



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – LICENCIATURA (NOTURNO)

Carolina Melissa Mueller

**BANCOS DE RODOLITOS:** agora eles foram longe demais.

Florianópolis  
2023

Carolina Melissa Mueller

**BANCOS DE RODOLITOS:** agora eles foram longe demais.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Ciências Biológicas – Licenciatura (Noturno) do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antunes Horta Junior  
Coorientador: Bsc. Willian da Silva Oliveira

Florianópolis  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mueller, Carolina Melissa

Bancos de rodolitos : agora eles foram longe demais /  
Carolina Melissa Mueller ; orientador, Paulo Antunes Horta  
Junior, coorientador, Willian da Silva Oliveira, 2023.

40 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis,  
2023.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. taxonomia de algas calcárias.  
3. ilha do campeche. I. Horta Junior, Paulo Antunes. II.  
Oliveira, Willian da Silva. III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Carolina Melissa Mueller

**Bancos de rodolitos:** agora eles foram longe demais.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas – Licenciatura (noturno).

Florianópolis, 23 de junho de 2023.

---

Profa. Dra. Daniela de Toni  
Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

---

Prof., Dr. Paulo Antunes Horta Junior  
Orientador

---

Prof. Dra. Luciane Cristina Ouriques  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Dr. Frederico Tâmega  
Avaliador

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira





Buraco do Inferno, Fernando de Noronha, 2023.

## AGRADECIMENTOS

É difícil expressar em palavras o tanto que tenho a agradecer a cada pessoa que fez parte do meu processo de formação até aqui. Eu poderia facilmente passar horas discorrendo sobre cada um e seu papel no meu desenvolvimento não só como bióloga, mas também como pessoa. Apesar disso, agradeço e destaco aqui de forma breve alguns dos personagens que construíram essa história comigo.

Meu orientador Paulo, que me acolheu e inspirou desde o meu primeiro suspiro de paixão às algas.

Meu coorientador Willian, que me guiou quando eu mais precisei.

Meus amigos biólogos, mergulhadores ou apenas normais, que me permitem ser feliz todos os dias.

Minha dupla de mergulho, Giovanna, que me ajuda a descobrir e viver meus próprios sonhos.

Minha dupla de estágio, Luana, que ferozmente encarou um 6º ano e um TCC comigo.

Minhas amigas Laura, Camila e Duda, que mesmo estando longe continuam presentes.

Minha família, que fez com que tudo na minha vida fosse possível.

Colegas e professores do LAFIC, que me apoiaram e acompanharam ao longo dessa caminhada.

A UFSC, que se tornou casa e possibilitou minha formação.

A banca examinadora, que contribuiu na finalização e lapidação deste trabalho.

Os laboratórios LAVeG, LCME e LAMEB pelo auxílio na obtenção de resultados.

O IPHAN e o Instituto Ilha do Campeche pelo auxílio e autorização da realização dos campos deste trabalho.

A Água Viva Mergulho, que além de fornecer os equipamentos de mergulho para os campos, me formou como mergulhadora.

CNPQ, FAPESC e CAPES pelo financiamento de projetos que possibilitaram este trabalho.

## RESUMO

Macroalgas são importantes constituintes da comunidade bentônica brasileira, contribuindo em diversos serviços ecossistêmicos, apresentando altas taxas de produtividade primárias e retratando indicadores de mudanças do ambiente. Dentre este grupo, destacam-se as algas calcárias, caracterizadas pela deposição de carbonatos em suas paredes celulares, que contribuem fortemente para o balanço atmosférico de CO<sub>2</sub>. As algas calcárias podem ser encontradas em substratos não consolidados, como nódulos livres, conhecidos como rodolitos. Os rodolitos podem formar estruturas tridimensionais, abrigando diversas formas de vida, e compor recifes biogênicos como os bancos de rodolitos. Esses bancos representam um dos maiores depósitos de carbono do planeta, mas assim como as demais macroalgas, têm seus papéis ecológicos em risco. Ainda existem lacunas de conhecimento acerca do grupo das algas calcárias, em especial na área da taxonomia. Nesse cenário, o presente trabalho teve como objetivo contribuir para a caracterização de espécies de algas calcárias, constituintes do banco de rodolitos encontrado na ilha do Campeche (Santa Catarina), através de identificações morfoanatômicas e moleculares. A caracterização morfoanatômica se deu a partir da observação de fragmentos de cada espécime em Microscópio de Luz e Microscópio Eletrônico de Varredura. O estudo molecular se baseou em sequências geradas através do marcador molecular *rbcL*. Através de estudo morfoanatômico comparativo e da corroboração dos dados moleculares, foi possível registrar a presença de *Lithophyllum margaritae* (Hariot) Heydrich e dois espécimes do gênero *Roseolithon*, para o banco de rodolitos encontrado na ilha do Campeche. O marcador *rbcL* se demonstrou eficiente na identificação de táxons, reafirmando sua adequação para a utilização como *DNA barcoding*. Os resultados obtidos neste trabalho ressaltam a importância da utilização da Microscopia de Luz, da Microscopia Eletrônica de Varredura e de estudos moleculares em trabalhos taxonômicos de algas calcárias, bem como a produção de trabalhos do gênero para subsidiar a manutenção e preservação dos ambientes costeiros e marinhos da região de Florianópolis, Santa Catarina.

Palavras-chave: algas calcárias; bancos de rodolitos; ilha do campeche; *Lithophyllum margaritae*; *Roseolithon*; *rbcL*.

## ABSTRACT

Macroalgae are important constituents of the Brazilian benthic community, acting in several ecosystem services, presenting high primary productivity rates and portraying indicators of changes in the environment. Among macroalgae, coralline algae stand out, characterized by the deposition of carbonates in their cell walls, which strongly adhered to the balance of atmospheric CO<sub>2</sub>. Coralline algae can be found on unconsolidated substrates, such as free nodules known as rhodoliths. Rhodoliths can form three-dimensional structures, sheltering various forms of life, and compose biogenic reefs such as rhodolith beds. These beds represent one of the largest carbon deposits on the planet, but like other macroalgae, they have their ecological roles at risk. There are still gaps in knowledge about the coralline algae group, especially in taxonomy. In this scenario, the present work aimed to contribute to the characterization of coralline algae species, constituents of the rhodolith bed found on the island of Campeche (Santa Catarina), through morphoanatomical and molecular identifications. The morphoanatomical characterization was based on the observation of fragments of each specimen using an Optical Microscope and Scanning Electron Microscope. The molecular study is based on sequences generated using the molecular marker *rbcL*. Through a comparative morphoanatomical study and corroboration of molecular data, it was possible to register the presence of *Lithophyllum margaritae* (Hariot) Heydrich and two specimens of the genus *Roseolithon* in the rhodolith bank found on the island of Campeche. The *rbcL* marker proved to be efficient in identifying taxa, reaffirming its efficiency as *DNA barcoding*. The results obtained in this work highlight the importance of using Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy and molecular studies in taxonomic work on coralline algae, as well as the production of similar work to support the maintenance and preservation of coastal and marine environments in the region of Florianópolis, Santa Catarina.

Keywords: coralline algae; rhodolith beds; Campeche island; *Lithophyllum margaritae*; *Roseolithon*; *rbcL*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bancos de rodolitos no Brasil .....	13
Figura 2 – Localização geográfica e ortofoto da ilha do Campeche .....	18
Figura 3 – Mapa da ilha do Campeche com indicação do ponto de coleta .....	18
Figura 4 – Características morfológicas de <i>Lithophyllum margaritae</i> .....	25
Figura 5 – Características morfológicas de <i>Roseolithon</i> sp. ....	27
Figura 6 – Árvore filogenética gerada para o marcador molecular <i>rbcL</i> .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ciclos de PCR utilizados para a amplificação do marcador molecular .....	22
Tabela 2 – Sequência dos <i>primers</i> utilizados nas reações de amplificação e sequenciamento do marcador <i>rbcL</i> .....	22
Tabela 3 – Características diagnósticas de <i>Lithophyllum margaritae</i> encontrado em Santa Catarina .....	30

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 MACROALGAS, ALGAS CALCÁRIAS E RODOLITOS.....	12
1.2 TAXONOMIA DE ALGAS CALCÁRIAS NO BRASIL.....	14
1.2 SANTA CATARINA: O LIMITE SUL DE DISTRIBUIÇÃO DE RODOLITOS NO ATLÂNTICO OCIDENTAL.....	15
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	17
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2 MATERIAL BIOLÓGICO.....	19
3.3 ESTUDO MORFOLÓGICO.....	20
3.4 ESTUDO MOLECULAR.....	21
3.4.1 Marcador molecular utilizado.....	21
3.4.2 Extração de DNA.....	21
3.4.3. Amplificação, purificação e sequenciamento.....	21
3.4.4 Alinhamento.....	22
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
4.1. ESTUDO MORFOLÓGICO.....	23
4.1.1. Espécime 1.....	23
4.1.2. Espécimes 2 e 3.....	26
4.2. ESTUDO MOLECULAR.....	28
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
5.1. <i>Lithophyllum margaritae</i> .....	30
5.2. <i>Roseolithon</i> sp.....	31
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 MACROALGAS, ALGAS CALCÁRIAS E RODOLITOS

Macroalgas fazem parte dos principais constituintes da comunidade bentônica ao longo do litoral brasileiro (AUED *et al.*, 2018) e atuam como organismos importantes na estruturação de habitats, conferindo maior complexidade aos ambientes marinhos (HARLEY *et al.*, 2012). Contribuem para uma variedade de serviços ecossistêmicos no ambiente que estão inseridas, servindo como alimento, proteção contra predadores e abrigos contra distúrbios para demais organismos (PORZIO *et al.*, 2011). Também apresentam altas taxas de produtividade primária, que contribuem significativamente para a captura de carbono (HILL *et al.*, 2015), ciclagem de nutrientes (FLINDT *et al.*, 1999) e produção de oxigênio através da fotossíntese (HADER e FIGUEROA, 1997).

Ao responderem diretamente a fatores bióticos e abióticos do ambiente, as algas retratam indicadores sensíveis de mudanças, respondendo significativamente à presença de efluentes variados (ARÉVALO *et al.*, 2007; BENEDETTI-CECCHI *et al.*, 2001; FABRICIUS *et al.*, 2005) e à variação da sedimentação e transparência d'água (AIROLDI, 2003; AIROLDI e CINELLI 1997) que muitas vezes são resultantes de atividades antrópicas. A dinâmica de sobrevivência, assim como os processos de reprodução e crescimento destes organismos são direcionados e modulados por interação de vários fatores ambientais suscetíveis a desregulações do clima no planeta, como alterações na temperatura (DAVISON e PEARSON, 1996), hidrodinamismo (HURD, 2000), ph (GROSS, 2000), nutrientes (BRAUKO *et al.*, 2020), salinidade (KARSTEN *et al.*, 1996), disponibilidade de luz (MARKAGER e SAND-JENSEN, 1992) e concentração de dióxido de carbono na água (ZEMAH-SHAMIR *et al.*, 2021).

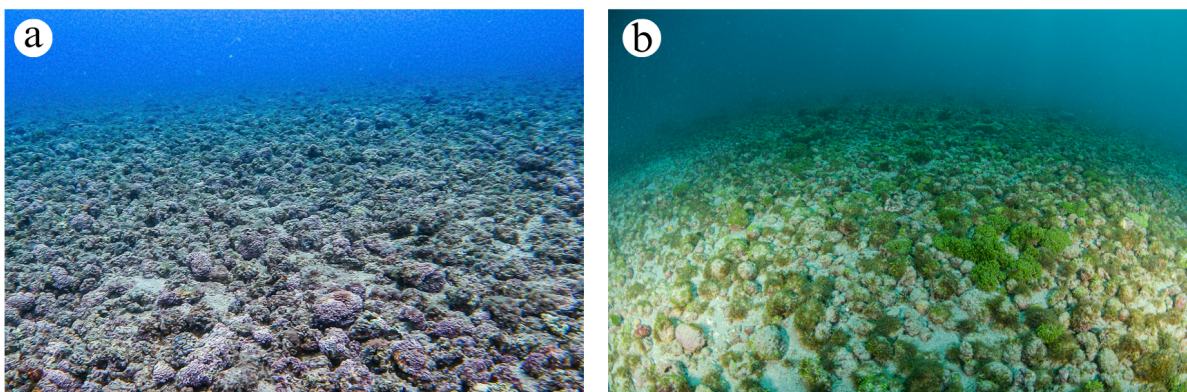
Dentre os grupos de macroalgas, destacam-se as algas calcárias, caracterizadas pela deposição de carbonatos na forma de cristais de calcita em suas paredes celulares (CABIOCH e GIRAUD, 1986). Sendo amplamente distribuídas por todos os oceanos (FOSTER, 2001), as algas calcárias podem ser encontradas entre regiões tropicais e polares, e em profundidades que variam entre marés até 268 m (LITTLER *et al.*, 1986). No Atlântico Sul Ocidental, estas são encontradas em quase todos os ambientes marinhos, variando entre recifes rasos, mesofóticos, colunares e rochosos (SISSINI *et al.*, 2022).

Frequentemente as algas calcárias são denominadas de algas incrustantes, por crescerem aderidas aos substratos como rochas, conchas e corais. Entretanto, também são



encontradas em substratos não consolidados como nódulos livres, sendo chamadas de rodolitos. Os rodolitos podem ser compostos apenas por algas calcárias incrustantes ou podem ter um núcleo não coralino (como por exemplo, uma concha, uma rocha ou um pedaço de coral), além de incrustações de outros organismos calcificados. Podem formar estruturas tridimensionais, sendo capazes de abrigar desde estágios microscópicos a diferentes fases do ciclo de vida de demais algas, invertebrados e peixes (CARVALHO *et al.*, 2020; FREDERICQ *et al.*, 2019; SPOTORNO-OLIVEIRA *et al.*, 2015). Dessa forma, ao constituir recifes biogênicos como os bancos de rodolitos (Figura 1), as algas calcárias formam habitats complexos estruturalmente.

Figura 1: Bancos de rodolitos no Brasil. A - Rancho Norte, ilha do Arvoredo - SC. B - Ressurreta, ilha Rata, Arquipélago de Fernando de Noronha - PE.



Os bancos de rodolitos também representam um dos maiores depósitos de carbono do planeta (TESTA e BOSENCE, 1999), compondo parte importante do ciclo biogeoquímico global do carbono e conseqüentemente do balanço atmosférico de CO<sub>2</sub> (OLIVEIRA, 1996). A grande quantidade de calcário desses organismos, que pode chegar a representar até 90% do peso seco (OLIVEIRA, 1997; WOELKERLING *et al.*, 1993), chama a atenção de empresas multinacionais que buscam explorar o calcário para fins agrônômicos (PAIVA, 2023). Ao mesmo tempo, a indústria farmacêutica também demonstra seu interesse em buscar compostos bioativos na biodiversidade associada aos bancos de rodolitos (AMADO-FILHO e PEREIRA-FILHO, 2012). Entretanto, os rodolitos mesofóticos apresentam uma taxa de crescimento de 1.0 mm por ano (AMADO-FILHO *et al.*, 2012; BLAKE e MAGGS, 2003), um valor muito baixo, que faz com que esse seja considerado um recurso praticamente não renovável (WILSON *et al.*, 2004).

Assim como as demais macroalgas, as algas calcárias também têm seus papéis ecológicos comprometidos devido ao avanço de atividades antrópicas. Suas taxas de fotossíntese, calcificação e crescimento, são negativamente impactadas devido ao aumento na temperatura e acidificação dos oceanos (CALDEIRA e WICKETT, 2005; HALL-SPENCER e HARVEY, 2019), a descarga de nutrientes provenientes de esgotos ou fertilizantes (SCHUBERT *et al.*, 2019), a derramamentos de óleo (SISSINI *et al.*, 2020), a pesca destrutiva (BARBERA *et al.*, 2003; FOSTER, 2001), entre outros. Esses cenários trazem à tona o descaso na conservação da biodiversidade desses organismos, que mesmo atuando de forma importante na manutenção de diversos serviços ecossistêmicos e representando cerca de 30% da comunidade bentônica presente na costa brasileira (AUED *et al.*, 2018), na maioria das regiões do país não são assegurados pela legislação ambiental (SISSINI *et al.*, 2020).

## 1.2 TAXONOMIA DE ALGAS CALCÁRIAS NO BRASIL

As algas calcárias fazem parte da subclasse Corallinophycidae, e são representadas dentro de quatro ordens deste grupo: Sporolithales (LE GALL *et al.*, 2010), Corallinales, Hapalidiales (NELSON *et al.*, 2015) e Corallinapetrales (JEONG *et al.*, 2021). A subclasse Corallinophycidae se destaca por compor o terceiro grupo mais diverso entre a divisão Rhodophyta, com cerca de 750 morfo-espécies classificadas (GUIRY e GUIRY, 2023). Dentre essas classificações, as algas calcárias também são agrupadas artificialmente de acordo com a forma que ocorre a deposição do carbonato de cálcio: quando presente por todo o talo, denominam-se de algas calcárias não articuladas (ou não geniculadas), e quando presente de modo intercalado, algas calcárias articuladas (ou geniculadas). Os rodolitos, por sua vez, se encaixam dentro da classificação de algas calcárias não geniculadas (HORTA, 2002).

Considerando os levantamentos da flora marinha do Brasil, ainda existem lacunas no conhecimento da biodiversidade do grupo das algas calcárias. Estudos pioneiros como Oliveira (1977) e Cordeiro-Marino (1978) trouxeram diversas novidades em relação a comunidade de macroalgas, mas não destacavam o grupo das algas calcárias. Horta (2000) traz os primeiros esforços para identificar a flora calcária com a utilização de novas ferramentas como a Microscopia Eletrônica de Varredura, porém especificamente da região sul e sudeste do país. Trabalhos anteriores (FIGUEIREDO, 1997; GHERARDI, 1995; KIKUCHI e LEÃO, 1997; MABESONE e COUTINHO, 1970; TESTA *et al.*, 1994; TESTA, 1997) trazem alguns gêneros de algas calcárias para o litoral brasileiro, mas utilizam técnicas

e nomenclaturas já desatualizadas, enquanto os demais exploram apenas aspectos geológicos e ecológicos acerca do grupo.

Nas últimas duas décadas o cenário da taxonomia de algas calcárias vem sendo amplamente desenvolvido (SISSINI, 2022), trazendo novas técnicas e perspectivas acerca da biodiversidade do grupo. Tradicionalmente, espécies de algas calcárias foram descritas e identificadas a partir de características morfológicas. De acordo com Sissini (2022), recentemente os estudos taxonômicos do grupo começaram a incluir análises moleculares, trazendo mais possibilidades de classificação e novas espécies dentre os grupos. A utilização da biologia molecular também possibilitou a descoberta da existência de espécies crípticas e pseudo-crípticas (GABRIELSON *et al.* 2018; SISSINI *et al.* 2014), e permitiu que pesquisadores trabalhassem com materiais não férteis. Isso vem gerando uma alternativa para se trabalhar com o grupo, visto que trabalhos taxonômicos com algas calcárias enfrentam as dificuldades impostas pela densa calcificação de suas paredes celulares e por apresentarem caracteres diagnósticos efêmeros (HORTA, 2002). Consequentemente, a utilização de dados moleculares somados à caracterização morfológica vem contribuindo de modo fundamental nos estudos acerca da taxonomia e os padrões de distribuição das principais espécies de algas calcárias formadoras de bancos de rodolitos (SISSINI *et al.*, 2014; VIDAL *et al.*, 2003; VIEIRA-PINTO *et al.*, 2014). Este cenário produziu um avanço no conhecimento da sistemática do grupo, gerando trabalhos que contribuem para seu conhecimento de norte a sul do Brasil (BAHIA *et al.*, 2014; BAHIA *et al.*, 2015; BAHIA, AMADO-FILHO e MANEVELDT, 2014; COUTINHO *et al.*, 2022; MARIATH, RIOSMENA-RODRIGUEZ e FIGUEIREDO, 2012;).

## 1.2 SANTA CATARINA: O LIMITE SUL DE DISTRIBUIÇÃO DE RODOLITOS NO ATLÂNTICO OCIDENTAL

Estima-se que a área potencial para a ocorrência de rodolitos no litoral brasileiro atinge cerca de 230.000 km<sup>2</sup> (CARVALHO *et al.*, 2020). Os bancos de rodolitos são encontrados desde o estado do Maranhão (0°50'S) até Santa Catarina (27°17'S), predominando na zona mesofótica (entre 30 e 150 metros de profundidade) ao longo da plataforma continental, no topo de montes submarinos e ao redor das ilhas oceânicas (AMADO-FILHO e PEREIRA-FILHO, 2012). Até o presente trabalho, o limite sul de distribuição de rodolitos do Atlântico Sul é definido na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (Rebio Arvoredo), 11 km a norte de Florianópolis. Na Rebio Arvoredo são

encontrados dois bancos de rodolitos, sendo um deles na ilha Deserta e outro na ilha do Arvoredo, no Rancho Norte. Trabalhos como Gherardi (2004) e Pascelli *et al.* (2013) descrevem e caracterizam a comunidade de algas calcárias que compõe os bancos.

Circundada por outras 32 ilhas costeiras, Florianópolis compõe um arquipélago, onde também se destaca a ilha do Campeche por conta de sua importância arqueológica, paisagística, ambiental e turística (SCHMIDT, 2010). Ao mesmo tempo que abriga uma grande parcela do patrimônio arqueológico do estado, a ilha do Campeche também representa parte da cultura das comunidades tradicionais da ilha de Santa Catarina, em especial a atividade de pesca artesanal (MAZZER, 2001). Devido à sua área abrigada de fortes ondulações, registros mostram a sua antiga utilização como abrigo a embarcações pesqueiras, que apoiavam principalmente a caça de baleias (MAZZER, 2001). No local, são encontrados vestígios de vegetação de Mata Atlântica, afloramentos rochosos, e uma praia arenosa de águas claras (praia da Enseada), que em conjunto formam um importante ponto turístico do município (CHAMAS *et al.*, 2009). Aos extremos norte e sul da praia da Enseada, é possível mergulhar em trilhas subaquáticas, de águas rasas (~5 a 8 m de profundidade) e calmas (LIMA *et al.*, 2020).

Por conta de sua importância na preservação de patrimônios históricos e arqueológicos, em 2000, o IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) oficializou o tombamento da ilha do Campeche como Sítio do Patrimônio Arqueológico e Paisagístico, em nível nacional, por meio da Portaria nº 07 de 2000, do Ministério da Cultura (BRASIL, 2000). Além disso, o local é reconhecido pelo Plano Diretor Municipal de Florianópolis como Área de Preservação Permanente (APP), por meio da Lei Complementar nº. 482, de 2014 (FLORIANÓPOLIS, 2014), que assegura a proibição da implementação de novas construções no território da ilha, assim como da supressão da vegetação, etc. Entretanto, a região costeira e marinha do local não é abrangida ou assegurada pelos meios legais, e a proximidade com a ilha de Florianópolis (~1500 m) implica em uma constante ameaça a esses ecossistemas.

Considerando as ameaças ao ambiente marinho e costeiro do nosso litoral e especialmente da ilha do Campeche, o presente trabalho contribuiu para a caracterização da biodiversidade do ambiente subaquático do local, que resultou nesta que é a primeira descrição taxonômica das espécies dominantes que estendem para sul a presença de bancos de rodolitos no nosso litoral (HORTA, 2000; VARELA, 2010). Considerando os riscos impostos pela indução de crescimento populacional e da mancha urbana impostos pelo plano diretor recém aprovado, o presente trabalho pretende também contribuir com novos argumentos para

o fortalecimento da preservação da Ilha do Campeche assim como dos patrimônios naturais e arqueológicos abrigados nessa ilha do litoral Catarinense.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Contribuir para a caracterização de espécies de algas calcárias constituintes do banco de rodolitos na ilha do Campeche, Santa Catarina - Brasil.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

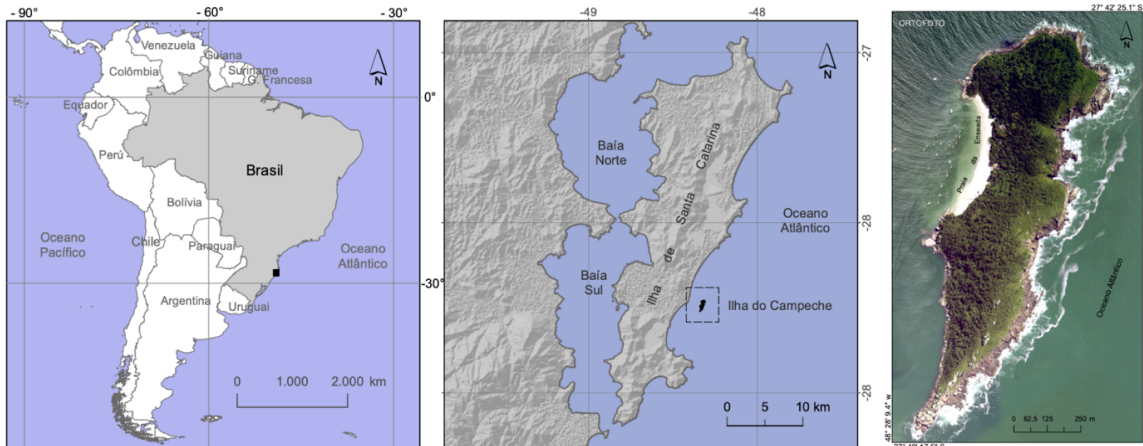
Identificar morfologicamente e molecularmente os táxons de algas calcárias não articuladas presentes no banco de rodolitos da ilha do Campeche, Santa Catarina - Brasil.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

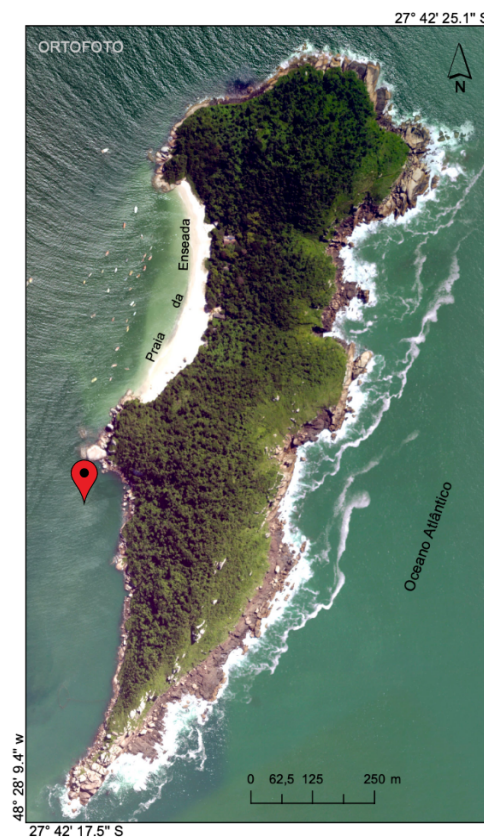
Situada na porção central do litoral catarinense, ao sudeste da ilha de Santa Catarina, a ilha do Campeche (a partir daqui denominada de IC) (Figura 2) é encontrada entre as coordenadas  $27^{\circ}41'43''\text{S}$  e  $48^{\circ}27'59''\text{W}$ . Sua área total é de  $486.399,5\text{ m}^2$ , seu perímetro é de  $5.856\text{m}$ , e sua disposição é alongada e na direção NNE-SSW. A coleta do material biológico foi realizada através de um mergulho de cilindro, na porção sudoeste da IC (Figura 3), a aproximadamente  $47\text{ km}$  do banco de rodolitos da ilha do Arvoredo, próximo a Trilha Subaquática Sul, aos  $8\text{ metros}$  de profundidade, em  $7\text{ de abril de }2022$ .

Figura 2: Localização geográfica e ortofoto da ilha do Campeche.



Fonte: Adaptado de Horn Filho et al., 2015.

Figura 3: Mapa da ilha do Campeche com indicação do ponto de coleta.



Fonte: Adaptado de Horn Filho et al., 2015.

Inserida na Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE), a IC se caracteriza por receber influências da Corrente do Brasil, com águas quentes e salinidades mais elevadas provenientes do norte, e da Corrente das Malvinas, com águas frias e menos salinas vindas do

sul (PEREIRA *et al.*, 2009). Sazonalmente, no inverno, o local recebe influência da Pluma do Rio da Prata, também de águas frias e de baixa salinidade, que vêm acompanhadas de uma grande quantidade de nitrogênio (PIMENTA *et al.*, 2005; PIOLA *et al.*, 2005). Ao mesmo tempo, a região sofre com eventos de ressurgência frequentes, resultando no enriquecimento da água com nutrientes, que somados aos valores de nitrogênio e fósforo provenientes do escoamento urbano, atingem valores ainda mais altos (PAGLIOSA *et al.*, 2006).

No inverno há a predominância de ventos de quadrante sul, permitindo uma homogeneização da coluna d'água, enquanto no verão, ao predomínio de ventos de quadrante norte (Figura 2), ocorre uma estratificação da coluna d'água, juntamente do afloramento da Água Central do Atlântico Sul (CARVALHO *et al.*, 1998). Os ventos do norte e nordeste apresentam uma velocidade média de 3,5 m/s, enquanto os de sul e sudeste são mais intensos alcançando velocidades de 6,5 m/s (PORTO FILHO, 1993).

Os principais agentes oceanográficos atuantes na IC são ondas e marés (SCHMIDT, 2010). Com predomínio de ondulações provindas do leste (nordeste, leste e sudeste), sendo as de direção nordeste mais frequentes, a região também é sujeita a fortes ondulações do sul, em especial no inverno (MAZZER, 2001). Apesar disso, a praia da Enseada, por estar localizada na porção oeste da IC, se abriga da ação direta das ondulações.

No local são encontradas temperaturas médias de 25°C no verão e 20°C no inverno, sendo a média anual da temperatura superficial da água de 23°C (LOCARNINI *et al.*, 2018). Entretanto, nos últimos anos a região vem sofrendo um aumento na frequência de eventos de ondas de calor, comprometendo as temperaturas médias observadas normalmente (GOUVEA *et al.*, 2017).

### 3.2 MATERIAL BIOLÓGICO

Após a coleta, 3 espécimes foram selecionados para a realização deste trabalho. As amostras foram limpas para a remoção de possíveis epífitas e fauna associada. Para as análises moleculares e morfológicas, o material foi seco à sombra e armazenado em sílica em gel. Foram seccionados fragmentos de cada material, tanto para o estudo morfológico, quanto para o estudo molecular. Os espécimes foram depositados no Herbário FLOR da Universidade Federal de Santa Catarina.

### 3.3 ESTUDO MORFOLÓGICO

O estudo morfológico se deu tanto pela observação das amostras em microscopia eletrônica de varredura (MEV) quanto em microscopia de luz (ML).

Para a observação em ML, foram realizados cortes histológicos. Para isso, o material foi descalcificado em ácido clorídrico na concentração de 10% e desidratado de forma gradual em soluções de etanol à 30, 50, 70, 90 e 100% de concentração, permanecendo submerso de 15-20 minutos para cada concentração. O material foi infiltrado por 12 horas em solução de metacrilato glicol ("Historesin embedding Kit" Leica, marca Reichert-Jung) e a inclusão foi realizada segundo as instruções fornecidas pelo fabricante. Os blocos formados foram seccionados em uma espessura de 5 e 10  $\mu\text{m}$ , em micrótomo rotativo marca Leica RM 2125 RT, com navalha de aço para montagem das lâminas permanentes e posterior coloração com azul de toluidina conforme recomendado por Horta (2002).

Para a observação em MEV, as amostras foram preparadas em suportes de alumínio (*stubs*) de acordo com os procedimentos apresentados por Horta (2002). Pequenas fraturas do material, realizadas através da observação sob Estéreo-fotomicroscópio, foram fixadas nos *stubs* com fita adesiva de carbono. As amostras foram recobertas por uma camada de ouro de 20-25 nm, por um tempo de exposição de 60 segundos, a uma corrente de 50 mA, e posteriormente observadas em microscópio (JEOL JSM-6390LV), sob a voltagem de 80 kV. As observações em MEV foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da Universidade Federal de Santa Catarina.

No processamento das imagens realizadas foram consideradas tanto características vegetativas quanto reprodutivas. Os caracteres vegetativos observados e mensurados foram: hábito, cor e textura dos talos; tipo de fixação ao substrato; forma, comprimento e diâmetro das células epiteliais, subepiteliais, do peritalo e do hipotalo; presença de conexões secundárias entre as células de filamentos adjacentes; presença de fusões celulares entre células de filamentos adjacentes; e forma de crescimento do talo. Nem todos os caracteres vegetativos foram observados em cada amostra, da mesma forma que algumas estruturas reprodutivas também não foram examinadas. Quando presente, foram mensurando os seguintes caracteres: forma, diâmetro e altura do conceptáculo tetrasporangial; posição dos poros em relação ao teto do conceptáculo tetrasporangial; número de células do filamento do teto do conceptáculo tetrasporangial e espessura do teto; número e forma das células que delimitam o canal do poro; diâmetro e altura dos tetrasporângio; forma, diâmetro e altura dos conceptáculos gametangiais.



As características anatômicas, reprodutivas e de crescimento foram observadas de acordo com Farr *et al.* (2009) e Woelkerling, Irvine e Harvey (1993), e posteriormente comparadas com trabalhos específicos para cada espécime.

### 3.4 ESTUDO MOLECULAR

#### 3.4.1 Marcador molecular utilizado

O marcador molecular utilizado foi o *rbcL*, que vem trazendo maiores possibilidades de identificar um táxon a nível de espécie, considerando que o gene tem como responsabilidade a síntese da proteína RuBisCo. A RuBisCo, por apresentar relevância nos mecanismos fisiológicos e conseqüentemente na sobrevivência dos organismos fotossintetizantes, traz uma característica semi-conservativa atuando na determinação da variabilidade genotípica de táxons. Esse marcador, que possui aproximadamente 1.350 pb, vem sendo utilizado em reconstruções filogenéticas de diversos grupos de Rhodophyta (FRESHWATER e RUENESS, 1994). Sissini (2013) traz o uso desse marcador para o grupo das Corallinophycidae, possibilitando novos caminhos na taxonomia de algas calcárias.

#### 3.4.2 Extração de DNA

Para a extração do DNA, pequenos fragmentos de cada amostra foram selecionados pela observação de Estériefotomicroscópio e triturados, com o auxílio de um almofariz e um pistilo, até a obtenção de um pó fino. A extração de DNA foi realizada com o kit NucleoSpin Plant II (Macherey-Nagel, Düren, Germany), seguindo o protocolo estabelecido pelo fornecedor.

#### 3.4.3. Amplificação, purificação e sequenciamento

O marcador molecular foi amplificado a partir da PCR. Para um volume final de 25  $\mu$ L, foram utilizados: 1x PCR buffer, 1,5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0,2 mM de cada dNTP, 0,2  $\mu$ M de cada primer (Forward e Reverse), 5-10 ng de DNA total e 1,25 U de Taq DNA polimerase (Master Mix Gotaq - Promega Corporation, USA). Os ciclos da PCR variaram de acordo com a região a ser amplificada, conforme segue na Tabela 1.

Tabela 1: Ciclos de PCR utilizados para a amplificação do marcador molecular *rbcL*.

Marcador	Desnaturação inicial (1)	Desnaturação (2)	Anelamento (3)	Extensão (4)	Extensão final (5)	Ciclos (etapas 2 a 4)
<i>rbcL</i>	94°C por 4'	94°C por 30"	45°C por 1'	72°C por 2'	72°C por 7'	35 ciclos

O *rbcL* foi amplificado e sequenciado apenas para sua segunda parte a partir dos pares de *primers* F753 e o *RrbcS* (FRESHWATER e RUENESS, 1994). A sequência dos *primers* utilizados foram descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Sequência dos *primers* utilizados nas reações de amplificação e sequenciamento do marcador *rbcL*.

Primer	Sequência
<b>F753</b>	5' - GGA AGA TAT GTA TGA AAG AGC - 3'
<b><i>RrbcS</i></b>	5' - GTT CTT GTG TTA ATC TCA C - 3'

A PCR foi realizada em um termociclador de gradiente (Techne TC-3000, Techne Techgene, Burlington, USA) e após a reação, os fragmentos de DNA foram verificados através de eletroforese em gel de agarose 0,7%. Os produtos amplificados foram purificados com o protocolo de precipitação PEG 20%. As reações de sequenciamento foram feitas com o kit BigDye™ Terminator v3.1 Sequencing kit (Applied Biosystems, Carlsbad, California USA), seguindo o protocolo do fornecedor, usando *primers* específicos para o marcador molecular, e o mesmo termociclador da PCR. Por fim, as amostras foram enviadas a uma empresa terceirizada, adquirindo sequências de tipo *sanger*.

#### 3.4.4 Alinhamento

As sequências foram alinhadas e editadas no BioEdit versão 5.0.6 (HALL, 1999) e os cromatogramas foram conferidos à olho para a validação de nucleotídeos ambíguos, para gerar uma sequência-consenso. Os alinhamentos múltiplos gerados para cada marcador

(excluindo as regiões dos primers externos, por estes representarem sequências artificiais) foram realizados usando o Clustal W (THOMPSON *et al.*, 1994) disponível no BioEdit.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ESTUDO MORFOLÓGICO

#### 4.1.1. Espécime 1

SUBCLASSE Corallinophycidae

ORDEM Corallinales

FAMÍLIA Coralinaceae

SUBFAMÍLIA Lithophylloideae

GÊNERO *Lithophyllum* Philippi, 1837

*Lithophyllum margaritae* (Hariot) Heydrich

Bot. Jahrb. Syst. 28, p. 530. 1901.

Figura 4

**Local do Tipo:** Baía de La Paz – Golfo da Califórnia (México)

#### **Sinônimos homotípicos:**

*Lithothamnion margaritae* Hariot 1895

*Pseudolithophyllum margaritae* (Hariot) Me.Lemoine 1913

#### **Sinônimos heterotípicos:**

*Lithothamnion digueti* Hariot

*Lithophyllum digueti* (Hariot) Heydrich

*Lithophyllum dentatum* f. *digueti* (Hariot) Foslie

*Lithothamnion elegans* Foslie

*Lithothamnion elegans* Foslie f. *angulata* Foslie

*Goniolithon elegans* (Foslie) Foslie  
*Lithophyllum elegans* (Foslie) Foslie  
*Lithophyllum elegans* f. *angulata* (Foslie) Foslie  
*Lithophyllum elegans* f. *complanata* (Foslie) Foslie  
*Lithothamnion pallescens* Foslie  
*Goniolithon pallescens* (Foslie) Foslie  
*Lithophyllum pallescens* (Foslie) Foslie  
*Lithophyllum lithophylloides* Heydrich  
*Lithothamnion lithophylloides* (Heydrich) Foslie  
*Lithophyllum veleroae* Dawson

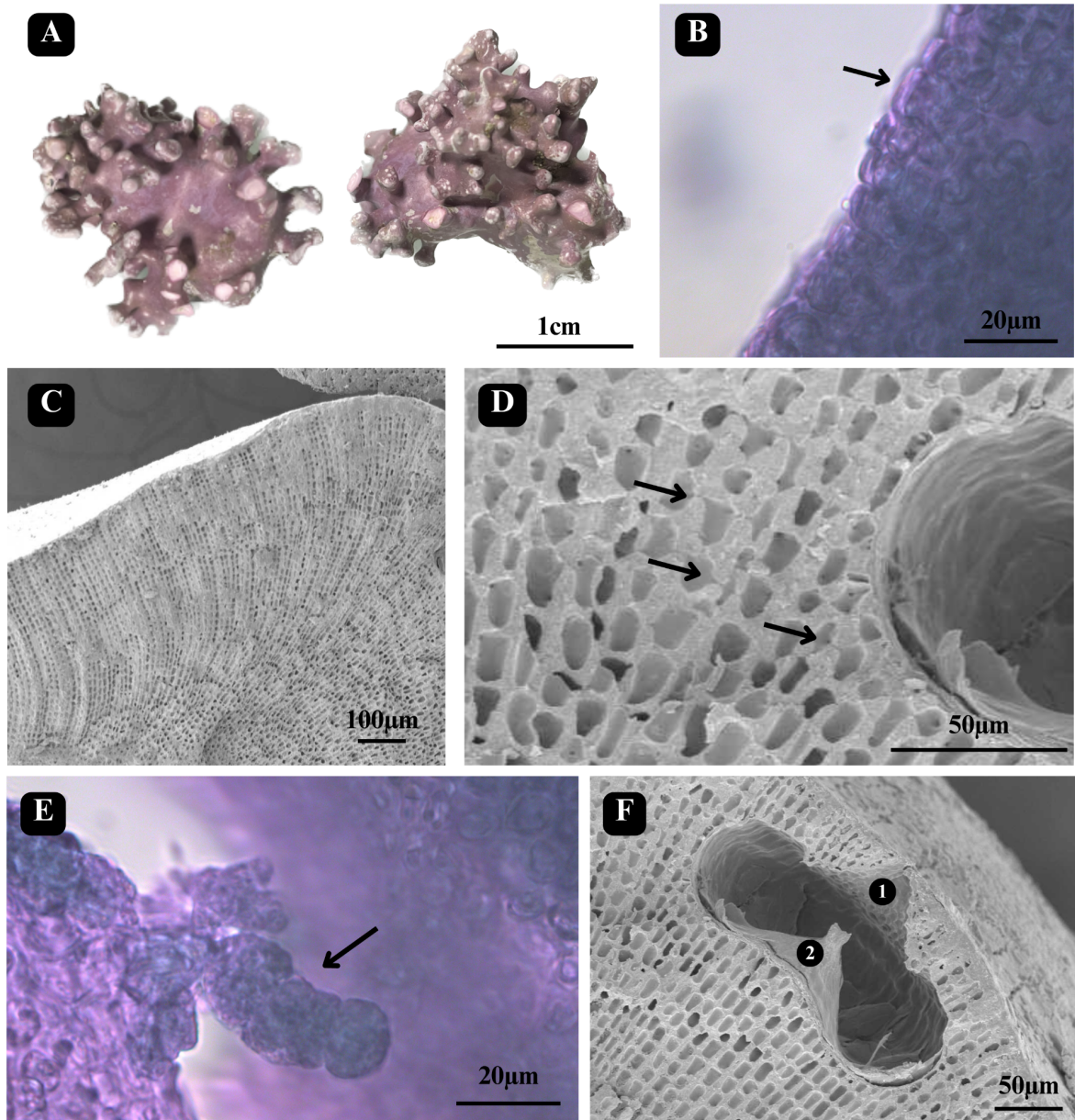
Sinônimos homotípicos e heterotípicos seguem Guiry e Guiry (2023) e Riosmena-Rodriguez *et al.* (1999).

### **Hábitat, estrutura vegetativa e aspectos reprodutivos**

Alga calcária não-geniculada, de cor roxo claro, formadora de rodolito. O espécime possui cerca de 2 cm de comprimento (Figura 4A). Ao ML corado com AT-O, as células epiteliais são achatadas e apresentam aproximadamente 7-10  $\mu\text{m}$  de diâmetro e 3-4  $\mu\text{m}$  de altura (Figura 4B). Não foi possível observar células subepiteliais. No MEV o talo apresenta uma forma de crescimento fruticosa, na qual se apresentam ramificações lamelares como protuberâncias irregulares, afastadas e pequenas. O crescimento do talo se dá por organização monômera (Figura 4C). As células dos filamentos adjacentes possuem conexões celulares secundárias, e não foram observadas fusões celulares (Figura 4D).

Ao ML o talo apresenta tetrasporângios zonados (Figura 4E) de aproximadamente 40  $\mu\text{m}$  de diâmetro e 16  $\mu\text{m}$  de largura em conceptáculos uniporados de aproximadamente 235  $\mu\text{m}$  de diâmetro e 89  $\mu\text{m}$  de altura. No MEV os conceptáculos observados são levemente elevados (Figura 4F) ou alinhados com a superfície do talo, podendo encontrar uma columela central calcificada (Figura 4F) se projetando ao poro. A espessura do teto do conceptáculo fica em uma média de 4 células. Não foi possível observar conceptáculos femininos, masculinos e bisporangiais e demais características reprodutivas.

Figura 4: Características morfológicas de *Lithophyllum margaritae*. A - Visão geral do espécime de *Lithophyllum margaritae*. B - Célula epitelial achatada (corada com AT-O) indicada por seta. C - Crescimento do talo – monômero (MEV). D - Conexões secundárias (MEV) indicadas por setas. E - Tetrasporângio zonado (corada com AT-O) indicado por seta. F - Conceptáculo uniporado, com poro (1) e columela central (2) (MEV).



## Distribuição geográfica

*Lithophyllum margaritae* é descrito para o Golfo da Califórnia (NORRIS *et al.*, 2017), no México (DAWSON, 1960; HERNÁNDEZ- KANTÚN *et al.*, 2015; PEDROCHE e SENTÍES, 2020; RIOSMENA-RODRIGUEZ *et al.*, 1999) e citado para o estado de São Paulo e Santa Catarina no Brasil (HORTA, 2000; PINTO, 2011; TORRANO-SILVA *et al.* 2018).

### 4.1.2. Espécimes 2 e 3

SUBCLASSE Corallinophycidae

ORDEM Corallinales

FAMÍLIA Coralinaceae

SUBFAMÍLIA Hapalidiales incertae sedis

GÊNERO *Roseolithon*

***Roseolithon* sp.** L.M. Coutinho & Barros-Barreto, 2022

Figura 5

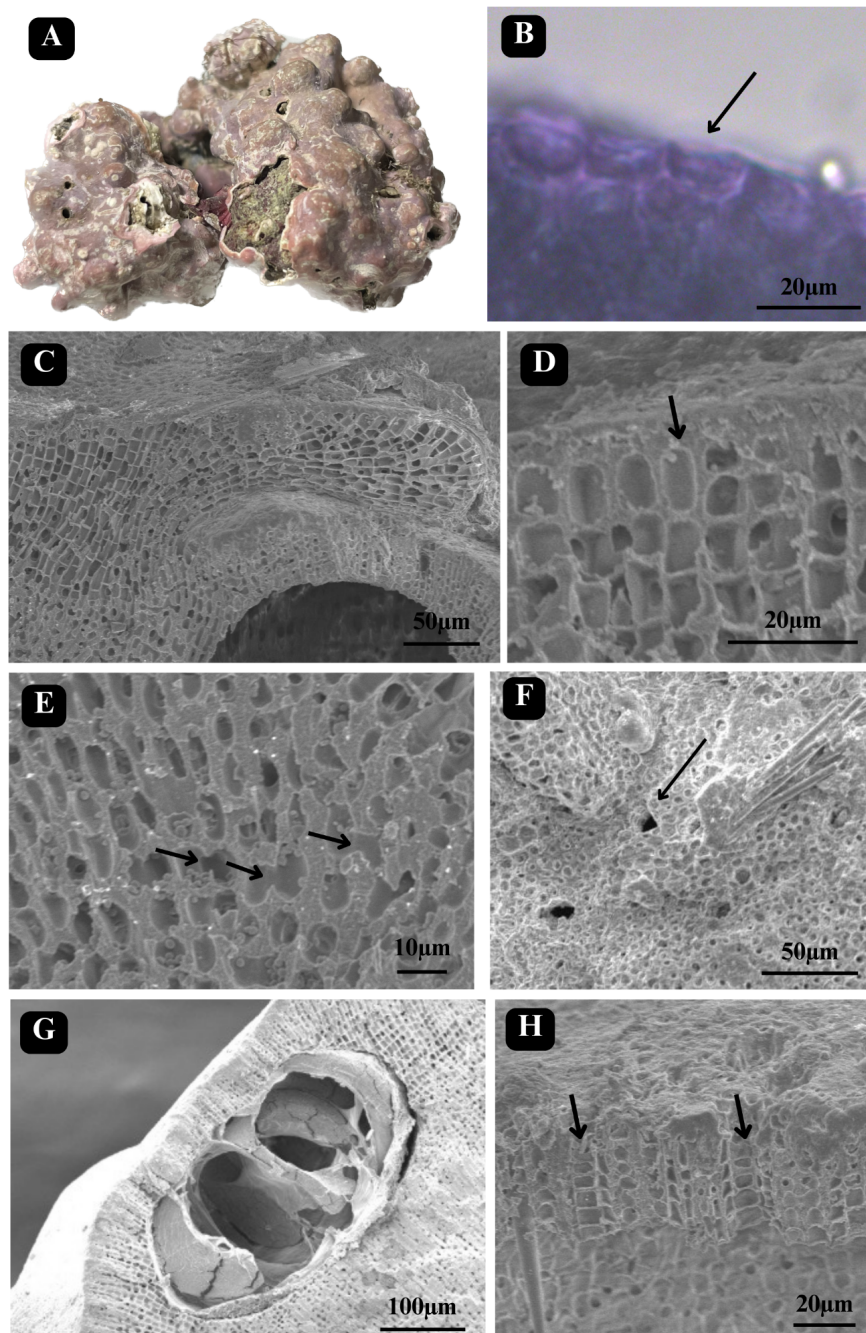
### Hábitat, estrutura vegetativa e aspectos reprodutivos

Alga calcária não-geniculada, incrustante e formadora de rodolitos. Espécimes com cerca de 3,5 cm de comprimento e superfície lisa com protuberâncias. Ao ML corado com AT-O, as células epiteliais são em formato de taça (Figura 5B) e possuem aproximadamente 6-14  $\mu\text{m}$  de diâmetro e 3-6  $\mu\text{m}$  de altura. Ao MEV a forma de crescimento do talo é monômero (Figura 5C). As células subepiteliais (Figura 5D) são mais curtas, mais longas, ou de comprimento semelhante às subseqüentes do peritalo. Foram observados abundantes grãos de amidos dispostos no lume celular e fusões celulares (Figuras 5E). Em visão superficial, o poro apresenta células em forma de rosetas (Figura 5F).

Apresentam conceptáculos multiporados, de aproximadamente 200  $\mu\text{m}$  de altura e 350-370  $\mu\text{m}$  de diâmetro, levemente elevados em relação à superfície do talo, com tetrasporângio zonado (Figura 5G), e poros com células de tamanho similar às células adjacentes (Figura 5H).



Figura 5: Características morfológicas de *Roseolithon* sp. A - Visão geral de *Roseolithon* sp. B - Célula epitelial em formato de taça (corada com AT-O) indicada por seta. C - Crescimento do talo – monômero (MEV). D - Células subepiteliais indicadas por seta (MEV). E - Fusões celulares indicadas por setas (MEV). F - Poro (seta) com células rosetas (MEV). G - Conceptáculo multiporoso com tetrasporângio zonado (MEV). H - Canais de poros indicados por setas (MEV).



## Distribuição geográfica

O gênero *Roseolithon* é descrito para o Brasil, Estados-Unidos, Panamá, Guadalupe, Espanha e Portugal (COUTINHO *et al.*, 2022).

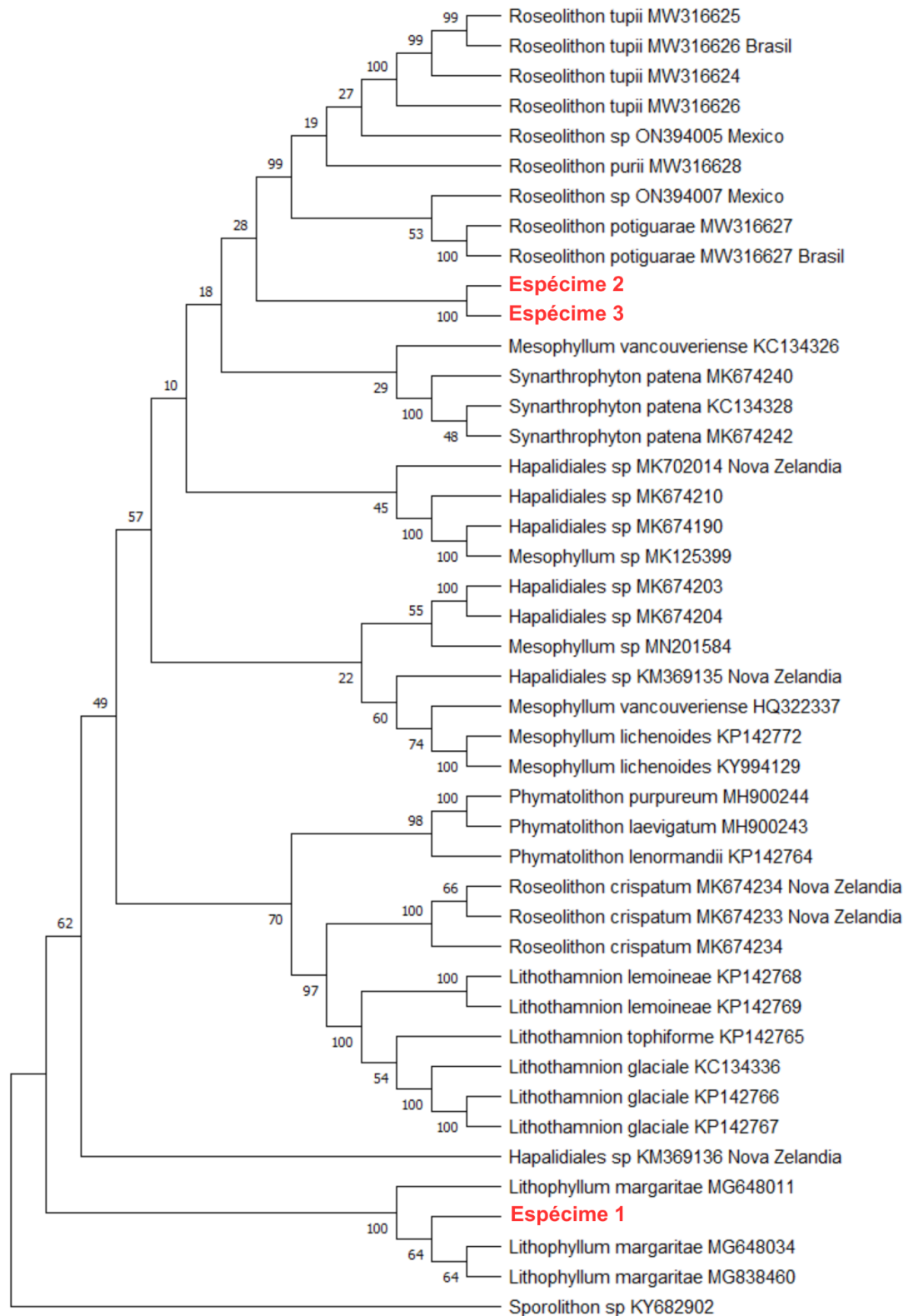
### 4.2. ESTUDO MOLECULAR

A árvore filogenética gerada para o trabalho foi inferida utilizando o método Neighbor-Joining. A árvore de consenso *bootstrap*, inferida a partir de 1000 réplicas, é usada para representar a história evolutiva dos táxons analisados. As ramificações correspondentes às partições reproduzidas em menos de 50% das réplicas de *bootstrap* foram omitidas. A porcentagem de árvores replicadas, nas quais os táxons associados foram agrupados no teste *bootstrap* (1000 réplicas), são mostradas ao lado dos ramos. As distâncias evolutivas foram calculadas usando o método Maximum Composite Likelihood e estão nas unidades do número de substituições de bases por local. Nessa análise foram utilizadas 35 sequências de nucleotídeos. As posições de códon incluídas foram 1st+2nd+3rd+Noncoding. Todas as posições ambíguas foram removidas a cada par de sequências (através da opção de exclusão em pares). Havia um total de 614 posições no conjunto de dados final. As análises evolutivas foram realizadas no MEGA11.

A árvore filogenética gerada foi a partir de sequências do marcador molecular *rbcL* (Figura 6). O espécime 1, se agrupou de forma consistente com espécimes de *Lithophyllum margaritae*, também encontradas no Brasil, formando um clado congruente e sustentável. Enquanto isso, os espécimes 2 e 3 se agrupam formando um clado congruente entre si, podendo fazer parte de um mesmo grupo, que por sua vez se apresenta como grupo irmão, com uma baixa congruência, do gênero *Roseolithon*. O grupo formado por esses espécimes e os espécimes do gênero *Roseolithon* também se aproximam como grupo irmão, com baixa congruência de *Synarthrophyton*.



Figura 6: Árvore filogenética gerada para o marcador molecular *rbcL*.



## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. *Lithophyllum margaritae*

As características determinantes para o gênero *Lithophyllum* e para a espécie *Lithophyllum margaritae* corroboram com os resultados de Pinto (2011), em que as características morfológicas e anatômicas da população dos referidos táxons da ilha do Arvoredo se aproximam das características observadas nos espécimes analisados no presente estudo (Tabela 3). *Lithophyllum margaritae* se diferencia das demais espécies do gênero principalmente por apresentar columela central calcificada (RIOSMENA-RODRIGUEZ *et al.* 1999), como visto na Figura 4.C, mas também por apresentar organização monômera no hipotalo. Outra característica que distingue *Lithophyllum margaritae* de outras espécies é o espessamento teto do conceptáculo, que é de em média 4 células (ATHANASIADIS, 1999).

Tabela 3: Características diagnósticas de *Lithophyllum margaritae* encontrado em Santa Catarina.

Características	Presente estudo ( ilha do Campeche)	Pinto, 2011 (ilha do Arvoredo)
Altura das células epiteliais	3 $\mu\text{m}$	1,5 - 5 $\mu\text{m}$
Diâmetro das células epiteliais	7-10 $\mu\text{m}$	5-13 $\mu\text{m}$
Diâmetro interno da câmara do conceptáculo	235 $\mu\text{m}$	180 – 260 $\mu\text{m}$
Altura da câmara conceptáculo	89 $\mu\text{m}$	70 – 95 $\mu\text{m}$
Número de células de espessura do teto do conceptáculo	4	3-5

Avaliando os resultados moleculares obtidos para o espécime 1, é possível observar um clado consistente formado por espécimes de *Lithophyllum margaritae*. Considerando a visualização da abordagem filogenética proposta pelo marcador molecular *rbcL*, e o agrupamento sólido e sustentável, o espécime 1 fortemente corrobora com a espécie *Lithophyllum margaritae*.

No Brasil, a espécie foi citada por Horta (2000) para os estados de São Paulo e Santa Catarina, por Rocha *et al.* (2006) para Santa Catarina, e Pinto (2011) também para Santa

Catarina, definindo o limite sul de distribuição da espécie como a ilha do Arvoredo. Considerando a corroboração dos caracteres morfoanatômicos do espécime coletado neste trabalho com os avaliados em Pinto (2011), e o resultado da análise do marcador molecular *rbcL*, confere-se que o espécime 1 se trata de *Lithophyllum margaritae*, redefinindo seu limite sul de distribuição, agora para a ilha do Campeche.

## 5.2. *Roseolithon* sp.

As características morfológicas e anatômicas observadas nos espécimes 2 e 3 corroboram igualmente a nível de gênero, se encaixando como parte do gênero *Roseolithon* sp. 2, de acordo com descrições de Coutinho *et al.* (2022). Isso se deve, a presença das seguintes características em ambos: presença de conceptáculo multiporado, fusões celulares presente em células de filamentos adjacentes, crescimento monômero no talo, células epiteliais em formato de taça e células subepiteliais de tamanhos similares, maiores ou menores que as células adjacentes. Outra característica importante na descrição de *Roseolithon* spp é a presença de células rosetas margeando os canais dos poros, em depressões dando à superfície uma aparência esburacada. O grau de degeneração do teto das células rosetas caracteriza as espécies desse gênero, entretanto, não pode ser observado e comparado com as amostras disponíveis.

Levando em conta a forte consistência filogenética promovida, em comparação a conservação genética dos espécimes 2 e 3, seu agrupamento conclusivo na árvore do marcador *rbcL* gera uma discussão de uma possível participação do recém descrito gênero *Roseolithon*. Entretanto, a avaliação do espécime à nível de definição da espécie requer maiores esforços analíticos e morfoanatômicos para uma determinação acurada. Desse modo, considerando todos os caracteres observados, os espécimes 2 e 3 são definidos, como *Roseolithon* sp..

## 6. CONCLUSÃO

A presença de um novo banco de rodolitos a ser estudado, especialmente pela sua localização trazer novos limites sul de distribuição para o grupo das algas calcárias formadoras de rodolitos, demonstra a necessidade de realização de maiores e mais

abrangentes estudos no local. Sugere-se também a investigação do que torna possível a presença deste banco no local, visto que antes não havia sido encontrado em mergulhos realizados nos últimos 20 anos por Horta 2000 e Varela 2010.

A descrição de espécimes de *Roseolithon* para a região traz à tona a possibilidade da existência de novas espécies pertencentes ao gênero, considerando que neste trabalho não foi possível atingir esse nível de descrição.

Os resultados obtidos mostram que o marcador *rbcL* se demonstra eficiente na contribuição para a identificação de táxons de algas calcárias, reafirmando sua adequação para a utilização como *DNA barcoding*. A partir disso, o presente trabalho também reafirma a importância da utilização dos recursos como a Microscopia Eletrônica de Varredura, a Microscopia de Luz, e técnicas moleculares para a realização de trabalhos taxonômicos na área de algas calcárias, visto que o uso de cada uma dessas ferramentas possibilitou diferentes visões para cada táxon analisado.

## REFERÊNCIAS

- AIROLDI, Laura. The effects of sedimentation on rocky coast assemblages. In: **Oceanography and Marine Biology, An Annual Review, Volume 41**. CRC Press, 2003. p. 169-171.
- AIROLDI, Laura; CINELLI, Francesco. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 215, n. 2, p. 269-288, 1997.
- ALGAEBASE, MD Guiry GM Guiry; GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2021.
- AMADO-FILHO, Gilberto M. et al. Rhodolith beds are major CaCO<sub>3</sub> bio-factories in the tropical South West Atlantic. **PloS one**, v. 7, n. 4, p. e35171, 2012.
- AMADO-FILHO, Gilberto M.; PEREIRA-FILHO, Guilherme H. Rhodolith beds in Brazil: a new potential habitat for marine bioprospection. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 22, p. 782-788, 2012.
- ARÉVALO, Raquel; PINEDO, Susana; BALLESTEROS, Enric. Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. **Marine pollution bulletin**, v. 55, n. 1-6, p. 104-113, 2007.
- ATHANASIADIS, A. The taxonomic status of *Lithophyllum stictaeforme* (Rhodophyta, Corallinales) and its generic position in light of phylogenetic considerations. **Nordic Journal of Botany**, v. 19, n. 6, p. 735-745, 1999.
- AUED, Anaide W. et al. Large-scale patterns of benthic marine communities in the Brazilian Province. **PloS one**, v. 13, n. 6, p. e0198452, 2018.
- BAHIA, Ricardo da Gama et al. *Porolithon improcerum* (Porolithoideae, Corallinaceae) and *Mesophyllum macroblastum* (Melobesioideae, Hapalidiaceae): new records of crustose coralline red algae for the Southwest Atlantic Ocean. **Phytotaxa**, v. 190, n. 1, p. 38-44, 2014.
- BAHIA, Ricardo G. et al. *Sporolithon yoneshigueae* sp. nov. (Sporolithales, Corallinophycidae, Rhodophyta), a new rhodolith-forming coralline alga from the southwest Atlantic. **Phytotaxa**, v. 224, n. 2, p. 140-158, 2015.
- BAHIA, Ricardo G.; AMADO FILHO, Gilberto M.; MANEVELDT, Gavin W. *Sporolithon molle* (Heydrich) Heydrich (Sporolithales, Corallinophycidae, Rhodophyta): an addition to the Atlantic flora found on a remote oceanic island. **Cryptogamie, Algologie**, v. 35, n. 1, p. 7-14, 2014.
- BARBERA, Carmen et al. Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. **Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems**, v. 13, n. S1, p. S65-S76, 2003.

BENEDETTI-CECCHI, Lisandro et al. Predicting the consequences of anthropogenic disturbance: large-scale effects of loss of canopy algae on rocky shores. **Marine Ecology Progress Series**, v. 214, p. 137-150, 2001.

BLAKE, Charmaine; MAGGS, Christine A. Comparative growth rates and internal banding periodicity of maerl species (Corallinales, Rhodophyta) from northern Europe. **Phycologia**, v. 42, n. 6, p. 606-612, 2003.

BRASIL. Portaria nº 07, de 18 de julho de 2000. Declara o tombamento nacional do Sítio Arqueológico e Paisagístico da ilha do Campeche. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Seção 1, p.46. 2000.

BRAUKO, Kalina M. et al. Marine heatwaves, sewage and eutrophication combine to trigger deoxygenation and biodiversity loss: A SW Atlantic case study. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p. 590258, 2020.

CABIOCH, J.; GIRAUD, G. Structural aspects of biomineralization in the coralline algae (calcified Rhodophyceae). **Biomineralization in lower plants and animals**, v. 30, p. 141-56, 1986.

CALDEIRA, Ken; WICKETT, Michael E. Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 110, n. C9, 2005.

CARVALHO, J. L.; SCHETTINI, C. A.; RIBAS, T. M. Estrutura termohalina do litoral centro-norte catarinense. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 181-197, 1998.

CARVALHO, V. F. et al. When descriptive ecology meets physiology: a study in a South Atlantic rhodolith bed. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 100, n. 3, p. 347-360, 2020.

CHAMAS, C.; SCHMIDT, A. D.; SCHEIBE, L. F. Conservação da ilha do Campeche: aprendendo com os resultados. **V Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**. v.I. p.185-186. 2009.

CORDEIRO-MARINO, Marilza. Rodofíceas bentônicas marinhas do Estado de Santa Catarina. **Rickia**, v. 7, p. 1-243, 1978.

COUTINHO, Luana M. et al. Cryptic diversity in non-geniculate coralline algae: a new genus *Roseolithon* (Hapalidiales, Rhodophyta) and seven new species from the Western Atlantic. **European Journal of Phycology**, v. 57, n. 2, p. 227-250, 2022.

DAVISON, Ian R.; PEARSON, Gareth A. Stress tolerance in intertidal seaweeds. **Journal of Phycology**, v. 32, n. 2, p. 197-211, 1996.

DAWSON, Elmer Yale. Marine red algae of Pacific Mexico. Part 3. Cryptonemiales, Corallinaceae subfam. Melobesioideae. 1960.

DE LIMA, Andre de Souza et al. Hydrodynamic and waves response during storm surges on the Southern Brazilian coast: A hindcast study. **Water**, v. 12, n. 12, p. 3538, 2020.

FABRICIUS, Katharina et al. Changes in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on the inshore Great Barrier Reef. **Marine pollution bulletin**, v. 51, n. 1-4, p. 384-398, 2005.

FARR, Tracy Jane et al. **Common coralline algae of northern New Zealand: an identification guide**. NIWA, 2009.

FIGUEIREDO, MA de O. Colonization and growth of crustose coralline algae in Abrolhos, Brazil. In: **Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium**. Panama: Smithsonian Tropical Research Institute, 1997. p. 689-694.

FLINDT, Mogens R. et al. Nutrient cycling and plant dynamics in estuaries: a brief review. **Acta Oecologica**, v. 20, n. 4, p. 237-248, 1999.

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Lei complementar nº 482, de 17 de janeiro de 2014. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo de Florianópolis. 2014.

FOSTER, Michael S. Rhodoliths: between rocks and soft places. **Journal of phycology**, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2001.

FREDERICQ, Suzanne et al. The critical importance of rhodoliths in the life cycle completion of both macro-and microalgae, and as holobionts for the establishment and maintenance of marine biodiversity. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, p. 502, 2019.

FRESHWATER, D. Wilson; RUENESS, J. Phylogenetic relationships of some European Gelidium (Gelidiales, Rhodophyta) species, based on rbcL nucleotide sequence analysis. **Phycologia**, v. 33, n. 3, p. 187-194, 1994.

GABRIELSON, Paul W.; HUGHEY, Jeffery R.; DIAZ-PULIDO, Guillermo. Genomics reveals abundant speciation in the coral reef building alga *Porolithon onkodes* (Corallinales, Rhodophyta). **Journal of phycology**, v. 54, n. 4, p. 429-434, 2018.

GHERARDI GEOLOGY, D. F. M. A windward coralline algal ridge on Rocas Atoll, Atlantic Ocean. **Coral Reefs**, v. 14, n. 1, p. 34-34, 1995.

GHERARDI, Douglas FM. Community structure and carbonate production of a temperate rhodolith bank from Arvoredo Island, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 52, p. 207-224, 2004.

GOUVÊA, Lidiane Pires et al. Interactive effects of marine heatwaves and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. 5, p. 2056-2075, 2017.

GROSS, Wolfgang. Ecophysiology of algae living in highly acidic environments. **Hydrobiologia**, v. 433, n. 1-3, p. 31-37, 2000.

HADER, Donat-P.; FIGUEROA, Felix L. Invited review. Photoecophysiology of marine

macroalgae. **Photochemistry and Photobiology**, v. 66, n. 1, p. 1-14, 1997.

HALL, Tom A. et al. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. In: **Nucleic acids symposium series**. [London]: Information Retrieval Ltd., c1979-c2000., 1999. p. 95-98.

HALL-SPENCER, Jason M.; HARVEY, Ben P. Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. **Emerging Topics in Life Sciences**, v. 3, n. 2, p. 197-206, 2019.

HARLEY, Christopher DG et al. Effects of climate change on global seaweed communities. **Journal of Phycology**, v. 48, n. 5, p. 1064-1078, 2012.

HERNÁNDEZ-KANTÚN, Jazmín J. et al. Phylogenetic analysis of rhodolith formation in the Corallinales (Rhodophyta). **European journal of phycology**, v. 50, n. 1, p. 46-61, 2015.

HILL, Ross et al. Can macroalgae contribute to blue carbon? An Australian perspective. **Limnology and Oceanography**, v. 60, n. 5, p. 1689-1706, 2015.

HORN FILHO, Norberto Olmiro et al. Aspectos geológicos e socioambientais dos varvitos de Trombudo Central, SC, Brasil. **Geosul**, v. 30, n. 59, 2015.

HORTA, Paulo A. Bases para a identificação das coralináceas não articuladas do litoral brasileiro – uma síntese do conhecimento. **Biotemas**, v. 15, n. 1, p. 7-44, 2002.

HORTA, Paulo Antunes et al. Considerações sobre a distribuição e origem da flora de macroalgas marinhas brasileiras. **Hoehnea**, v. 28, n. 3, p. 243-265, 2001.

HORTA, Paulo Antunes. Macroalgas do infralitoral do sul e sudeste do Brasil: taxonomia e biogeografia. 2000.

HURD, Catriona L. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. **Journal of Phycology**, v. 36, n. 3, p. 453-472, 2000.

JEONG, So Young et al. Corallinapetrales and Corallinapetraceae: A new order and family of coralline red algae including *Corallinapetra gabrielii* comb. nov. **Journal of Phycology**, v. 57, n. 3, p. 849-862, 2021.

KARSTEN, U. et al. Biological and environmental chemistry of DMSP and related sulfonium compounds. Kiene RP, Visscher PT, Keller MD, Kirst GO, Boston MA, editors. Dimethylsulfoniopropionate Production in Phototrophic Organisms and its Physiological Functions as a Cryoprotectant. **US: Springer**, p. 143-53, 1996.

KIKUCHI, RKP de; LEÃO, Z. M. A. N. Rocas (Southwestern Equatorial Atlantic, Brazil): an atoll built primarily by coralline algae. In: **Proc 8th Int Coral Reef Symp**. 1997. p. 731-736.

LE GALL, Line et al. Multigene phylogenetic analyses support recognition of the Sporolithales ord. nov. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 54, n. 1, p. 302-305, 2010.

LITTLER, Mark M. et al. Deep-water plant communities from an uncharted seamount off San



Salvador Island, Bahamas: distribution, abundance, and primary productivity. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 33, n. 7, p. 881-892, 1986.

LOCARNINI, M. M. et al. World ocean atlas 2018, volume 1: Temperature. 2018.

MABESONE, J. M.; COUTINHO, P. N. Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. Universidade Federal de Pernambuco. **Trab. Ocean**, v. 12, p. 214, 1970.

MARIATH, Rodrigo; RIOSMENA-RODRIGUEZ, Rafael; FIGUEIREDO, Marcia. Lithothamnion steneckii sp. nov. and Pneophyllum conicum: new coralline red algae (Corallinales, Rhodophyta) for coral reefs of Brazil. **Algae**, v. 27, n. 4, p. 249-258, 2012.

MARKAGER, Stiig; SAND-JENSEN, Kaj. Light requirements and depth zonation of marine macroalgae. **Marine Ecology-Progress Series**, v. 88, p. 83-83, 1992.

MAZZER, Alexandre Maimoni et al. Aspectos da ecologia da paisagem da Ilha do Campeche (Florianópolis-SC): uma contribuição ao manejo insular. 2001.

NELSON, Wendy A. et al. Multi-gene phylogenetic analyses of New Zealand coralline algae: Corallinapetra Novaezelandiae gen. et sp. nov. and recognition of the Hapalidiales ord. nov. **Journal of Phycology**, v. 51, n. 3, p. 454-468, 2015.

NORRIS, James N.; ROSAS, Luis E. Aguilar; PEDROCHE, Francisco F. Conspectus of the benthic marine algae of the Gulf of California: Rhodophyta, Phaeophyceae, and Chlorophyta. **Smithsonian contributions to Botany**, n. 106, p. 1-125, 2017.

OLIVEIRA FILHO, Eurico Cabral de. Algas marinhas bentônicas do Brasil. 1977.

OLIVEIRA, Eurico C. Is there a relation among the global warming, the missing carbon and the calcareous algae?. In: **Book of Abstracts**. 1995.

PAGLIOSA, P. R. et al. Urbanization impact on subtropical estuaries: a comparative study of water properties in urban areas and in protected areas. **Journal of Coastal Research**, p. 731-735, 2006.

PAIVA, Sandra Vieira et al. Marine carbonate mining in the Southwestern Atlantic: current status, potential impacts, and conservation actions. **Marine Policy**, v. 148, p. 105435, 2023.

PASCELLI, Cecília et al. Seasonal and depth-driven changes in rhodolith bed structure and associated macroalgae off Arvoredo island (southeastern Brazil). **Aquatic Botany**, v. 111, p. 62-65, 2013.

PEDROCHE, Francisco F.; SENTÍES, Abel. Diversidad de macroalgas marinas en México. Una actualización florística y nomenclatural. **Cymbella**, v. 6, n. 1, p. 4-55, 2020.

PEREIRA, Marçal Duarte; SCHETTINI, Carlos Augusto França; OMACHI, Claudia Yuki. Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de Santa Catarina através de imagens orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, p. 81-93, 2009.

- PIMENTA, Felipe M. et al. A numerical study of the Plata River plume along the southeastern South American continental shelf. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 53, p. 129-146, 2005.
- PINTO, Talita Vieira et al. Aspectos morfoanatômicos, reprodutivos e moleculares do gênero *Lithophyllum* (Lithophylloideae, Corallinales, Rhodophyta) do sul do Brasil. 2011.
- PIOLA, Alberto R. et al. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 1, 2005.
- PORTO FILHO, Erico et al. Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. 1993.
- PORZIO, Lucia; BUIA, Maria Cristina; HALL-SPENCER, Jason M. Effects of ocean acidification on macroalgal communities. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 400, n. 1-2, p. 278-287, 2011.
- PRESTING, Gernot G. Identification of conserved regions in the plastid genome: implications for DNA barcoding and biological function. **Botany**, v. 84, n. 9, p. 1434-1443, 2006.
- RIOSMENA-RODRIGUEZ, Rafael; WOELKERLING, Wm J.; FOSTER, Michael S. Taxonomic reassessment of rhodolith-forming species of *Lithophyllum* (Corallinales, Rhodophyta) in the Gulf of California, Mexico. **Phycologia**, v. 38, n. 5, p. 401-417, 1999.
- SCHMIDT, Andreoara Deschamps et al. Caracterização morfossedimentar da praia da Enseada, Ilha do Campeche, Santa Catarina, Brasil. 2012.
- SCHUBERT, Nadine et al. Rhodolith primary and carbonate production in a changing ocean: The interplay of warming and nutrients. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 455-468, 2019.
- SHERWOOD, Alison R. et al. Contrasting intra versus interspecies DNA sequence variation for representatives of the Batrachospermales (Rhodophyta): insights from a DNA barcoding approach. **Phycological research**, v. 56, n. 4, p. 269-279, 2008.
- SHERWOOD, Alison R.; PRESTING, Gernot G. Universal primers amplify a 23S rDNA plastid marker in eukaryotic algae and cyanobacteria. **Journal of phycology**, v. 43, n. 3, p. 605-608, 2007.
- SISSINI, Marina N. et al. *Mesophyllum erubescens* (Corallinales, Rhodophyta)—so many species in one epithet. **Phytotaxa**, v. 190, n. 1, p. 299–319-299–319, 2014.
- SISSINI, Marina Narsi et al. Hapalidiaceae (Corallinophycidae, Rhodophyta) no litoral brasileiro-diversidade e biogeografia. 2013.
- SISSINI, M. et al. Brazil oil spill response: Protect rhodolith beds. **Science**, v. 367, n. 6474, p. 156-156, 2020.
- SISSINI, Marina Narsi et al. Algas calcárias nos recifes brasileiros: diversidade,

macroecologia e conservação. 2022.

SISSINI, Marina Nasri et al. Diversity, distribution, and environmental drivers of coralline red algae: the major reef builders in the Southwestern Atlantic. **Coral Reefs**, v. 41, n. 3, p. 711-725, 2022.

SPOTORNO-OLIVEIRA, Paula; FIGUEIREDO, Marcia AO; TÂMEGA, Frederico TS. Coralline algae enhance the settlement of the vermetid gastropod *Dendropoma irregulare* (d'Orbigny, 1842) in the southwestern Atlantic. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 471, p. 137-145, 2015.

TESTA, V. Crustose Corallines, macroalgae, herbivores and sediments: Complex interactions along productivity gradients. In: **Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium**. 1997. p. 737-742.

TESTA, V. et al. Tropical algal carbonates from shelf and atoll environments, Northeast Brazil. In: **14th International Sedimentological Congress, Recife (PE)**. 1994. p. 17-18.

TESTA, Viviane; BOSENCE, Daniel WJ. Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. **Sedimentology**, v. 46, n. 2, p. 279-301, 1999.

THOMPSON, Julie D.; HIGGINS, Desmond G.; GIBSON, Toby J. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. **Nucleic acids research**, v. 22, n. 22, p. 4673-4680, 1994.

TORRANO-SILVA, Beatriz N. et al. Guidelines for DNA barcoding of coralline algae, focusing on Lithophylloideae (Corallinales) from Brazil. **Botanica Marina**, v. 61, n. 2, p. 127-140, 2018.

TORRANO-SILVA, Beatriz N. et al. Guidelines for DNA barcoding of coralline algae, focusing on Lithophylloideae (Corallinales) from Brazil. **Botanica Marina**, v. 61, n. 2, p. 127-140, 2018.

VARELA, Alejandro Rodolfo Donnangelo et al. Flora macrofitobêntica da Reserva Biológica do Arvoredo e ilhas circunvizinhas. 2012.

VIDAL, Rodrigo; MENESES, Isabel; SMITH, Macarena. Molecular genetic identification of crustose representatives of the order Corallinales (Rhodophyta) in Chile. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 28, n. 3, p. 404-419, 2003.

VIEIRA-PINTO, Talita et al. Lithophyllum species from Brazilian coast: range extension of *Lithophyllum margaritae* and description of *Lithophyllum atlanticum* sp. nov. (Corallinales, Corallinophycidae, Rhodophyta). **Phytotaxa**, v. 190, n. 1, p. 355–369, 2014.

WILSON, Sian et al. Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. **Biological conservation**, v. 120, n. 2, p. 279-289, 2004.

WOELKERLING, William J.; HARVEY, Adele. An account of southern Australian species of *Mesophyllum* (Corallinaceae, Rhodophyta). **Australian systematic botany**, v. 6, n. 6, p. 571-637, 1993.

WOELKERLING, Wm J.; IRVINE, L. M.; HARVEY, Adele S. Growth-forms in non-geniculate coralline red algae (Coralliinales, Rhodophyta). **Australian systematic botany**, v. 6, n. 4, p. 277-293, 1993.

WYNNE, Michael J. Checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical Western Atlantic: fifth revision. 2022.

ZEMAH-SHAMIR, Shiri et al. Cultivating marine macroalgae in CO<sub>2</sub>-enriched seawater: A bio-economic approach. **Aquaculture**, v. 544, p. 737042, 2021.