*Pollachius virens*) e Pollack (*Pollachius pollachius*) (HALL-SPENCER *et al.* 2003) devido à disponibilidade de alimento e refúgio de predadores.

Os bancos de rodolitos estão sob ameaça devido a fatores como pesca de arrasto, exploração de petróleo, poluição costeira, acidificação dos oceanos e aumento da temperatura. De acordo com Basso (2012), os estudos sobre as consequências da acidificação dos oceanos e aumento da temperatura sobre as algas coralíneas estão centrados principalmente nas respostas individuais dos organismos, no impacto sobre o ciclo biológico das espécies e nas respostas dos habitats dominados por algas coralíneas à acidificação marinha, por exemplo, seu papel como fonte ou estocagem de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Tais fatores alteram as condições físico-químicas da água podendo diminuir a atividade fotossintetizante e metabolismo desses organismos, o que pode levar à morte os rodolitos e sua fauna associada.

Além disso, segundo Basso (2012), as mudanças globais se tornaram o maior desafio científico atual, demandando um aumento no conhecimento e da quantificação dos caminhos do carbono entre a litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera e a resposta de cada componente

do sistema às variações nos parâmetros físico-químicos, sendo a calcificação pela biota marinha uma peça fundamental para esse entendimento.

No Brasil, existem poucos estudos sobre a produção de carbonato de cálcio por rodolitos. Kempf (1970) estudando o substrato da plataforma continental do Norte-Nordeste do Brasil, observou grande presença de algas calcárias, compostas por rodolitos do gênero *Lithothamnium* ou aglomerações de algas formando cascalhos ou blocos. Atualmente, uma rede de monitoramento de habitats bentônicos costeiros (ReBentos) busca estruturar bases científicas para detecção dos efeitos das mudanças ambientais regionais e globais sobre habitats bentônicos como os rodolitos (TURRA; DENADAI, 2015). Entretanto, estudos sobre taxa de crescimento e produção de  $\text{CaCO}_3$  de um banco de rodolitos na costa do Ceará disponibilizariam importantes informações sobre a produção de carbonato de cálcio no litoral semiárido brasileiro. Além disso, essas informações podem servir de base para futuros estudos e planejamento espacial marinho da região.

## 2. HIPÓTESE

- A taxa de crescimento e a taxa de produção de  $\text{CaCO}_3$  dos rodolitos da região semiárida do Brasil, em baixas latitudes e com altas temperaturas, são altas, devendo ser maiores que as já registradas para altas latitudes.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Geral**

Verificar a taxa de crescimento e a taxa de produção de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de um banco de rodolitos na plataforma continental interna da costa semiárida brasileira.

#### **3.2. Específicos**

- Identificar as algas calcárias formadoras de rodolitos presentes na área;
- Verificar diferença de crescimento entre diferentes formas de rodolitos.
- Comparar as taxas de crescimento de rodolitos em relação à latitude como dados secundários obtidos através de uma revisão sistemática de literatura.

#### 4. METODOLOGIA

##### Crescimento e produção de carbonato

A metodologia para verificar o crescimento de rodolitos e sua produção de carbonato de cálcio foi baseada na metodologia de Amado-Filho *et al.* (2012). As coletas e o experimento foram realizados em julho de 2017, a aproximadamente 7 km da costa do município de Itarema, Ceará a uma profundidade de 8 metros (02° 54.425'S 039° 44.628'W) (Figura 5).

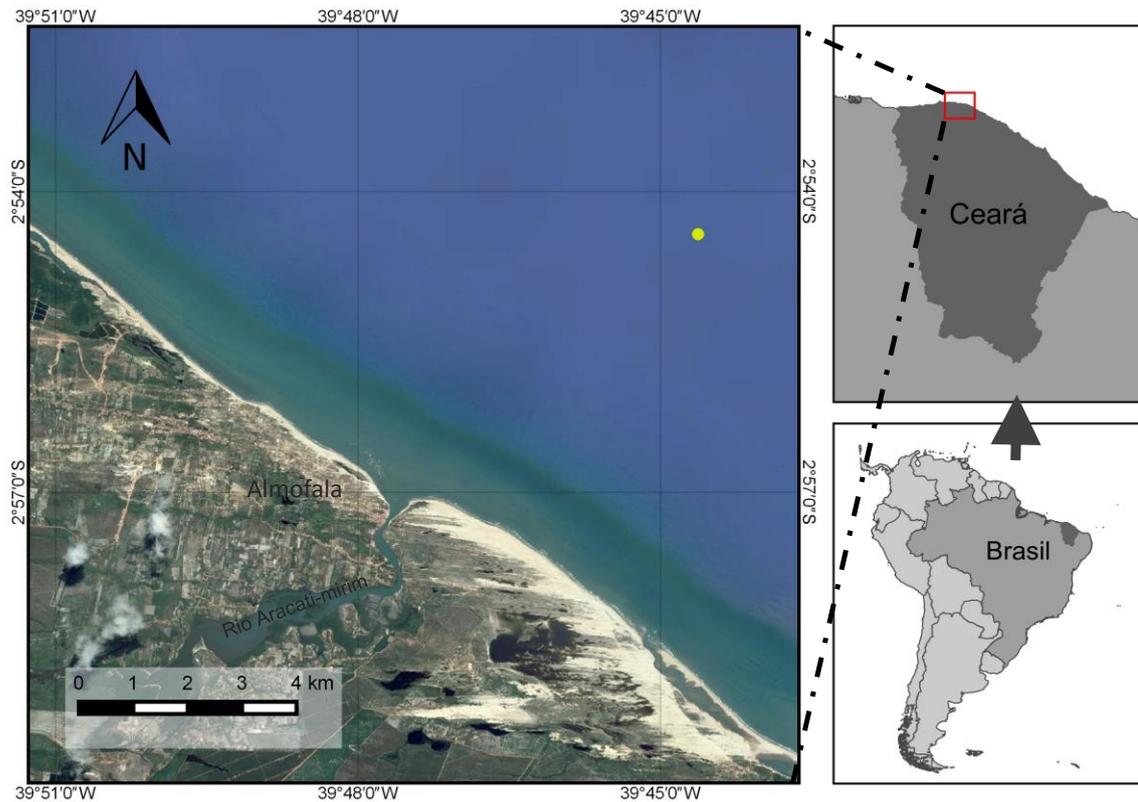


Figura 5 – Área de estudo, município de Itarema, Ceará, Brasil. Local da realização do experimento (ponto amarelo)

Para o cálculo do número de rodolitos por metro quadrado foi estendido, uma fita métrica onde a cada dois metros eram contados os rodolitos em um raio de 50 centímetros (área= 0,78 m<sup>2</sup>) (Figura 6).

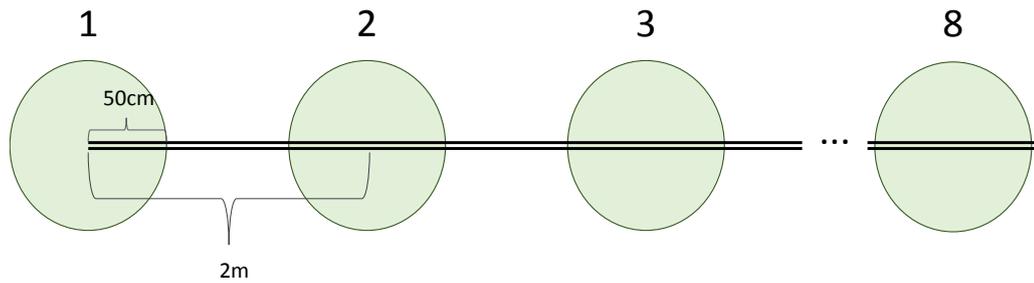


Figura 6 – Desenho amostral para verificar o número de rodolitos por m<sup>2</sup>.

Em seguida, 50 rodolitos foram coletados, desses, 30 rodolitos foram mantidos em recipientes plásticos, com água do mar e aeração, em seguida foram corados em solução salina de alizarina vermelha (0,025%) e então mantidos na base de operações por pelo menos 24 horas. Após esse período, os rodolitos corados foram devolvidos ao local de origem em gaiolas de 25x25cm (Figura 7).

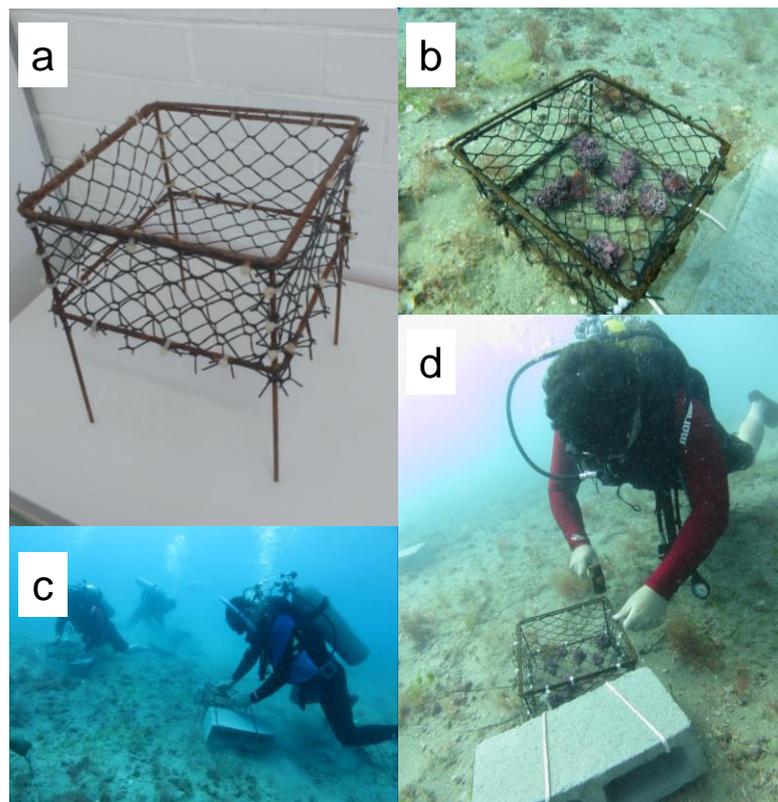


Figura 7 – Instalação do experimento *in situ*. a, b) gaiolas de 25x25cm usadas para o experimento de crescimento. c, d) instalação das gaiolas a 8m de profundidade.

Após 7 meses, os rodolitos foram recapturados, em seguida foram fotografados considerando as 6 faces de um paralelepípedo e medidos os três diâmetros (maior, intermediário e menor) com um paquímetro de precisão de 0,05mm (Figura 8).

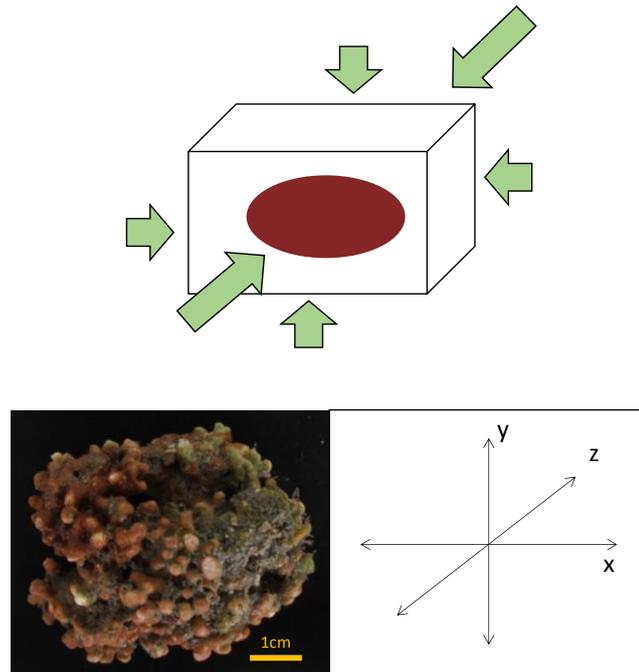


Figura 8 – Desenho esquemático a) posição das seis fotos considerando as faces de um quadrilátero, b) 3 diâmetros medidos (maior, intermediário e menor).

Para a estimativa do crescimento anual, fragmentos dos rodólitos recapturados foram seccionados, colocados em solução de hipoclorito de sódio para a retirada da camada orgânica e vermelha das algas, em seguida foram lixados e a distância entre a marca vermelha, produzida pelo corante e a nova margem foi fotografada em estereomicroscópio com câmera acoplada e medida com o software Leica Application Suite version 3.4.0. Para cada rodólito, foram realizadas 5 medições (Figura 9).

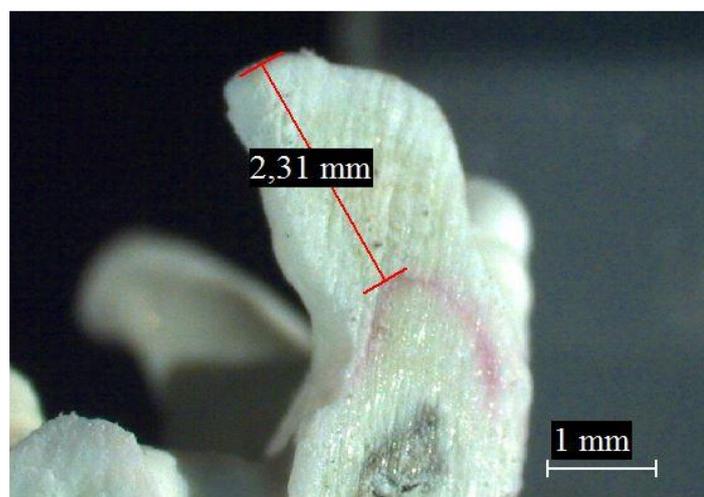


Figura 9 – incremento de carbonato de cálcio após a marcação com vermelho de Alizarina.

Para o cálculo da porcentagem de cobertura viva de cada rodolito utilizou-se o software photoQuad onde em cada foto (6 faces) foram amostrados 50 pontos aleatórios e a porcentagem do número de pontos sobre uma área com tom vermelho foi considerada como porcentagem de tecido vivo (Figura 10).

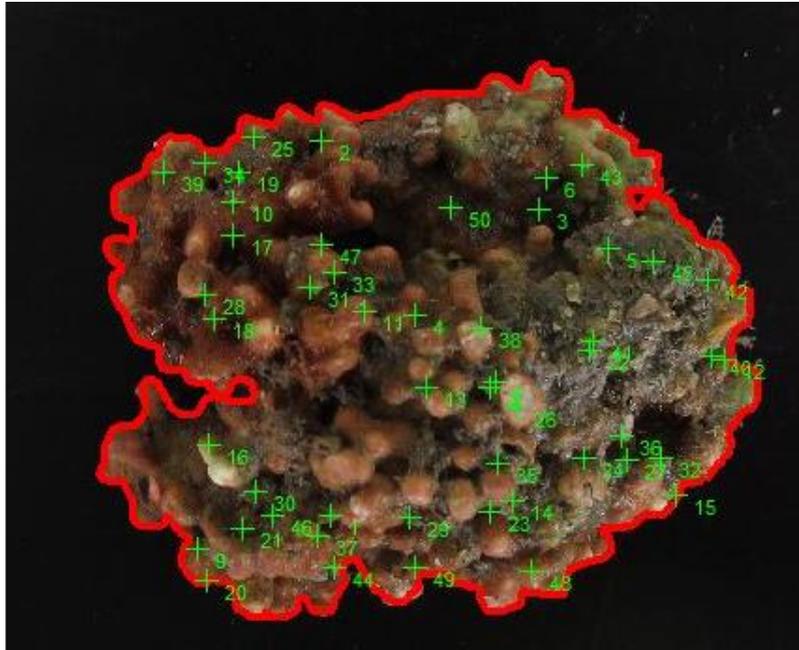


Figura 10 – pontos amostrados para o cálculo da porcentagem de cobertura viva de um rodolito usando o software photoQuad.

Para o cálculo do volume dos rodolitos considerou-se sua forma elipsoide, onde o volume desse sólido é dado por:

$$V = \frac{4}{3} \pi (Rx)(Ry)(Rz),$$
 onde  $Rx$ ,  $Ry$  e  $Rz$  são os raios maior, intermediário e menor, respectivamente.

Já para o cálculo da densidade média dos rodolitos, foram utilizados os 20 rodolitos coletados e não corados. Mediu-se os três diâmetros da mesma forma anteriormente explicada, em seguida as amostras foram secas em estufa a 60°C até a estabilização do peso, em seguida os rodolitos foram pesados em uma balança analítica com precisão de 0,0001g e a densidade foi obtida através da equação:

$$d = \frac{\text{peso}(g)}{\text{volume}(fórmula)}.$$

O incremento de volume de cada rodolito foi obtido pela subtração do volume inicial do volume final através da fórmula:

$$V' = \left[ \frac{4}{3} \pi (Rx)(Ry)(Rz) \right] - \left[ \frac{4}{3} \pi (Rx - g)(Ry - g)(Rz - g) \right],$$
 onde  $g$  é o incremento anual estimado dos rodolitos.

O aumento da massa de  $\text{CaCO}_3$  foi estimado para um período de um ano seguindo a equação:

$M = dV'$ , onde  $d$  é a densidade média de cada rodolito e  $V'$  é o incremento de volume.

A taxa de produção de  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) foi obtida com a equação:

$\text{CaCO}_3\text{pr} = lDM$ , onde  $l$  é o % de cobertura viva (variando de 0 a 1),  $D$  é a abundância média de rodolitos ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) e  $M$  é o incremento de massa de  $\text{CaCO}_3$ .

Para caracterizar os padrões de crescimento do rodolitos foi utilizado a classificação de Woelkerling *et al.* (1993), onde para tais algas, observa-se quatro padrões: verrugoso, rugoso, foliose e fruticose. As algas com o padrão verrugoso possuem protuberâncias em forma de verrugas que normalmente são menores do que 3mm de comprimento. O padrão rugoso é caracterizado pela presença de protuberâncias inchadas que podem variar de comprimento e raramente podem ser ramificadas. Já no padrão fruticose é observado protuberâncias cilíndricas ou comprimidas que tem em sua maioria um comprimento maior do que 3mm, não parecem irregulares, são geralmente ramificadas e estão livres ou lateralmente conectadas em diferentes graus. Por último, o padrão foliose caracteriza-se pela presença de ramos em forma de lamelas dispostos em vários ângulos, podendo ser simples ou ramificados, separados ou entrelaçados e conectados em vários graus. (Figura 11). Devido à dificuldade de diferenciar as formas verrugosa e rugosa, no presente trabalho ambos padrões foram considerados como um único (verrugoso/rugoso).

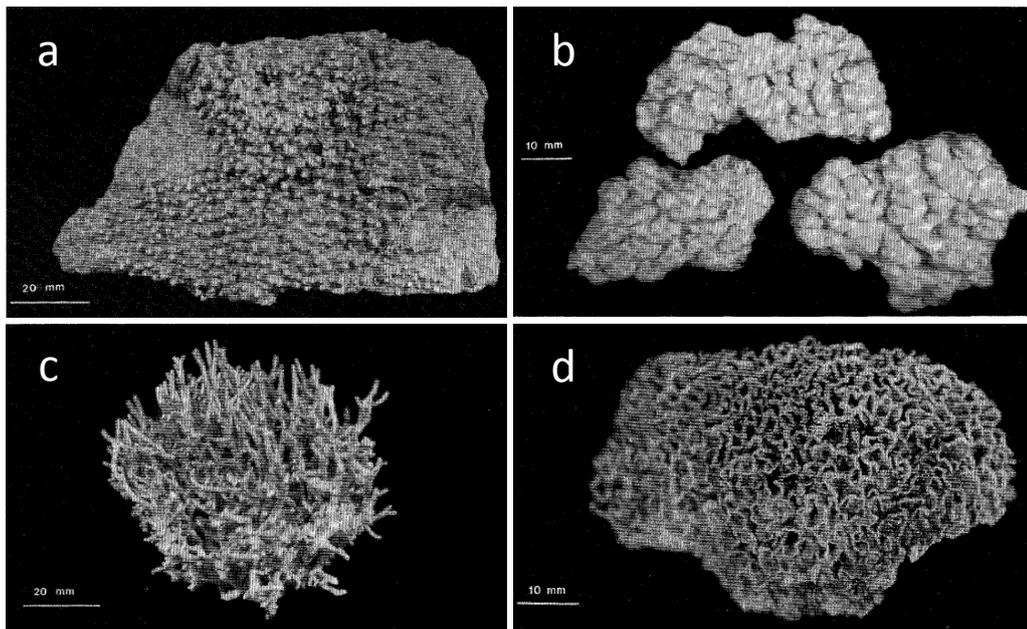


Figura 11 – Classificação de Woelkerling *et al.* (1993) para os padrões de crescimento de rodolitos. a) verrugoso, b) rugoso, c) fruticose e d) foliose

Como os dados não atingiram os pré-requisitos necessários (normalidade e homocedasticidade) para a realização de análises de variância paramétrica, e só foram encontrados os padrões fruticose e verrugoso/rugoso, foi aplicado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney para verificar diferenças entre o diâmetro e a taxa de crescimento entre os padrões de crescimento encontrados. As análises foram realizadas utilizando o software STATISTICA 7.0, com nível de 5% de significância.

### **Relação entre taxa de crescimento e latitude**

Para verificar diferença na taxa de crescimento em relação à latitude foi realizada uma revisão sistemática de literatura de acordo com Moher *et al.* (2010), onde foram pesquisados artigos de língua inglesa, publicados até 20 de novembro de 2018, nas bases Science Direct e Web of Science usando as seguintes palavras-chave: *coralline AND growth rate* e *rhodolith AND growth rate*. Foram selecionados artigos nos quais possuíam valores de taxa de crescimento apical das algas calcárias não geniculadas, localização e profundidade do experimento ou coleta, e método para obtenção da taxa de crescimento. Trabalhos realizados em microcosmo foram considerados desde que as condições ambientais simuladas (luz e temperatura) fossem as mesmas da região de coleta das algas. Artigos com taxa de crescimento em porcentagem, taxa de crescimento de volume ou peso, taxa de crescimento lateral e taxa de crescimento de algas abaixo de 20 metros de profundidade foram excluídos, assim como trabalhos onde as taxas de crescimento foram expressas apenas em gráficos. Trabalhos referentes ao crescimento de algas formadoras de Maël foram excluídos, pois aparentemente possuem taxas de crescimento mais elevadas do que as demais algas calcárias junto ao fato de só existem trabalhos na Europa, causando problema nas análises. O trabalho Schafer *et al.* (2011) foi excluído da análise pois o experimento foi realizado em uma área de alta concentração de nutriente e forte flutuação sazonal de temperatura, condições diferentes de áreas adjacentes em uma mesma latitude.

Os dados de latitude foram transformados para graus decimais, onde valores negativos referentes às latitudes do hemisfério sul foram transformados para valores positivos, assim a variação de latitude usada foi de 0° a 90°.

Em seguida ao levantamento bibliográfico, por se tratar de dados não paramétricos, foi calculada a correlação de Spearman entre as taxas de crescimento e latitudes, além de uma regressão polinomial de grau 2 usando o software STATISTICA 7.0, com nível de 5% de significância.

## 5. RESULTADOS

Após sete meses, um total de 30 rodolitos foram recapturados, sendo 7 rodolitos com o padrão de crescimento verrugoso/rugoso e 23 com o padrão fruticose. Quanto a sua forma, os rodolitos analisados foram, em sua totalidade, classificados como esferoidais (Figura 12). Além disso, foi observada *in situ* uma média de 14,5 rodolitos/m<sup>2</sup>.

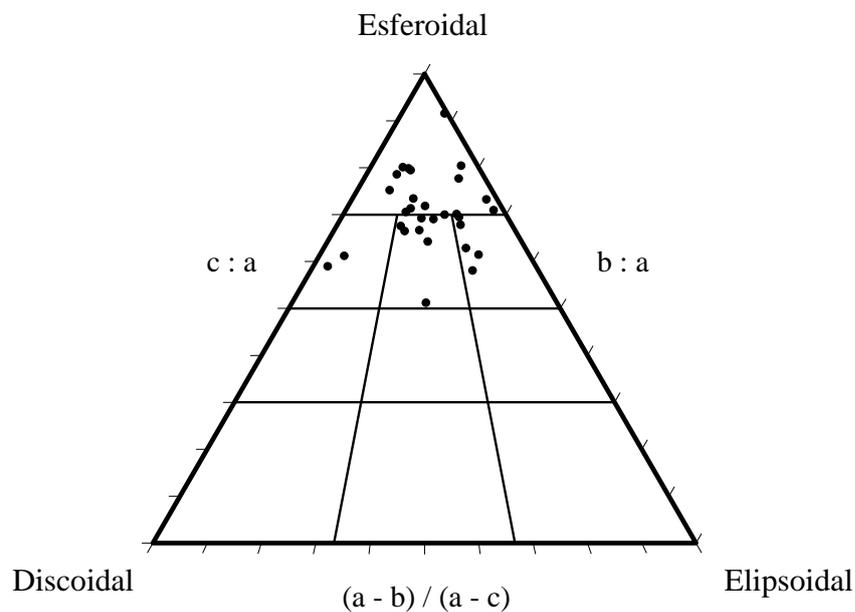


Figura 12 - Classificação das formas dos rodolitos usando o diagrama de Sneed e Folk's (1958). Sendo a, b e c os eixos longo, intermediário e menor respectivamente.

Em relação ao diâmetro maior, a média observada foi de  $51,81 \pm 1,18$  mm, onde o padrão de crescimento fruticose teve uma média de  $50,73 \pm 1,39$ mm e o padrão verrugoso/rugoso uma média de  $55,37 \pm 1,67$ (Tabela 1). O teste estatístico de Mann-Whitney revelou que não houve diferença significativa entre os padrões de crescimento ( $p > 0,05$ ) (Figura 13).

Tabela 1 – Média do maior diâmetro dos rodolitos considerando as formas de crescimento fruticose, verrugoso/rugoso e ambas.

Diâmetro maior	n	Média	Minimo	Máximo	Desvio padrão	Erro padrão
Total	30	51,82	39,80	66,40	6,47	1,18
Fruticose	23	50,74	39,80	66,40	6,68	1,39
Verrugoso/Rugoso	7	55,37	49,00	60,75	4,41	1,67

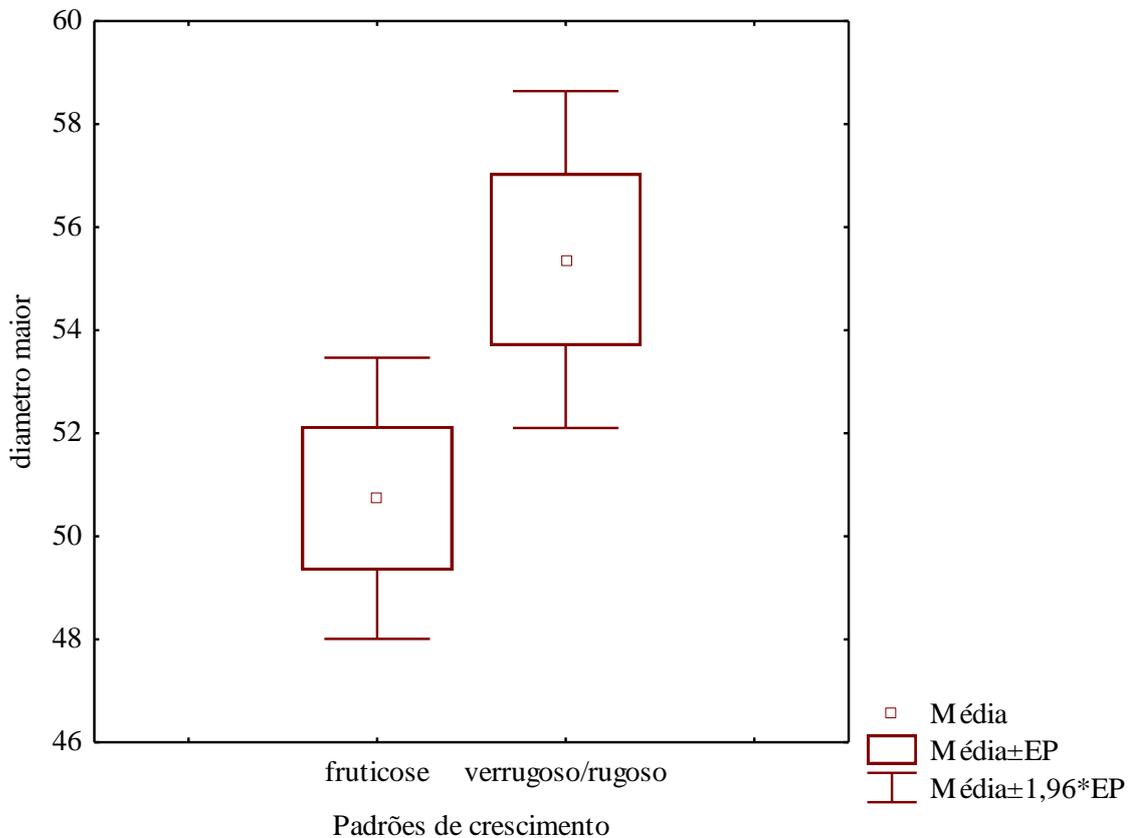


Figura 13 – Média ( $\pm$  erro padrão) do maior diâmetro dos rodolitos considerando as formas de crescimento fruticose e verrugoso/rugoso.

Analisando a taxa de crescimento, verificou-se um crescimento médio de  $2,46 \pm 0,19$  mm/ano. Porém, analisando cada padrão de crescimento separadamente, as taxas de crescimento foram de  $2,68 \pm 0,22$  mm/ano e  $1,73 \pm 0,23$  mm/ano para as formas fruticose e verrugoso/rugoso respectivamente (Tabela 2). O teste estatístico de Mann-Whitney mostrou que houve uma diferença significativa entre os dois padrões de crescimento ( $p < 0,05$ ) (Figura 14).

Tabela 2 - Taxa de crescimento dos rodolitos considerando as formas de crescimento fruticose, verrugoso/rugoso e ambas.

Crescimento (mm/ano)	n	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Erro padrão
Total	30	2,46	0,89	4,35	1,03	0,19
Fruticose	23	2,68	0,89	4,35	1,04	0,22
Verrugoso/Rugoso	7	1,73	1,07	2,86	0,60	0,23

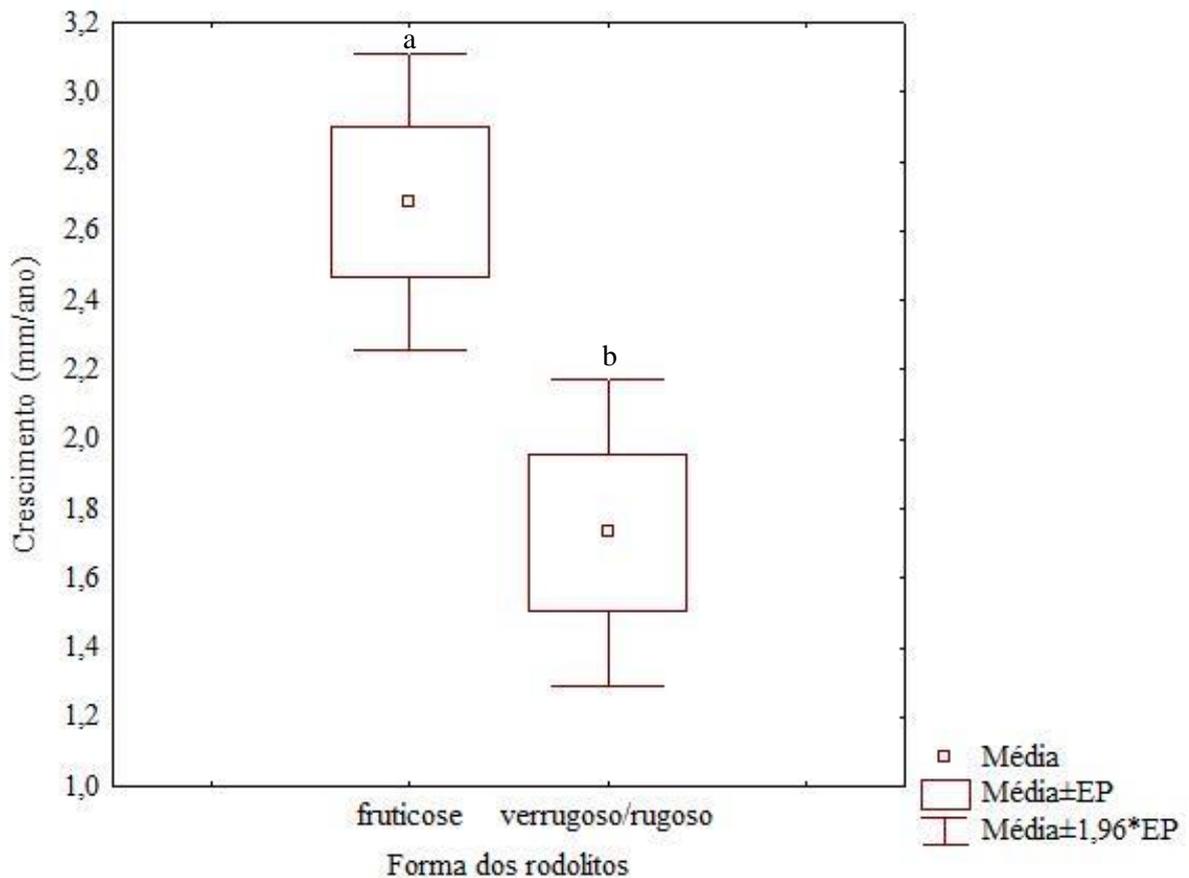


Figura 14 – Taxa de crescimento ( $\pm$  erro padrão) dos rodolitos considerando as formas de crescimento fruticose e verrugoso/rugoso. Letras representam diferenças significativas entre as formas de crescimento

Em relação à taxa de produção de carbonato foi observada uma taxa de  $99,36 \pm 3,45$   $\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ .

Após a seleção de acordo com os critérios estabelecidos, foram escolhidos 44 artigos (TABELA 3) com diferentes métodos para obtenção da taxa de crescimento de algas calcárias não articuladas, entre eles, razão entre Mg e Ca, marcação por Alizarina vermelha, periodicidade de bandas ricas em  $\text{MgCO}_3$ ,  $^{14}\text{C}$ , número de bandas com conceptáculos e diferença de espessura.

Entre as taxas de crescimento obtidas com tais trabalhos, incluído o atual trabalho, apenas 6 valores são de algas localizadas em zonas tropicais (entre  $23,5^\circ\text{N}$  e  $23,5^\circ\text{S}$ ) e 39 valores para algas em zonas subtropicais e temperadas.

A regressão polinomial mostrou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,799 (Figura 15). A correlação de Spearman entre as variáveis latitude e taxa de crescimento foi de -0,85.

Tabela 3 – Artigos selecionados para revisão sistemática com os valores de taxa de crescimento de alga calcária observados e suas respectivas latitudes

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Latitude</b>	<b>Taxa de crescimento (<math>\mu\text{m} / \text{ano}</math>)</b>
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	47,30	276
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	47,30	251
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	47,30	335
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	51,58	303
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	51,58	335
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	51,58	326
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	51,58	358
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	50,02	298
Halfar <i>et al.</i>	2011	Quebec (Canadá)	50,18	265
Halfar <i>et al.</i>	2011	Quebec (Canadá)	50,27	220
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	47,30	264
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	51,58	319
Halfar <i>et al.</i>	2011	Newfoundland (Canadá)	51,58	342
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	56,02	156
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	56,02	173
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	56,02	146
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	55,08	143
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	55,08	187
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	55,08	126
Caragnano <i>et al.</i>	2014	Gulf of Aden (Yemen)	13,97	1134
Caragnano <i>et al.</i>	2014	Gulf of Aden (Yemen)	13,97	1182
Williams <i>et al.</i>	2014	Ilhas Aleutas (Alasca)	51,42	342
Williams <i>et al.</i>	2014	Ilhas Aleutas (Alasca)	51,40	464
Williams <i>et al.</i>	2014	Ilhas Aleutas (Alasca)	52,93	542
Williams <i>et al.</i>	2014	Ilhas Aleutas (Alasca)	52,78	379
Williams <i>et al.</i>	2014	Ilhas Aleutas (Alasca)	54,20	450
Williams <i>et al.</i>	2014	Ilhas Aleutas (Alasca)	54,20	414
Sletten <i>et al.</i>	2017	Panamá	8,90	1840
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	1080
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	750
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	490
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	850
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	630
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	570
Frantz <i>et al.</i>	2005	Alasca	51,75	300
Lewis <i>et al.</i>	2017	Australia	23,43	1480
Matsuda	1989	Japao	24,47	1400
Matsuda	1989	Japao	24,47	500
Matsuda	1989	Japao	24,47	1200
Matsuda	1989	Japao	24,47	200
McConnico <i>et al.</i>	2014	México	26,84	710
Frantz <i>et al.</i>	2000	Golfo da california (México)	24,14	600
Rivera <i>et al.</i>	2004	Golfo da california (México)	26,59	680
Amado-Filho <i>et al.</i>	2012	Abrolhos (Brasil)	19,75	1500
Lima <i>et al.</i>	2019	Ceará, Brasil (atual)	2,90	2460

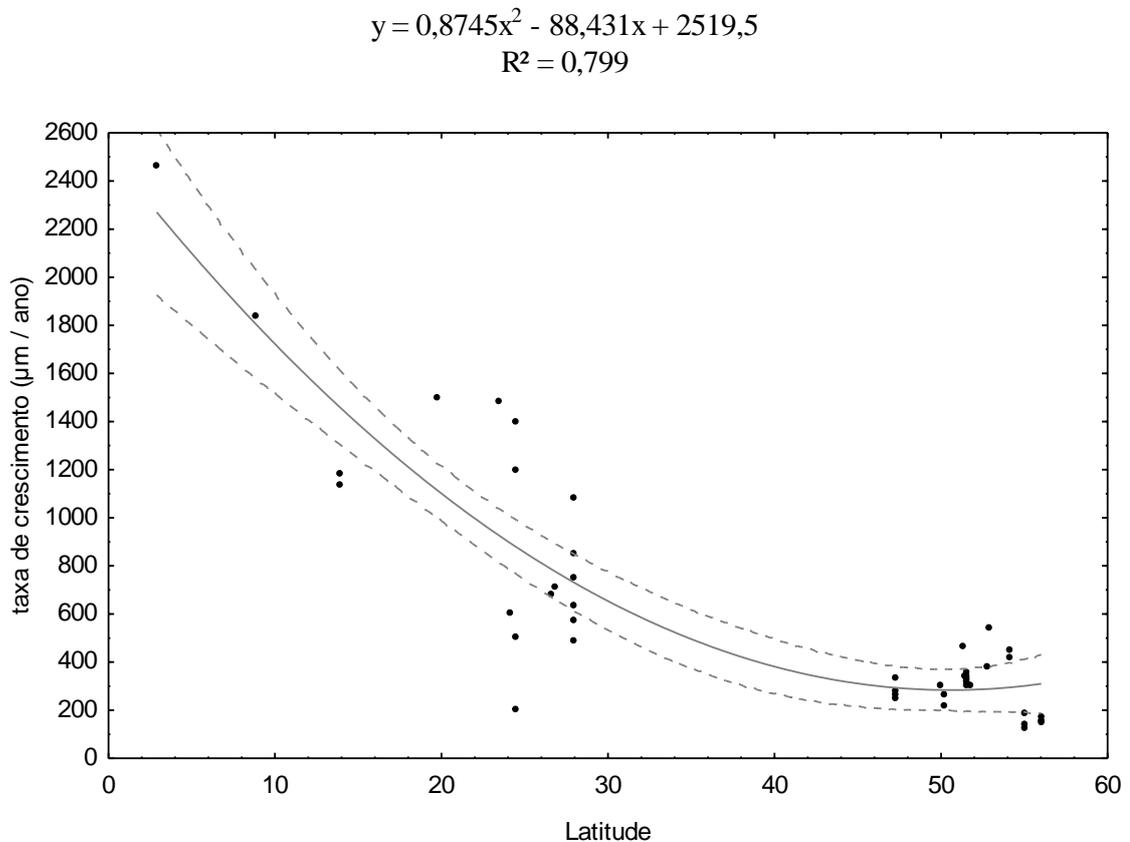


Figura 15 – Regressão polinomial de grau 2 entre a taxa de crescimento e latitude. Onde, y=taxa de crescimento, x=latitude. Intervalo de confiança de 95%.

Considerando apenas trabalhos que usaram a metodologia de marcação com Alizarina vermelha foram obtidos 12 valores de taxa de crescimento, incluindo o atual trabalho (TABELA 4)

Tabela 4 – Artigos selecionados que usaram a metodologia de marcação de algas calcárias com Alizarina vermelha com os valores de taxa de crescimento observados e suas respectivas latitudes

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Latitude</b>	<b>Taxa de crescimento (µm / ano)</b>
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	56,02	146
Kamenos <i>et al.</i>	2008	Escócia	55,08	126
Sletten <i>et al.</i>	2017	Panamá	8,90	1840
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	1080
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	750
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	490
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	850
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	630
Caragnano <i>et al.</i>	2016	Ras Ghamila (Egito)	27,97	570
McConnico <i>et al.</i>	2014	México	26,84	710
Amado-Filho <i>et al.</i>	2012	Abrolhos (Brasil)	19,75	1500
Lima <i>et al.</i>	2019	Ceará, Brasil (atual)	2,90	2460

A regressão polinomial com os valores obtidos de trabalhos que usaram o método de marcação com Alizarina vermelha mostrou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,951 (Figura 16). A correlação de Spearman entre as variáveis latitude e taxa de crescimento foi de -0,85.

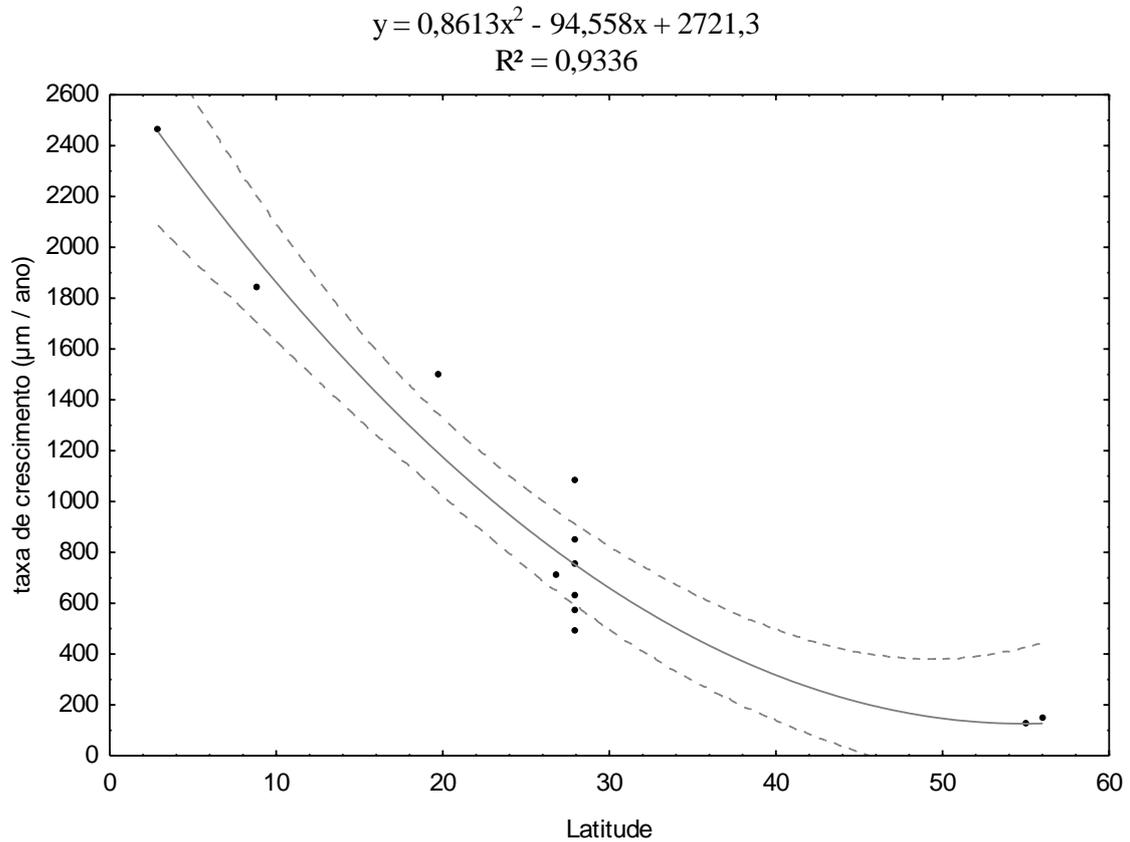


Figura 16 – Regressão polinomial de grau 2 entre a taxa de crescimento e latitude considerando apenas trabalhos com a metodologia de marcação com Alizarina vermelha. Onde, y=taxa de crescimento, x=latitude. Intervalo de confiança de 95%.

## 6. DISCUSSÃO

As algas calcárias têm um importante papel como fonte ou estocagem de CO<sub>2</sub> atmosférico na forma de carbonato de cálcio. No presente estudo, foi verificada uma taxa de crescimento de 2,46mm/ano em rodolitos próximo à linha do equador, sendo tal valor maior do que encontrados em latitude maiores como ~26°N (Riviera *et al.*, 2004), ~18°S (Amado-Filho *et al.*, 2012), ~27°N (Caragnano *et al.* 2016) e ~52°N (Willians *et al.* 2014). Riviera *et al.* (2004) verificaram um crescimento de 0,6mm/ano no Golfo da Califórnia, México. Já Amado-Filho *et al.* (2012a), estudando rodolitos na costa leste do Brasil, verificaram taxas de 1,5mm/ano a 20m de profundidade e 1mm/ano a 45m de profundidade. Caragnano *et al.* (2016), estudando rodolitos na costa do Egito no Mar Vermelho, obtiveram taxas de crescimento de 1,08mm/ano para *Lithophyllum kotschyannum*, 0,746mm/ano para *Porolithon onkodes*, 0,488mm/ano para *Hydrolithon sp.*, 0,567mm/ano para *Neogoniolithon sp.*, 0,628mm/ano para *Neogoniolithon brassica-florida* e 0,855mm/ano para *Neogoniolithon fosliei*. Por fim, Willians *et al.* (2014) observaram taxas de crescimento da alga *Clathromorphum nereostratum* entre 0,342-0,542mm/ano nas ilhas Aleutas.

As regressões polinomiais mostram uma grande tendência ao aumento das taxas de crescimento em direção ao equador. Quando comparados trabalhos realizados com diferentes metodologias, a variação da taxa de crescimento em relação à latitude é respondida em 79,99% pela função  $y=0,875x^2-88,431x+2519,5$ . Apesar de ser um coeficiente de determinação alto, fatores como a variedade de métodos empregados, quantidade de nutrientes disponíveis nos locais de análise e respostas individuais de cada espécie em relação às condições climáticas podem estar afetando a análise. Investigando apenas trabalhos nos quais utilizaram o método de marcação com Alizarina vermelha, a relação entre taxa de crescimento e latitude é respondida em 93%, mostrando que a utilização de diferentes métodos para obtenção da taxa de crescimento afeta, mesmo que infimamente, a análise.

Esse crescimento maior em baixas latitudes pode ser explicado pela maior temperatura e disponibilidade de luz tanto em intensidade quanto no fotoperíodo. Latitudes maiores possuem um fotoperíodo menor durante os meses de inverno, fazendo com que o crescimento das algas seja menor durante esse período, diminuindo assim uma média de crescimento anual. Tal afirmação é corroborada por estudos como Steller *et al.* (2007b), Agegian (1985), Martin e Gattuso (2009) e Steller *et al.* (2017). Steller *et al.* (2007b) verificaram que as taxas de crescimento aumentam com a temperatura, como foi evidenciado pelo crescimento 6 vezes mais rápido em 25°C (5,02mm/ano) do que em 10°C (0,83mm/ano), embora uma ampla variabilidade

de respostas e adaptações é esperada em outras espécies de condições climáticas diferentes. Agegian (1985), estudando *Porolithon gardineri*, observou que a sua taxa de crescimento diminuiu drasticamente com temperaturas acima de 29-30°C, mas cresceu linearmente em função da saturação da calcita e foi levemente influenciada pela intensidade de luz. Martin e Gattuso (2009) concluíram que o crescimento e a calcificação de algas coralíneas crescem com o aumento da temperatura, dentro da faixa do habitat natural e que acima desses níveis o aquecimento é prejudicial e causa necrose e morte. Já Steller *et al.* (2017) verificaram em experimento que o número de bandas de crescimento em *Lithothamnion sp.* variou amplamente de acordo com a posição do eixo de crescimento em relação à fonte de luz.

Além disso, Kamenos e Law (2010), analisando como a temperatura do ambiente controla o crescimento da alga calcária *Lithothamnium glaciale*, concluíram que o crescimento desta alga está relacionado à temperatura, onde algas expostas a temperaturas quentes possuíam crescimento mais rápido além de células menos calcificadas, enquanto algas expostas a temperaturas frias possuíam crescimento mais lento e células mais calcificadas.

Em escala global, poucos estudos têm focado na contribuição quantitativa de carbonato biogênico e particularmente na produção de carbonato e acumulação por algas coralíneas. Sob condições oceanográficas favoráveis, a produção de massa de carbonato por algas coralíneas é dependente da sua morfologia (ex. geniculada ou não geniculada, incrustante ou talos foliosos) (WOELKERLING *et al.*, 1993) e da sua taxa de crescimento. Como em Caragnano *et al.* (2016), a presença abundante do padrão de crescimento fruticose e a predominância de rodolitos esféricos, como encontrado no atual trabalho, sugere um ambiente com hidrodinâmica de moderada. Porém a presença de vários fragmentos de rodolitos mortos indica uma hidrodinâmica variando de moderada a alta.

A taxa de produção de carbonato por algas coralíneas pode se estender por 4 ordens de magnitude com as taxas mais altas em recifes tropicais, em comunidades do infralitoral do mediterrâneo dominadas por alga geniculada e em bancos de “maërl” na costa atlântica da França, e taxas menores em epífitas de marismas em zonas temperadas e em bancos profundos de substrato inconsolidado (BASSO, 2012). O atual trabalho observou uma taxa de produção de carbonato de cálcio bem menor do que valores observados em trabalhos como Amado-Filho *et al.* (2012), Bosence e Wilson (2003) e Potin *et al.* (1990). Na costa leste do Brasil foi verificada uma produção de  $\text{CaCO}_3$  de aproximadamente  $1000 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  (AMADO-FILHO *et al.* 2012). Já na costa da Noruega, França e Irlanda foram observadas taxas de produção de  $\text{CaCO}_3$  de aproximadamente 1500, 1000 e 300  $\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  respectivamente (BOSENCE E

WILSON, 2003). Potin *et al.* (1990) obtiveram uma taxa de produção de  $\text{CaCO}_3$  de  $876 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  na França.

A baixa produção de carbonato observada no presente trabalho pode ser explicada pelo pequeno número de rodolitos por  $\text{m}^2$ . Bosence e Wilson (2003) sugeriram que a alta produção de carbonato por  $\text{m}^2$  no Atlântico Norte se dá pela abundância de rodolitos, apesar da sua baixa taxa de crescimento. A baixa densidade de rodolitos observada na área, pode ter sido resultado da metodologia empregada ou de uma característica implícita do local do experimento, assim necessitando de um melhor mapeamento em uma área mais ampla.

Estimativas disponíveis do volume total de carbonato biogênico nos oceanos são afetados por amplas incertezas, principalmente devido à falta de dados em relação às taxas de acumulação de massa de carbonato (MILLIMAN, 1993). Mundialmente, áreas bentônicas mapeadas e caracterizadas em detalhes são insuficientes para representarem um todo (HETZINGER *et al.* 2006, NELSON, 2009)

Mesmo no Mar Mediterrâneo sendo uma área relativamente bem estudada, a distribuição de importantes ecossistemas marinhos, como as dominadas por coralíneas tanto em substrato duro como inconsolidado, é amplamente desconhecido (AMBLAS *et al.* 2004), assim introduz um viés na previsibilidade de respostas das plataformas em relação às mudanças globais.

Localizar e descrever as “fábricas” de carbonato algal e avaliar sua extensão e produção são prioridades para pesquisas futuras, como ferramenta para o manejo ambiental desse “hot-spot” de biodiversidade e obter dados confiáveis sobre a acumulação de carbonato nas plataformas mundiais.

## 7. CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que a taxa de crescimento de rodolitos na região semiárida brasileira, localizada em baixa latitude e caracterizada pelas altas temperaturas, é maior do que as observadas em latitudes maiores. O crescimento de algas calcárias (incrustantes e/ou rodolitos) é fortemente influenciado por fatores como temperatura da água e luz. Apesar de poucos estudos realizados em zonas tropicais, o atual resultado mostrou que as variações latitudinais desses fatores resultam em mudanças nas taxas de crescimento de tais algas.

Apesar da alta taxa de crescimento dos rodolitos, a baixa produção de carbonato na área devido ao pequeno número de rodolitos observados sugere a necessidade de um mapeamento com técnicas mais modernas de prospecção de tais bancos na região. Estudos sobre a produção de carbonatos na região são importantes para entender o fluxo de carbono e carbonato na região semiárida do Brasil.

## 8. REFERENCIAS

- AGEGIAN, C. R. The biogeochemical ecology of *Porolithon gardineri* (Foslie). Tese de Doutorado. **University of Hawaii**. 1985
- Aguirre, J.; Braga, J.C.; Bassi, D. Rhodoliths and Rhodolith Beds in the Rock Record. . R. Riosmena-Rodríguez et al. (eds.), *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, **Coastal Research Library**, v. 15. 2017
- Amado-Filho, G.M.; Moura, R.L.; Bastos, A.C.; Salgado, L.T.; Sumida, P.Y.; Guth, A.Z.; Francini-Filho, R.B.; Pereira-Filho, G.H.; Abrantes, D.P.; Brasileiro, P.S.; Bahia, R.G.; Leal, R.N.; Kaufman, L.; Kleypas, J.A.; Farina, M.; Thompson, F.L. Rhodolith beds are major CaCO<sub>3</sub> bio-factories in the Tropical South West Atlantic. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, e35171. 2012a
- Amado-Filho, G.M.; Pereira-Filho, G.H.; Bahia, R.G.; Abrantes, D.P.; Veras, P.C.; Matheus, Z. Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. **Aquatic Botany**, v. 101, p. 41–45. 2012b.
- Bahia, R.G.; Abrantes, D.P.; Brasileiro, P.S.; Pereira-Filho, G.H.; Amado-Filho, G.M. Rhodolith bed structure along depth gradient on the northern coast of Bahia state, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 4, p. 323-337. 2010
- Basso D. Carbonate production by calcareous red algae and global change. **Geodiversitas**. v.34 (1) 2012
- Basso D, Nalin R, Nelson CS. Shallow-water *Sporolithon* rhodoliths from north island (New Zealand). **Palaios** 24:92–103. 2009
- Blunden, G.; Farnham, W.F.; Jephson, N.; Barwell, C.J.; Fenn, R.H.; Plunkett, B.A. The composition of maërl beds of economic interest in northern Brittany, **Botanica Marina**, v.20, p. 121-125. 1981.
- Bosellini, A. & Ginsburg, R. N. Form and internal structure of recent algal nodules (rhodoliths) from Bermuda. **J. Geol.** 79:669–82. 1971.
- Bosence, D. J. Ecological studies on two unattached coralline algae from western Ireland. **Palaeontology** 19:365–95. 1976.
- Bosence DWJ. Description and classification of rhodoliths (rhodoids, rhodoliths). In: **Peryt™ (ed) Coated grains**. Springer, Berlin, pp 217–224. 1983a

- Bosence DWJ. The Occurrence and Ecology of Recent Rhodoliths – a Review. **In: Peryt TM (ed) Coated Grains. Springer, Berlin**, pp 225–242. 1983b.
- Burdett HL. DMSP dynamics in coralline algal habitats. PhD thesis, School of Geographical and Earth Sciences. **University of Glasgow**, Glasgow. 2013
- Caragnano, A., Basso, D., Rodondi, G. Growth rates and ecology of coralline rhodoliths from the Ras Ghamila back reef lagoon, Red Sea. **Marine Ecology**. 2016
- Coletti,G.; Basso, D.; Frixa, A. Economic Importance of Coralline Carbonates. R. Riosmena-Rodríguez et al. (eds.), Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective, **Coastal Research Library** 15. 2017
- Crouan PL, Crouan HM Florule du finistère. Contenant les descriptions de 360 espèces nouvelles de sporogames, de nombreuses observations, et une synonymie des plantes cellulaires et vasculaires qui croissent spontanément dans ce département, etc. pp. [i]-x, [1]-262, Frontisp., Pi. 1–31, + 1 Suppl. Pl. **Paris & Brest: Friedrich Klincksieck & J.B. et A. Lefournier**. 1867
- Dias, G.T.M. Granulados bioclásticos - algas calcárias. **Brazilian Journal of Geophysics**. v. 18, n. 3, p. 307-317. 2000
- Foster, M. S. Rhodoliths: Between rocks and soft places. **Journal of Phycology**. v. 37, p. 659-667. 2001.
- Foster MS, Riosmena-Rodríguez R, Steller DL, Woelkerling WJ. Living rhodolith beds in the Gulf of California and their implications. **Pliocene carbonates and related facies flanking the Gulf of California, Baja California, Mexico** 318. p. 127. 1997
- Hall-Spencer J, Grall J, Moore P, Atkinson R. Bivalve fishing and maerl-bed conservation in France and the UK—retrospect and prospect. **Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst**. 2003
- Hall-Spencer J, Kelly J, Maggs CA. Assessment of maerl beds in the OSPAR area and the development of a monitoring program. **Department of Environment, Heritage and Local Government, Ireland**. 2010.
- Kamenos,N.; Burdett,H.L.; Darrenougue,N. Coralline Algae as Recorders of Past Climate and Environmental Conditions. R. Riosmena-Rodríguez et al. (eds.), Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective, **Coastal Research Library** 15. 2017

- Kamenos N, Law A. Temperature controls on coralline algal skeletal growth. **Journal of Phycology** 46:331–335. 2010
- Martin S, Clavier J, Guarini J-M, Chauvaud L, Hily C, Grall J, Thouzeau G, Jean F, Richard J. Comparison of *Zostera marina* and maerl community metabolism. **Aquatic Botanic** 83(3):161–174. 2005
- Martin S, Clavier J, Chauvaud L, Thouzeau G. Community metabolism in temperate maerl beds. I. Carbon and carbonate fluxes. **Mar Ecol Prog Ser** 335:19–29. 2007
- Martin S, Castets MD, Clavier J. Primary production, respiration and calcification of the temperate free-living coralline alga *Lithothamnion corallioides*. **Aquat Bot** 85:121–128. 2006
- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; The PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **International journal of Surgery**. v8. 2010
- Riosmena-Rodríguez, R. Natural History of Rhodolith/Maërl Beds: Their role in Near-Shore Biodiversity and Management. R. Riosmena-Rodríguez et al. (eds.), *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, **Coastal Research Library** 15, DOI 10.1007/978-3-319-29315-8\_2. 2017
- Rivera M, Riosmena-Rodríguez R, Foster M. Age and growth of *Lithothamnion muelleri* (Corallinales, Rhodophyta) in the southwestern Gulf of California, Mexico. **Cienc Mar** 30(1B):235–249. 2004.
- Schäfer, P.; Fortunato, H.; Bader, B.; Liebetrau, V.; Bauch, T.; Reijmer, J. (2011). Growth rates and carbonate production by coralline red algae in upwelling and non-upwelling settings along the pacific coast of panama. **Palaios**, 26 (7/8). 2011
- Steller DL, Cáceres-Martínez C. Coralline algal rhodoliths enhance larval settlement and early growth of the Pacific calico scallop *Argopecten ventricosus*. **Mar Ecol Prog Ser** 396:49–60. 2009.
- Steller, D.L.; Foster, M.S. Environmental factors influencing distribution and morphology of rhodoliths in Bahia Concepcion, B.C.S., Mexico. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. v. 194, p. 201–212. 1995

- Steller, D.L.; Hernández-Ayón, J.M.; Riosmena-Rodríguez, R.; Cabello-Pasini, A. Effect of temperature on photosynthesis, growth and calcification rates of the free-living coralline alga *Lithophyllum margaritae*. **Ciencias marinas**. v.33(4). 2007
- Steller DL, Riosmena-Rodríguez R, Foster M, Roberts C. Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance. **Aquat Conserv** 13:S5–S20. 2003.
- Turra, A.; Denadai, M.R. Protocolos para Monitoramento de Habitats Bêntonico Costeiros – **Rede de Monitoramento de Habitats Bêntônicos Costeiros – ReBentos**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2015.
- Willians, B.; Halfar, J.; DeLong, K.L.; Hetzinger, S.; Steneck, R.S.; Jacob, D.E. Multi-specimen and multi-site calibration of Aleutian coralline algal Mg/Ca to sea surface temperature. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 139. 2014
- Woelkerling, W.M.J, Irvine, L. M., Harvey, A.S. Growth-forms in Non-geniculate Coralline Red Algae (Corallinales, Rhodophyta). **Aust. Syst. Bot.** 1993
- Vale, N.F.; Amado-filho,G.M.; Braga, J.C.; Brasileiro, P.S.; Karez, C.S.; Moraes, F.C.; Bahia, R.G.; Bastos, A.C.; Moura, R.L. Structure and composition of rhodoliths from the Amazon River mouth, Brazil. **Journal of South American Earth Science** 84: 149-159. 2018
- Villas-Bôas AB, Tâmega FTDS, Andrade M, Coutinho R, Figueiredo MADO. Experimental effects of sediment burial and light attenuation on two coralline algae of a deep water rhodolith bed in Rio de Janeiro, Brazil. **Cryptogam Algal** 35(1):67–76. 2014.