

Miguel Loiola Miranda

**TOLERÂNCIA DE *Mussismilia braziliensis* (ANTHOZOA:
SCLERACTINIA) À SEDIMENTAÇÃO**

Salvador, 2012



Universidade Federal da Bahia

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia

Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia para obtenção do
Título de Mestre em Ecologia e Biomonitoramento

Aluno: Miguel Loiola Miranda

Orientação: Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi (UFBA)

Co-Orientação: Dra. Marília de Dirceu Machado Oliveira (UFBA)

Salvador, 2012

**TOLERÂNCIA DE *Mussismilia braziliensis* (ANTHOZOA: SCLERACTINIA) À
SEDIMENTAÇÃO**

Miguel Loiola Miranda

BANCA EXAMINADORA:

ORIENTADOR:

Dr. RUY KENJI PAPA DE KIKUCHI (UFBA)

TITULARES:

Dra. ZELINDA MARGARIDA DE ANDRADE NERY LEÃO (UFBA)

Dr. LEO XIMENES CABRAL DUTRA (CSIRO)

Salvador 2012

**“Não pode haver nenhuma paz interior
sem o verdadeiro conhecimento”**

(Mahatma Gandhi)

**Dedico este trabalho aos recifes de corais,
santuários da vida, que hoje
gritam socorro perante os homens**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, a minha força e por quem eu vivo. Em especial aos meus pais, Maria Loiola e Jair Miranda, pela prazerosa oportunidade de viver e pelos ensinamentos e incentivo incondicional. Agradeço às minhas irmãs, Lili e Joana, e aos meus sobrinhos, Manuela e Matheus, por estarem também sempre ao meu lado. Agradeço a minha avó, o meu exemplo maior de ser humano. Agradeço a Júlia, minha companheira, por me amar, respeitar e ensinar. Agradeço também aos meus tios, tias, primos e primas. Muito obrigado por tudo família querida.

Agradeço ao instituto de Biologia da UFBA, por me acolher em mais essa caminhada. Agradeço aos funcionários e colaboradores, que garantem o funcionamento da casa. Em especial, agradeço a funcionária Jussara, secretária da Pós-Graduação, pela resolução rápida de todos os meus problemas ao longo do curso. Agradeço a todos os professores do curso de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento por todos os momentos de aprendizado.

Agradeço à Fundação de Amparo às pesquisas do Estado da Bahia (FAPESB), pela bolsa de pesquisa concedida.

Agradeço a todos os membros do Grupo de Pesquisa em Recifes de Corais e Mudanças Globais (RECOR), do qual eu faço parte desde 2005. Em especial agradeço ao meu orientador, Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi, a minha co-orientadora, Dra Marília de Dirceu Machado de Oliveira, e a mentora Dra Zelinda Margarida de Andrade Nery Leão. Muito obrigado pela grandiosa oportunidade.

Por fim, agradeço aos meus companheiros de trabalho. Muito obrigado Lourianne Santos, Lize Gonzaga, Amanda Ercília, Marcia Carolina, Adriano Leite e Clara Dourado, companheiros diários no laboratório e protagonistas durante a condução do trabalho. Muito obrigado a Saulo Spanó por todo apoio e pela imensa ajuda durante as coletas. Um agradecimento aos meus amigos biólogos, oceanógrafos e geólogos, companheiros de vida e de profissão. Amizades que começaram na

universidade e que carregarei comigo pelo resto da vida. Em especial, agradeço a Pedro Meirelles, Igor Cruz, Rodrigo Reis, Tiago Albuquerque, Saulo Spanó, Carlos Valério, Eduardo Marocci, José de Anchieta, José de Amorim e Cláudio Sampaio. Obrigado piratas. Contem comigo sempre!

ÍNDICE

TEXTO DE DIVULGAÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS	7
2.1. Coleta e preparo de materiais	7
2.2. Sistema experimental e coleta de dados	12
2.2.1. Experimento 1	13
2.2.2. Experimento 2	16
2.2.2.1. Fluorometria da clorofila a (Chl a)	17
2.2.2.2. Índice de susceptibilidade (IS_{Mb})	18
2.3. Análise dos dados	18
3. RESULTADOS	19
3.1. Efeito da sedimentação sem matéria orgânica sobre o coral <i>M. braziliensis</i> (IS_{Mb})	19
3.2. Efeito da sedimentação e da matéria orgânica associada sobre o coral e a eficiência fotossintética de <i>M. braziliensis</i>	22
3.2.1. Eficiência fotossintética	22
3.2.2. Danos físicos (IS_{Mb})	23

4. DISCUSSÃO	28
5. AGRADECIMENTOS	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Fotos ilustrando a metodologia de coleta das colônias de <i>Mussismilia braziliensis</i> no recife de Pedra de Leste, localizado no arco interno do complexo de recifes de Abrolhos.....	8
Figura 2: Mapa ilustrando o complexo recifal de Abrolhos, destacando o ponto de coleta das colônias de <i>Mussismilia braziliensis</i> e o ponto de coleta do sedimento lamoso.....	9
Figura 3: Sequência de fotos apresentando metodologia utilizada para o tratamento do sedimento lamoso coletado.....	11
Figura 4: Desenho esquemático apresentando o sistema de aquário utilizado para a aclimação dos corais.....	12
Figura 5: Desenho esquemático apresentando um dos sistemas de aquário utilizado para a experimentação.....	13
Figura 6: Sequência de fotos apresentando o aspecto do tecido saudável e os cinco tipos de danos físicos identificados para as colônias de <i>M. braziliensis</i> submetidas à sedimentação sem matéria orgânica associada em experimento em aquário.....	15

Figura 7 – Diagrama de dispersão e regressão linear simples entre a taxa de sedimentação ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e o índice de susceptibilidade física das colônias de <i>M. braziliensis</i> (IS_{Mb}) à sedimentação.....	20
Figura 8 – Gráfico da evolução dos índices de susceptibilidade das colônias de <i>M. braziliensis</i> expostas às suas respectivas taxas de sedimentação (detalhadas na legenda da figura), ao longo de sete semanas.....	22
Figura 9 – Diagramas de dispersão e regressões lineares simples. Em (A) a relação entre a taxa de sedimentação ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e a eficiência fotoquímica máxima de <i>M. braziliensis</i> ($\Delta F/F_m$) adaptada ao escuro.....	23
Figura 10 – Diagramas em caixa exibindo a comparação do índice de susceptibilidade das colônias de <i>M. braziliensis</i> (IS_{Mb}) expostas ao sedimento livre da presença de matéria orgânica (MO), com o índice das colônias expostas à combinação de sedimento e MO.....	25
Figura 11: Gráficos das séries temporais da variação da radiação PAR ao longo do período de iluminação de 12 horas em cada uma das sete cubas contendo 15, 50, 150, 250, 350 e 450 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ de sedimento: (A) sem matéria orgânica associada e (B) com matéria orgânica associada.....	27

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1: Valores atribuídos aos cinco danos físicos identificados no tecido do coral <i>M. braziliensis</i> e ao percentual da superfície da colônia afetada pela sedimentação em experimento em aquário	16
Tabela 2: Danos físicos observados no tecido de <i>M. braziliensis</i> , o percentual da superfície afetada associado a cada tipo de dano físico e o índice de susceptibilidade estimado para cada uma das colônias, após uma exposição de 45 dias à sedimentação sem matéria orgânica associada ao sedimento	21

Tabela 3: Danos físicos observados no tecido das colônias de *M. braziliensis*, o percentual da área colonial afetada associada a cada de tipo de dano e o índice de susceptibilidade estimado para cada uma das colônias, após uma exposição de 120 horas à sedimentação e a matéria orgânica associada ao sedimento 24

TEXTO DE DIVULGAÇÃO

Atualmente, o aumento da sedimentação e do aporte de matéria orgânica são apontados como principais agentes causadores da devastação dos recifes de corais. Portanto este trabalho teve como objetivo investigar, em laboratório, os efeitos do aumento da sedimentação, associada ou não com matéria orgânica, sobre a fotossíntese, avaliada a partir da eficiência fotobiológica das zooxantelas associadas, e o estado físico do tecido, avaliado a partir de um índice quantitativo de susceptibilidade, de *Mussismilia braziliensis*, uma espécie de coral endêmico da Bahia e principal construtor do maior complexo recifal do Atlântico Sul. A susceptibilidade das colônias expostas ao sedimento sem matéria orgânica foi comparada com a susceptibilidade das colônias expostas ao sedimento com matéria orgânica. Os resultados encontrados possibilitaram a comparação com ecossistemas recifais mais estudados e também serão úteis para o manejo dos recifes contra impactos humanos.

Os experimentos foram conduzidos em aquários do laboratório de Recifes de Corais e Mudanças Globais (RECOR). Para isso foram coletadas 19 colônias de *M. braziliensis* em um recife do arco costeiro de Abrolhos e sedimento lamoso no canal do rio Caravelas. No laboratório o sedimento foi preparado (lavado e secado) e separado em dois tratamentos, sendo um formado por sedimento com matéria orgânica e outro com sedimento sem matéria orgânica. O sistema experimental consistiu de 19 cubas de vidro de 4 litros, contendo água salina sintética a 36 psu, acondicionadas em aquários de 60 litros, com água doce circulante a 26°C, iluminados durante 12 horas diárias. Em cada cuba foi colocada uma colônia de *M. braziliensis*. Em sete cubas foram adicionadas concentrações de sedimento livre de matéria orgânica, equivalentes a 0, 15, 50, 150, 250, 350 e 450 mg.cm⁻².dia⁻¹. Nas 12 cubas restantes foram adicionadas concentrações de sedimento combinado com matéria orgânica equivalentes a 0, 15, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 mg.cm⁻².dia⁻¹. Diariamente a água das cubas foi agitada por dois minutos para simular eventos de ressuspensão e deposição de sedimento. Para as colônias expostas ao sedimento sem matéria orgânica foi realizada uma análise de regressão linear simples entre a taxa de sedimentação e a susceptibilidade física das colônias, avaliada após 45 dias de exposição, a

partir de um índice quantitativo de susceptibilidade à sedimentação. Para as colônias expostas ao sedimento associado com matéria orgânica, foram realizadas duas análises de regressão linear simples relacionando a taxa de sedimentação com a eficiência fotoquímica, estimada a partir do fluorômetro Diving-PAM, após 72 horas de exposição, e com o índice de susceptibilidade, após 120 horas de exposição. Após 120 horas de exposição foi comparada, através de um teste de *Mann-Whitney*, a susceptibilidade das colônias expostas ao sedimento sem matéria orgânica com a susceptibilidade de colônias expostas ao sedimento associado com matéria orgânica.

Os testes de regressão mostraram uma relação positiva significativa entre a taxa de sedimentação e o índice de susceptibilidade das colônias de *M. braziliensis* expostas ao sedimento com e sem matéria orgânica associada. Para os dois conjuntos de colônias, entretanto, danos físicos severos foram encontrados apenas em colônias expostas a taxas superiores a $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, que visaram simular impactos extremos como tempestades e dragagens. Diferente do esperado, o aumento da sedimentação não provocou a redução da eficiência fotobiológica das colônias expostas ao sedimento combinado com matéria orgânica. Os resultados encontrados são indicativos de tolerância à sedimentação e também da capacidade de fotoaclimatação dos corais de águas brasileiras, submetidos naturalmente a ambientes turvos. As colônias expostas ao sedimento associado com matéria orgânica apresentaram uma maior susceptibilidade à sedimentação, um resultado preocupante tendo em vista o aumento atual da poluição marinha como consequência do desenvolvimento costeiro e do mau uso da terra.

TOLERÂNCIA DE *Mussismilia braziliensis* (ANTHOZOA: SCLERACTINIA) À SEDIMENTAÇÃO

Miguel Loiola^{a,b*}, Marília M.D. Oliveira^a, Ruy K.P. Kikuchi^{a,b}

^a *Laboratório de Estudos de Recifes de Corais e Mudanças Globais, IGEO – UFBA, Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Ondina, CEP 40170-115, Salvador, BA, Brasil*

^b *Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento - PPG ECOBIO – UFBA, Rua Barão de Jeremoabo, 147, Ondina, CEP 40170-290, Salvador, BA, Brasil*

E-mails: miguelloiolam@gmail.com, mdmo.r@uol.com.br, kikuchi@ufba.br

** Autor para correspondência*

RESUMO

O aumento da sedimentação e do aporte de matéria orgânica são apontados como os principais agentes causadores de impactos negativos sobre os corais em diversas partes do planeta. No Brasil, entretanto, onde os recifes normalmente acontecem em ambientes marcadamente turvos e produtivos, os efeitos diretos da elevação das concentrações de sedimento e matéria orgânica sobre os corais ainda são pouco esclarecidos. Por isso, em laboratório, foi investigado o efeito da sedimentação e da matéria orgânica associada sobre a fotossíntese e a saúde física do tecido do coral *Mussismilia braziliensis*. Paralelamente, foram também comparadas a susceptibilidade das colônias submetidas à sedimentação associada ou livre de matéria orgânica. Sete colônias de *M. braziliensis* foram expostas a um gradiente de sedimentação (0 a 450 mg.cm⁻².dia⁻¹) livre de matéria orgânica. Após 45 dias de exposição foi estimada a saúde física dos corais, avaliada a partir do índice de susceptibilidade à sedimentação, criado para este trabalho. Doze colônias de *M. braziliensis* foram expostas a um gradiente de sedimentação (0 a 500 mg.cm⁻².dia⁻¹) contendo cerca de 10% de matéria orgânica. Após 72 horas de exposição à sedimentação foi estimada a eficiência fotoquímica dos corais, avaliada por um fluorômetro Diving-PAM (Walz, Germany), e após 120 horas foi estimado o índice de susceptibilidade. Foi observada uma relação significativa entre a taxa de sedimentação e o índice de susceptibilidade das colônias submetidas tanto ao sedimento livre de matéria orgânica quanto ao sedimento associado com matéria orgânica. Em ambos os casos a relação entre a taxa de sedimentação e o índice de susceptibilidade assumiu uma forma linear e positiva. Para os dois conjuntos de colônias, entretanto, danos físicos severos foram encontrados apenas em colônias expostas a taxas superiores a 200 mg.cm⁻².dia⁻¹, que visaram simular impactos extremos como tempestades e dragagens. As colônias expostas ao

sedimento associado com matéria orgânica apresentaram uma maior susceptibilidade do que as colônias expostas ao sedimento sem matéria orgânica. Não foi observado um efeito significativo da sedimentação e da matéria orgânica sobre a eficiência fotoquímica das zooxantelas de *M. braziliensis*. Este estudo comprovou a tolerância dos corais hermatípicos brasileiros, capazes de produzir energia via fotossíntese das zooxantelas simbióticas mesmo em ambientes impactados por intensa sedimentação e aumento de matéria orgânica. Entretanto, os resultados sugerem também que o aumento da sedimentação interfere negativamente no estado do tecido de *M. braziliensis*, e representa uma ameaça ainda maior para os corais quando o sedimento está associado com matéria orgânica.

* Autor correspondente: Tel: (71) 3282-8613
email: miguelloiolam@gmail.com (M. Loiola)

Palavras Chave: Sedimentação, Matéria orgânica, Corais, Fotossíntese, Soterramento

ABSTRACT

The increase in sedimentation and organic matter are pointed out as the major agents responsible for impacting corals around the world. In Brazil, where reefs generally occur in markedly turbid environments and productive, the direct effects of sediment and organic matter elevation are poorly known. Thus, in a laboratory experiment, the effect of sedimentation associated with or free of organic matter over photosynthesis and tissue physical state of *Mussismilia braziliensis* were compared. Seven colonies of *M. braziliensis* were exposed to a sedimentation gradient (0 to 450 mg.cm⁻².day⁻¹) free of organic matter. After 45 days of exposure, the physical health of corals was estimated, evaluated on the basis of a susceptibility index of sedimentation, developed in this work. Twelve colonies of *M. braziliensis* were exposed to a gradient of sedimentation (0 to 500 mg.cm⁻².day⁻¹) with approximately 10% organic matter. After 72 hours dark adapted maximum photochemical efficiency was measured using a Diving-PAM (Walz, Germany) fluorometer, and after 120 hours, coral tissue state based on the susceptibility was evaluated. The comparison of the susceptibility index of colonies submitted to sediment with organic matter with the index of the colonies submitted to sediment free of organic matter resulted in a significant and positive relationship with sedimentation rate. However, no significant effect of sedimentation and organic matter was observed on photochemical efficiency of *M. braziliensis zooxanthellae*. This study showed that the Brazilian coral *M. braziliensis* is tolerant to sedimentation, and capable of producing energy via photosynthesis even in environments impacted by intense sedimentation and increasing organic matter. On the other hand, these results suggest that the increase of sedimentation interfere negatively in *M. braziliensis* tissue health and represents a greater menace to corals when sediment is associated with organic matter.

Keywords: Sedimentation, Organic matter, Coral, Photosynthesis, Burial

1. INTRODUÇÃO

Dentre os ecossistemas costeiros tropicais, os recifes de corais estão entre os mais diversos e produtivos do planeta e, como são fontes de recursos para milhões de pessoas que vivem nos trópicos, se apresentam como um dos mais impactados a partir da interferência humana (Bryant et al., 2000; Constanza et al., 1997; Reaka-Kudla, 1994). A consequência da degradação é a perda de biodiversidade e dos bens e serviços oferecidos, como a pesca e o turismo (Aronson et al., 2003; Bellwood et al., 2004). De acordo com Wilkinson (2008), as atividades humanas já destruíram aproximadamente 20% dos recifes do mundo, enquanto que outros 35% encontram-se ameaçados. O aumento da sedimentação e do aporte de matéria orgânica nos sistemas marinhos são apontados por muitos autores como os principais agentes causadores de impactos negativos sobre os recifes de corais (Carpenter, 2008; Nughes e Roberts, 2003a; Rogers, 1983; Szmant, 2002; Veron et al., 2009), sendo que a diminuição da qualidade da água está geralmente relacionada à realização de dragagens ou perfurações do substrato oceânico ou como consequência da poluição e do mau uso da terra nas áreas costeiras (Córtez & Risk, 1985; Godinot et al., 2011; Wesseling et al., 1999).

O aumento da concentração de sedimento na água pode afetar os corais de diversas formas. Em suspensão ou quando estão depositadas sobre o substrato recifal, as partículas sedimentares causam a redução da energia luminosa, afetando diretamente o desempenho fotossintético das zooxantelas simbiotes, as quais garantem até 90% da nutrição dos corais (Fabricius, 2005; Hoegh-Guldberg, 1999; Muscatine, 1990). A deposição de grandes quantidades de sedimento sobre o recife pode também causar o sufocamento das colônias, o desgaste mecânico do tecido, o aumento do consumo energético para a remoção das partículas e o recobrimento de sítios potencialmente favoráveis ao recrutamento de larvas plânulas (Rogers, 1990; Riegl e Branch, 1995; Wesseling, 1999; Yentsch et al., 2002). Já o aumento dos

níveis de matéria orgânica provocam a flocculação do sedimento, o que potencializa os danos por sufocamento, e a proliferação de patógenos causadores de doenças (Fabricius e Wolansky, 2000; Haapkyla et al., 2011). Além disso, o aumento do aporte de matéria orgânica afeta o equilíbrio da comunidade recifal, promovendo normalmente a substituição dos corais por grupos de algas ou outros organismos não construtores e mais resistentes (Szmant, 2002). Esse é um quadro característico de mudança de fase ecológica construtora para uma fase não construtora, que coloca em risco a manutenção da complexidade estrutural característica dos recifes (Dunn et al., 2012; Hughes et al., 2007; Szmant, 2002). Portanto, tanto o aumento da sedimentação como de matéria orgânica podem afetar negativamente o crescimento e o sucesso reprodutivo das espécies de corais em recifes impactados (Gilmour, 1999; Riegl, 1995; Reopanichkul et al., 2009).

O declínio da saúde dos corais em decorrência da redução de qualidade da água em zonas costeiras é marcante em diversas partes do mundo, como nos oceanos Atlântico Norte e Pacífico (Fabricius, 2005; Rogers, 1983). No Brasil, os efeitos negativos do aumento das concentrações de sedimento e de matéria orgânica em águas costeiras sobre os corais construtores também têm sido reportados (Costa Jr. et al., 2000; Dutra et al., 2006; Leão et al., 2006; Reis e Leão, 2003). Aqui, diferentemente de outras partes do mundo, onde os recifes estão sob condições oligotróficas ótimas (Fabricius e Wolanski, 2000; Kleypas et al., 1999), estes ecossistemas muitas vezes ocorrem em ambientes marcadamente produtivos e expostos naturalmente a altas taxas de sedimentação, por conta da regressão marinha durante o Holoceno Tardio e dos diversos rios que deságuam na costa (Leão e Kikuchi, 2005). As condições extremas aqui encontradas, portanto, fazem desses recifes sistemas marginais e provavelmente foram responsáveis por elevar a tolerância da maioria das espécies construtoras à sedimentação (Leão et al., 2003; Segal e Castro, 2011; Suggett et al., 2012). Apesar disso, o efeito direto do sedimento e da matéria orgânica sobre o metabolismo dos corais brasileiros, bem como os mecanismos de defesa, a tolerância e a capacidade de resiliência das principais espécies, ainda são questões sem respostas.

A partir disso, este trabalho tem como objetivo, primeiramente, investigar, em condições controladas de laboratório, o estresse em colônias de *M. braziliensis* causado pela sedimentação e pelo aporte de matéria orgânica. Em particular buscou-se entender os efeitos da exposição a diferentes concentrações de sedimento associado ou não com matéria orgânica sobre: (1) o metabolismo fotossintético, avaliado a partir da eficiência fotobiológica, e (2) a susceptibilidade física do tecido, avaliada a partir de um índice quantitativo de susceptibilidade à sedimentação. Secundariamente foi comparada a susceptibilidade das colônias expostas a um sedimento livre da presença de matéria orgânica com a susceptibilidade das colônias expostas ao sedimento combinado com matéria orgânica. *M. braziliensis* é uma espécie endêmica que atualmente apresenta o maior confinamento geográfico dentre todos os corais construtores brasileiros, estando restrita apenas à costa da Bahia (Castro e Pires, 2001), e se apresenta como o principal organismo construtor dos recifes de Abrolhos, o maior complexo recifal do Atlântico Sul (Leão, 1999). Os resultados deste estudo serão úteis para o esclarecimento do efeito do aumento da sedimentação e do aporte de matéria orgânica sobre os corais brasileiros, ocasionados, dentre outros motivos, pelo aumento da ocupação humana desordenada nas zonas costeiras e do desmatamento, consequente, na costa. Além disso, possibilitarão a comparação com ecossistemas mais estudados, como os recifes do Caribe e da Austrália (Lough et al., 2002; Nughes e Roberts, 2003a, 2003b; Sofonia e Anthony, 2008) e também auxiliarão o direcionamento da gestão desses ambientes considerados como 'hot spots' de biodiversidade contra impactos humanos destrutivos (Halpern et al., 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta e preparo do material

Os efeitos da concentração de sedimento e de matéria orgânica sobre a susceptibilidade do coral *Mussismilia braziliensis* e a fotossíntese de suas algas simbiotes foram analisados através de

experimentos manipulativos *ex situ*, desenvolvidos em aquários do laboratório de Recifes de Corais e Mudanças Globais (RECOR) da Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador) entre os meses de agosto de 2011 e março de 2012. Ao total foram coletadas 19 colônias de *M. braziliensis* com 8 cm de diâmetro médio a 3-5 m de profundidade no recife de Pedra de Leste (PDL; 17°46,550 S, 39°03,050 W), localizado no arco interno do complexo recifal de Abrolhos (Figuras 1 e 2).



Figura 1: Fotos ilustrando a metodologia de coleta das colônias de *Mussismilia braziliensis* no recife de Pedra de Leste, localizado no arco interno do complexo de recifes de Abrolhos. Em (A) mergulhador retirando a colônia do recife, utilizando uma marreta e uma ponteira de ferro. Em (B) uma colônia de *M. braziliensis* coletada. Em (C) uma colônia sendo acondicionada em um saco de coleta para transporte.

O sedimento lamoso foi coletado a 5 m de profundidade em um ponto no canal do rio Caravelas (SED; 17°45,364 S, 39°13,407 W; figuras 2 e 3), onde eventos de dragagens são recorrentes. A granulometria do sedimento foi avaliada com um granulômetro de difração a laser (*Horiba Partica® LA-950*) e este sedimento foi classificado como silte fino, constituído basicamente por compostos siliciclásticos ($90,69 \pm 0,10\%$; média \pm erro padrão). O percentual de matéria orgânica no sedimento foi estimado a partir da diferença entre o peso inicial e o final de amostras de sedimento após reação com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 10 volumes, que decompõe a matéria orgânica associada.

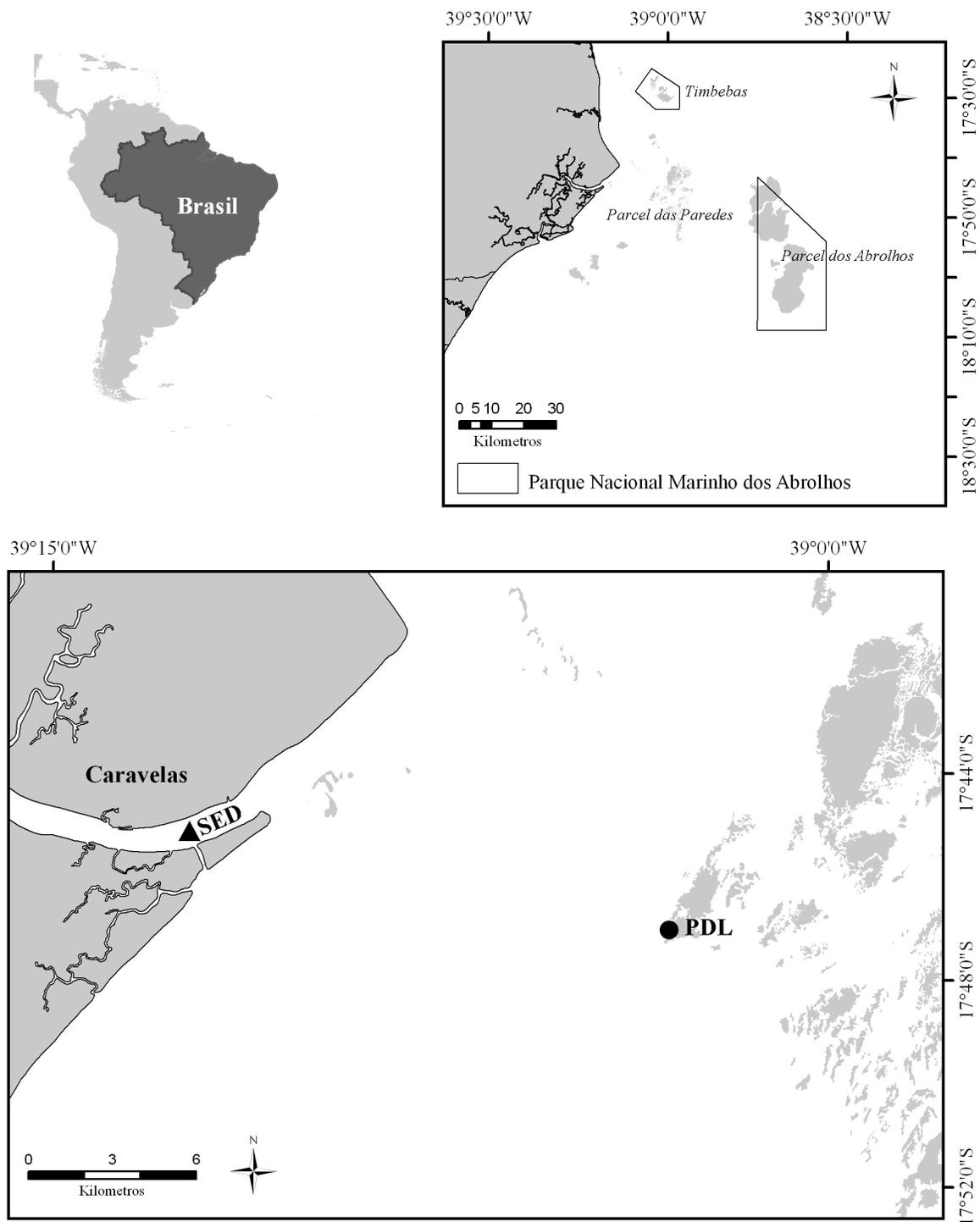


Figura 2: Mapa ilustrando o complexo recifal de Abrolhos, destacando o ponto de coleta das colônias de *Mussismilia braziliensis* (●), no recife de Pedra de Leste (PDL; 17°46.550 S, 39°03.050 W) localizado no arco interno, e o ponto de coleta do sedimento lamoso (▲), localizado dentro do canal do rio Caravelas (SED; 17°45.364 S, 39°13.407 W).

No laboratório todo o sedimento foi lavado com água deionizada, até que a salinidade do material alcançasse valores entre 0 e 0,5 psu. Posteriormente o pacote de sedimento foi dividido em dois tratamentos que diferiram quanto à presença ou à ausência de matéria orgânica associada. Dessa forma, em um dos tratamentos a matéria orgânica foi eliminada a partir da reação química com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 10 volumes. Em béqueres distintos foram separadas amostras de 200 ml de lama que reagiram diariamente com 200 ml de H_2O_2 , sendo que após quatro dias nenhuma reação química entre a lama e o peróxido foi observada. Após esta etapa, o sedimento com matéria orgânica foi novamente lavado com água deionizada. Para a comparação da granulometria dos dois tratamentos de sedimento novamente foi utilizado o granulômetro de difração a laser. Os resultados do granulômetro foram comparados a partir de um teste t de Student. Todo o sedimento foi seco em estufa a $50^\circ C$, temperatura que não afeta a composição mineralógica original dos argilominerais. Após a secagem, utilizando uma balança analítica (modelo *Marconi*® 2104N, com precisão 0,0001g), as concentrações de sedimento posteriormente utilizadas durante a experimentação foram pesadas e separadas (Figura 3).

A comparação da granulometria entre os dois tipos de sedimento mostrou que as diferenças estavam restritas à presença ou ausência de matéria orgânica ($t = 0,474$, $t_{df} = 10$, $p = 0,65$). O percentual de matéria orgânica associada ao sedimento foi de $9,31 \pm 0,10$ (média \pm erro padrão).

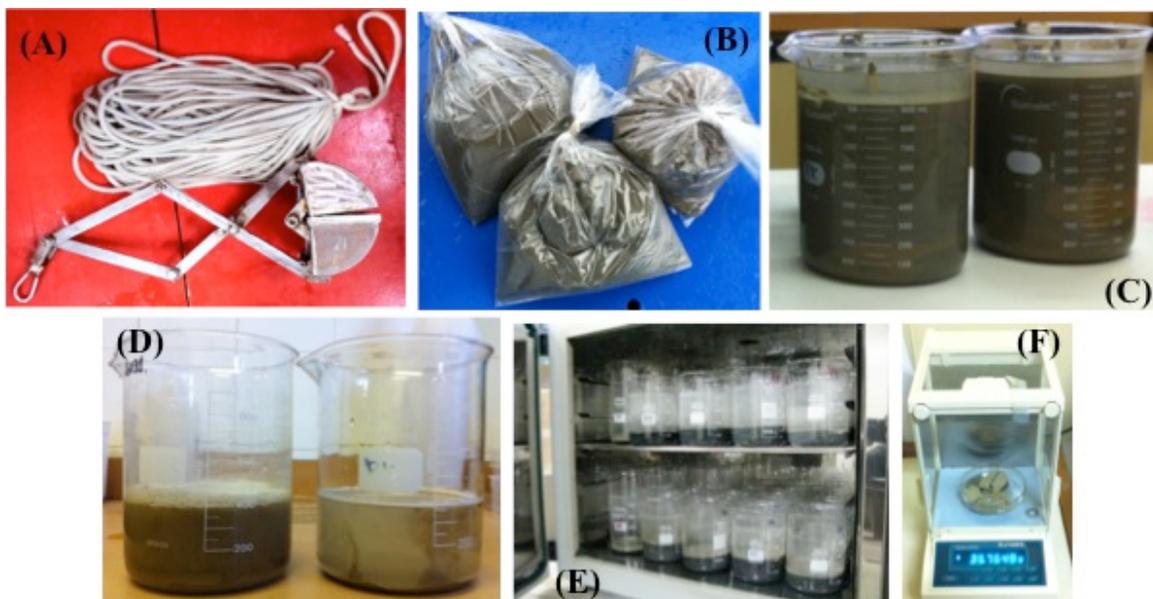


Figura 3: Sequência de fotos apresentando: (A) draga *Van-Venn* utilizada para coleta do sedimento; (B) sedimento lamoso coletado dentro do canal do rio Caravelas; (C) processo de lavagem do sedimento com água deionizada. A água foi trocada quando todo o sedimento se depositava no fundo dos béqueres; (D) reação química entre o sedimento lavado e o Peróxido de Hidrogênio para decomposição da matéria orgânica; (E) secagem do sedimento em estufa a 50° C; (F) pesagem das alíquotas de sedimento utilizadas durante a experimentação.

Após a coleta, os corais foram transportados para o laboratório RECOR, onde permaneceram em dois aquários de aclimação com 40 l de água salgada sintética a 36 psu, obtida através da mistura entre sal sintético (*Red Sea Salt*®) e água deionizada, durante 60 dias para excluir qualquer efeito sazonal no crescimento do coral (Figura 4). Nos aquários os corais permaneceram sob condições uniformes de luz, temperatura, agitação da água e salinidade. Os níveis de nitrito (0-0,1 ppm), nitrato (0 ppm), fosfato (0 ppm), cálcio (450 ppm), oxigênio (8-9 ppm), alcalinidade (3.2 mEq/l) e pH (8.4) permaneceram também em níveis adequados para o cultivo desses corais em aquários (Oliveira et al., 2008). As condições de temperatura correspondem à média climatológica de 30 anos (1973 a 2003) calculada com dados de temperatura da superfície do mar na região do Arquipélago de Abrolhos (Oliveira, 2007). Em cada um dos aquários a iluminação foi fornecida por duas lâmpadas de tipo tubo fluorescente, sendo uma branca de 15 W e 10.000 k (*Phillips*®) e outra azul actínica também de 15 W (*Boyu*®), promovendo uma

intensidade luminosa de 1000 ± 28 lux, em um ciclo diário de doze horas de iluminação, controlados por interruptores horários. A agitação interna dos aquários foi mantida por duas bombas submersas de 650 l/h. A temperatura da água dos aquários foi controlada por aquecedores submersíveis de 300 W acoplados a termostatos externos (*Full Gauge®*), mantendo a temperatura a $26 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Durante o período de aclimação toda a água dos aquários foi trocada uma vez por semana. Os parâmetros indicadores de qualidade da água (nitrito, nitrato, fosfato, cálcio, oxigênio dissolvido, pH e alcalinidade) também foram mensurados semanalmente através dos kits de testes da *Red Sea®*. Assim, a natureza físico-química do sistema foi mantida controlada e em níveis ótimos.

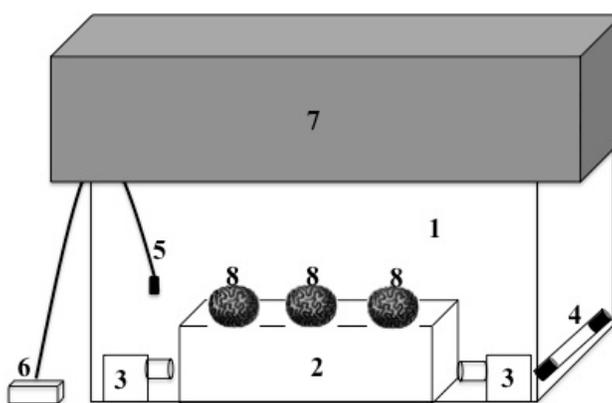


Figura 4: Desenho esquemático apresentando o sistema de aquário utilizado para a aclimação dos corais. Estão representados: (1) um aquário de 60 l contendo água salgada sintética a 36 psu; (2) suporte de vidro utilizado para sustentar os corais; (3) bombas de agitação de água com fluxo de 650 l/h; (4) aquecedor da água acoplado ao termostato; (5) sensor de temperatura da água acoplado ao termostato; (6) termostato; (7) caixa contendo as duas lâmpadas fluorescentes e; (8) colônias de *Mussismilia braziliensis* em aclimação.

2.2. Sistema experimental e coleta de dados

No laboratório RECOR foram montados cinco sistemas de banho termostático, sendo cada sistema formado por um aquário de 60 l onde foram colocadas quatro cubas de vidro de 4 l, contendo água salina sintética a 36 psu. Este aquário continha água doce circulante, promovida por duas bombas submersas de 650 l/h, e um aquecedor de 300W ligado a um termostato conectado a um sensor de temperatura, para

manter a temperatura a $26 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, iluminados durante 12 h diárias (Figura 5). O sistema de iluminação foi semelhante ao descrito para a aclimação dos corais. Apenas um dos sistemas de banho termostático continha três cubas dentro do aquário, e não quatro. Em cada cuba foi colocada uma colônia de *M. braziliensis* e uma determinada concentração de sedimento com ou sem matéria orgânica associada. A distribuição dos corais e as concentrações de sedimento adicionadas a cada uma das cubas foram definidas por sorteio. A definição dos tratamentos a partir do sorteio garantiu a aleatorização completa do experimento, o que reduz a ocorrência de vieses, seja por parte do amostrador ou por conta do delineamento adotado e, conseqüentemente, aumenta a exatidão das estimativas (Gotelli & Ellison, 2011; Hulbert, 1984).

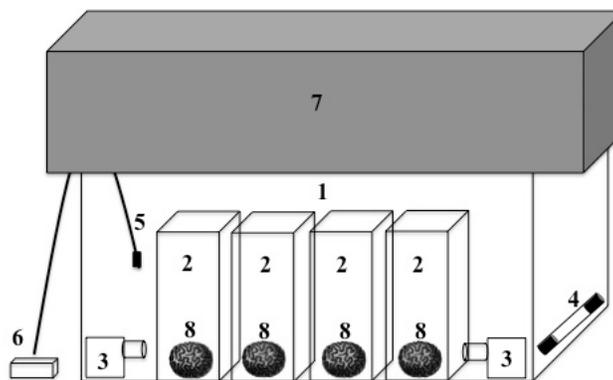


Figura 5: Desenho esquemático apresentando um dos sistemas de aquário utilizado para a experimentação. Estão representados: (1) um aquário de 60 l contendo água doce circulante a 26°C ; (2) cubas de vidro de 4 l contendo água salina sintética a 36 psu e 26°C ; (3) bombas de agitação de água com fluxo de 650 l/h; (4) aquecedor da água acoplado ao termostato; (5) sensor de temperatura da água acoplado ao termostato; (6) termostato; (7) caixa contendo as duas lâmpadas fluorescentes e; (8) colônias de *Mussismilia braziliensis* em experimentação.

2.2.1. Experimento 1: sedimento sem matéria orgânica

Em sete cubas, mantidas no sistema termostático, foram adicionadas concentrações específicas de sedimento sem matéria orgânica, equivalentes a $0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, representando uma condição controle ótima, $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, representando a taxa de sedimentação aproximada em PDL (Dutra et al., 2006),

50, 150, 250, 350 e 450 mg.cm⁻².dia⁻¹. Diariamente a água das cubas foi agitada por 2 min, com bastão de vidro, para simular eventos de ressuspensão e deposição de sedimento. O tempo de 2 min representa intervalo de tempo necessário para ressuspender todo o sedimento acumulado no fundo das cubas. As colônias de *M. braziliensis* foram expostas aos seus respectivos tratamentos durante 45 dias. A cada dois dias a água das cubas foi trocada, assim como foram repostas a cada dois dias as concentrações de sedimento específicas de cada uma das cubas.

Para avaliar o efeito da sedimentação, com sedimento sem matéria orgânica, sobre o estado do tecido colonial dos corais foi criado um índice quantitativo de susceptibilidade de *M. braziliensis* (IS_{Mb}) à sedimentação. A avaliação de alterações morfológicas macroscópicas, associadas com eventos de estresse como um alto aporte de sedimento, é uma ferramenta eficaz para a detecção e gestão de impactos sobre os corais (Fisher et al., 2006; Riegl e Bloomer, 1995; Vargas-Angel et al., 2006). Dessa forma foram atribuídos valores para os diferentes tipos de danos físicos observados no tecido dos corais seguindo uma sequência crescente de acordo com a severidade do estresse físico em questão. Foi considerado, também, o percentual de superfície da área da colônia afetada pelos tipos de danos identificados. O acompanhamento do aspecto físico do tecido das colônias foi realizado semanalmente, durante sete semanas. O registro fotográfico das colônias foi realizado com uma câmera digital da marca *Sea & Sea* durante o experimento.

Ao total foram identificados cinco quadros sintomáticos que diferem do aspecto físico saudável da espécie *Mussismilia braziliensis* (Figura 6 e Tabela 1). Expostos ao sedimento sem matéria orgânica alguns indivíduos apresentaram um aumento do volume tecidual. Em alguns casos, este aumento do volume tecidual foi tão intenso que os pólipos assumiram um aspecto deformado, com a exposição completa das columelas. Algumas colônias apresentaram sinais claros de desgaste tecidual, possivelmente ocasionados a partir do atrito mecânico com os grãos de silte do sedimento. Alguns indivíduos perderam a capacidade de limpeza com o conseqüente acúmulo de sedimento sobre a colônia (soterramento), caracterizando o sufocamento dos pólipos. O grau extremo de estresse físico do coral foi

a necrose e perda, total ou parcial, do tecido. O branqueamento, um dano fisiológico comum em corais impactados por intensa sedimentação (Rogers, 1990 e Fabricius, 2005), foi observado apenas em uma colônia, que apresentou uma pequena mancha pálida. Por este motivo este dano não foi considerado para o cálculo dos índices de susceptibilidade.

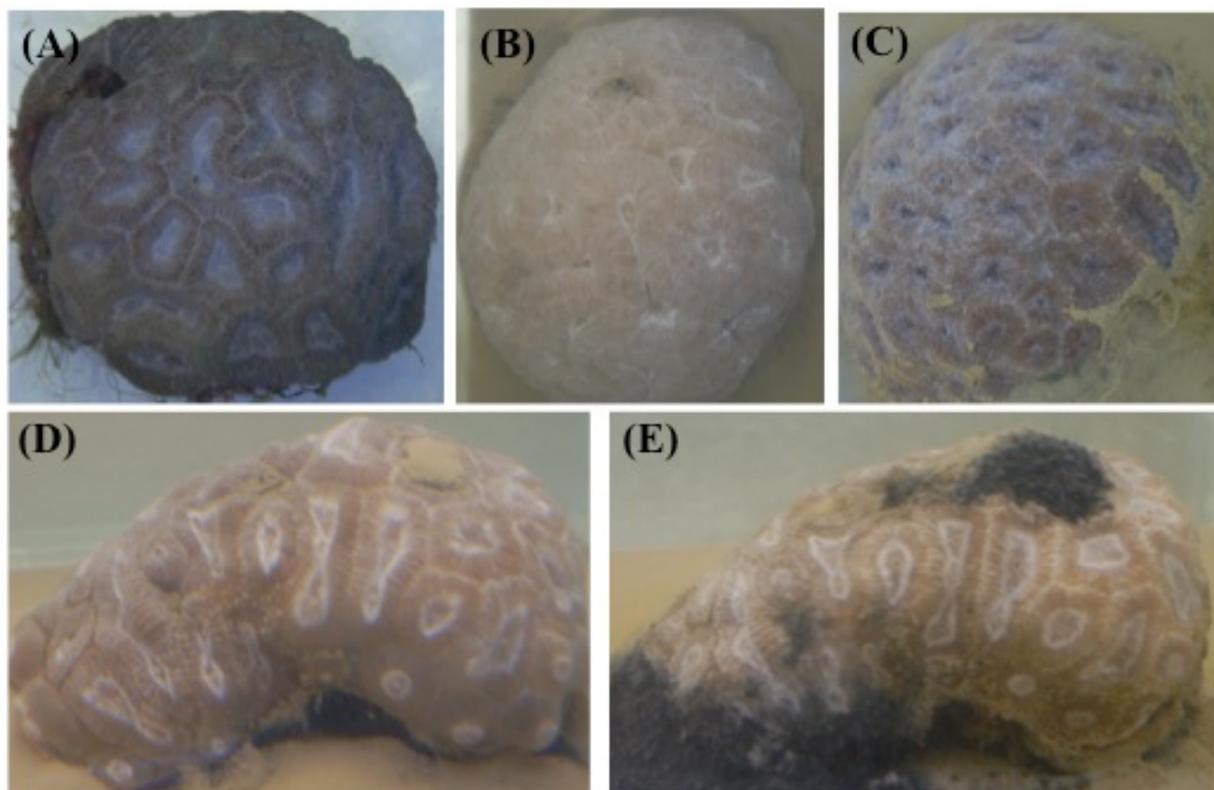


Figura 6: Sequência de fotos apresentando o aspecto do tecido saudável e os cinco tipos de danos físicos identificados para as colônias de *M. braziliensis* submetidas à sedimentação sem matéria orgânica associada em experimento em aquário. Em (A) observa-se uma colônia em condição saudável. Em (B) e (C) podem ser observados o aumento tecidual dos pólipos e o desgaste do tecido colonial, respectivamente. Em (D) é apresentada uma colônia com pólipos deformados e também o sufocamento (soterramento) de um pólipo na parte superior da colônia. Por ultimo, em (E) observa-se o sufocamento (soterramento) e a necrose (morte) parcial de uma colônia. O material negro é indicativo de atividade de decomposição por bactérias.

Portanto, foi considerado que o aumento do volume tecidual foi o dano observado menos severo, ao qual foi atribuído dois pontos. Para a deformação dos pólipos foi assumido um valor de quatro pontos. Para o desgaste tecidual e para o sufocamento dos pólipos foram atribuídos, respectivamente, seis e oito pontos. Por fim, para a morte dos pólipos foi atribuída uma pontuação equivalente a 20 pontos, que representa a

soma dos valores estabelecidos para os outros quatro danos (Tabela 1). Foi estabelecido um peso maior a este tipo de dano por conta da impossibilidade de reversão desta condição.

Tabela 1

Valores atribuídos aos cinco danos físicos identificados no tecido do coral *M. braziliensis* e ao percentual da superfície da colônia afetada pela sedimentação em experimento em aquário.

Dano físico	Valor atribuído	Área afetada	Valor atribuído
Sem danos	0 pontos	0%	0 pontos
Aumento tecidual	2 pontos	1-20%	2 pontos
Deformação	4 pontos	21-40%	4 pontos
Desgaste	6 pontos	41-60%	6 pontos
Sufocamento	8 pontos	61-80%	8 pontos
Necrose	20 pontos	81-100%	10 pontos

Para cada dano físico observado foi estimado o percentual da área afetada. Assim para as colônias que apresentavam de 1 a 20% da superfície afetada por algum tipo de dano foram atribuídos dois pontos. Seguindo uma ordem crescente, foram atribuídos quatro pontos para colônias com 21 a 40% de área afetada, seis pontos para colônias com 41 a 60%, oito pontos para colônias com 61 a 80% e dez pontos para colônias com 81 a 100% da área afetada (Tabela 1).

Dessa forma após 45 dias, foi estabelecido o índice de susceptibilidade das sete colônias de *M. braziliensis* (IS_{Mb}) expostas ao sedimento sem matéria orgânica associada, incluindo a colônia controle. O índice foi calculado a partir do somatório entre os produtos dos tipos de danos físicos identificados em *M. braziliensis* (DF_{Mb}) e os respectivos percentuais de área colonial afetada (AA_{Mb}), sendo:

$$IS_{Mb} = \Sigma(DF_{Mb} * AA_{Mb})$$

2.2.2. Experimento 2: sedimento com matéria orgânica

Em 12 cubas, mantidas em sistema termostático, foram adicionadas concentrações de sedimento associado à matéria orgânica equivalentes a 0, 15, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500

$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, que representou o nível máximo de sedimentação. Diariamente a água das cubas foi agitada por dois minutos, com bastão de vidro, para simular eventos de ressuspensão e deposição de sedimento. O tempo máximo de exposição das colônias de *M. braziliensis* aos seus respectivos tratamentos foi de cinco dias (120 horas).

2.2.2.1. Fluorometria da clorofila *a* (*Chl a*)

A atividade fotossintética das zooxantelas associadas aos corais foi estimada a partir da mensuração da fluorescência do fotossistema II (FS II) da *Chl a*, a qual foi induzida por modulação de pulsos de luz utilizando um fluorômetro Diving-PAM (*Walz, Germany*®). Este tipo de técnica fornece informações específicas sobre a dissipação da energia absorvida pelo sistema fotossintetizante das algas (Suggett et al., 2003; Suggett et al., 2007). A extremidade livre da fibra ótica transmissora do feixe de luz do fluorômetro é conectada a um suporte para padronizar a distância entre o aparelho e a parte superior amostrada das colônias. Em Hennige e colaboradores (2008) encontram-se informações detalhadas sobre o funcionamento e sobre a configuração utilizada para o Diving-PAM.

Antes do início da experimentação e após 72 horas de exposição às respectivas concentrações de sedimento combinado com matéria orgânica, foram estimadas as eficiências fotoquímica máximas ($\Delta F/F_m$) adaptada ao escuro das 12 colônias, incluindo a colônia controle. Esta medição foi realizada antes do início do período de iluminação dos aquários. Como, no escuro, a maior parte dos centros de reações do fotossistema II estão abertos e prontos para o transporte de elétrons (Hennige et al., 2008), as estimativas desse momento portanto devem refletir a capacidade máxima de fotossíntese dos indivíduos. Sobre cada colônia foram realizadas três medições de fluorescência, distribuídas aleatoriamente sobre a parte superior das mesmas. Com essas três medições, foi calculada a eficiência média de cada colônia.

2.2.2.2. Índice de susceptibilidade (IS_{Mb})

Após 120 horas de exposição, foi estabelecido o índice de susceptibilidade das doze colônias de *M. braziliensis* (IS_{Mb}), incluindo a colônia controle, expostas ao sedimento associado com matéria orgânica.

O IS_{Mb} das colônias de *M. braziliensis* expostas às concentrações de 15, 50, 150, 250, 350 e 450 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de sedimento sem matéria orgânica foi comparado com o IS_{Mb} de colônias expostas às mesmas concentrações de sedimento com matéria orgânica ($n = 6$ colônias por tratamento), no período comum aos dois experimentos, ou seja em 120 horas. As colônias controles não foram incluídas nas análises.

Com o intuito de verificar a perda de luz por conta da sedimentação foram estimados os níveis de radiação fotossinteticamente ativa (radiação PAR) para as cubas contendo colônias submetidas a 15, 50, 150, 250, 350 e 450 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de sedimento associado ou não com matéria orgânica. Para tanto foi utilizado um sensor externo de medição de radiação PAR acoplado ao fluorômetro Diving-PAM (Hennige et al., 2008). A radiação PAR foi estimada em unidades de $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Hennige et al., 2008).

2.3. Análise dos dados

Para as sete colônias expostas ao sedimento sem matéria orgânica, foi realizada uma análise de regressão linear simples experimental entre as taxas de sedimentação ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e os respectivos índices de susceptibilidade (IS_{Mb}). Os pressupostos de independência dos dados, normalidade dos resíduos, homocedasticidade das variâncias e linearidade da relação, exigidos por este tipo de análise, foram respeitados (Gotelli & Ellison, 2011). A regressão linear simples de mínimos quadrados é um tipo de análise que nos oferece a possibilidade de explorar uma relação de causalidade entre as variáveis em questão, além de oferecer informações adicionais, como o coeficiente de inclinação da relação, que podem ser incorporadas a modelos ecológicos de forma bastante eficaz (Cottingham *et al.*, 2005; Gotelli

& Ellison, 2011). Para este conjunto de análises foi adotado um nível de significância de 0,05 (Gotelli & Ellison, 2011; Zar, 1999).

Para as doze colônias expostas ao sedimento com material orgânico dissolvido, novamente respeitando os pressupostos exigidos, foram realizados dois testes de regressão linear simples experimental, o primeiro confrontando a taxa de sedimentação ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) com a eficiência fotoquímica ($\Delta F/F_m$) de *M. braziliensis* e o segundo entre a taxa de sedimentação e o índice de susceptibilidade (IS_{Mb}) calculado para cada uma das colônias. Para este conjunto de análises novamente foi adotado um nível de significância de 0,05 (Gotelli & Ellison, 2011; Zar, 1999).

Os IS_{Mb} das colônias expostas ao sedimento associado ou livre de matéria orgânica foram comparados a partir do teste não paramétrico de *Mann-Whitney*. Foi utilizada uma análise não paramétrica por conta da heterocedasticidade da variável dependente em questão. A homocedasticidade, ou homogeneidade das variâncias, é uma premissa requerida pelos testes paramétricos. As premissas de independência dos dados e de normalidade dos resíduos, contudo, foram respeitadas. Para este conjunto de análises novamente foi adotado um nível de significância equivalente a 0,05 (Gotelli & Ellison, 2011; Zar, 1999).

3. RESULTADOS

3.1. Efeito da sedimentação sem matéria orgânica sobre o coral *M. braziliensis* (IS_{Mb})

Foi encontrada uma relação positiva significativa entre a taxa de sedimentação e o índice de susceptibilidade de *M. braziliensis*. A análise de regressão mostrou que o aumento da taxa de sedimentação sem matéria orgânica associada provocou o aumento do IS_{Mb} ($F = 21,3$; $F_{df} = 5$; $adj. r^2 = 0,7719$; $p = 0,00576$; Figura 7). O valor calculado para o coeficiente r^2 pode ser considerado elevado e indica que grande parte da variação da variável dependente, o índice de susceptibilidade, pode ser explicada pela variação da variável independente, a taxa de sedimentação (Gotelli e Ellison, 2011).

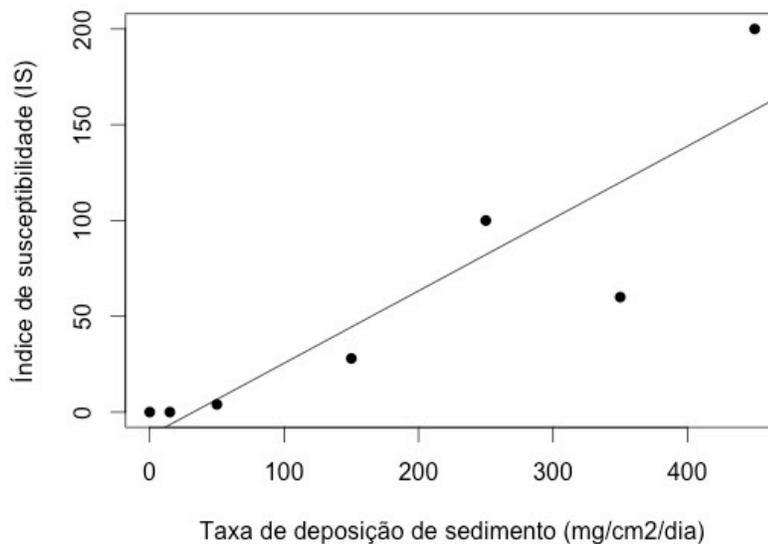


Figura 7 – Diagrama de dispersão e regressão linear simples entre a taxa de sedimentação ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e o índice de susceptibilidade física das colônias de *M. braziliensis* (IS_{Mb}) à sedimentação. As variáveis relacionam-se de forma linear e positiva, ou seja, o aumento da variável preditora (eixo horizontal) provoca o aumento da variável resposta (eixo vertical). A linha que acompanha a distribuição dos pontos representa a reta de melhor ajuste para o modelo de regressão.

Os danos físicos observados no tecido dos corais, os respectivos percentuais da superfície afetada das colônias, bem como os IS_{Mb} estimados para cada uma das colônias estão apresentados na tabela 2. Para cada colônia foram observados nenhum, um ou dois tipos de danos físicos. Antes do início da exposição ao sedimento todas as colônias apresentavam um aspecto saudável. Contudo, após o estresse promovido pela sedimentação foram identificados desde danos físicos leves e reversíveis, como o aumento tecidual dos pólipos, até danos graves e irreversíveis, como a desgaste físico do fino tecido exposto dos corais, o sufocamento dos pólipos e a consequente necrose tecidual e morte dos indivíduos.

Tabela 2

Danos físicos observados no tecido de *M. braziliensis*, o percentual da superfície da colônia afetada associado a cada tipo de dano físico e o índice de susceptibilidade estimado para cada uma das colônias, após uma exposição de 45 dias à sedimentação sem matéria orgânica associada ao sedimento.

<i>Colônia</i>	<i>Taxa de sedimentação</i>	<i>Dano 1 (DF)</i>	<i>% Área afetada (AA)</i>	<i>Dano 2 (DF)</i>	<i>% Área afetada (AA)</i>	<i>IS $\Sigma(DF*AA)$</i>
C1	0 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	sem danos	0%	sem danos	0%	0
C2	15 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	sem danos	0%	sem danos	0%	0
C3	50 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	aumento tecidual	20%	sem danos	0%	4
C4	150 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	aumento tecidual	60%	deformação	40%	28
C5	250 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	desgaste	90%	necrose	10%	100
C6	350 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	desgaste	100%	sem danos	0%	60
C7	450 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	necrose	100%	sem danos	0%	200

Ao longo dos 45 dias, a colônia controle (0 mg.cm².dia) e a colônia exposta a concentração de 15 mg.cm⁻².dia⁻¹, que representa a taxa de deposição aproximada da estação de coleta dos corais (Dutra et al., 2006), mantiveram o tecido saudável e o aspecto íntegro característico da espécie. Desde a primeira semana até a última, a colônia exposta a 50 mg.cm⁻².dia⁻¹ de sedimento (C3) manteve constante o seu IS_{Mb} , equivalente a 4. Para todas as outras colônias foi observada uma tendência geral de crescimento dos IS_{Mb} ao longo das semanas (Figura 8). Ao final da experimentação na colônia exposta à maior concentração de sedimento (C7) foi observada a necrose completa do tecido após 45 dias. Esta colônia apresentou o pior estado de susceptibilidade física, e por este motivo a mesma obteve o maior valor de IS_{Mb} dentre todas as colônias (Tabela 2).

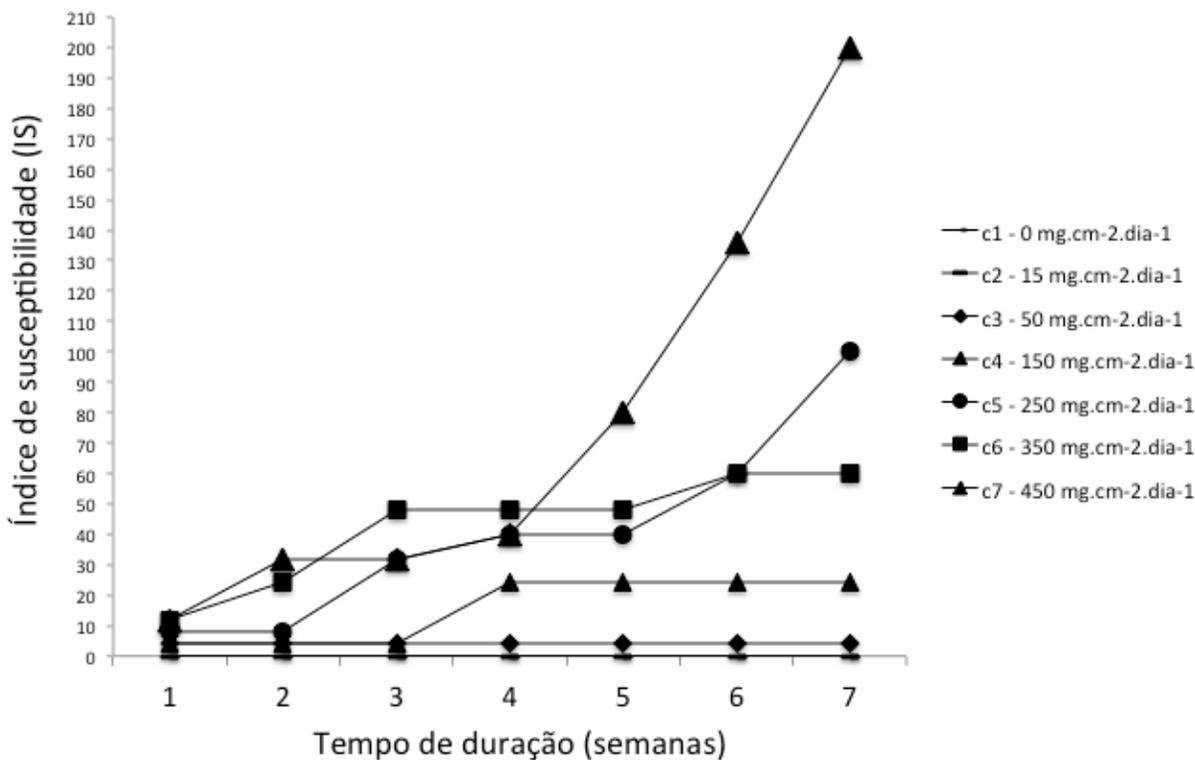


Figura 8 – Gráfico da evolução dos índices de susceptibilidade das colônias de *M. braziliensis* expostas às suas respectivas taxas de sedimentação (detalhadas na legenda da figura), ao longo de sete semanas. A colônia controle (0 mg.cm⁻².dia⁻¹) e a colônia exposta a taxa mínima de sedimentação (15 mg.cm⁻².dia⁻¹) mantiveram-se íntegras. Apenas a colônia exposta à maior taxa de sedimentação (450 mg.cm⁻².dia⁻¹) morreu no período de experimentação.

3.2. Efeito da sedimentação e da matéria orgânica associada sobre o coral e a eficiência fotossintética de *M. braziliensis*

3.2.1. Eficiência fotossintética

Diferentemente do esperado, o teste de regressão linear simples não encontrou um efeito negativo significativo entre o aumento da concentração de sedimento combinado com matéria orgânica e a eficiência fotoquímica máxima adaptada ao escuro ($\Delta F/F_m$) das colônias de *M. braziliensis* após 72 horas de exposição ($F = 2,204$; $F_{df} = 10$; $adj. r^2 = 0,18$; $p = 0,168$; Figura 9). Apesar da ausência de significância, segundo o teste de regressão, pode ser observada uma tendência de diminuição da

eficiência fotoquímica a partir do aumento da concentração de sedimento e matéria orgânica associada. Antes da exposição ao sedimento associado à matéria orgânica, a eficiência fotoquímica do FS II das colônias variaram entre 0,43 a 0,66 ($n = 12$; $0,62 \pm 0,018$ média \pm erro padrão). Após 72 horas de exposição os valores de $\Delta F/F_m$ variaram entre 0,43 a 0,69 ($n = 12$; $0,59 \pm 0,025$).

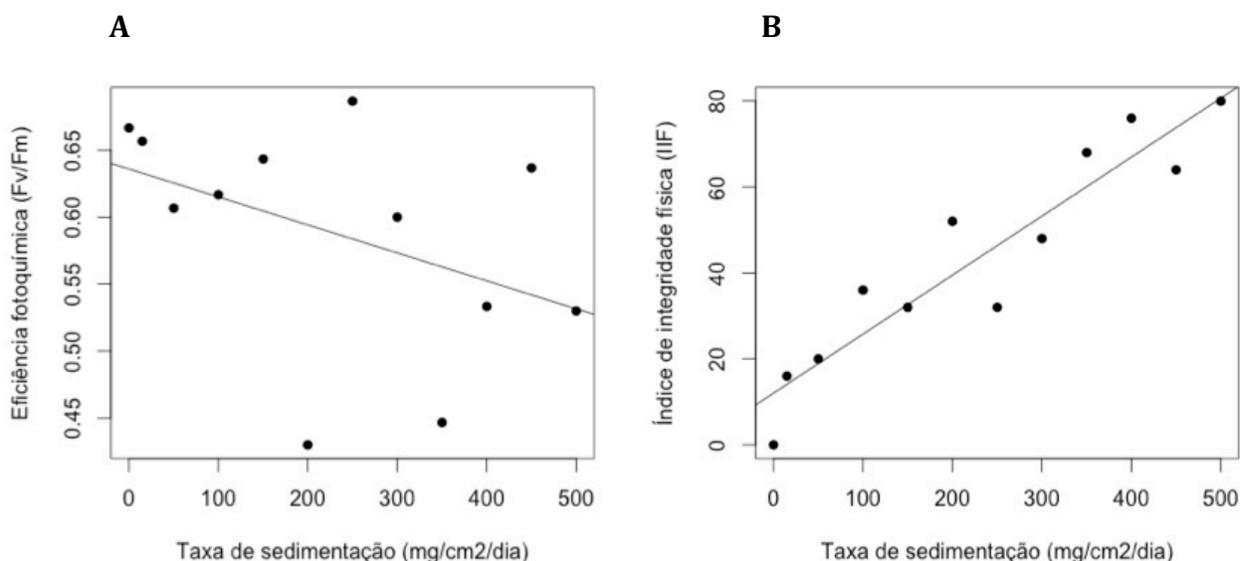


Figura 9 – Diagramas de dispersão e regressões lineares simples. Em (A) a relação entre a taxa de sedimentação ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e a eficiência fotoquímica máxima de *M. braziliensis* ($\Delta F/F_m$) adaptada ao escuro. Não há significância ($p > 0,05$), apesar de uma leve tendência de diminuição da eficiência fotoquímica com o aumento da sedimentação e da matéria orgânica associada. Em (B) a taxa de sedimentação ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e o índice de susceptibilidade de *M. braziliensis* (IS_{Mb}). Observa-se uma relação direta significativa ($p < 0,05$) entre a taxa de sedimentação e os danos sofridos pelas colônias. As linhas que acompanham as distribuições dos pontos representam as retas de melhor ajuste para cada um dos modelos de regressão.

3.2.2. Danos físicos (IS_{Mb})

O teste de regressão linear simples encontrou a relação positiva esperada entre o aumento da concentração de sedimento e matéria orgânica associada e o índice de susceptibilidade estimado para as colônias de *M. braziliensis* após um período de exposição de 120 horas ($F = 69.263$, $F_{df} = 10$, $adj. r^2 = 0,86$, $p < .000$; Figura 9). O valor calculado para o coeficiente de determinação r^2 indica que boa parte da

variação apresentada pela variável dependente, IS_{Mb} , pode ser explicada pela variação da variável preditora independente, a taxa de sedimentação.

Os danos físicos observados estão sintetizados na tabela 3, que apresenta o percentual da área colonial afetada e também o índice de susceptibilidade das doze colônias expostas, por 120 horas, ao sedimento associado com matéria orgânica. Novamente foram observadas três situações: nenhum, um ou dois tipos de danos físicos para cada colônia. Antes da experimentação, todos os corais apresentavam uma condição saudável. Contudo, após o estresse de curto prazo promovido pela sedimentação e pela presença de matéria orgânica (10%) associada ao sedimento foram identificados os cinco tipos de danos descritos anteriormente. Ao final da experimentação a colônia controle, livre do sedimento e da matéria orgânica, manteve o tecido saudável e o aspecto íntegro. Novamente foi observado que a colônia exposta à maior concentração de sedimento apresentou o maior índice de IS_{Mb} .

Tabela 3

Danos físicos observados no tecido das colônias de *M. braziliensis*, o percentual da área colonial afetada associada a cada tipo de dano e o índice de susceptibilidade estimado para cada uma das colônias, após uma exposição de 120 horas à sedimentação e a matéria orgânica associada ao sedimento.

<i>Colônia</i>	<i>Taxa de sedimentação</i>	<i>Dano 1 (DF)</i>	<i>% Área afetada (AA)</i>	<i>Dano 2 (DF)</i>	<i>% Área afetada (AA)</i>	<i>IS $\Sigma(DF*AA)$</i>
C1	0 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	sem danos	0%	sem danos	0%	0
C2	15 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	amento tecidual	25%	deformação	10%	16
C3	50 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	amento tecidual	20%	deformação	25%	20
C4	100 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	amento tecidual	45%	deformação	50%	36
C5	150 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	deformação	75%	sem danos	0%	32
C6	200 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	amento tecidual	5%	desgaste	80%	52
C7	250 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	deformação	70%	sem danos	0%	32
C8	300 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	sufocamento	45%	sem danos	0%	48
C9	350 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	amento tecidual	20%	sufocamento	65%	68
C10	400 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	desgaste	45%	necrose	10%	76
C11	450 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	desgaste	65%	sufocamento	15%	64
C12	500 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹	necrose	40%	sem danos	0%	80

De acordo com o teste não paramétrico de *Mann-Whitney*, após 120 horas de experimento, as colônias de *M. braziliensis* expostas à combinação de sedimento e de matéria orgânica apresentaram uma maior susceptibilidade quando comparada com as colônias expostas ao efeito exclusivo do sedimento ($U' = 36$, $U_{df} = 10$, $p = 0,002$; Figura 10). A susceptibilidade de *M. braziliensis* foi avaliada de acordo com o IS_{Mb} estimado para cada uma das colônias.

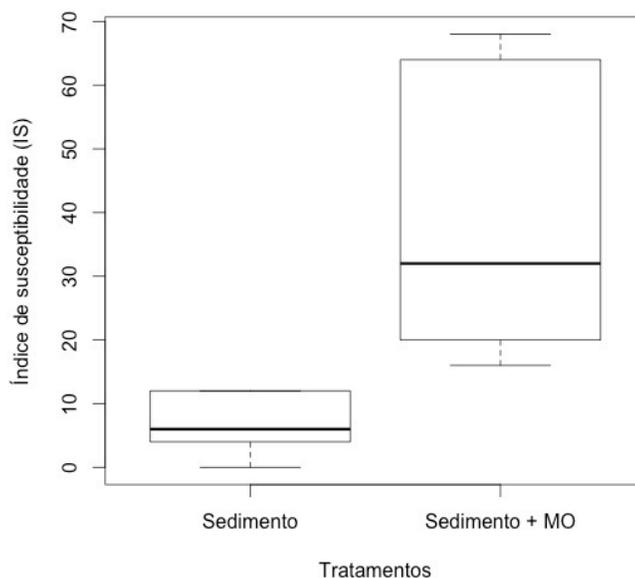


Figura 10 – Diagramas em caixa exibindo a comparação do índice de susceptibilidade das colônias de *M. braziliensis* (IS_{Mb}) expostas ao sedimento livre da presença de matéria orgânica (MO), com o índice das colônias expostas à combinação de sedimento e MO. A partir dos gráficos observa-se que o valor da mediana (ou segundo quartil, representado pela linha grossa horizontal) do IS_{Mb} das colônias do tratamento Sedimento + MO é superior a mediana do IS_{Mb} das colônias do tratamento Sedimento. O limite inferior e superior das caixas representam, respectivamente, os quartis inferior e superior.

Antes do início da experimentação todas as colônias apresentavam tecido saudável e o aspecto íntegro. Após 120 horas, as colônias expostas ao sedimento sem matéria orgânica apresentaram IS_{Mb} (Figura 8) variando desde 0, para a colônia exposta à concentração de $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, até 12, estimado para as colônias expostas às concentrações de 350 e $450 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($6,66 \pm 1,978$; média \pm erro padrão). Já o IS_{Mb} (Tabela 3) das colônias expostas ao sedimento associado com matéria orgânica variou desde 16, para a colônia exposta à concentração de $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, até 68, na colônia exposta a concentração de

350 mg.cm⁻².dia⁻¹ (38,66 ± 9,043). Para as colônias submetidas ao sedimento livre de matéria orgânica, após as 120 horas de exposição, foram observados apenas três tipos de danos, todos eles reversíveis. Já para as colônias expostas por 120 horas ao sedimento combinado com matéria orgânica foram observados todos os danos físicos identificados, como ditos anteriormente. No tratamento que associou a sedimentação com a matéria orgânica até mesmo a colônia exposta à taxa mínima de sedimentação empregada (15 mg.cm⁻².dia⁻¹) sofreu danos físicos (Tabela 3), enquanto que a colônia exposta à mesma concentração de sedimento sem matéria orgânica associada se manteve íntegra após a exposição de 120 horas (Figura 8).

No ar, antes do contato com a água das cubas, a radiação PAR foi equivalente a 12 μmol photons m⁻² s⁻¹ e se manteve constante durante todo o período de iluminação dos aquários. Nos primeiros centímetros de lâmina d'água a radiação PAR também se manteve constante ao longo do fotoperíodo, estimada em 8 μmol photons m⁻² s⁻¹ em todas as cubas. Para cada uma das cubas, a aproximadamente 20 cm de profundidade, a radiação PAR variou ao longo do fotoperíodo de acordo com a taxa de sedimentação, entretanto durante o período em que boa parte do sedimento das cubas estava depositado, a radiação PAR se manteve constante e equivalente a 4 μmol photons m⁻² s⁻¹ (Figura 11).

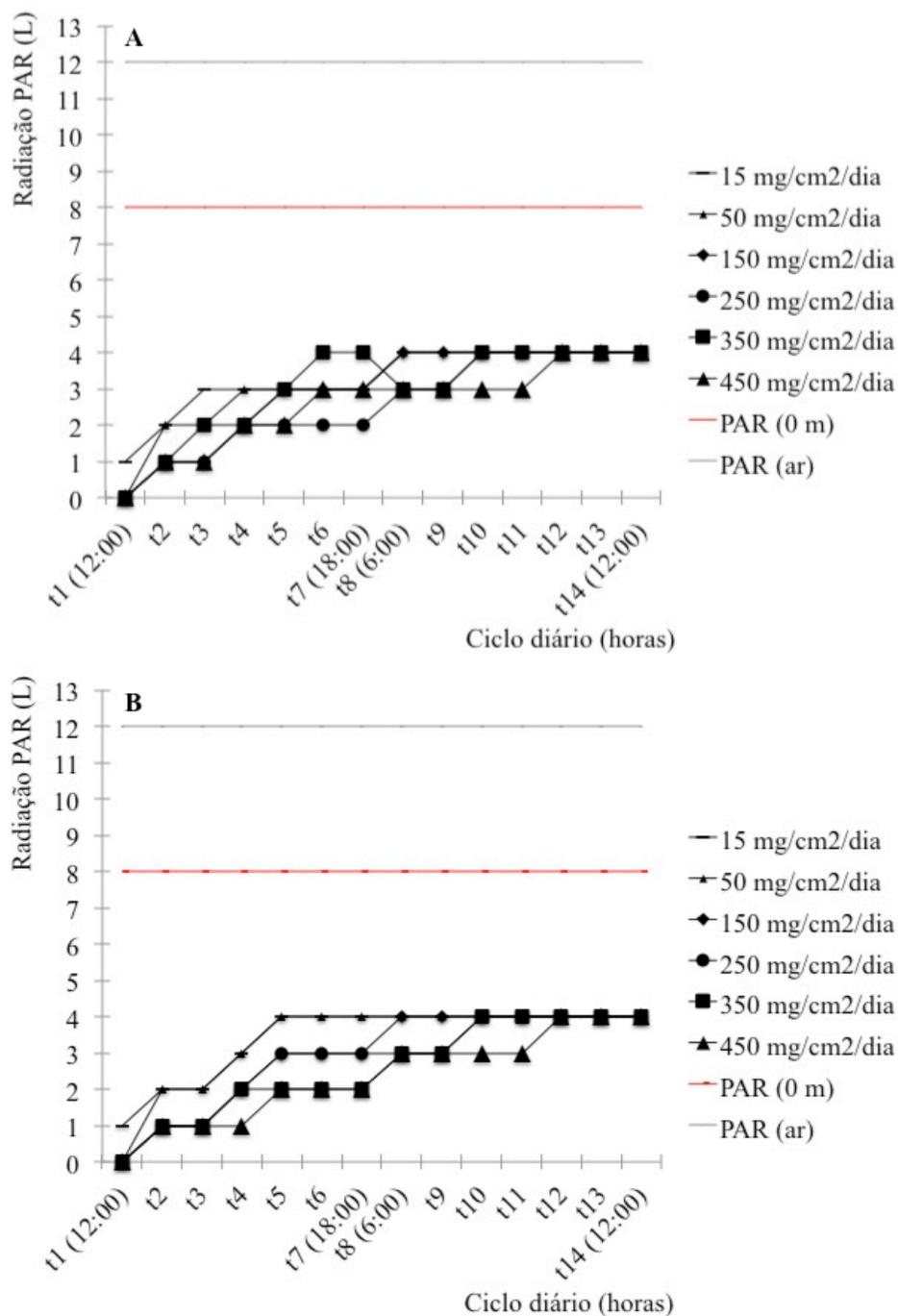


Figura 11: Gráficos das séries temporais da variação da radiação PAR ao longo do período de iluminação de 12 horas em cada uma das sete cubas contendo 15, 50, 150, 250, 350 e 450 mg.cm⁻².dia⁻¹ de sedimento: (A) sem matéria orgânica associada e (B) com matéria orgânica associada. Estão apresentadas também a radiação PAR nos primeiros centímetros de lâmina d'água e no ar, antes do contato com a água, PAR (0 m), representada pelas linhas vermelhas, e PAR (ar), representada pelas linhas cinzas em (A) e (B). No eixo horizontal, cada expressão tx representa um intervalo de tempo de mensuração da radiação PAR.

4. DISCUSSÃO

Em condições controladas de laboratório foi evidenciado que a exposição à sedimentação de longo (45 dias) e curto-prazo (5 dias) afetou o equilíbrio metabólico de *M. braziliensis*. Mais especificamente, o aumento da concentração de sedimento, combinado ou não com matéria orgânica, provocou a diminuição da integridade física do tecido dos corais, avaliada a partir do índice de susceptibilidade (IS_{Mb}) à sedimentação. Os danos físicos observados possivelmente estão associados ao aumento do consumo de energia por conta do estresse promovido pela sedimentação e pelo aporte de matéria orgânica. O redirecionamento ou a simples perda da energia a partir dos mecanismos de defesa ou em situações de necrose tecidual, respectivamente, promovem o desequilíbrio metabólico, o que pode comprometer o 'fitness' dos indivíduos (Hodgson, 1993; Rogers, 1983, 1990).

Quanto aos danos físicos observados, possivelmente o aumento do volume tecidual e a deformação dos pólipos observados representem mecanismos de defesa dos corais, que facilitam a remoção do sedimento depositado sobre a superfície da colônia (Lasker, 1980; Stafford-Smith, 1993). Já o desgaste do tecido, o sufocamento, consequência do soterramento, e a necrose dos pólipos representam danos físicos provocados pela deposição do sedimento. Em recifes expostos a altas taxas de sedimentação o desgaste do tecido colonial é uma consequência comum, sendo que estas lesões são muitas vezes irreversíveis, servindo como porta de entrada para infecções por patógenos oportunistas e levando as colônias à morte (Cortés e Risk, 1985; Johnson e Carter, 1997; Rogers, 1990). O sufocamento causado pelo soterramento também é citado como um dano recorrente em recifes impactados por intensa deposição de sedimento, sendo que a consequência é quase sempre a necrose tecidual (Fabricius, 2005; Phillip e Fabricius, 2003).

A literatura indica que o sedimento e a matéria orgânica interferem severamente no balanço energético dos corais, reduzindo a disponibilidade luminosa e, portanto, a produção fotossintética, e aumentando a respiração, seja por conta do aumento da atividade dos pólipos coloniais para a remoção do sedimento

ou pelo aumento da produção e liberação de muco (Fabricius, 2005; Riegl et al., 1995; Rogers, 1983, 1990) ou pelo desgaste e sufocamento das colônias por conta da deposição sedimentar (Fabricius, 2005, Rogers, 1990). Apesar disso, poucos estudos avaliam a interação direta entre o aumento da sedimentação e do aporte de matéria orgânica e as respostas fisiológicas específicas dos corais, como pode ser visto em Phillip e Fabricius (2003), em Vargas-Angel (2006) e em Lirman e colaboradores (2008).

Em condições laboratoriais realizadas neste estudo, que visou simular o ambiente naturalmente turvo dos recifes marginais do Brasil, onde as taxas de sedimentação superam os limites admitidos na literatura como aceitáveis para o crescimento do recife de forma saudável (Dutra et al., 2006; Leão et al., 2006, 2008; Segal, 2003), os danos físicos observados no tecido das colônias foram menos severos. Ao passo que em condições laboratoriais que simularam impactos naturais ou antrópicos, como eventos de tempestades ou dragagens, que chegam a ressuspender de 200 mg.cm^{-2} até 1800 mg.cm^{-2} (Bak, 1978; Dodge e Vaisnys, 1977; Piniak, 2007; Rogers, 1990), os danos físicos no tecido das colônias foram mais severos e muitas vezes irreversíveis. Apenas em condições de sedimentação acima de $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foram observadas a perda da capacidade de limpeza, com o conseqüente sufocamento dos pólipos a partir do acúmulo de sedimento sobre as colônias, e também, a necrose do tecido. A perda da capacidade de defesa dos corais indica o momento em que o ganho energético, por vias autotróficas ou heterotróficas, não compensa o consumo da energia a partir da respiração (Cortés e Risk, 1985; Fabricius, 2005; Rogers, 1990). Os resultados deste trabalho indicam que a espécie construtora em questão é mais tolerante à sedimentação do que outras espécies consideradas em estudos anteriormente realizados, como *Montipora peltiformis* utilizada como modelo de estudo por Phillip e Fabricius (2003). Em outros estudos o sufocamento e a morte de pólipos foram observados em corais expostos, durante intervalos mais curtos, a concentrações de sedimento inferiores. Phillip e Fabricius (2003) observaram o sufocamento e a necrose do tecido em colônias de *M. peltiformis* depois da exposição, por 12-18 horas, a concentração de sedimento de $151 \pm 37 \text{ mg.cm}^{-2}$.

Diferentemente de muitos trabalhos que associam o aumento da sedimentação com a diminuição da fotossíntese (Jones et al., 1999; Nemeth e Sladeck-Nowlis, 2001; Phillpp e Fabricius, 2003; Riegl e Branch, 1995; Weber et al., 2006), *M. braziliensis* manteve as taxas de eficiência fotoquímica após a exposição por 72 horas ao sedimento associado com matéria orgânica. Ao longo do fotoperíodo de 12 horas de iluminação, a radiação PAR disponível para as colônias variou de acordo com a taxa de sedimentação, sendo que as colônias expostas às menores concentrações de sedimento contaram com um intervalo de tempo mais longo sob níveis maiores de radiação PAR. Para as colônias expostas as concentrações de 15, 50, 150, 250, 350 e 450 mg.cm⁻².dia⁻¹, quando a maior parte do sedimento estava depositado no fundo, a radiação PAR próxima das colônias se manteve constante e representou 50% da radiação PAR disponível nos primeiros centímetros de lâmina d'água e apenas 30% (aproximadamente) da radiação PAR estimada acima do nível da água, antes da transição para a água das cubas. Esperava-se que a eficiência fotobiológica de *M. braziliensis* diminuísse a partir do aumento das taxas de sedimentação (0 a 200 mg.cm⁻².dia⁻¹). Contudo isso não aconteceu neste trabalho. A ausência de relação inversa entre a eficiência fotossintética e a taxa de sedimentação é uma indicação da capacidade de fotoaclimação dos corais brasileiros que estão naturalmente submetidos a ambientes marcadamente turvos (Suggett et al., 2012). Além disso, os altos valores da eficiência fotossintética das colônias expostas a taxas de sedimentação superiores a 200 mg.cm⁻².dia⁻¹ apontam também a alta tolerância dos corais, mesmo quando submetidos a impactos extremos por intensa sedimentação e aporte de matéria orgânica. Para os corais encontrados na Grande Barreira de Recifes da Austrália, por exemplo, a exposição a menores aportes de sedimento durante intervalos de tempo ainda mais curtos foram suficientes para provocar o branqueamento e portanto a diminuição das taxas fotossintéticas (Phillipp e Fabricius, 2003). Neste trabalho as colônias de *M. braziliensis*, após exposição por 72 horas à sedimentação associada com matéria orgânica, mantiveram o valor médio de eficiência fotoquímica observado antes do início da experimentação (aproximadamente 0,6). Colônias de *M. peltiformis*, utilizadas por Phillipp e Fabricius (2003), branquearam e apresentaram níveis de $\Delta F/F_m$ abaixo de 0,1 após exposição por 36 horas à concentração de sedimento de 151 ± 37 mg.cm⁻² de sedimento. Colônias

de *M. peltiformis* utilizadas como controles por estes autores mantiveram valores de $\Delta F/F_m$ entre 0,67 a 0,71 durante a experimentação.

A susceptibilidade de *M. braziliensis* à sedimentação, avaliada a partir do índice de susceptibilidade, foi maior quando o sedimento esteve associado com matéria orgânica. Os eventos de aumento do aporte de sedimentos ricos em componentes orgânicos tendem a ser ainda mais prejudiciais para os corais (Bruno et al., 2003; Lapointe, 2004; Sawall et al., 2011; Umar et al., 1998). A presença de matéria orgânica deve reduzir a capacidade de limpeza dos corais por conta de sua ação floculante que promove a agregação do sedimento fino em partículas maiores. O agregamento dos grãos de sedimento, a partir da floculação, dificulta a sua remoção da superfície das colônias. A ação floculante da matéria orgânica pode ainda ser potencializada pela liberação defensiva de muco pelos corais (Piniak et al., 2007). O efeito floculante da matéria orgânica pode ser observado na figura 11, visto que a intensidade de $4 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ é atingida mais rapidamente nas cubas contendo sedimento combinado com matéria orgânica. Além da floculação, a matéria orgânica associada pode promover a proliferação de microorganismos patogênicos causadores de infecções (Fabricius e Wolansky, 2000). A maior susceptibilidade dos corais ao sedimento combinado com matéria orgânica é um resultado preocupante tendo em vista o crescimento contínuo das populações humanas costeiras e o consequente aumento da poluição marinha associada ao maior aporte de sedimentos enriquecidos, por conta do mau uso da terra (Haapkyla et al., 2011).

O efeito mais severo sobre as colônias de *M. braziliensis* provocados pelo sedimento associado com matéria orgânica difere do resultado observado por Lirman e colaboradores (2008). Estes autores encontraram que duas espécies de corais, *Porites astreoides* e *Siderastrea siderea*, que ocorrem nos recifes brasileiros, cresceram mais quando expostas por um mês à sedimentação ($53 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) combinada com matéria orgânica (176,2 ppm de nitrogênio e 3,8 ppm de fósforo) do que em condições de sedimentação ($53 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) sem matéria orgânica associada (10,3 ppm de nitrogênio e 2,1 ppm de fósforo). O menor impacto do sedimento quando associado com matéria orgânica foi justificado pelos

autores como uma habilidade dos corais em aproveitar os compostos orgânicos como vias alternativas de nutrição, que favoreceram o balanço metabólico e compensaram os efeitos negativos impostos pela sedimentação. A habilidade dos corais de se beneficiar da matéria orgânica associada ao sedimento também foi reportada por Anthony (1999, 2000, 2006), Anthony e Fabricius (2000), Edinger et al. (2000) e Rosenfeld et al. (1999), que observaram o aumento das reservas energéticas, das taxas de crescimento e da resiliência dos corais frente aos distúrbios provocados pela sedimentação. Cabe ressaltar que nos trabalhos citados acima, foram testadas apenas uma taxa de sedimentação, e em níveis muito inferiores às maiores taxas testadas no presente estudo. Os efeitos negativos da matéria orgânica que observamos, como a ação floculante e a capacidade de promover o aumento do número de patógenos oportunistas, prevaleceram sobre os efeitos positivos, como o ganho nutritivo para os corais a partir do consumo dos componentes orgânicos associados ao sedimento. O balanço entre danos e ganhos a partir do contato com o sedimento combinado com matéria orgânica depende da frequência e da intensidade do estresse promovido pela sedimentação e pelo aporte de matéria orgânica assim como dos padrões de tolerância relativos às espécies de corais (Lirman et al., 2008).

Em seu estudo clássico sobre a sedimentação e os recifes de corais Rogers (1990) pontuou para a importância do reconhecimento, por parte dos cientistas, dos limites de tolerância dos corais aos efeitos letais provocados pela exposição ao sedimento. Esta mesma autora sugeriu que taxas de sedimentação equivalentes a $10 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ são suficientes para comprometer a vitalidade dos corais. Loya (1976) sugeriu que taxas superiores a $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ são necessárias para causar o declínio dos recifes e Brown (1997) indicou que valores acima de $50 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ são suficientes para o surgimento de quadros catastróficos. Dutra e colaboradores (2006), estudando a relação entre a acumulação de sedimento e a vitalidade dos recifes da região de Abrolhos concluíram que taxas de acumulação maiores que $10 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ podem ser consideradas críticas para a vitalidade das comunidades recifais amostradas. No presente estudo foi observado que o surgimento de efeitos letais nas colônias de *M. braziliensis* em resposta à sedimentação depende não somente da quantidade de sedimento como

também da presença ou ausência de compostos orgânicos associados. Em presença de matéria orgânica (10% do sedimento), em curta exposição (120 horas) a concentração de $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foi suficiente para causar danos brandos em *M. braziliensis*, como o aumento do volume tecidual dos pólipos. Apenas quando expostos a concentrações iguais ou superiores a $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ os corais apresentaram danos físicos severos e letais, como o sufocamento e a necrose. Livres da presença de compostos orgânicos os corais expostos a concentração de sedimento de $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ não tiveram a sua susceptibilidade física comprometida, mesmo quando expostos por longo período (45 dias) ao sedimento (Figura 8). Nos corais submetidos ao sedimento livre de matéria orgânica os efeitos letais foram observados somente em concentrações superiores a $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, após uma exposição longa de 40 dias.

O coral *M. braziliensis* apresentou uma maior tolerância à sedimentação do que *Montipora peltiformis* (Phillipp e Fabricius, 2003), espécie que ocorre nos recifes da Austrália. Para *M. braziliensis* a exposição ao sedimento não afetou a fotossíntese e os danos físicos letais somente foram observados em condições mais extremas de sedimentação (a partir de $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), tanto para corais expostos ao sedimento livre de matéria orgânica quanto para corais expostos à combinação de sedimento e matéria orgânica, e após intervalos maiores de exposição. Apesar de Phillip e Fabricius (2003) terem observado a redução da eficiência fotossintética, o branqueamento, o soterramento e a necrose do tecido em colônias de *M. peltiformis* expostas a $151 \pm 37 \text{ mg.cm}^{-2}$ de sedimento por 12-18 horas, outros estudos relatam também a tolerância de corais ao aporte de sedimento. Rogers (1983) não observou dano aparente em *Diploria strigosa*, *D. clivosa* e *Acropora palmata*, três espécies de corais do mar do Caribe submetidas a concentrações de sedimento aproximadas de 200 e $800 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de areia. Nesta granulometria, a quantidade de matéria orgânica associada ao sedimento é diminuta. No presente estudo, contudo, o sedimento lamoso possuía até 10% do seu peso de matéria orgânica, e em concentrações até $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de lama, foram observados apenas danos físicos reversíveis, como o aumento do volume tecidual, a deformação e o desgaste dos pólipos. Somente quando expostos a concentrações superiores a $200 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ os corais apresentaram danos irreversíveis como a necrose.

Este estudo, portanto, comprova a tolerância da espécie endêmica do Brasil, *Mussismilia braziliensis*, ao estresse promovido pela intensa sedimentação lamosa. A tolerância representa um mecanismo importante de sobrevivência para os corais que possibilita a existência e o desenvolvimento dos recifes da costa brasileira, marcada pelo aporte intenso e constante de sedimento (Leão et al., 2003). De fato, a tolerância à sedimentação depende, além da espécie de coral em questão, do tipo de sedimento, tanto de sua natureza granulométrica quanto químico-mineralógica, do grau de sedimentação e do tempo de exposição ao estresse, a exemplo do exposto por Lirman et al. (2008), Phillipp e Fabricius (2003), Rogers (1983 e 1990) e Vargas-Angel (2006).

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com recursos de dois projetos do CNPq (558.772/2008-0 e 558.191/2009-6). O primeiro autor é bolsista de mestrado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), os outros autores são bolsistas do CNPq (Pós-doutorado, MDMO e PQ2, RKPK). Os autores em conjunto agradecem à equipe do Trawler oceanográfico Moriá, em especial ao oceanógrafo Saulo Spanó e ao mestre Bernardo Cerqueira, por todo o apoio técnico prestado durante as coletas nos recifes de Abrolhos, ao corpo de trabalho do Grupo de Pesquisa em Recifes de Corais e Mudanças Globais pela ajuda durante as atividades de experimentação desenvolvidas no laboratório e a Pedro Meirelles pela criação do mapa apresentado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anthony, K.R.N., 1999. Coral suspension feeding on fine particulate matter. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 232, 85-106.

Anthony, K.R.N., 2000. Enhanced particle-feeding capacity of corals on turbid reefs (Great Barrier Reef, Australia). Coral Reefs. 19, 59-67.

Anthony, K.R.N., Fabricius, K.E., 2000. Shifting roles of heterotrophy and autotrophy in coral energetics under varying turbidity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 252, 221-253.

Anthony, K.R.N., 2006. Enhanced energy status of corals on coastal, high-turbidity reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 319, 111-116.

Aronson, R.B., Bruno, J.F., Precht, W.F., Glynn, P.W., Harvell, C.D., Kaufman, L., Rogers, C.S., Shinn, E.A., Valentine, J.F., 2003. Causes of coral reef degradation. *Science.* 302, 1502-1502.

Bak, R.P.M., 1978. Lethal and sublethal effects of dredging on reef coral. *Mar. Pollut. Bull.* 9, 14-17.

Bellwood, D.R., Hughes, T.P., Folke, C., Nystrom, M., 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature.* 429, 827-833.

Brown, B.E. Disturbances to reefs in recent times. In: Birkeland, C. (Ed.) *Life and death of coral reefs.* New York: Chapman and Hall, 1997. p. 354-379.

Bruno, J.F., Petes, L.E., Harvell, C.D., Hettinger, A., 2003. Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. *Ecol. Lett.* 6, 1056-1061.

Bryant, D., Burke, L., Mcmanus, J., Spalding, M., 2000. *Reef at Risk: A map-based indicator of threats to the world's coral reefs.* First ed. World Resources Institute (WRI), USA.

Castro, C.B., Pires, D.O., 2001. Brazilian coral reefs: What we already know and what is still missing. *Bull. Mar. Sci.* 69, 357-371.

Carpenter, K.E., Abrar, M., Aeby, G., Aronson, R.B., Banks, S., Bruckner, A., Chiriboga, A., Cortés, J., Delbeek, J.C., DeVantier, L., Edgard, G.J., Edwards, A.J., Fenner, D., Guzmán, H.M., Hoeksema, B.W., Hodgson, G., Johan, O., Licuanan, W.Y., 2008. One-third of reef building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science.* 321, 560-563.

Constanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387, 253-260.

Cortés, J., Risk, M.J., 1985. El arrecife coralino del parque nacional Cahuita, Costa Rica. *Revta. Biol. Trop.* 32, 109-121.

Costa Jr., O.S., Leão, Z.M.A.N., Nimmo, M., Atrill, M., 2000. Nutrification impacts on coral reefs from Northern Bahia, Brazil. *Hydrobiology*. 440, 307-316.

Cottingham, K.L., Lennon, J.T., Brown, B.L., 2005. Knowing when to draw the line: Designing more informative ecological experiment. *Front. Ecol. Environ.* 3, 145-152.

Dodge, R.E., Vaisnys, J.R., 1977. Coral population and growth patterns: Responses to sedimentation and turbidity associated with dredging. *J. Mar. Res.* 35, 715-730.

Dunn, J.G., Sammarco, P.W., Gary, L.Jr., 2012. Effects of phosphate on growth and skeletal density in the scleractinian coral *Acropora muricata*: A controlled experimental approach. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 411, 34-44.

Dutra, L.X.C., Kikuchi, R.K.P., Leão, Z.M.A.N. 2006. Effects of sediment accumulation on reef corals from Abrolhos, Bahia, Brazil. *J. Coastal Res.* 39, 633-638.

Edinger, E.N., Limmon, G.V., Jompa, J., Widjatmokos, W., Heikoop, J.M., Risk, M.J., 2000. Normal coral growth rates on dying reefs: are coral growth rates good indicators of reef health? *Mar. Pollut. Bull.* 40, 404-425.

Fabricius, K.E., 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: Review and synthesis. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 125-146.

Fabricius, K.E., Wolanski, E., 2000. Rapid smothering of coral reef organism by muddy marine snow. Est., Coastal and Shelf Sci. 50, 115-120.

Fisher, L., Banks, K., Gilliam, D., Dodge, R.E., Stout, D., Vargas-Angel, B., Walker, B.K., 2006. Real-time coral stress observations before, during, and after beach nourishment dredging offshore SE Florida. Proc. 11th Int. Coral Reef Symp., Ft. Lauderdale, Florida, v. 1, pp. 34-37.

Gilmourl, J., 1999. Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilisation, larval survival and settlement in a scleractinian coral. Mar. Biol. 135, 451-462.

Godinot, C., Ferrier-Pagès, C., Montagna, P., Grover, R., 2011. Tissue and skeletal changes in the scleractinian coral *Stylophora pistillata* (Esper 1797) under phosphate enrichment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 409, 200-207.

Gotteli, N.J., Ellison, A.M., 2011. Princípios de estatística em ecologia. First ed. Artmed, Porto Alegre.

Haapkyla, J., Unsworth, R.K.F., Flavell, M., Bourne, D.G., Schaffelke, B, Willis, B.L., 2011. Seasonal rainfall and runoff promote coral disease on an inshore reef. Plos one. 6, 1-10.

Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Elbert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R., 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. Science. 319, 948-952.

Hennige, S.J., Smith, D.J., Perkins, R., Consalvey, M., Patterson, D.M., Suggett, D.J., 2008. Photoacclimation, growth and distribution of massive corals in clear and turbid waters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 369, 77-88.

Hodgson, G., 1993. Sedimentation damage to reef corals. In: Ginsburg R.N. (ed) Proceedings of the colloquium on coral reefs: health, hazards and history, 1993. Rosenstiel School of marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida, USA, pp. 298–303.

Hoegh-Guldberg, O., 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar. Freshwater Res.* 50, 839-866.

Hughes, T.P., Rodrigues, M.J., Bellwood, D.R., Ceccarelli, D., Hoegh-Guldberg, O., McCook, L., Moltschaniwskyj, N., Pratchett, M.S., Steneck, R.S., Willis, B., 2007. Phase shifts, herbivory and the resilience of coral reefs to climate change. *Curr. Biol.* 17, 1-6.

Hulbert, S.T., 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Monog.* 54, 87-211.

Johnson, D.P., Carter, R.M., 1987. Sedimentary framework of mainland fringing reef development, Cape Tribulation area. Great Barrier Reef Marine Park authority technical memorandum GBRMPA-TM-14. Department of Geology, James Cook University of North Queensland, Townsville, Q 4811, Australia.

Jones, R.J., Kildea, T., Hoegh-Guldberg, O., 1999. PAM Chlorophyll Fluometry: A new in situ technique for stress assessment in scleratinian corals, used to examine the effects of cyanide from cyanide fishing. *Mar. Pollut. Bull.* 38, 864–874.

Kleypas, J.A., McManus, J.W., Meñez, A.B., 1999. Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line? *Amer. Zool.*, 39, 146-159.

Lapointe, B.E., Barile, P.J., Matzie, W.R., 2004. Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the lower Florida Keys: Discrimination of local versus regional nitrogen sources. *J. Exp. Mar. Biol.* 308, 23-58.

Lasker, H.R., 1980. Sediment rejection by reef corals: the roles of behavior and morphology in *Montastrea cavernosa* (Linnaeus). J. Exp. Mar. Ecol. 47, 77–87.

Leão, Z.M.A.N., 1999. Abrolhos – O Complexo recifal mais extenso do oceano Atlântico Sul. Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Universidade Federal da Bahia, Centro de pesquisas em geofísica e geologia, Instituto de geociências, Laboratório de estudos costeiros. <http://vsites.unb.br>.

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Testa, V., 2003. Corals and coral reefs of Brazil. in: Cortés, J. (Ed.) Latin America coral reefs. The Netherlands: Elsevier Publisher, Amsterdam, pp. 9-52.

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., 2005. A relic coral fauna threatened by global changes and human activities, Eastern Brazil. Mar. Pollut. Bull. 51, 599-611.

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Dutra, L.X.C., Oliveira, M.D.M., 2006. The status of eastern Brazil coral reefs during the last 5000 years. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Townsville, v. 1, pp. 959-968.

Leão, Z.M.A.N., Oliveira, M.D.M., Kikuchi, R.K.P., 2008. Os recifes de coral da APA Ponta da Baleia, Bahia. OLAM Ciência & Tecnologia. 8, 287-315.

Lirman, D., Herlan, J., Langdon, C., Capo, T., 2008. Exposure to nutrient-enriched sediments mitigates the negative impacts of sedimentation on coral growth in the Caribbean corals *Porites astreoides* and *Siderastrea siderea*. Proc. 11th Int. Coral Reef Symp., Ft. Lauderdale, Florida, v. 2, pp. 7-11.

Lough, J.M., Barnes, D.J., McAllister, F.A., 2002. Luminescent lines in corals from the Great Barrier Reef provide spatial and temporal records of reefs affected by land runoff. Coral Reefs. 21, 333-343.

Loya, Y., 1976. Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. Bull. Mar. Sci. 26, 450-466.

Muscatine, L., 1990. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals. *Coral Reefs*. 25, 1-29.

Nemeth, R.S., Sladeck-Nowlis, J., 2001. Monitoring the effects of land development on the nearshore reef environment of St. Thomas, USVI. *Bull. Mar. Sci.* 69, 759-775.

Nughes, M.M., Roberts, C.M., 2003a. Coral mortality and interaction with algae in relation to sedimentation. *Coral Reefs*. 22, 507-516.

Nughes, M.M., Roberts, C.M., 2003b. Partial mortality in massive reef corals as an indicator of sediment stress on coral reefs. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 314-323.

Oliveira, M.D.M., 2007. Efeito do aquecimento global sobre a extensão linear, densidade e taxa de calcificação do esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* (Verril, 1868), no ultimo século (Abrolhos, Bahia). Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Pós-graduação em Geologia Costeira e Sedimentar, Instituto de Geociências, Salvador, Bahia.

Oliveira, M.D.M., Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., 2008. Culture of *Millepora alcicornis* as a tool for restoration and management of reefal ecosystems of northeast Brazil. *Rev. gestão cost. Integ.* 8, 183-201.

Phillip, E., Fabricius, K.E., 2003. Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 287, 57-78.

Piniak, G.A., 2007. Effects of two sediment types on the fluorescence yield of two hawaiian scleractinian corals. *Mar. Env. Res.* 64, 456-468.

Reaka-Kudla, M.L., 1994. The global biodiversity of coral reefs. A comparison with rain forests. Professor, Department of Zoology, University of Maryland, College Park.

Reis, M.A.C., Leão, Z.M.A.N., 2003. Bioerosion rate of the sponge *Cliona celata* (Grant 1826) from reefs in turbid waters, north Bahia, Brazil. Proc 10th Int. Coral Reef Symp, Okinawa. v. 1, pp. 273-278.

Reopanichkul, P., Schlacher, R.W., Carter, R.W., Worachananant, S., 2009. Sewage impacts coral reefs at multiple levels of ecological. Mar. Pollut. Bull. 58, 1356-1362.

Riegl, B., 1995. Effects of sand deposition on scleractinian and alcyonacean corals. Mar. Biol. 121, 517-526.

Riegl, B., Bloomer, J.P., 1995. Tissue damage in scleractinian and alcyonacean corals due to experimental exposure to sedimentation. Beitr Palänot, 20, 51-63.

Riegl, B., Branch, G.M., 1995. Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1990) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) Corals. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 186, 259-275.

Rogers, C.S., 1983. Sublethal and lethal effects of sediments applied to common caribbean reef corals in the field. Mar. Pollut. Bull. 4, 78-382.

Rogers, C.S., 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. Mar. Ecol. Prog. Ser. 62, 185-202.

Rosenfeld, M., Bresler, V., Abelson, A., 1999. Sediment as a possible source of food for corals. Ecol. Lett. 2, 345-348.

Sawall, Y., Teichberg, M.C., Seemann, J., Litaay, M., Jompa, J., Richter, C., 2011. Nutritional status and metabolism of the coral *Stylophora subseriata* along a eutrophication gradient in Spermonde Archipelago (Indonesia). Coral Reefs. 30, 841-853.

Segal, B., 2003. Corais e comunidades recifais e sua relação com a sedimentação no Banco de Abrolhos, Brasil. 133 f. Tese (Doutorado), Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Segal, B., Castro, C.B., 2011. Coral community structure and sedimentation at different distances from the coast of the Abrolhos Bank. *Braz. Journal Ocean.* 59, 119-129.

Sofonia, J.J., Anthony, K.R.N., 2008. High-sediment tolerance in the reef coral *Turbinaria mesenteria* from the inner Great Barrier Reef lagoon (Australia). *Est. Coastal Shelf Sci.* 78, 748-752.

Stafford-Smith, M.G., 1993. Sediment rejection efficiency of 22 species of Australian scleractinian corals. *Mar. Biol.* 115, 229–243.

Suggett, D.J., Oxborough, K., Baker, A.N.R., Macintyre, H.L., Kana, T.M., Geider, R.J., 2003. Fast repetition rate and pulse amplitude modulation chlorophyll a fluorescence measurements for assessment of photosynthetic electron transport in marine phytoplankton. *Euro. J. Phycol.* 38, 371–384.

Suggett, D.J., LE FLOCC’H, H.E., Harris, G.N., Leonardos, N., Geider, R.J., 2007. Different strategies of photoacclimation by two strains of *Emiliania huxleyi* (Haptophyta). *J. Phycol.* 43, 1209-1222.

Suggett, D., Kikuchi, R.K.P., Oliveira, M.D.M., Spanó, S., Carvalho, R., Smith, D.J., 2012. Photobiology of corals from Brazil’s near-shore marginal reefs of Abrolhos. *Mar. Biol.* On line First, DOI: 10.1007/s00227-012-1925-6. 2012.

Szmant, A.N., 2002. Nutrient enrichment on coral reefs: Is it a major cause of coral reef decline? *Estuaries.* 25, 743-766.

Umar, M.J., McCook, L.J., Price, I.R., 1998. Effects of sediment deposition on the seaweed *Sargassum* on a fringing coral reef. *Coral Reefs.* 17, 169-177.

Vargas-Angel, B., Riegl, B., Gilliam, D., Dodge, R., 2006. An experimental histopathological rating scale of sedimentation stress in the Caribbean coral *Montastraea cavernosa*. Proc. 10th Int. Coral Reef Symp., Okinawa, v. 4, pp. 1168-1173.

Veron, J.E.N., Hoegh-Guldberg, O., Lenton, T.M., Lough, J.M., Obura, D.O. Pearce-Kelly, P., Sheppard, C.R.C., Spalding, M., Stafford-Smith, M.G., Rogers, A.D., 2009. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂. Mar. Pollut. Bull. 58, 1428-1436.

Weber, M., Lott, C., Fabricius, K.E., 2006. Sedimentation Stress in a Scleractinian Coral Exposed to Terrestrial and Marine Sediments with Contrasting Physical, Organic and Geochemical Properties. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 336, 18–32.

Wesseling, I., Uychiaoco, A.J., Aliño, P.M., Aurin, T., Vermaat, J.E., 1999. Damage and Recovery of Four Philippine Corals from Short-Term Sediment Burial. Mar. Ecol. Prog. Ser. 176, 11-15.

Wilkinson, C. (ed.), 2008. Status of Coral Reefs of the World. Global Coral Reef Monitoring Network, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland.

Yentsch, C.S., Yentsch, C.M., Cullen, J.J., Lapointe, B., Phinney, D.A.; Yentsch, S.W., 2002. Sunlight and Water Transparency; Cornestones in Coral Research. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 268, 171-183.

ZAR, J.H., 1999. Biostatistical analysis. Prentice hall Upper Saddle River, NJ. pp. 78-80.