

COLÉGIO SÃO LUÍS

ENSINO MÉDIO
CURSO DE METODOLOGIA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

BEATRIZ PIMENTEL SIQUEIRA

GEOENGENHARIA DE CORAIS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS
O potencial de corais do coral *Mussismilia hispida* na captura de carbono
como estratégia de mitigação do aquecimento global

São Paulo
2025

BEATRIZ PIMENTEL SIQUEIRA

GEOENGENHARIA DE CORAIS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS
O potencial de corais do coral *Mussismilia hispida* na captura de carbono
como estratégia de mitigação do aquecimento global

Artigo apresentado como requisito de aprovação em “Metodologia de Iniciação Científica”, na 2ª série do EM do Colégio São Luís

Orientador: Prof Dr. Caio Seiji Nagayoshi

São Paulo
2025

Mas é que a minha escolha é só minha
E eu escolho que já é hora do voo
E que hoje o céu já fez silêncio
Eu acho tão bonito quando a gente segue um sonho
E não quer mais voltar

ATITUDE 67, SONHO

AGRADECIMENTO

Antes de tudo, gostaria de começar agradecendo os que estavam comigo durante toda a minha jornada, não só a desse projeto, mas a da vida, vocês trilharam todo o caminho comigo, e algumas vezes por mim, de maneira alguma faria algo diferente.

A minha família: Mãe obrigada pela paciência, por me consolar e apoiar em todos os momentos que eu estava perdida e inconsolável, muito obrigada por ler todas as partes desse projeto e mesmo sem entender muito, me ajudar no possível, sem seu apoio nem duas linhas seriam escritas. Pai obrigada por compartilhar sua paixão pelo mar, seu interesse e entusiasmo em tudo que esse trabalho tange foi o que me fez escolher esse tema, das muitas coisas que eu recebi da sua genética posso afirmar que essa foi uma das melhores. Ciça, não posso dizer que nosso último ano, nessa relação complicada de irmãs, tenha sido fácil. Mas posso afirmar que, nos momentos em que a gente não estava brigando, vivi as minhas melhores memórias ao seu lado. Obrigada por me fazer rir até não conseguir parar. Isa, minha prima, madrinha, amiga, inspiração e irmã de coração. Obrigada por sempre me ouvir, por me aconselhar e, muitas vezes, se mostrar mais empolgada com esse trabalho do que eu mesma. Obrigada também por ter embarcado comigo nessa jornada louca do mergulho, é do fundo do coração que eu digo: quando crescer quero ser igual você. Tenho certeza de que tudo o que você merece, e muito mais, vai chegar.

Também gostaria de agradecer as minhas melhores amigas, Ana, Le, So, Vic, Marie, Marinoca, vocês foram meu refúgio nos últimos meses. Obrigada por todos os intervalos, risadas, almoços, choros e o “sextou com festou”. Agradeço também pelos conselhos, por se interessarem no meu tema, por compartilharem dos meus surtos e mesmo assim me acalmarem toda vez que achava que não ia dar conta, sem vocês esse trabalho não seria possível, eu amo todas vocês do fundo do meu coração.

As minhas companheiras de sala. Isa obrigada pelas seções de terapia, pelas risadas e pelos conselhos, que sorte a minha ter você por perto. Helena, as risadas ao seu lado são incomparáveis, obrigada por suavizar os meus dias mais pesados. Lau, tenho muito a agradecer você, obrigada por se tornar tão importante tão rápido, do seu lado nossos surtos coletivos viravam risada, sou e serei sempre grata por sua presença em minha vida.

Finalmente, gostaria de agradecer meu namorado, cuja paciência e compreensão foram guias nos momentos mais difíceis durante essa jornada. Mi, você é meu porto seguro, sua confiança no meu potencial, mesmo quando eu mesma não confiei, me fez conseguir não desistir não só desse projeto, mas dos meus sonhos. Agradeço também por celebrar cada pequena vitória e por me consolar em cada desafio, te amo sempre.

DEDICATÓRIA

Ao meu orientador Caio Seiji, pelo empenho, orientação, apoio e confiança. Obrigada por me incentivar em todas as ideias surreais fabricadas por esse trabalho e por colocar meu pé no chão quando as coisas fugiam de controle, esse trabalho não seria o mesmo sem seu entusiasmo e calma, o mérito desse projeto é tão meu quanto seu, meu muito obrigada.

Agradecimento também a escola de mergulho Amigos de Joe e principalmente ao Wagner Antonio Botero, também conhecido como Joe, seu amor pelo oceano é contagiante e inspira esse trabalho. Obrigada por segurar minha mão quando eu estava perdida durante os mergulhos, por tirar minhas dúvidas sobre os corais, e por todos os convites para o famoso “churrasco do Joe”.

RESUMO

Palavras-chave: Corais. Calcificação. Aquecimento Global. Geoengenharia. Mitigação Climática.

O trabalho analisa o potencial do coral *Mussismilia hispida* na captura de carbono como estratégia inovadora de mitigação do aquecimento global. Foram avaliados durante essa análise a capacidade de calcificação da espécie, sua longevidade, resiliência a anomalias térmicas e o histórico de sequestro de carbono, além das implicações ambientais e socioeconômicas da geoengenharia com corais em ecossistemas costeiros brasileiros. A metodologia englobou técnicas de revisão bibliográfica, entrevista com especialista em mergulho e conservação marinha e uma viagem de campo a Laje de Santos, local onde o projeto idealmente seria aplicado. Os resultados mostraram que *M. hispida* apresenta elevada taxa de calcificação, resistência superior ao estresse térmico e representa um sumidouro carbonático relevante, fixando quantidades significativas de carbono mineralizado nos esqueletos, que contribuem para a imobilização geológica por longos períodos. Ademais, a região da Laje de Santos foi identificada como ambiente propício para aplicação de projetos de conservação e restauração ambiental, com potencial para beneficiar a biodiversidade local e impulsionar o turismo sustentável, geração de empregos, conservação da biodiversidade e melhora na economia local. O estudo conclui que a geoengenharia de corais, especialmente com *M. hispida*, pode ser uma alternativa promissora para a mitigação das mudanças climáticas, desde que acompanhada de políticas públicas, manejo ambiental e conscientização social.

ABSTRACT

Keywords: Corals. Calcification. Global Warming. Geoengineering. Climate Mitigation.

The study analyzes the potential of the coral *Mussismilia hispida* in carbon capture as an innovative strategy for mitigating global warming. The analysis evaluated the species' calcification capacity, longevity, resilience to thermal anomalies, and historical carbon sequestration, as well as the environmental and socioeconomic implications of coral-based geoengineering in Brazilian coastal ecosystems. The methodology included literature review, interviews with specialist in diving and marine conservation and field trip to the location where the project would ideally be implemented. The results showed that *M. hispida* exhibits a high calcification rate, superior resistance to thermal stress, and represents a significant carbon sink, fixing substantial amounts of mineralized carbon in its skeletons that contribute to long-term geological immobilization. Furthermore, the Laje de Santos region was identified as a suitable environment for the implementation of conservation and restoration projects, with potential to enhance local biodiversity, promote sustainable tourism, create jobs, and improve the local economy. The study concludes that coral geoengineering, especially with *M. hispida*, can be a promising alternative for mitigating climate change, provided it is accompanied by public policies, environmental management, and social awareness.

Lista de ilustrações:

FIGURA 1 – Foto do coral mole <i>Sarcophyton sp.</i> Ou Leather Coral	17
FIGURA 2 - Foto do coral duro <i>Mussismilia braziliensis</i>	17
FIGURA 3 - Padrão meandroíde, cristas e sulcos	20
FIGURA 4 - Mecanismo da Calcificação dos Corais	23
FIGURA 5 – Captura de tela do aplicativo SSI mostrando as informações do primeiro mergulho	31
FIGURA 6 – Captura de tela do aplicativo SSI mostrando as informações do segundo mergulho	32
FIGURA 7 – Coral-sol	33
FIGURA 8 - Compilado dos animais avistados – 1. Água Viva; 2. Polvo; 3. Baiacu; 4. Tartaruga Marinha Verde	33
FIGURA 9 – Abundância de vida no ponto de mergulho	34
FIGURA 10 – Coral-babão (<i>Palythoa caribaeorum</i>)	36
FIGURA 11 – Navios de carga a menos de 7 quilômetros do Parque Estadual Marinho	36
FIGURA 12 – <i>Mussismilia Hispida</i>	37
FIGURA 13 - <i>Mussismilia Hispida</i> branqueado	37
FIGURA 14 – Corais <i>Mussismilia Hispida</i> em diferentes estados de saúde	38
FIGURA 15 – Foto aérea do local de pesquisa	39

Lista de abreviaturas e siglas:

DIC: Dissolved Inorganic Carbon (Carbono Inorgânico Dissolvido)

Aragonita: Forma cristalina do carbonato de cálcio

Ω cf: Saturação em relação à aragonita no fluido de calcificação

CaCO₃: Carbonato de Cálcio

cm: Centímetro

Kg: Quilograma

m: Metro

mm: Milímetro

m²: Metro Quadrado

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MUSSISMILIA HISPIDA	15
	2.1 O QUE SÃO CORAIS E SUA IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA	15
	2.2 MORFOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO DO GENERO MUSSISMILIA ..	17
	2.3 MUSSISMILIA HISPIDA: CARACTERÍSTICA E PAPEL ESTRUTURAL DOS CORAIS CEREBRO	19
	2.4 MUSSISMILIA HISPIDA: LONGEVIDADE	21
	2.5 MUSSISMILIA HISPIDA: MECANISMOS BIOLOGICOS DE CAPTURA DE CARBONO	22
	2.6 MUSSISMILIA: FATORES INFLUENTES NA CALCIFICAÇÃO DOS CORAIS	24
	2.6.1 Temperatura	25
	2.6.2 pH e Acidificação Oceânica	25
	2.6.3 Disponibilidade de cálcio e carbonato	26
	2.6.4 Resiliência a anomalias térmicas	26
	2.6.5 Fixação duradoura e imobilização geológica	27
	2.6.6 Histórico de Captura de Carbono	28
3	DESCRIÇÃO DO MERGULHO	29
4	METODOLOGIA	38
	4.1 CRECIMENTO CORALÍNEO	38
	4.2 AVALIAÇÃO MORFOLOGICA	39
	4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
	4.4 ENTREVISTA COM ESPECIALISTA	40
5	IMPACTOS ECONOMICOS	40
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE	47

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aquecimento global, o mundo tem enfrentado uma série de grandes e muitas vezes imprevisíveis desastres ambientais. Aumento do nível dos oceanos, secas prolongadas, chuvas torrenciais, degradação do *permafrost* e o derretimento das calotas polares são alguns exemplos do que, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2007), o aumento da concentração de gases do efeito estufa produzidos por ações humanas tem feito.

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou de cerca de 280 ppm para 391 ppm em 2011. Em todos os cenários futuros de clima, com exceção dos que preveem mitigação agressiva dos gases de efeito estufa, a temperatura global aumentará pelo menos entre 2 e 3 °C antes de 2100. (ZHANG, *et al.*, 2014, tradução nossa).

Transformações tão extremas em relação a situação do atual do clima apontam para, em grande parte, uma impossível projeção do que o planeta terra se tornará ao longo do próximo século. Dentro desse cenário, e considerando também a extremamente provável continuação das emissões desenfreadas de gases do efeito estufa pela sociedade atual, nos é criado um novo questionamento: existe alguma maneira viável de mitigar a tendência de aquecimento global e gerenciar esses riscos climáticos?

Reduzir a queima de combustíveis fósseis por meio da adoção de tecnologias de obtenção e uso de energia sustentáveis e a redução de emissões nos setores industrial e agrícola é, claramente, a estratégia mais direta para combater as mudanças climáticas globais em curso (GEND, *et al.*, 2014). No entanto, as negociações sobre a redução das emissões de carbono falharam em grande parte devido à falta de confiança internacional e à relutância da maioria dos governos em adotar qualquer medida que não esteja alinhada ao interesse próprio e imediato (ZHANG, *et al.*, 2014).

Também deve ser levado em consideração as repetidas falhas em acordos e protocolos em manter a estabilidade do clima. A recente saída dos Estados Unidos da América do Acordo de Paris prova a falta de compromisso de diversas nações, muitas vezes países desenvolvidos, em reconhecer sua contribuição para os danos climáticos e priorizar o respeito ao meio ambiente, e não apenas aos interesses econômicos.

Em resposta a isso, alguns cientistas propuseram o uso da geoengenharia, (ou engenharia climática), sugerida por cientistas como um meio artificial de resfriar o planeta, mitigando o aquecimento global causado pelas emissões de gases de efeito estufa (ZHANG, *et al.*, 2014). A geoengenharia é a manipulação intencional em grande escala do meio ambiente, especialmente destinada a reduzir as respostas das mudanças climáticas antropogênicas indesejadas (KEITH, 2000).

As abordagens da geoengenharia são divididas em dois grandes grupos: remoção de dióxido de carbono (CDR – Carbon Dioxide Removal) e gerenciamento da radiação solar (SRM – Solar Radiation Management) (ROYAL SOCIETY, 2009). Os métodos de CDR envolvem técnicas para capturar CO₂ da atmosfera e armazená-lo permanentemente. Embora apresentem menores riscos, essas estratégias tendem a ser menos eficazes no curto e longo prazo. Por outro lado, se o objetivo é reduzir de forma artificial e mais rapidamente as mudanças climáticas, as abordagens de SRM, que buscam refletir parte da radiação solar para o espaço, são uma solução mais eficaz. No entanto, devido à sua maior complexidade e riscos potenciais, o SRM exige investimentos mais elevados para contenção de riscos e impactos indesejados.

Baseado no trabalho de Zhang (*et al.*, 2014) as propostas de geoengenharia podem ser subclassificadas em quatro categorias principais, com base no ambiente em que são aplicadas: em terra (land-based), no oceano (ocean-based), na atmosfera (atmosphere-based) e no espaço (space-based). Nesse trabalho, iremos abordar um tipo de estratégia oceânica, a geoengenharia de corais e algas para captura de carbono, mais especificamente, potencial de corais da espécie *Mussismilia Hispida* na captura de carbono como estratégia de mitigação do aquecimento global. Essa abordagem apresenta diferentes vantagens e efeitos desiguais em diferentes partes do mundo, tornando essencial analisar se a implementação é, de fato, necessária e vantajosa antes de investir no projeto em larga escala.

Outro fator crucial é a modificação dos ecossistemas. Segundo Zhang (*et al.*, 2014), qualquer intervenção climática em grande escala pode impactar a biodiversidade ao alterar temperaturas locais, disponibilidade hídrica e ciclos sazonais. O Royal Society (2009) enfatiza que mudanças abruptas no ambiente

podem levar à migração forçada de espécies, afetando cadeias alimentares e ecossistemas inteiros. Em complemento, os oceanos alimentam o ser humano, sendo grande pilar da segurança alimentar global. A vida marinha, devido a alterações de hábitat e as mudanças climáticas, sofreu com a diminuição de suas populações por quase à metade entre 1970 e 2012, sendo diretamente ligadas a diminuição e deterioração dos recifes de coral, por isso, a engenharia ambiental envolvendo corais e algas para a captura de carbono deve ser cuidadosamente avaliada, considerando seu potencial impacto na vida marinha.

Apesar desses desafios, esse modo de geoengenharia também apresenta potenciais benefícios. A partir do uso de materiais alcalinos, como a dispersão de minerais ou até o uso de substratos artificiais que favorecem a colonização coralina, podemos promover a calcificação dos corais e aumentar sua taxa de crescimento. Portanto, a aplicação da geoengenharia exige cautela e regulamentação internacional, antes de ser considerada uma solução viável para a crise climática, é essencial que haja mais pesquisas e debates éticos para garantir que seus riscos e benefícios sejam distribuídos de maneira justa ao redor do globo.

A escolha deste projeto se justifica pela urgência de busca por novas estratégias devido a crise climática global, que só vem se acentuando nos últimos anos. Outrossim, a importância desse trabalho se dá também pela necessidade de explorar soluções inovadoras, mas também interessantes à ordem social capitalista. Ao mesmo tempo que essas medidas busquem a redução de concentração de gases do efeito estufa e não prejudiquem a regeneração de ecossistemas já degradados, elas devem ser consideradas plausíveis em nossa sociedade industrial, sem muitos prejuízos à economia capitalista.

A relevância da análise da engenharia de corais e algas está justamente no seu caráter controverso e discutível. Essa técnica promete benefícios ambientais expressivos, como o aumento da taxa de calcificação coralina e o consequente o aumento no sequestro de CO₂ atmosférico (ZHANG et al., 2014), mas também levanta preocupações éticas e ecológicas, como possíveis impactos na biodiversidade marinha e a desigual distribuição global dos riscos e benefícios.

Além disso, a proposta se conecta diretamente ao debate internacional sobre governança climática, pois a implementação em larga escala de projetos de

geoengenharia exige cooperação internacional, regulação transparente e comprometimento ético (GEMELLI, 2020). O fato de essa estratégia se dar em um ambiente de difícil monitoramento, o oceano, e ainda carecer de consenso científico, reforça a necessidade de um olhar crítico e fundamentado sobre sua viabilidade e aplicação.

Portanto, analisar a engenharia de corais e algas como estratégia de combate às mudanças climáticas permite explorar as tensões entre avanço tecnológico, interesses globais e locais, precaução ambiental, ciência e política. Por isso o importante papel deste trabalho, que irá ponderar diversos pontos e concluir se esse modo de geoengenharia apresenta consequências positivas suficientes para ser aplicado.

Sendo assim, esse trabalho pretende responder, com base em diversas análises, se a geoengenharia de corais e algas possui potencial suficiente para ser aplicada. Diante da intensificação da crise climática global, nos vemos em uma situação de necessidade extrema da busca por soluções inovadoras para mitigação das mudanças climáticas. Nesse sentido, surge uma nova proposta, a engenharia de corais e algas, que busca avaliar conceitos de justiça climática, precaução ambiental, governança internacional e viabilidade técnico-econômica, sem ignorar os riscos ecológicos que envolvem esse tipo de interferência.

1. MUSSISMILIA HISPIDA

2.1 O QUE SÃO CORAIS E SUA IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA

Os recifes de coral são reconhecidos como alguns dos ecossistemas mais diversos e produtivos do planeta, desempenhando papéis essenciais no suporte de cadeias alimentares complexas e na oferta de serviços ecossistêmicos, como proteção costeira e reciclagem de nutrientes (TOLEDO, 2022). Somado a isso, esses organismos contribuem para além do plano ambiental, desempenhando papéis econômicos e sociais importantes, como turismo e pesca sustentável, na organização global atual (PAULAY, 1997).

No entanto, esses ecossistemas estão sob a ameaça constante do excesso de gases do efeito estufa emitidos e sucessivas anomalias térmicas presenciadas nos últimos anos, resultando no branqueamento dos corais até morte desses organismos (BAKER *et al.*, 2008). Ademais, esses ambientes

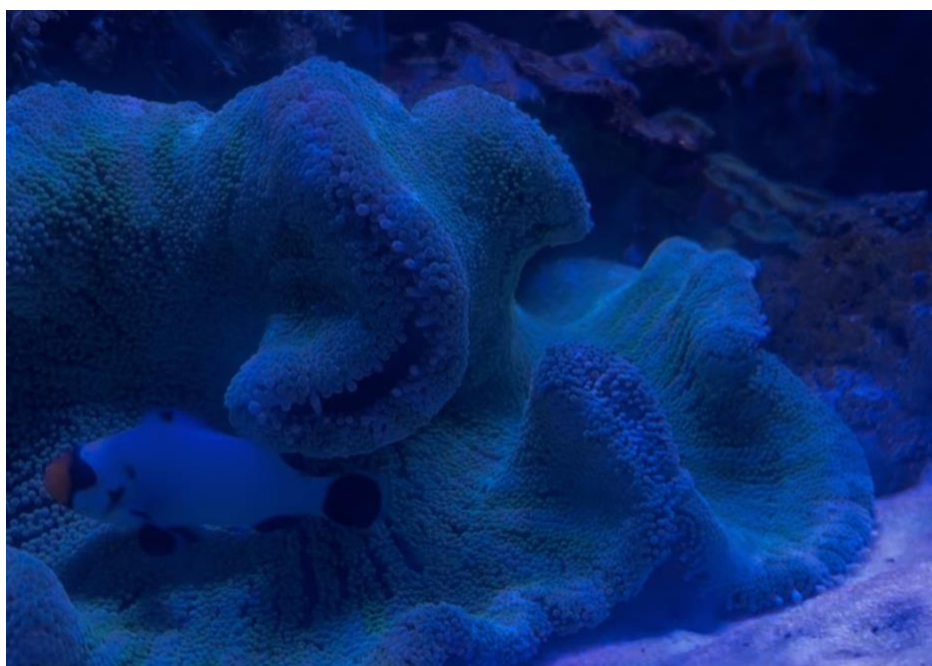
também sofrem com constantes impactos antropogênicos, como poluição, turismo desordenado, derramamento de rejeitos, sobrepesca, entre outros, que contribuem para a diminuição da cobertura coralínea local (TEDESCO *et al.*, 2017), impactando todos os ecossistemas marinhos e, por consequência, os terrestres.

Existem diversos tipos de corais, que podem ser classificados principalmente em corais moles e corais duros. Os corais moles (FIGURA 1), também conhecidos como corais flexíveis ou de tecido mole, não possuem um esqueleto calcário rígido, mas apresentam um esqueleto interno formado por espículas calcárias microscópicas. Esses corais são flexíveis e muitas vezes se movimentam com a correnteza. Exemplos desse grupo incluem as gorgônias e os corais pena. Embora formem habitats importantes, eles não constroem recifes sólidos.

Já os corais duros (FIGURA 2), ou corais escleractíneos, são os principais responsáveis pela construção dos recifes de coral. Eles secretam esqueletos rígidos de carbonato de cálcio (CaCO_3), que formam a estrutura sólida que sustenta o recife. As colônias desses corais apresentam diversas morfologias, incluindo formas massivas, como os corais-cérebro; ramificadas, como as do gênero *Acropora*; foliáceas, em formato de folhas; e incrustantes, que crescem aderidas a substratos. Além disso, os corais duros mantêm uma relação simbiótica com algas zooxantelas, que realizam fotossíntese e fornecem energia essencial para o metabolismo coralino.

Os recifes de coral brasileiros apresentam uma baixa diversidade de espécies de corais e um alto grau de endemismo. Atualmente, existem 18 espécies da ordem *Scleractinia* no Brasil, quatro são endêmicas e pertencentes ao gênero *Mussismilia*. Esta baixa riqueza de espécies é o resultado provável de uma plataforma continental estreita, que limita o espaço para expansão dos corais, e também da alta sedimentação em alguns locais, oriunda dos rios, que diminui a claridade da água e pode levar à cobertura dos pólipos por sedimento (CASTRO *et al.*, 2001).

FIGURA 1 – Foto do coral mole *Sarcophyton sp.* Ou Leather Coral



Fonte: Autoria Própria

FIGURA 2: Foto do coral duro *Mussismilia braziliensis*



Fonte: Autoria Própria

2.2 MORFOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO DO GENERO *MUSSISMILIA*

O gênero *Mussismilia* – comumente chamados de coral cérebro – são os principais construtores de recifes no Brasil, apresentando uma distribuição ampla

pela costa do país. Sendo *M. hispida* a espécie com a maior distribuição, ocorrendo do Maranhão até São Paulo. Os corais do gênero endêmico *Mussismilia* abrangem as espécies: *Mussismilia braziliensis*, *Mussismilia hispida*, *Mussismilia harttii* e *Mussismilia leptophylla* (CASTRO et al., 2001).

Sobre a macromorfologia do gênero compreende-se:

Formas de colônias facelóide ou subplocóide (até três centros); a columela é continua com ligação trabecular entre os centros; e caso o cenósteeo esteja presente, apresenta uma parede dupla distinta. Suas espécies diferem principalmente na forma de colônia, tamanho do cálice e espessura septal, porém, com alguma sobreposição. *Mussismilia harttii* apresenta diâmetros de cálice de 12-30 mm, 12-14 septos por cm e septos finos. *Mussismilia hispida* tem diâmetro de cálice de 14-15 mm, mais de quatro ciclos septais, septos finos e columela bem desenvolvida. *Mussismilia braziliensis* têm diâmetros de cálice de 8-10 mm, menos de quatro ciclos septais, septos espessos e columela reduzida. Já *Mussismilia leptophylla* possui diâmetro de cálice menor que 6 mm, menos de quatro ciclos septais, septos finos e uma columela bem desenvolvida

Exceto por *M. leptophylla*, as espécies de *Mussismilia* são hermafroditas e apresentam ciclo reprodutivo anual diferenciado. Elas são liberadoras de gametas, e suas larvas são lecitotróficas. Os períodos reprodutivos de *M. harttii* e *M. braziliensis* são bem definidos, onde a primeira desova entre setembro e novembro e a segunda entre março e maio, tanto em Porto Seguro, BA, como no Arco Costeiro dos Abrolhos, BA,. Uma particularidade do ciclo reprodutivo de *M. hispida* é a sua sobreposição aos das duas primeiras, com parte das colônias desovando entre agosto e dezembro, junto com *M. harttii*, em Porto Seguro)

e outro grupo entre abril e junho, junto com *M. braziliensis*, em Abrolhos. No Sudeste, a desova de *M. hispida* ocorre entre fevereiro e abril (TOLEDO, 2022).

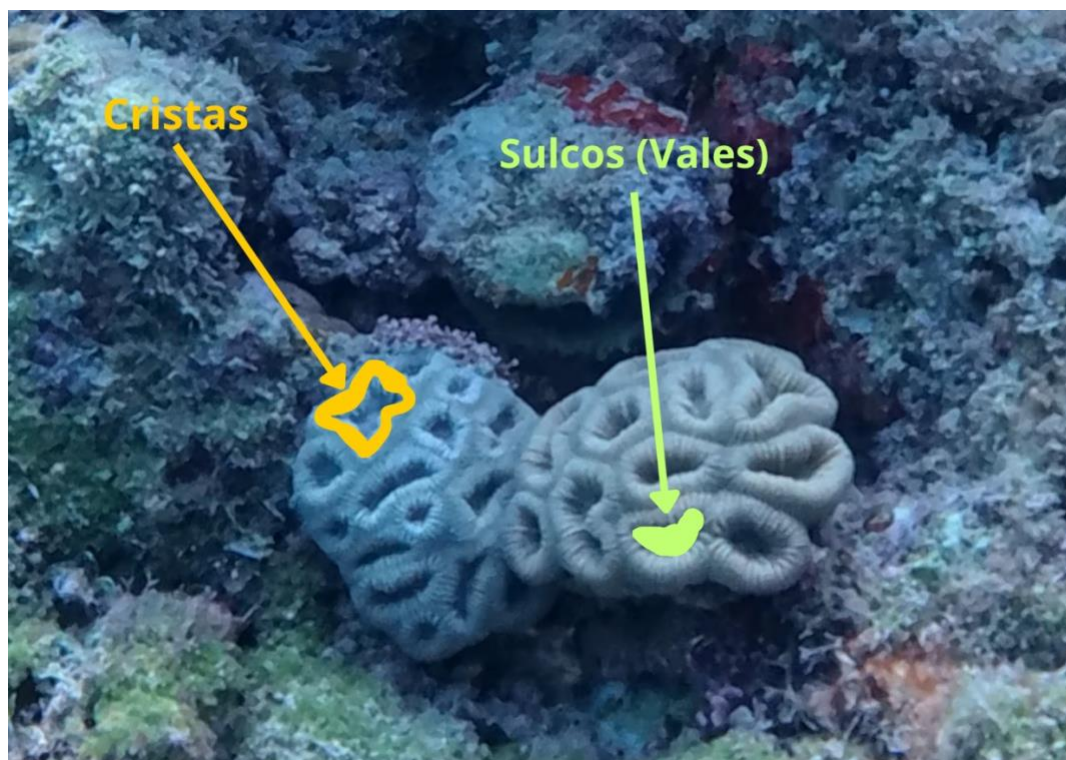
Neste trabalho, iremos avaliar o desempenho da espécie *Mussismilia hispida* para captura carbono, buscando seu potencial para ajuda na mitigação das mudanças climáticas, esclarecendo as vantagens e desvantagens do grupo.

2.3 MUSSISMILIA HISPIDA: CARACTERÍSTICA E PAPEL ESTRUTURAL DOS CORAIS CEREBRO

Os corais do gênero *Mussismilia*, animais que pertencem ao grupo cnidários, são organismos coloniais formados por milhares de pólipos. Cada pólipo é responsável por secretar carbonato de cálcio (CaCO_3), construindo ao seu redor uma cavidade protetora chamada corallito. Esses corallitos, quando reunidos em uma colônia, podem ficar lado a lado de diferentes formas: isolados, muito próximos ou até mesmo compartilhando as mesmas paredes. No caso dos corais-cérebro, os corallitos se organizam de maneira característica: séries de cristas e sulcos (vales) contínuos, chamados de padrões meandroídes (FIGURA 3). Essa disposição gera uma superfície que lembram os contornos de um cérebro humano, origem do seu nome usual.

No Brasil, *Mussismilia hispida*, a espécie do gênero *Mussismilia* mais comum em águas brasileiras, é tipicamente maciça e de crescimento lento. Trabalhos recentes descrevem morfologias de colônias maciças e subplocoides – onde ocorre fusão parcial dos coralitos - com topo em “cúpula”, enfatizando sua contribuição para a heterogeneidade estrutural do fundo (PICCIANI, et al., 2016). Essa conformação aumenta a rugosidade do habitat, reduzindo o cisalhamento hidrodinâmico sobre o tecido vivo e oferecendo micro-ambientes, nas cristas e nos sulcos, com gradientes de luz e fluxo que influenciam fotossíntese e troca gás-líquido, um dos processos mais importantes da captura de carbono.

FIGURA 3: Padrão meandroíde, cristas e sulcos



Fonte: autoria própria

O papel estrutural dos corais-cérebro deriva de sua calcificação contínua (deposição de CaCO_3) e do caráter maciço da colônia. Ao construir topografia tridimensional, elevando a complexidade estrutural do recife, é aumentado a disponibilidade de nichos para peixes, invertebrados e algas, criando uma diversidade de biodiversidade muito rica. Documentos metodológicos e de avaliação de recifes sintetizam esse papel: “os esqueletos tridimensionais de coral que formam a topografia do recife fornecem habitat para proteção, predação e reprodução de peixes” (EPA, 2007). A mesma fonte destaca que grande parte da diversidade nos recifes “pode ser atribuída à complexa infraestrutura esquelética, que fornece alto número e heterogeneidade de nichos”. Em outras palavras, corais massivos meandroides, como os da espécie *Mussismilia hispida*, sustentam cadeias alimentares e serviços ecossistêmicos, como proteção costeira, pesca e turismo, justamente por manterem a “armadura” do recife.

Em síntese, a morfologia meandroide dos corais-cérebro está ligada ao modo de crescimento e à sua função ecológica. A longevidade dessas colônias,

aliada ao crescimento calcificador consolida o sumidouro carbonático, criando um grande agente mitigador das mudanças climáticas.

2.4 MUSSISMILIA HISPIDA: LONGEVIDADE

Quanto à longevidade, os corais-cérebro do gênero *Mussismilia* destacam-se entre os escleractíneos massivos por apresentarem longas séries de bandas anuais de alta/baixa densidade nos esqueletos, similar a anéis de crescimento, que permitem sua datação e a reconstrução de séries temporais ambientais. A partir do trabalho de SILVA (2019), com a espécie *Mussismilia hispida*, em 3 colônias diferentes, observam-se taxas médias de $2,83 \pm 0,51$; $3,21 \pm 0,86$; e $3,71 \pm 0,82 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, confirmando que “a espécie possui uma taxa de crescimento suficiente para a obtenção de informações de alta resolução”. No mesmo trabalho, uma sequência carbonatada contínua datada por U–Th (datação por urânio-tório) indicou um intervalo de $11 \pm 2,2$ anos (SILVA, 2019).

Para efeito de comparação, espécies do mesmo gênero, como *Mussismilia braziliensis*, apresentam registros de crescimento anual próximos a $7 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$. Em radiografias de um testemunho de 70,6 cm, “sabendo-se que esta espécie cresce aproximadamente 7 mm por ano [...] pode-se inferir que esta colônia pode nos fornecer informações até o ano de 1924” (SILVA, 2019). Essa observação implica idade mínima da colônia superior a 79 anos no momento da coleta, 2003, apenas para o segmento analisado.

O tamanho máximo das colônias também sustenta grande longevidade. Em Abrolhos, *M. braziliensis* “forma colônias hemisféricas grandes ($> 2 \text{ m}$ de diâmetro) [...] enquanto *M. hispida* forma colônias menores ($< 1 \text{ m}$ de diâmetro)” (CASTRO et al., 2010). A partir dos dados, infere-se que colônias grandes podem ultrapassar um século de vida, e no caso de *M. braziliensis*, com $>2 \text{ m}$ de diâmetro e extensão $\sim 7 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, >100 anos é uma longevidade plausível (GONÇALVES, 2010). Para *M. hispida*, valores entre $\sim 2,5$ e $3,7 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ (SILVA, 2019) implicam que colônias com $0,8\text{--}1,0 \text{ m}$ podem alcançar $>100\text{--}150$ anos.

Portanto, a potencialização do crescimento de corais e a proteção desses pode ser considerada um forte agente da mitigação das mudanças climáticas, tendo em vista sua longevidade como sumidouro carbônico. Vale ressaltar também que a duração de vida dos corais são números estimados, podendo durar até mais de cem anos, como dito por Carl Sagan “A ausência da evidência não significa evidência da ausência”.

2.5 *MUSSISMILIA HISPIDA*: MECANISMOS BIOLÓGICOS DE CAPTURA DE CARBONO

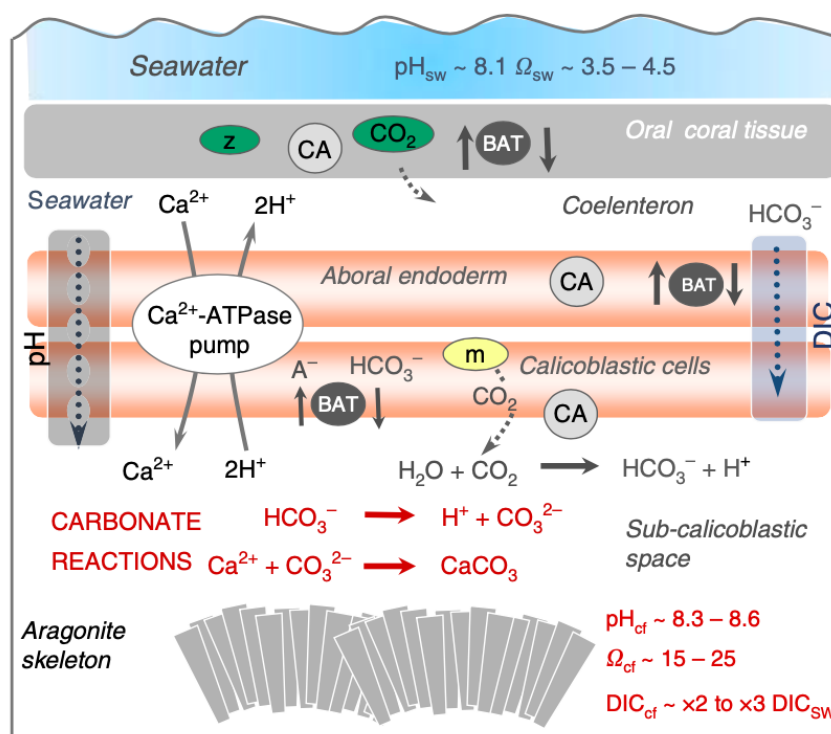
Os corais do gênero *Mussismilia*, por serem escleractíneos, subgrupo dos corais duros, desempenham papel crucial na captura e no armazenamento de carbono em ecossistemas marinhos. Essa capacidade se dá principalmente por meio da calcificação, processo biológico em que íons de cálcio (Ca^{2+}) e carbonato (CO_3^{2-}), são combinados para formar o carbonato de cálcio (CaCO_3), que constitui a estrutura esquelética dos corais (MCCULLOCH et al., 2017). O cálcio vem majoritariamente de processos geológicos, como o intemperismo químico de rochas continentais (calcários, basaltos), e a chuva e os rios carregam o Ca^{2+} dissolvido até o mar. Já o carbonato é provindo do equilíbrio entre CO_2 atmosférico - natural e humano - água do mar e processos biogeoquímicos, como fotossíntese, respiração, decomposição etc. Com as mudanças abruptas do ciclo de carbono devido as recentes ações humanas, a disponibilidade do carbono tem aumentado excessivamente, resultando em efeitos como o aquecimento global.

A dinâmica da calcificação depende da interação entre o hospedeiro, suas algas simbiotes, do microbioma associado e das condições ambientais. A deposição de carbonato de cálcio (CaCO_3) ocorre em um microambiente extracelular junto ao epitélio calcoblástico, onde o organismo regula a química do fluido de calcificação como: pH, DIC (Dissolved Inorganic Carbon) e a saturação de aragonita (Ω) (Gattuso et al., 1999; Hill et al., 2019). Em outras palavras, a calcificação resulta da combinação entre: suprimento de carbono inorgânico dissolvido (DIC, principalmente $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$), remoção de H^+ e consequente elevação de pH no local de precipitação, fator extremamente importante devido a sua ligação com o favorecimento a precipitação de

aragonita, e a disponibilidade de Ca^{2+} e de uma matriz orgânica que nucleia a aragonita, responsável pelo crescimento dos corais.

O DIC utilizado vem tanto do meio externo quanto do próprio metabolismo do coral. Em corais com zooxantelas, há forte acoplamento entre fotossíntese e calcificação, a remoção de CO_2 pela fotossíntese eleva o pH nos tecidos e, por consequência, aumenta Ω no fluido de calcificação, o que acelera a deposição de CaCO_3 . Há ainda um componente metabólico, em condições típicas, 70–75% do DIC para a calcificação pode derivar do CO_2 metabólico (FURLA et al., 2000), provando que se o objetivo do trabalho é a captura em massa de CO_2 é extremamente necessário a aplicação de projetos de ampliação das áreas dos corais ocorra em grande escala.

FIGURA 4: Mecanismo da Calcificação dos Corais



Fonte: Coral calcification in a changing World and the interactive dynamics of pH and DIC upregulation (MCCULLOCH, 2017)

Legenda: Esquema representando os mecanismos de calcificação em corais escleractíneos. O fluido subcalicoblástico (espaço onde ocorre a deposição de

aragonita) apresenta condições químicas distintas da água do mar, com pH elevado ($\sim 8,3-8,6$), alta saturação de aragonita ($\Omega_{cf} \sim 15-25$) e enriquecimento em carbono inorgânico dissolvido (DIC_{cf} até 2–3 vezes maior que o do mar). Isso é regulado pelas células calicoblásticas, que: (i) transportam Ca^{2+} do ambiente externo para o espaço de calcificação via bombas Ca^{2+} -ATPase, removendo prótons (H^+) e elevando o pH; (ii) utilizam anidrase carbônica (CA), enzima que catalisa a reação reversível entre dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) para formar prótons (H^+) e bicarbonato (HCO_3^-), que é transportado para o espaço subcalicoblástico; (iii) promovem o equilíbrio químico que gera CO_3^{2-} a partir de HCO_3^- . Assim, o microambiente torna-se supersaturado em relação à aragonita, favorecendo a precipitação de $CaCO_3$ e a formação do esqueleto coralíneo.

2.6 MUSSISMILIA: FATORES INFLUENTES NA CALCIFICAÇÃO DOS CORAIS

Mais adiante, é extremamente importante ressaltar, com o objetivo de potencializar e ponderar a eficácia desse estudo, a consideração de fatores influentes, como: temperatura, pH, disponibilidade de cálcio e carbonato, acidificação oceânica e anomalias térmicas.

2.6.1 Temperatura:

A temperatura afeta a calcificação por dois principais motivos, o metabolismo e a estabilidade da simbiose. Em condições dentro da faixa ótima de cada espécie, no caso da *Mussismilia* de 26 °C a 28 °C (HADJIOANNOU et al., 2019), o aumento térmico geralmente acelera as reações metabólicas e pode elevar a taxa de depósito de $CaCO_3$, devido ao aumento da eficiência dos processos enzimáticos e transporte iônico que sustentam a calcificação. Contudo, temperaturas que excedem os limiares térmicos, no caso da espécie tratado >28 °C, induzem estresse ao hospedeiro e às zooxantelas, provocando branqueamento e perda da capacidade fotossintética, o que frequentemente resulta em queda da calcificação. Em muitos estudos de campo, como documentado em corais do gênero *Porites* na Grande Barreira de Corais (RIDD; al., 2013), essa quebra da relação térmica positiva foi documentada como um

dos principais responsáveis por declínios abruptos na produção de esqueleto em recifes tropicais. Em síntese, embora o aquecimento moderado possa aumentar calcificação dentro dos limites fisiológicos, o aumento da frequência e intensidade de eventos térmicos extremos representa hoje uma ameaça maior e mais direta à continuidade da deposição de carbono mineral nos recifes.

2.6.2 pH e Acidificação Oceânica

Além da temperatura, a química do carbono desempenha papel central. O equilíbrio entre íons bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) é fortemente dependente do pH do fluido de calcificação. Quando o coral eleva esse pH, desloca o equilíbrio em direção à formação de CO_3^{2-} , aumentando a saturação de aragonita (Ω cf) e, conseqüentemente, favorecendo a precipitação de CaCO_3 (MCCULLOCH et al., 2017). Entretanto, a acidificação oceânica, resultante da diminuição do pH da água do mar devido à absorção excessiva de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, reduz a Ω da água do mar, tornando o processo mais custoso energeticamente.

O aumento da concentração atmosférica de CO_2 , atualmente superior a 420 ppm, tem levado ao declínio constante do pH superficial dos oceanos, causando impacto direto na disponibilidade de íons carbonato essenciais para a formação dos esqueletos calcários dos corais. A consequência disso é uma redução das taxas de calcificação, que em estudos de mesocosmos recifais pode chegar a uma diminuição de até 85% da calcificação. Isso influencia diretamente a estrutura, crescimento e resistência dos recifes, aumentando a vulnerabilidade à erosão e reduzindo a capacidade de regeneração dos ecossistemas recifais. comunitária (LANGDON, et al., 2003)

Além da influência na calcificação, a acidificação oceânica afeta também a fisiologia dos corais, podendo contribuir para o branqueamento ao impactar a simbiose entre os corais e as algas zooxantelas, essenciais para a nutrição coralina (IPCC, 2019). O aumento da acidez também compromete o recrutamento e sobrevivência de larvas de corais e outras espécies calcificantes, além de afetar organismos-chave para o equilíbrio dos recifes, como as algas

coralinas crustosas, que facilitam o assentamento dos corais juvenis (Reef Resilience Network, 2024).

2.6.3 Disponibilidade de cálcio e carbonato

Nesse contexto, a disponibilidade de cálcio (Ca^{2+}) e de carbono inorgânico dissolvido (DIC) se torna igualmente essencial, limitando a precipitação de aragonita. O Ca^{2+} é derivado principalmente do intemperismo de rochas e transportado aos oceanos por rios, enquanto o DIC pode ter origem tanto no ambiente externo quanto no metabolismo do próprio coral. A calcificação requer o fornecimento contínuo de Ca^{2+} ao espaço subcalicoblástico (Malcolm et al., 2017), promovendo a nucleação e o crescimento dos cristais de aragonita, ou seja, o crescimento dos corais. Em termos práticos, para restauração ou uso de corais como sumidouros de carbono, é necessário localizar ou promover condições com boa circulação e fontes de Ca^{2+} e DIC. Essa dependência evidencia como fatores geológicos e biogeoquímicos se conectam ao metabolismo coralíneo, e como alterações globais no ciclo do carbono repercutem diretamente na eficiência da calcificação.

2.6.4 Resiliência a anomalias térmicas

As anomalias térmicas atuam como um estressor crítico, desencadeando eventos de branqueamento, afetando metabolismo, quebra de simbiose coral-alga, capacidade antioxidante e outros processos fisiológicos. Frente a isso, espécies com maiores resistências as alterações térmicas antrópicas ganham visibilidade no ramo de pesquisas sobre geoengenharia de corais.

Os corais *Mussismilia hispida* se enquadram nesse aspecto. Endêmicos da costa brasileira, esses têm mostrado uma resiliência notável a anomalias térmicas em comparação com outros grupos de corais. Estudos indicam que a espécie apresenta maior capacidade de tolerar variações de temperatura, possivelmente devido a adaptações fisiológicas específicas, como maior eficiência na dissipação de calor, produção de enzimas antioxidantes que reduzem danos e mecanismos de ajuste no metabolismo celular. Ademais, a associação com endossimbiontes do gênero *Cladocopium*, tipo específico de

zooxantela que esses corais se associam, que mesmo afetados pelo estresse térmico, demonstram uma dinâmica que permite certa manutenção da função fotossintética sob temperaturas elevadas (Lima et al., 2022; Winter et al., 2016).

Outrossim, os corais *Mussismilia hispida* do litoral paulista demonstram baixa mortalidade frente a eventos de estresse térmico severo, com taxa de mortalidade em torno de 2% durante episódios recentes, enquanto espécies semelhantes em outras regiões do mundo enfrentam mortalidade muito maior (MIES, 2019). Além disso, a presença de características ambientais locais, como a termoclina profunda que protege colônias em maior profundidade contra o aquecimento superficial, contribui para sua proteção adicional (Kitahara et al., 2019). Outra vantagem do gênero é a capacidade de manter maior concentração de pigmentos fotossintetizantes durante o estresse, o que pode reduzir os danos associados à radiação solar intensa e ao calor acumulado (Soares, 2014).

Vale ressaltar também a recente pesquisa realizada por Roberto Bastos (Bastos, 2024) que aponta exposições prévias ao estresse térmico podem conferir tolerância acrescida em eventos futuros, ou seja, há indícios de memória ambiental que modula a resposta de resistência dos corais. Esse mecanismo pode ser fundamental para resiliência a múltiplos episódios de anomalias térmicas.

Em suma, a espécie *Mussismilia hispida* apresenta importantes vantagens adaptativas frente ao aumento da temperatura oceânica, combinando resistência fisiológica e mecanismos de aclimação com condições ambientais que retardam e atenuam impactos extremos, tornando-o um modelo valioso para estudos de resiliência e estratégias de conservação de recifes frente às mudanças climáticas globais.

2.6.5 Fixação duradoura e imobilização geológica

A fixação duradoura do carbono em recifes de coral ocorre, como já explicado em detalhes em prévios capítulos, principalmente por meio da calcificação. Esse carbono mineralizado fica imobilizado em estruturas que podem durar séculos ou milênios, contribuindo para a imobilização geológica do

carbono e atuando como importante sumidouro de carbono no ciclo global (Pereira Filho et al., 2025).

O *Mussismilia Hispida*, coral escleractínio, destaca-se no contexto de avanço acelerado das mudanças climáticas devido a seu papel significativo na produção calcária e na fixação de carbono mineralizado. Entretanto, essas alterações têm prejudicado profundamente a vida desses Cnidários. O aumento da temperatura da água e maior incidência de radiação solar, podem alterar significativamente o balanço de carbono nos recifes. O estresse térmico e o excesso de luz ultravioleta promovem o branqueamento dos corais, provocado pela perda das zooxantelas simbiotes essenciais à fotossíntese e nutrição coralina. Esse fenômeno pode levar os corais a emitirem mais dióxido de carbono (CO₂) do que absorvem, pois o metabolismo do coral e sua microbiota alteram-se, potencialmente invertendo o papel do recife de sumidouro para fonte líquida de carbono por períodos críticos (PEREIRA FILHO, et al., 2025).

Além da fixação no esqueleto vivo, o carbono mineralizado também se acumula a longo prazo nos sedimentos associados aos recifes, originados pela fragmentação dos esqueletos de corais e organismos calcificantes como moluscos e algas coralinas crustosas. Essa acumulação sedimentar representa um estoque geológico importante, que contribui para a retenção prolongada de carbono fora do ciclo atmosférico ativo (PEREIRA FILHO, et al., 2025), assim como feito pelas árvores na dissociação de folhas, que continuam a armazenar carbono capturado. Assim, a conservação dos recifes não só protege a biodiversidade, mas também mantém esse reservatório natural de carbono mineralizado.

Dado o papel crucial da espécie no sequestro de carbono e a ameaça crescente representada pelas mudanças climáticas, esforços de pesquisa, monitoramento e conservação são fundamentais para garantir a função destes ecossistemas como fixadores duradouros de carbono, preservando seus serviços ambientais e climáticos em um cenário global de aquecimento e acidificação oceânica.

2.6.6 Histórico de Captura de Carbono

Pesquisas feitas no Refúgio da Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes indicam que colônias de *Mussismilia hispida* capturam cerca de 170 toneladas de carbonato de cálcio por ano, o que corresponde a aproximadamente 20 toneladas de carbono fixo anualmente. Essa fixação equivale à compensação da emissão de cerca de 324 mil litros de gasolina, ressaltando o potencial da espécie como um significativo sumidouro de gases de efeito estufa (OLIVEIRA, 2024).

Para a quantificação de captura de carbono dessa espécie, foi utilizado a tomografia computadorizada (TC), essa possibilita a computação do crescimento anual e a produção calcária desses corais, viabilizando estimativas precisas da quantidade de carbono fixado em seus esqueletos de carbonato de cálcio (CaCO_3). A técnica consiste no uso de imagens geradas por feixes de raios X para captura de várias "fatias" ou cortes transversais de um objeto ou organismo, que depois são reconstruídas por um computador em imagens detalhadas tridimensionais, possibilitando a visualização e quantificação da estrutura esquelética interna com alta precisão sem danificar as colônias. Também propicia dados sobre o volume e densidade do esqueleto de carbonato de cálcio, identificar padrões de crescimento anual, e estimar a quantidade total de carbono fixado de forma não invasiva (OLIVEIRA, 2024)

Em síntese, *Mussismilia hispida* apresenta um potencial promissor como sumidouro de carbono em ecossistemas costeiros brasileiros, desempenhando um papel fundamental tanto na formação estrutural dos recifes quanto na mitigação das mudanças climáticas globais por meio do armazenamento prolongado de carbono mineralizado.

3. DESCRIÇÃO DO MERGULHO

O local do mergulho foi a Laje de Santos, situada aproximadamente a 40 quilômetros da costa do município de Santos, Estado de São Paulo, nas coordenadas: Latitude -24.29493°, Longitude -46.17721°. As atividades do mergulho ocorreram no dia 18 de outubro de 2025, das 7h15 às 15h30, foram feitas duas decidas ao mar, ou seja, dois pontos de mergulho diferentes. A

condições físicas do mergulho foram ideais, com a temperatura da água na superfície mediada em 23°C, decrescendo para 17°C na profundidade de 20 metros, influenciada por termoclina presente na região. A temperatura média do mergulho foi de 20°C e a profundidade média foi de 12,7 metros.

A visibilidade foi satisfatória, permitindo observação detalhada da biodiversidade local, e as correntes foram moderadas, com iluminação natural adequada para o registro visual. Entretanto, devido a condições de rajadas de vento extremo, ondas muito altas, mar agitado e pouco intervalo de tempo entre as ondas, condições consideradas completamente atípicas para esse período do ano, efeitos provavelmente decorrentes das mudanças climáticas, o mergulho foi remarcado cinco vezes, e foi a primeira viagem para a Laje de Santos em 9 planejamentos da companhia Amigos do Joe.

O mergulho apresentou uma biodiversidade excepcionalmente rica, destacando-se a grande variedade de organismos marinhos. Os *DiveMasters*, afirmaram que a Laje de Santos abriga pelo menos 19 espécies distintas de corais, embora o pesquisador tenha conseguido identificar formalmente 5 espécies durante o período de observação, uma delas o coral-sol, espécie invasora que ameaça a biodiversidade marinha brasileira (FIGURA 7). Entre os organismos observados estavam diversas espécies de peixes como salema, paru, xira, badejo, garoupa, sargento, baiacu e tesoura de rabo amarelo; invertebrados como nudibrânquios, aranha do mar, holotúrios, arraia chita e polvo; além de tartarugas marinhas verdes. Infelizmente nem todos os animais conseguiram ser fotografados.

A cobertura bentônica demonstrou-se extremamente rica, com destacada presença dos corais do gênero *Mussismilia*: *Mussismilia hispida* em abundância (FIGURA 12), seguida de *Mussismilia harttii* e *Mussismilia braziliensis*, além de outros corais classificadores da região, como *Palythoa caribaeorum* (coral babão) (FIGURA 7).

FIGURA 5: Captura de tela do aplicativo SSI mostrando as informações do primeiro mergulho



Fonte: autoria própria

FIGURA 6: Captura de tela do aplicativo SSI mostrando as informações do segundo mergulho



Fonte: autoria própria

FIGURA 7: Coral-sol



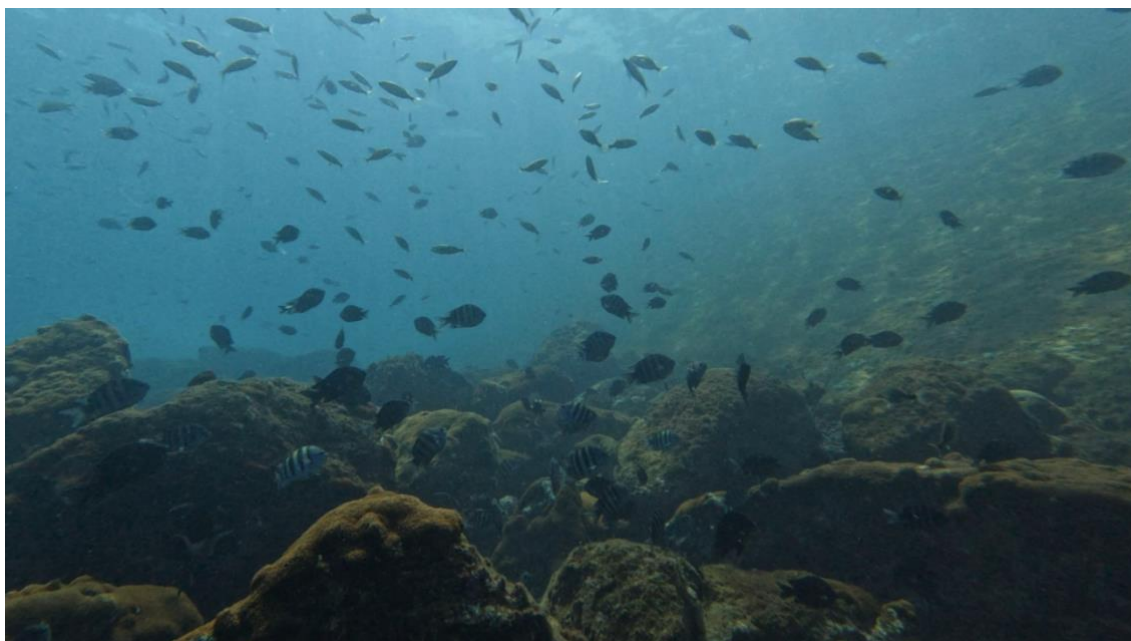
Fonte: autoria própria

FIGURA 8: Compilado dos animais avistados – 1. Água Viva; 2. Polvo; 3. Baiacu; 4. Tartaruga Marinha Verde



Fonte: autoria própria

FIGURA 9: Abundância de vida no ponto de mergulho



Fonte: autoria própria

Durante o mergulho foram identificados sinais de impactos antropogênicos, notadamente a presença de lixo marinho como redes de pesca e tampinhas de garrafa, que ameaçam a integridade dos corais e demais organismos. Esses materiais atuam como barreiras físicas ao crescimento coralíneo, podendo causar abrasões e lesões nos pólipos, desfazendo anos de esforços energético e nutricional, resultado de lentos processos de calcificação e simbiose com as zooxantelas. A deposição de microplásticos também representa uma ameaça crescente, pois essas partículas podem ser ingeridas por organismos filtradores e alterar processos fisiológicos essenciais, como a alimentação e a fotossíntese das zooxantelas simbióticas, além de causarem prejuízos a fauna local, que ataca diretamente a qualidade e integridade da flora, como os corais.

O acúmulo de resíduos nas proximidades dos recifes indica que, mesmo em áreas marinhas tecnicamente distantes da costa, nesse caso 40 quilômetros, as atividades humanas exercem influência direta, resultado do transporte de poluentes por correntes oceânicas e pela ausência de gestão eficaz de resíduos nos centros urbanos próximos, como Santos e Guarujá. A afirmação prova que, para a manutenção dos corais e da vida marinha oceânica, mesmo que distante

da costa de centros urbanos, é indispensável o investimento contínuo em políticas de limpeza, manejo e destinação adequada de resíduos das zonas costeiras e praias, uma vez que os detritos lançados nesses ambientes acabam sendo transportados pelas correntes marinhas até regiões dos mais profundos recifes.

A pesquisadora não encontrou nenhum coral completamente branqueado, porém, a maioria dos pólipos tinha algum indício de sinal de branqueamento (FIGURA 14), reflexo do estresse ambiental crescente. Esse fenômeno indica a perda temporária ou permanente das zooxantelas, podendo estar relacionado às variações abruptas de temperatura registradas durante o mergulho, especialmente à termoclina, que reduziu a temperatura da água em até 6°C em poucos metros de profundidade. Mudanças térmicas rápidas, associadas ao aumento da frequência de eventos extremos, como as rajadas de vento e o mar agitado mencionados, refletem diretamente o avanço das mudanças climáticas e o consequente aumento do estresse fisiológico sobre os recifes da região.

Não houve presença de pescadores nas redondezas das atividades de mergulho, o que é considerado um fator ótimo para a conservação local. A Laje de Santos, mesmo sendo uma Unidade de Conservação (Parque Estadual Marinho da Laje de Santos), não está imune a degradação ambiental ou aos impactos da pesca artesanal e turística. Pelo contrário, como evidenciado pela entrevista com Wagner Botero: (Apêndice A)

“O fim de semana não tem pescador lá, porque eles sabem que vão ser denunciados. No entanto, quando você mergulha lá você vai achar linha, achar anzol. Durante a semana eles estão lá. Desse jeito você evita a pesca esportiva porque o cara da pesca esportiva só tem no fim de semana. Então, ele não vai mais para a laje.”

Os barqueiros presentes na equipe do mergulho fizeram afirmações semelhantes. Porém vale ressaltar a presença de dezenas de navios de carga nas redondezas do ponto de mergulho, representando ameaça eminente no caso de vazamento de combustível ou perda de cargas (FIGURA 11).

Sendo assim, a necessidade de políticas mais rígidas de monitoramento e educação ambiental voltadas à redução de impactos antrópicos, assim como monitoramento e limpeza das praias e ambientes costeiros se mostram imprescindíveis para a implantação de qualquer programa para o uso de corais como sumidouros carbonáticos.

FIGURA 10: Coral-babão (*Palythoa caribaeorum*) em início de processo de branqueamento



Fonte: autoria própria

FIGURA 11: Navios de carga a menos de 7 quilômetros do parque Estadual Marinho



Fonte: autoria própria

FIGURA 12: *Mussismilia hispida*



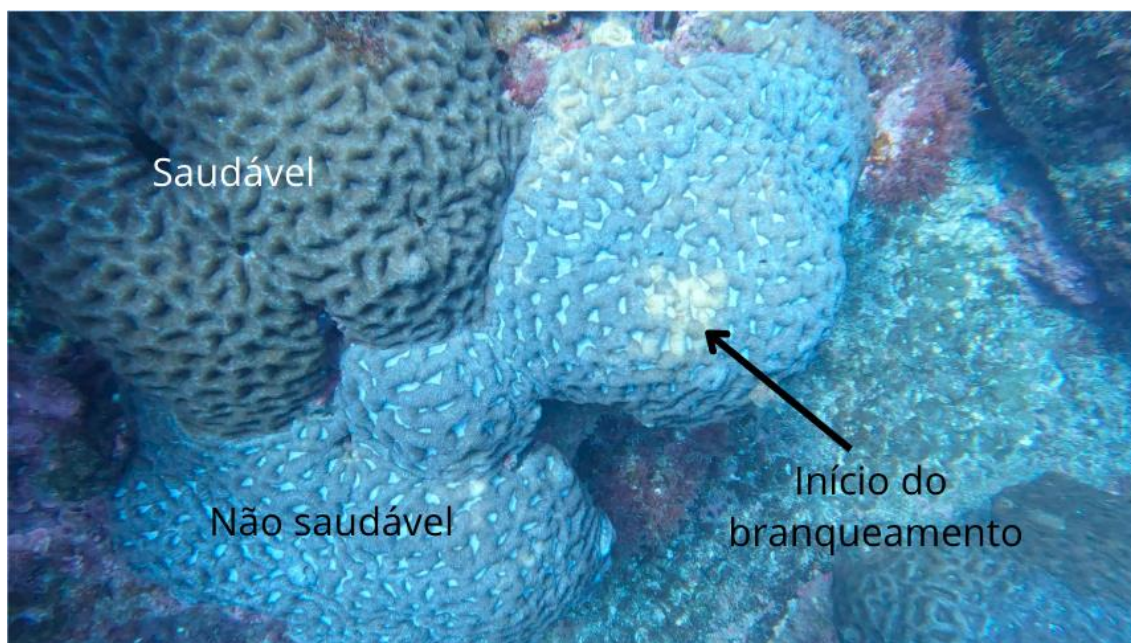
Fonte: autoria própria

FIGURA 13: *Mussismilia Hispida* branqueado



Fonte: autoria própria

FIGURA 14: Corais *Mussismilia hispida* em diferentes estados de saúde



Fonte: autoria própria

4. METODOLOGIA

4.1 CRECIMENTO CORALÍNEO

Para avaliar a calcificação coralíneo e seu potencial na captura de carbono, foram utilizados alguns métodos, tanto empíricos como teóricos.

A etapa do projeto de visita a campo buscou avaliar e evidenciar a presença das espécies do gênero *Mussismilia* na Lage de Santos, localizada a 22 milhas náuticas da costa de Santos (Imagem 9) coordenadas Latitude -24.29493°, Longitude -46.17721°, um microcosmo do litoral do Sudeste brasileiro. Para a captura dos vídeos e fotos para a avaliação dos corais, foi utilizada uma GoPro Hero 10 Black configurada para garantir a melhor qualidade possível dos registros subaquáticos. A câmera foi ajustada para gravar em resolução 5.3K a 30 quadros por segundo, enquanto as filmagens foram feitas em 4K a 60 quadros por segundo, proporcionando maior fluidez. A lente digital utilizada foi a Linear com Horizon Leveling, o que reduziu distorções e manteve o enquadramento estável ao longo das gravações. As configurações do Protune incluíram bitrate em nível alto, obturador no modo automático, ISO mínimo de 100 e máximo de 1600 para evitar ruídos visuais, balanço de branco fixo em

5500K para assegurar consistência cromática, cor no modo Flat para permitir correções mais precisas na pós-produção e nitidez em nível médio para evitar artefatos digitais. Nas filmagens realizadas até 10 metros de profundidade, foi utilizado um filtro vermelho, compensando a perda dos tons quentes e recuperando a fidelidade das cores dos corais. Para as fotografias, a GoPro foi configurada para capturar em formato RAW, com resolução máxima de 23 megapixels, assegurando grande riqueza de detalhes e flexibilidade de edição. A lente foi mantida no modo Linear para minimizar distorções, com balanço de branco ajustado em 5500K, ISO mínimo de 100 e máximo de 800, e nitidez baixa para garantir um aspecto mais natural. Todas essas configurações foram adotadas com o objetivo de assegurar padronização, qualidade e fidelidade cromática nas imagens coletadas, contribuindo para a precisão das análises comparativas do crescimento coralíneo ao longo do projeto.

FIGURA 15 – Foto aérea do local de pesquisa



Fonte: *Google Earth (autoria própria)*

4.2 AVALIAÇÃO MORFOLOGICA

Como segundo método, serão tiradas fotos mais próximas e de mais alta resolução dos corais, permitindo a avaliação de sua morfologia e estado físico, como tamanho, branqueamento, cores, simbiose com algas etc. Tais itens serão extremamente importantes para a avaliação do sequestro de carbono dos corais.

4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ademais, por meio de revisão bibliográfica, serão analisados dados de estudos já presentes da literatura, permitindo o uso de informações precisas e

confirmadas como: coleta e fixação de carbono, crescimento e tamanho de outras espécies de corais e comparações com ambientes de diferentes características oceanográficas. A revisão visa contextualizar os resultados obtidos em campo, fundamentando a discussão em bases científicas consolidadas.

4.4 ENTREVISTA COM ESPECIALISTA

Para auxiliar as pesquisas e embasar a tese desse estudo, esse trabalho irá utilizar de entrevistas com um especialista na área. Nesse sentido, o pesquisador elaborou 14 perguntas, aprovadas pelo professor orientador do trabalho. Assim, seguindo o modelo de entrevista estruturada, realizou-se o diálogo com O mergulhador Wagner Antônio Botero, conhecido como Joe, instrutor certificado pelas maiores organizações de mergulho do mundo (SSI, PADI, IANTD, TDI, SDI e CMAS), com mais de 41 anos de experiência no local de pesquisa.

5. *IMPACTOS ECONOMICOS*

É importante ressaltar a possibilidade da geração de empregos para trabalhadores da área da pesca predatória, essas ocupações, embora ilegais, poderiam ser de ótimo uso pensando na aplicação do projeto, devido aos conhecimentos, marítimos e ambientais, desses trabalhadores (Apêndice A)

“Que é um projeto (exemplificando a aplicação do projeto Tamar) que não vive só de “negar e proibir”, eles pegam quem são os grandes predadores de tartarugas, a pesca. Então você vê, ao invés de estar matando, vem trabalhar pro projeto (Tamar), onde dá para ganhar dinheiro, sustentar a sua família dignamente com outros recursos, que não seja pesca predatória. Então você tem que dar para a pessoa alternativa de vida. Qualquer projeto que não contemple que a pessoa que está degradando aquilo, já que é o meio de substância dela, está indo no caminho contrário, não vai resolver. Porque você quer proibir o cara que ele vive daquilo. (...) O pescador não é meu inimigo, ele vai ser meu parceiro.”

Esses trabalhadores possuem um conhecimento valioso sobre o mar, adquirido ao longo de anos de convivência direta com o ambiente costeiro, as correntes, as espécies e os ciclos naturais. Tal saber, muitas vezes ignorado pelas políticas públicas tradicionais, pode ser reaproveitado e integrado a iniciativas de conservação, tornando esses indivíduos agentes ativos na recuperação e no monitoramento dos ecossistemas marinhos. A requalificação

profissional dos pescadores, por meio de programas de capacitação ambiental e científica, possibilita que eles atuem em funções como guias de turismo ecológico, assistentes de pesquisa ou monitores ambientais, atividades que unem geração de renda com preservação ambiental e inserem trabalhadores antes do meio ilegal em algo honesto e rentável. Essa transição de um modelo predatório para um modelo sustentável não apenas fortalece o vínculo das comunidades com o mar, mas também reduz conflitos socioambientais, promovendo inclusão social e valorização do trabalho tradicional. Dessa forma, o projeto não apenas protege os corais, como também reconstrói relações humanas com o oceano, transformando antigos agentes de degradação em parceiros da conservação e do desenvolvimento sustentável.

Vale discutir também a vantagem que esse projeto representa a São Paulo. O estado, por ser o mais rico do país, poderia usar desse enorme potencial econômico investindo em um setor que além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, tem impacto positivo direto na geração de empregos, incentivo ao turismo, e conservação da biodiversidade. Dessa forma, fica clara a relevância de combinar esforços multidisciplinares para a valorização, a implementação da conservação de corais *Mussismilia hispida* e proliferação dos mesmos na Laje de Santos, assim como em toda costa do litoral do estado de São Paulo. Não apenas os avanços científicos sobre a biologia e ecologia do coral são essenciais, mas também o desenvolvimento econômico e social da região deve estar alinhado com princípios de sustentabilidade. Investimentos direcionados, tanto governamentais quanto privados, em pesquisa, manejo ambiental, infraestrutura turística e programas de educação ambiental podem potencializar significativamente a preservação deste ecossistema marinho, garantindo benefícios ambientais e socioeconômicos de longo prazo para o estado de São Paulo.

Em mais detalhes, o possível impacto que esse projeto geraria no turismo sustentável e científico como uma oportunidade de geração contínua de renda associada à conservação dos ecossistemas marinhos é enorme. A criação de áreas de visitação controladas, trilhas subaquáticas e centros de pesquisa abertos ao público permite unir educação ambiental, lazer e valorização da biodiversidade. Atividades como o mergulho consciente, a observação de espécies e a participação em expedições científicas podem atrair visitantes

nacionais e internacionais, estimulando tanto a economia local, como a economia estadual, de forma equilibrada. Além disso, o turismo científico promove a troca de conhecimento entre pesquisadores, estudantes e comunidades locais, consolidando uma cultura de cuidado e respeito pelos recursos naturais. Essa abordagem fortalece a imagem do estado de São Paulo como referência em inovação e sustentabilidade, transformando a Laje de Santos e outras áreas marinhas protegidas em polos de pesquisa, educação e turismo ecológico.

A longo prazo, é fundamental compreender que investir na natureza é economicamente mais vantajoso do que reparar os danos causados por sua degradação. Projetos de restauração e mitigação de impactos ambientais exigem recursos financeiros muito maiores do que ações preventivas de conservação. Preservar ecossistemas como os recifes de coral significa investir em ambos os aspectos ao mesmo tempo. Manter serviços ecossistêmicos essenciais como proteção costeira, equilíbrio climático e suporte à pesca sustentável ao mesmo tempo que promovem a preservação do meio ambiente, removem com rapidez e efetividade os gases do efeito estufa já emitidos. Portanto, direcionar subsídios públicos e privados para a conservação marinha não é apenas uma escolha ambiental, mas também uma estratégia econômica inteligente e de longo prazo. Ao proteger a biodiversidade e incentivar práticas sustentáveis, o estado garante estabilidade econômica, fortalecimento comunitário e segurança ambiental para as próximas gerações.

Por fim, ao unir ciência, conservação e economia, o projeto de valorização da Laje de Santos pode se tornar um modelo de desenvolvimento sustentável para o litoral brasileiro, demonstrando que a preservação ambiental é, ao mesmo tempo, uma oportunidade econômica e uma necessidade climática.

6. CONCLUSÃO

Sendo assim, a partir das análises detalhadas realizadas ao longo do projeto, das coletas de campo e da entrevista realizada, pode-se concluir que o coral *Mussismilia hispida* representa um grande potencial para se tornar um importante sumidouro carbonático, sendo uma espécie estratégica para o

direcionamento de investimentos públicos e privados visando a contenção das mudanças climáticas. Essa afirmação fundamenta-se nas características biológicas e ecológicas da espécie apresentadas ao longo do trabalho, como sua elevada capacidade de calcificação, longevidade satisfatória e resistência superior a outras espécies diante das variações de temperatura oceânica. Além disso, destaca-se pela fixação duradoura e pela imobilização geológica de carbono por longos períodos, associadas a um histórico consistente de captura de carbono e ampla distribuição ao longo do litoral brasileiro. Entre as vantagens de *Mussismilia hispida* está sua habilidade de se desenvolver em águas rasas e em ambientes com certa turbidez, o que favorece sua resiliência frente a pressões ambientais locais. Sua forma hemisférica e estrutura robusta também possibilitam o crescimento de colônias de grande porte, contribuindo de maneira mais expressiva para o sequestro de carbono em comparação com corais mais delicados.

A região da Laje de Santos, localizada em São Paulo, possui um enorme potencial para sustentar esse tipo de desenvolvimento sustentável. Conforme ressaltado na entrevista com Joe, a Laje é um ambiente rico em biodiversidade (Apêndice A)

“É uma biodiversidade muito grande, muito abundante, mas nós já tivemos no passado uma Laje com muita mais biodiversidade (...) é constante a visita de tartarugas, de moreia (...) A Laje de Santos tem uma importância muito grande dentro da biodiversidade Marinha. É um ponto pouco afastado da costa, com água muito bacana, muito limpa (...) Muito coral cérebro, o que mais você vai encontrar diversificado assim. E tem muita esponja na laje. É um substrato bem vivo, bem rico, bem legal. Tem muito peixe bentônico, muitos animais bentônicos. Então tem uma biodiversidade gigantesca.”

Ademais, vale ressaltar que, para a implantação do projeto, é extremamente interessante que a região de aplicação já possua uma fauna e flora relacionada a espécie *Mussismilia hispida*, confirmando que ao adicionar um coral artificialmente ou incentivar a proliferação dos já existentes, não represente ameaças para a biodiversidade local. Por isso, o litoral de São Paulo, especificamente a Laje de Santos, como presenciado na visita a campo onde foram encontrados diversos corais da espécie, é ideal para a aplicação desse projeto.

A implantação de recifes artificiais já é adotada com sucesso em outras regiões do Brasil, como Recife e Salvador. Além de acelerar a recuperação dos habitats marinhos degradados e ampliar ainda mais a capacidade do local como sumidouro de carbono, a criação desses recifes é uma tecnologia relativamente simples e pouco custosa. que promove a biodiversidade e pode tornar a Laje mais atrativa para o turismo, além de colaborar com a recuperação dos corais afetados pelo aquecimento das águas. Relatos presenciados na entrevista afirmam um aumento considerável da temperatura do mar da região, números não tão expressivos a espécie humana podem representar a diferença para o fim de uma espécie no local, assim como o branqueamento completo dos corais (Apêndice A)

Eu já mergulhei em laje de Santos no passado que não tinha nada de branco. Hoje não tem mergulho lá que você não vai identificar corais brancos, corais mortos (...) (Sobre a diferença de temperatura das águas) Aproximadamente assim, mudou um grau e meio. Eu já peguei água na Laje de Santos, oque não seria uma coisa comum, de 27 graus. O normal da laje em água até uns 10 metros 22, 23, 24 graus. Se eu pegar 40 anos atrás, realmente não tinha água tão quente. Deve ter aumentado um grau, um grau e meio, dois graus talvez, de diferença pra cima.

Além das vantagens ambientais, a valorização sustentável da Laje de Santos pode impulsionar diferentes setores da economia regional e estadual, principalmente turismo e geração de empregos, como explicado no capítulo 5. Adicionalmente, vale destacar a necessidade contínua de estudos e pesquisas a cerca de técnicas de restauração e fertilização de corais como: métodos de propagação assistida, bioengenharia, engenharia genética, uso de substratos artificiais etc. É necessário que cada vez mais seja comprovando que medidas de conservação e proteção ambientais são necessárias e não opcionais. Dessa forma, é fundamental que pressões constantes sejam direcionadas aos órgãos públicos para que adotem políticas efetivas, como a geoengenharia de corais, para a mitigação das mudanças climáticas.

Por fim, é fundamental lembrar que a conservação efetiva está ligada à conscientização e à participação da sociedade, como afirmado por Wagner Botero (Apêndice A)

“As pessoas só protegem aquilo que elas conhecem e sabem da importância que tem”

A proteção da Laje de Santos e da *Mussismilia hispida* deve ser encarada como prioridade estratégica para o Brasil, que possui um rico patrimônio natural e biodiversidade marinha, com potencial para se destacar globalmente no combate às mudanças climáticas pela valorização dos sumidouros de carbono naturais.

REFERÊNCIAS

- BAKER, Andrew; GLYNN, Peter; RIEGL, Bernhard. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008.
- CAPARELLI, Alice. Esforço Reprodutivo de *Mussismilia braziliensis* (Verrill, 1868) no Complexo Recifal dos Abrolhos, BA, Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- EPA. Stony Coral Rapid Bioassessment Protocol. U.S. Environmental Protection Agency, 2007.
- GEMELLI, Fabio. Os impactos do uso da geoengenharia nos sistemas humanos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.
- GEND, Yong; FUJITA, Tsuyoshi; PARK, Hung-suck; CHIU, Anthony Chiu; HUISINGH, Donald. Call for papers: Towards post fossil carbon societies: regenerative and preventative eco-industrial development. 2014
- HADJIOANNOU, Louis; JIMENEZ, Carlos; ROTTIER, Cécile; SFENTHOURAKIS, Spyros; FERRIER-PAGÈS, Christine. Response of the temperate scleractinian coral *Cladocora caespitosa* to high temperature and long-term nutrient enrichment. 2029
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Relatório especial sobre o aquecimento global. 2019.
- KEITH, David. Geoengineering the climate: history and prospect. Annual Review of Energy and the Environment, 2000.

KITAHARA, Manuela. Influência da termoclina na proteção de corais em Alcatrazes, 2019.

McCULLOCH, Malcolm; FALTER, James; TROTTER, Julie; D'OVICO, James. Coral calcification in a changing world and the interactive dynamics of pH and DIC upregulation, 2017.

MIES, Matheus. Monitoramento de branqueamento em *Mussismilia hispida* no litoral paulista. Instituto Oceanográfico USP, 2019.

OLIVEIRA, Luiz de Souza. Produção de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) por *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) na região subtropical do Sudoeste do Atlântico, 2024. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Marinha e Costeira) – Universidade Federal de São Paulo, Instituto do Mar, Santos, 2024.

PAULAY, Gular. Diversity and Distribution of Reef Organisms. In: BIRKELAND, C. (ed.) Life and Death of Coral Reefs, 1997.

PEREIRA FILHO, et al. Corais de Alcatrazes capturam por ano carbono equivalente à queima de 324 mil litros de gasolina. Marine Environmental Research, 2025. Disponível em notícia da Agência Fapesp. 2025.

PICCIANI, Natasha; KERLIM, Jamie; JINDRICH, Katia; HENSLEY, Nicholai; GOLD, David. Effects of coral growth morphology on the optical environment of coral reefs. UFSC, 2016.

PIRES, Débora; CASTRO, Clovis; RATTO, Cecília. Reef coral reproduction in the Abrolhos Reef Complex, Brazil: the endemic genus *Mussismilia*. Marine Biology, 1999.

RIDD, Peter; SILVA, Eduardo; Stieglitz. Have coral calcification rates slowed in the last twenty years? Marine Science, 2013.

ROYAL SOCIETY. Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty. London: Royal Society, 2009.

SILVA, Alexsandro; FIGUERÊDO, Juzenilda. A importância da espécie *Mussismilia braziliensis* para o Banco dos Abrolhos. Revista Brasileira de Ecologia, 2021.

SILVA, Isabel. Ciclos isotópicos e taxa de crescimento em *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902): um registro para o Atlântico Sul. 2019. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

SOARES, Vivian. Suscetibilidade do coral *Mussismilia harttii* ao aumento da temperatura da água do mar. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, 2014.

TEDESCO, Erik; SEGAL, Bárbara; CALDERON, Emiliano; SCHIAVETTI, Alexandre. Conservation of Brazilian coral reefs in the Southwest Atlantic Ocean: a change of approach. Latin American Journal of Aquatic Research, 2017.

TOLEDO, Alexandra Paris. Sistemática de corais do gênero *Mussismilia*, Ortmann, 1890 (SCLERACTINIA: FAVIIDAE). 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas – Biologia Marinha) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, 2022.

URBINA-BARRETO, Isabel; GARNIER, Rémi; ELISE, Simon; PINEL, Romain; DUMAS, Pascal; MAHAMADALY, Vincent; FANCON, Mathilde; BEREAU, Sophie; PEIGNON, Christophe; QUOD, Jean-Pascal; DUTRIEUX, Eric; PENIN, Lucie; ADJEROUD, Mehdi/ Which Method for Which Purpose? A Comparison of Line Intercept Transect and Underwater Photogrammetry Methods for Coral Reef Surveys. *Frontiers in Marine Science*, 2021.

ZHANG, Zhihua; MOORE, John C.; HUISINGH, Donald; ZHAO, Yongxin. Review of geoenvironmental approaches to mitigating climate change. *Journal of Cleaner Production*, 2014.

APÊNDICE A – ENTREVISTA COM WAGNER ANTÔNIO BOTERO

Beatriz: Como você descreveria a Laje de Santos? Quais as diferenças com outros lugares que você já mergulhou.

Joe: Laje de Santos, como nome diz é uma pedra que aflora para fora da água, diferente de quando eu tenho parcel, parcel totalmente subaquático. Então a Laje é um costão rochoso, 550 metros de comprimento, 180 metros de largura, 40 quilômetros aproximadamente da costa de São Vicente, Santos. E próximo a ele, quase 3 milhas náuticas, temos a outra floração que é o Calhaus. Juntamente com alguns parcéis, formam o arquipélago do Parque Marinho Estadual da Laje de Santos, que fez 32 anos agora.

O parque é bem conservado principalmente pela constância de mergulhadores, não tanto por fiscalização, por normatização, que praticamente não tem fiscalização nenhuma lá, mas como os mergulhadores estão lá todo final de semana, e aí há interesse comercial das operadoras para poder trabalhar, isso é uma coisa bastante importante em todos os projetos, tem que ter uma conciliação de interesse turístico, econômico e preservação. Você fala, só é proibido, não adianta nada. Se os mergulhadores não forem lá na primeira operação do mergulho, tenho certeza que infelizmente a Laje vira um parque de pesca fantástico.

Então é uma biodiversidade muito grande, muito abundante, nós já tivemos no passado uma Laje com muita biodiversidade.

Beatriz: Você sente que teve muita diferença de uns anos para cá?

Joe: Muito, 41 anos de mergulhando lá, caiu-se em um determinado tempo, e depois com esse ativismo, com essa proteção das próprias operadoras de mergulho, sendo muito franco, a ação governamental eu acho ridículo, é zero.

Beatriz: Então podemos afirmar você nunca viu uma propaganda de conservação por parte estadual, governamental, na Laje?

Joe: Muito pouco, hoje se cobra uma taxa para o Parque Marinho, 19 reais. Diferentemente do Parque Marinho de Abrolhos, por exemplo, ninguém do ICMBio vem te visitar, vem no seu barco para dar uma palestra, você não vai receber um panfleto, então isso é lamentável, você se pergunta, o que fazem com o seu dinheiro? Usou-o para quê? Existem projetos, como o projeto Manta, ele é ONG, ou por exemplo o projeto da própria Laje de Santos, ele é uma ONG, então o que o Estado em si, a Secretaria do Estado de São Paulo, de meio ambiente, está fazendo? Muito pouco, cobra uma taxa, não tem fiscalização praticamente, quando tem são os próprios operadores de mergulhos que vão lá e informam os órgãos governamentais que alguém está pescando, que alguém está agindo de forma irregular, falta muito nesse aspecto

Beatriz: Sobre o embranquecimento dos corais, você nota diferença?

Joe: Então há uma perda bem grande por causa do embranquecimento de corais na Laje, é notório isso. Facilmente perceptível

Beatriz: E com essa diferença você também vê perdas de peixe, de vida marinha?

Joe: Então agora deu uma boa recuperada, não é o que era há 40 anos atrás, obviamente, mas deu uma boa recuperada, então por exemplo, é constante a visita de tartarugas, de moreia, então realmente tem bastante e aumentou bastante a quantidade de tartarugas aqui no Brasil, parabéns para o projeto do Amar. Que é um projeto que não vive só de “negar e proibir”, eles pegam quem são os grandes predadores de tartarugas, a pesca. Então você vê, ao invés de estar se matando, vem trabalhar o projeto, onde dá para ganhar dinheiro, sustentar a sua família dignamente com outros recursos, que não seja pesca predatória. E aí funcionou, então tem alguns projetos muito bons no Brasil.

Beatriz: E como funciona esse outro projeto que você falou, o projeto da Laje de Santos.

Joe: Não é da Secretaria de Turismo. É o Laje Viva. Para também incentivar, conscientizar a população da importância. Porque a Laje, sendo um parque marinho, seria muito legal ele ser melhor explorado turisticamente, até pra quem não é mergulhador. Para o turista mesmo, passear lá, fazer snorkeling. E com isso a gente gerar mais recursos e conscientização. As pessoas só protegem aquilo que elas conhecem e sabem da importância que tem.

A Laje de Santos tem uma importância muito grande dentro da biodiversidade Marinha. É um ponto afastado da costa, com água muito bacana, muito limpa. A temperatura que não é tão agradável para nós, seres humanos. Também vale falar que é um ponto de reprodução muito importante. Todo parque marinho da Laje de Santos.

Assim, já melhorou bastante. Falta muito incentivo, né? Por exemplo, o Brasil é pobre absurdamente em criação de Recifes Artificiais. Que caberia muito aqui. O único lugar no Brasil que explorou bem esse recurso foi Recife. Que teve ajuda de pessoas interessadas em fazer. Tanto da Marinha, quanto da Secretaria de Turismo de Pernambuco.

Depois vem Salvador. Já tem três ou quatro barcos afundados bacanas, muito interessante e grande porte.

E São Paulo, que é essa potência. Que é capital de mergulho do Brasil. No sentido de maior parque de mergulhadores que nós temos. Mas infelizmente não tem nada.

A Laje de Santos seria um projeto bastante interessante. Ela e todo o seu parque marinho. Desenvolve turismo, vai ter interesse pra caramba das pessoas mergulharem. Pode até atrair outros mergulhadores de outros estados. Quem sabe a gente consiga um dia atrair gente de outro país. Mas sem esse incentivo não dá.

E o Recife Artificial é algo maravilhoso. Os projetos não são difíceis de se desenvolver. Depois é, deixa por conta da natureza. Vai virar uma colônia e abrigo de um monte de animal. Vai virar órgão de reprodução, de habitat, de proteção. O animal vai lá pra dormir, pra se refugiar é fantástico. Vai ser desenvolvimento de coral, de animais, de tudo, fauna e flora marinha.

O Recife Artificial vai desenvolver. Eu acho que nós estamos anos de atraso para fazer, deveria ter sido feito há muito tempo. No Caribe por exemplo, é difícil ser um lugar que não tem fazenda. Não é algo difícil fazer e não é caro.

Beatriz: Então você indo mergulhar lá, nunca viu nenhum ativismo ou propaganda ambiental?

Joe: Praticamente nada. Da Laje Viva um pouco, mas só porque a gente tá aqui no DiveCenter. Mas lá, o cliente chegar, ter uma panfletagem, uma palestra, não. Os monitores da laje, por que todo barco tem que ter um monitor, que dão uma mini palestra de conservação: como é que nós vamos atuar no mergulho lá? Mas assim, falando em um projeto, da secretária de turismo, do meio ambiente etc. Uma coisa estadual de São Paulo, dessa potência que nós somos. É nada, podia ter sim, mas é nada.

Beatriz: Teve algum episódio marcante de mortalidade de corais? Porque você mencionou que teve essa caída e depois estabilizou, melhorando agora com essa conscientização.

Joe: A biodiversidade marinha melhorou. Os corais não, piorou e muito. A morte dos corais, o branqueamento piorou. Vem aumentando gradativamente. Eu já mergulhei em laje de Santos no passado que não tinha nada de branco. Hoje não tem mergulho lá que você não vai identificar corais brancos, corais mortos. Ninguém que mergulhou pouco tempo percebe isso, “eu mergulhei lá no ano passado e vi diferença”, mentira. Você tem que ter 30 anos mergulhando lá pra você falar assim “Mudou um grau”.

Beatriz: Quanto é o normal da temperatura da Laje de Santos? Quanto de temperatura mudou?

Joe: Aproximadamente assim, mudou um grau e meio. Eu já peguei água na laje de Santos, o que não seria uma coisa comum, de 27 graus. O normal da laje em água até uns 10 metros 22, 23, 24 graus.

Abaixo dos 10 metros é muito normal o termoclina, você pega água de 17, 16, 18. Já peguei água de 14 graus.

Beatriz: E a 40 anos atrás, qual era o normal?

Joe: Se eu pegar 40 anos atrás, realmente não tinha água tão quente. Deve ter aumentado um grau, um grau e meio, dois graus talvez, de diferença pra cima.

Beatriz: Você acha então que com a presença dos mergulhadores a preservação da laje é melhor do que seria sem?

Joe: Tenho certeza absoluta. A única coisa que faz a laje ter conservação hoje é a presença do mergulhador. Mas é uma pena, o fim de semana não tem pescador lá porque eles sabem que vão ser denunciados.

No entanto, quando você mergulha lá você vai achar linha, achar anzol. Durante a semana eles estão lá.

Você evita a pesca esportiva porque o cara da pesca esportiva só tem no fim de semana. Então, ele não vai mais para a laje. Mas sem os mergulhadores com certeza absoluta vai piorar muito.

É pouco difundido o parque é um parque aberto à população. Qualquer um pode ir com a sua própria embarcação. É só recolher a taxa, mas também não tem fiscalização nenhuma.

Mas tem muito trabalho para se fazer, proibir turismo ou não o incentivar, é pior para a preservação. Se não fica um monte de pesqueiro clandestino em volta. Não adianta nada porque é realmente muito abundante a biodiversidade, tanto de quantidade como de diversidade de animais.

Beatriz: E sobre a diversidade de corais?

Joe: O Brasil tem 41 espécies de corais. 21 são endêmicas. O maior parque coralíneo do Brasil é o sul da Bahia. Agora quantas espécies distintas tem na laje? Se eu tivesse que chutar pra você, acho que bem perto de 20. Muito coral cérebro, o que mais você vai encontrar diversificado assim. E tem muita esponja na laje.

É um substrato bem vivo, bem rico, bem legal. Tem muito peixe bentônico, muitos animais bentônicos. Então tem uma biodiversidade gigantesca.

Beatriz: E a presença de lixo?

Joe: Infelizmente tem, muita. É próximo da costa se você pensar em oceano. 4 quilômetros é nada. Nossa, a costa é muito suja, o ser humano despeja muito lixo no mar.

Então não só o que é levado pelas chuvas, que é o grande potencial, mas na praia. Nossas praias do sudeste, praias do Guarujá, Santos, São Vicente. É tenso o negócio de sujeira. E o mar pega, recolhe isso e vai embora.

Beatriz: O que você pensa sobre a pesca predatória?

Joe: As pessoas tem uma visão muito ruim sobre essas pessoas né “Ah, o cara matou uma tartaruga, tá vendo?” Então você não vive de pesca, você não sustenta a sua família disso, então é fácil pensar assim. Você não é atingido. É

igual o socialista na varanda gourmet. Reclamando de alguma coisinha. Ele não está lá para sofrer as consequências. Então você tem que dar para a pessoa alternativa de vida.

Qualquer projeto que não contemple que a pessoa que está degradando aquilo, já que é o meio de substância dela, está indo no caminho contrário, não vai resolver. Porque você quer proibir o cara que ele vive daquilo. Para você é fácil, você não vive disso.

“Ninguém mais mata tartaruga” Você vive da pesca? Não, dá uma outra alternativa para o cara. Que aí funciona aí o projeto funciona, igual o projeto do Tamar. Pega o cara, vai vender camiseta, vai vender pulseirinha, vai fazer palestra, vive disso. O pescador não é meu inimigo, ele vai ser meu parceiro. Vou pegar o know-how dele e ensinar as pessoas o que fazer quando pega uma tartaruga, o que fazer com linha de pesca, quais são as espécies ameaçadas etc.