



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ - UESC

CYBELLE MENOLLI LONGHINI

**BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO NO PLATÔ RECIFAL DE COROA
VERMELHA, SANTA CRUZ DE CABRÁLIA – BAHIA.**

**ILHÉUS – BA
2010**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CYBELLE MENOLLI LONGHINI

**BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO NO PLATÔ RECIFAL DE COROA
VERMELHA, SANTA CRUZ DE CABRÁLIA, BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais da Universidade Estadual de Santa Cruz, para a obtenção do título de Mestre em Sistemas Aquáticos Tropicais.

Área de concentração: Ecologia e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Friederichs Landim de Souza

L854 Longhini, Cybelle Menolli.
Biogeoquímica do carbono no platô recifal de Coroa Vermelha,
Santa Cruz de Cabralia - Bahia / Cybelle Menolli Longhini.– Ilhéus,
BA : UESC, 2010.
xi, 71f. : il.

Orientador : Marcelo Friederichs Landim de Souza.
Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de
Santa Cruz. Programa de Pós-graduação em Sistemas
Aquáticos Tropicais.
Inclui bibliografia.

1. Recifes de corais. 2. Macroalgas. 3. Ecossistemas
aquáticos. 4. Ecologia dos recifes de coral. 5. Ciclo do
carbono (Biogeoquímica). I. Título.

CDD 551.46137

CYBELLE MENOLLI LONGHINI

**BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO NO PLATÔ RECIFAL DE COROA
VERMELHA, SANTA CRUZ DE CABRÁLIA, BAHIA**

Ilhéus – BA, 25/03/2010.

Prof. Dr. Marcelo Friederichs Landim de Souza
UESC/DCET
(Orientador)

Prof. Dr. Marcelo Corrêa Bernardes
UFF/Programa de Pós-Graduação em Geoquímica

Prof^ª. Dr^ª. Kátia Regina Vieira de Rezende
UESC/DCB

Prof^ª. Dr^ª. Daniela Mariano Lopes da Silva
UESC/DCB

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmãs, pelo amor incondicional, apoio e incentivo constante. Por constituírem meu porto seguro e espelho de integridade.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida, força e capacidade de traçar e buscar meus objetivos.

Aos meus pais, por possibilitarem a concretização dos meus sonhos através da dedicação, amor e confiança.

Às minhas irmãs Dani e Tati, por se fazerem presentes em todos os momentos, mesmo à distância. Pelas demonstrações de carinho, amor e pelo crescimento mútuo. E à minha pequena “tchutchuquinha” Mimim, por encher a minha vida de alegria.

Ao Tony, pela compreensão, companheirismo constante e por participar ativamente do meu crescimento pessoal e profissional.

À família Estrela, em especial à tia Solange, Elinha e Biluca, por me acolherem com carinho materno e fraterno.

À querida amiga Ana Luiza, carinhosamente chamada de “neguinha”, e sua maravilhosa família, por me acolherem em seu lar nos momentos de desespero.

Ao Prof. Marcelo Landim, pela orientação, confiança e por contribuir para o meu amadurecimento profissional, além da amizade gratificante.

À Universidade Estadual de Santa Cruz pela infra-estrutura e à FAPESB pela bolsa de estudos concedida.

À Prof^a Daniela Mariano, por estar sempre disponível ao esclarecimento de dúvidas e pelas inúmeras contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Gil Marcelo, pelas orientações na utilização do programa para o tratamento de imagens.

À Prof^a Erminda Couto, pelo auxílio na identificação das macroalgas.

Aos amigos de laboratório, Zitinha, Gil, Cidoca, Nandoca, Tai, Binho, Lu e Leiza. Pela força, colaboração e momentos de descontração, o que tornaram a rotina de trabalho mais prazerosa.

Aos “xuxures” da turma do SAT 2008, pela amizade, companheirismo e por compartilharmos momentos intensos de alegria e “lamúrias dissertativas”.

Ao colega Salatiel, pela contribuição no desenvolvimento de análises químicas.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho, agradeço profundamente!

BIOGEOQUÍMICA DO CARBONO NO PLATÔ RECIFAL DE COROA VERMELHA, SANTA CRUZ DE CABRÁLIA, BAHIA

Autor: CYBELLE MENOLLI LONGHINI

Orientador: PROF. DR. MARCELO FRIEDERICHS LANDIM DE SOUZA

RESUMO

Os processos metabólicos de produção primária e precipitação de CaCO_3 participam diretamente do ciclo global do carbono, tendo grande influência sobre os fluxos de CO_2 através da interface ar-água. Muitas pesquisas têm sido realizadas acerca do metabolismo dos ecossistemas recifais a fim de determinar o seu funcionamento como sumidouros ou fontes de CO_2 para a atmosfera. Outros trabalhos descrevem as taxas de produção primária de diferentes organismos autotróficos e a contribuição destes para o metabolismo líquido total do recife. Entretanto, estes estudos geram resultados variáveis, além de serem praticamente ausentes em recifes brasileiros. Neste trabalho foram calculadas as taxas de produção líquida do ecossistema (PLE), precipitação/dissolução de CaCO_3 e fluxos de CO_2 através da interface ar-água em quatro coletas realizadas no platô recifal exposto de Coroa Vermelha, durante o período diurno de baixamar. Além disso, foram feitas estimativas destas taxas na condição de imersão (maré alta), a fim de caracterizar o balanço do carbono neste ecossistema. Os resultados mostram a ocorrência de autotrofia e calcificação líquida durante o período diurno de exposição. As taxas de PLE variaram entre $-5,8$ e $31,0 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e a calcificação ocorreu entre $-9,4$ e $26,4 \text{ mmol CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. No platô recifal exposto, ocorreu predominância de entrada de CO_2 para a água do mar. Estes fluxos variaram entre $-5,0$ e $23,0 \times 10^{-3} \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e foram determinados principalmente pelo processo de produção primária. As regiões adjacentes ao recife apresentaram características heterotróficas, exercendo influência sobre o metabolismo do recife quando imerso. Este apresentou liberação líquida de CO_2 para a atmosfera ($-10,5$ a $0,4 \times 10^{-3} \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Dados coletados em uma amostragem noturna resultaram em valores de alcalinidade e pH que podem resultar em elevada $p\text{CO}_2$ e liberação de CO_2 para a atmosfera de até duas ordens de grandeza maior do que a absorção durante o dia. Isto pode indicar a ocorrência de saída líquida de CO_2 no platô recifal no período de 24 horas. Para avaliar a contribuição relativa de diferentes organismos autotróficos para o metabolismo do recife, foram determinadas experimentalmente as taxas de produção primária líquida dos microfitobentos epilíticos e epifíticos, microalgas endolíticas e diferentes espécies de macroalgas, a partir da variação na concentração de CO_2 dissolvido durante um intervalo de tempo de incubação. Os resultados mostram que em substratos carbonáticos, as macroalgas apresentam maiores taxas instantâneas para a produção primária líquida ($21,7 \pm 4,0 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) do que os microfitobentos epilíticos e epifíticos ($12,3 \pm 21,1 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) e as microalgas endolíticas ($2,9 \pm 3,8 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) e foram os principais produtores do recife, contribuindo com cerca de 34% do metabolismo total. Entretanto, quando foi considerada a área de cobertura destes organismos sobre o platô, as microalgas endolíticas também apresentaram importante contribuição para a produtividade total do recife ($2,3 \pm 2,9 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; cerca de 12%). A Phaeophyta *Dictyopteris* sp. apresentou a maior contribuição dentre as macroalgas estudadas ($3,0 \pm 0,6 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; cerca de 16% da produção total).

Palavras-chave: autotrofia/heterotrofia; carbonato de cálcio; $p\text{CO}_2$; ciclo do carbono; macroalgas; microflora epilítica, microalgas endolíticas.

CARBON BIOGEOCHEMISTRY AT THE COROA VERMELHA REEF FLAT, SANTA CRUZ DE CABRÁLIA, BAHIA

Author: CYBELLE MENOLLI LONGHINI

Advisor: DR. MARCELO FRIEDERICHS LANDIM DE SOUZA

ABSTRACT

The metabolic processes of primary production and precipitation of CaCO_3 influence directly the carbon global cycle, controlling the CO_2 fluxes through the air-sea interface. Some research has been done about the reef ecosystems metabolism intending to determine their functioning as a sink or source of CO_2 to the atmosphere. Other works described the primary production rates of different autotrophic organisms and their contribution for the total net metabolism of the reef. However, these studies show variable results and in the literature there is no research concerning this matter in Brazilian reefs. This study describes the net ecosystem production rates (NEP), precipitation/dissolution of CaCO_3 and CO_2 fluxes through the air-sea interface at the exposed Coroa Vermelha reef flat during daylight low tide. These rates were also estimated during immersion (high tide), in an attempt to characterize the carbon budget in this ecosystem. The results show net autotrophy and calcification during the daylight time of the flat exposition. The NEP rates varied from -5.8 to $31.0 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and calcification were about -9.4 to $26.4 \text{ mmol CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. At the exposed reef flat, occurs a predominance of the CO_2 invasion to the seawater. These fluxes varied between -5.0 and $23.0 \times 10^{-3} \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and they were mainly determined by carbon organic metabolism. The adjacent regions to the reef presented heterotrophic characteristics, influencing the metabolism of the immerse reef flat, which present net release of CO_2 to the atmosphere ($-10,5$ to $0,4 \times 10^{-3} \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). The data collected in one nighttime sampling result in total alkalinity and pH values that could generate elevated $p\text{CO}_2$ and evasion of CO_2 to the atmosphere of the two orders of magnitude higher than the daylight input. This can indicate a net release of CO_2 during the 24 hours period. To evaluate the relative contribution of the different autotrophic organisms for the reef metabolism, the net primary production rates of epilithic microphytobenthos, endolithic microalgae and macroalgae were determined experimentally by the changes of dissolved CO_2 concentration during a time interval of incubation. In these carbonate substrates, the macroalgae presented a higher instantaneous contribution for primary production ($21.7 \pm 4.0 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) than epilithic microphytobenthos ($12.3 \pm 21.1 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) and endolithic microalgae ($2.9 \pm 3.8 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) and it was the main reef primary producers, contributing with about 34% of the total metabolism. However, when the coverage area of these organisms at the flat was taking account, the endolithic microalgae also show important contribution for the total reef productivity ($2.3 \pm 2.9 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; around 12%). The Phaeophyta *Dictyopteris* sp. show the higher contribution amongst the tested macroalgae ($3.0 \pm 0.6 \text{ mmol C. m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; around 16% of the total production).

Key words: autotrophy/heterotrophy; calcium carbonate; $p\text{CO}_2$; carbon cycle; macroalgae; epilithic microflora, endolithic microalgae.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Média e desvio-padrão do pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID), $p\text{CO}_2$ e Ω_{arag} registrados durante o intervalo de exposição do platô recifal (n=6 em Julho/2006 e Janeiro/2008; n=8 em Junho e Agosto/2007) e regiões adjacentes. AT, CID e CO_2 dissolvido em $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $p\text{CO}_2$ em μatm ; T_o = tempo inicial da exposição do platô; T_f = tempo final da exposição do platô.....29
Tabela 2	Intervalo, média e desvio-padrão das taxas de produção primária líquida (PLE - $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), calcificação líquida ($\text{mmol CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e fluxos de CO_2 ($10^{-3} \text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) calculados para as poças de maré amostradas no platô recifal (n=6 em Julho/2006 e Janeiro/2008; n=8 em Junho e Agosto/2007).....31
Tabela 3	Comparação das taxas metabólicas estimadas neste estudo (média \pm desvio padrão) com outras pesquisas realizadas em platôs recifais.....38
Tabela 4	Classificação e identificação (quando concluída) dos tipos de macroalgas utilizados nos experimentos em 28 e 29 de Outubro de 2008.....48
Tabela 5	Variação da temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID) e Ω_{arag} ao longo do tempo de incubação nos experimentos com os blocos carbonáticos e no fitoplâncton.....52
Tabela 6	Variações da temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID) e Ω_{arag} ao longo do tempo de incubação nos tratamentos, no fitoplâncton e na poça de maré onde foi realizado o experimento com as macroalgas em 28/10/200.....53
Tabela 7	Variações da temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID) e Ω_{arag} ao longo do tempo de incubação nos tratamentos, no fitoplâncton e na poça de maré onde foi realizado o experimento com as macroalgas em 29/10/2008.....54
Tabela 8	Média, desvio padrão e percentual de contribuição dos diferentes grupos autotróficos para as taxas de produção primária líquida (PPL - $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$).....55
Tabela 9	Razão matéria orgânica/g de biomassa seca e taxas de produção primária líquida (PPL) das diferentes espécies de macroalgas utilizadas nos experimentos.....56
Tabela 10	Taxas metabólicas dos principais processos que atuam na biogeoquímica do carbono no recife de Coroa Vermelha. * Total macroalgas corresponde à soma da contribuição individual de cada grupo para o metabolismo líquido do recife.....65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Especiação química do CO ₂ na água do mar de acordo com a variação no pH.....	15
Figura 2	Processos que afetam as concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID) e a alcalinidade total.....	17
Figura 3	Localização da área de estudo. PRCV = Platô Recifal de Coroa Vermelha; EN = Enseada Norte; ES = Enseada Sul; BE = Borda Externa. Seta com linha tracejada sobre o platô do recife mostra a direção do transecto. Modificado a partir de COSTA JÚNIOR <i>et al.</i> , 2006.....	25
Figura 4	Diagrama de dispersão mostrando o comportamento do carbono inorgânico dissolvido x pH no platô recifal durante o intervalo diurno de exposição.....	30
Figura 5	Fluxos de dióxido de carbono através da interface ar-água no platô recifal de Coroa Vermelha (mmol CO ₂ . m ⁻² . h ⁻¹). a) Julho/2006; b) Junho/2007; c) Agosto/2007; d) Janeiro/2008. Valores positivos indicam entrada de CO ₂ na água; valores negativos indicam liberação de CO ₂ para a atmosfera.....	32
Figura 6	pCO ₂ atmosférica medida em a) 2,0 metros de altura; b) 0,5 metros de altura; e c) pCO ₂ na água do mar do platô recifal. Medidas realizadas nas porções inicial, média e final do platô do recife, partindo do tómbolo em direção à borda externa.....	33
Figura 7	Localização da área de estudo. PRCV = Platô Recifal de Coroa Vermelha; EN = Enseada Norte; ES = Enseada Sul; BE = Borda Externa. Seta com linha tracejada sobre o platô do recife mostra a direção do transecto. Modificado a partir de COSTA JÚNIOR <i>et al.</i> , 2006.....	44

Figura 8	Esquema ilustrando a manipulação dos blocos e classificação dos tratamentos utilizados experimentalmente. Microfitobentos incluem os epilíticos e epifíticos.....	46
Figura 9	Esquema exemplificando o desenvolvimento do experimento <i>in situ</i> ; incubações realizadas dentro da poça de maré.....	47
Figura 10	Esquema exemplificando o desenvolvimento do experimento <i>ex situ</i> ; incubações realizadas em bandejas contendo água do mar.....	47
Figura 11	Média \pm desvio padrão do percentual de cobertura de organismos autotróficos (incluindo produtores simbióticos) ao longo de um transecto traçado no platô recifal de Coroa Vermelha.....	51
Figura 12	Média \pm desvio padrão das taxas de produção primária líquida (PPL - $\text{mmol C} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) estimadas para os diferentes grupos de organismos colonizadores de substratos carbonáticos no experimento <i>ex situ</i> . Em a) taxas estimadas para 1m^2 ; em b) taxas extrapoladas para a área total de cobertura dos diferentes organismos no recife de Coroa Vermelha (em m^2). Macro = macroalgas; euendo = microalgas endolíticas.....	55
Figura 13	Média \pm desvio padrão das taxas de produção primária líquida (PPL) das espécies de macroalgas estimadas por a) biomassa seca (g); b) área no experimento (m^2); c) área de cobertura de cada espécie no recife (m^2).....	57

SUMÁRIO

	Resumo	v
	Abstract	vi
1	INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1	Recifes de Coral – Definição e Importância.....	12
1.2	Ambientes de poças de maré.....	13
1.3	Metabolismo, Calcificação e Fluxos de CO ₂	13
1.3.1	Importância dos recifes de coral para o ciclo global do carbono – participação dos processos de fotossíntese e calcificação.....	14
1.3.2	Alcalinidade Total e Calcificação.....	16
1.3.3	Fluxos de CO ₂ e influências sobre as taxas de Calcificação.....	17
1.4	Produtores Primários e o Metabolismo Recifal.....	18
2	HIPÓTESES	20
3	OBJETIVOS	20
3.1	Geral.....	20
3.2	Específicos.....	20
	CAPÍTULO I	21
4	METABOLISMO LÍQUIDO, CALCIFICAÇÃO E FLUXOS DE CO₂ NO PLATÔ RECIFAL DE COROA VERMELHA, SUL DA BAHIA, NORDESTE DO BRASIL	21
	Resumo	21
	Abstract	22
4.1	INTRODUÇÃO	23
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.2.1	Área de estudo.....	25
4.2.2	Amostragem.....	26
4.2.3	Análises químicas; Cálculos da especiação química CO ₂ /H ₂ O; Fluxos de CO ₂ ; Produção Primária Líquida; Precipitação/Dissolução de CaCO ₃ ; Análises Estatísticas.....	26
4.3	RESULTADOS	28
4.3.1	Caracterização hidroquímica e especiação química do CO ₂	28

4.3.2	Produção líquida do ecossistema (PLE), precipitação/dissolução líquida de CaCO_3 e fluxos de CO_2	30
4.4	DISCUSSÃO	33
4.5	CONCLUSÕES	38
	CAPÍTULO II	40
5	IMPORTÂNCIA RELATIVA DE ORGANISMOS AUTOTRÓFICOS PARA O METABOLISMO LÍQUIDO DO PLATÔ RECIFAL DE COROA VERMELHA, BAHIA	40
	Resumo	40
	Abstract	41
5.1	INTRODUÇÃO	42
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS	44
5.2.1	Área de Estudo.....	44
5.2.2	Amostragem e experimentos.....	45
5.2.2.1	Comunidades epilíticas, epifíticas e endolíticas em substratos carbonáticos.....	45
5.2.2.2	Macroalgas.....	47
5.2.3	Laboratório.....	48
5.2.4	Cálculos do sistema $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$; Calcificação/dissolução de CaCO_3 (G) e Produção Primária Líquida (PPL).....	49
5.3	RESULTADOS	50
5.3.1	Área total de cobertura dos principais organismos autotróficos.....	50
5.3.2	Variáveis abióticas.....	51
5.3.3	Taxas de produção primária líquida das comunidades epilíticas e endolíticas colonizadoras de substratos carbonáticos.....	54
5.3.4	Taxas de produção primária líquida das diferentes espécies de macroalgas.....	56
5.4	DISCUSSÃO	58
5.5	CONCLUSÕES	62
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Recifes de Coral – Definição e Importância

Sob o ponto de vista geomorfológico, um recife de coral é uma estrutura rochosa, rígida, resistente à ação das ondas e correntes marinhas, formada pelo acúmulo de esqueleto carbonático produzido, principalmente, por corais escleractíneos e macroalgas calcárias (LEÃO, 1994).

Esses ecossistemas apresentam grande importância biológica, oferecendo subsídios como alimento e proteção, que possibilitam a coexistência de uma grande diversidade de fauna e flora. Os vermes endolíticos, os ouriços, as esponjas, as gorgônias, os moluscos, os crustáceos e os peixes podem ser destacados como animais que utilizam o recife para estes fins (LEÃO *et al.*, 2008). Os ambientes recifais também exercem relevantes funções ecológicas como proteção da costa contra tempestades e, em geral, contra a erosão, reciclagem de nutrientes e estabelecimento de berçários para inúmeras espécies de organismos marinhos (BUDDEMEIER *et al.*, 2004). Em algumas localidades, os recifes também protegem os manguezais, as pradarias e os bancos de macroalgas (DUTRA, 2000).

Além disso, estes ambientes são importantes fontes de recursos pesqueiros, constituindo também um grande atrativo para a indústria do turismo subaquático. Desta forma, a saúde destes ecossistemas tem influência direta sobre o bem-estar e até sobre a sobrevivência das populações que vivem em zonas costeiras.

Os recifes de coral brasileiros estão distribuídos ao longo de 3000 km da costa nordeste do país e representam o único sistema recifal verdadeiro do Atlântico Sul, conhecidos pelo seu elevado grau de endemismo (FERREIRA & MAIDA, 2006). A maioria de registros sobre os recifes verdadeiros do sul encontra-se no Complexo Recifal de Abrolhos, BA (18°S). Além dos recifes verdadeiros que se distribuem desde o sul da Bahia até o norte do Maranhão, comunidades coralinas foram registradas no Brasil desde o Parcel Manuel Luiz, MA (0°53'S, 44°16'W) até o Arraial do Cabo, RJ (23°S, 42°W) além do Atol das Rocas e do arquipélago oceânico de Fernando de Noronha (CASTRO & PIRES, 2001). O litoral do estado da Bahia apresenta o maior número descrito de espécies de corais da costa Nordeste (LEÃO *et al.*, 2008).

1.2 Ambientes de poças de maré

As poças de maré são ambientes característicos de costões rochosos, entretanto, poças também são formadas no topo recifal durante a baixamar. Esta estrutura refere-se à parte superior dos chapeirões e bancos recifais. Nos bancos recifais, geralmente o topo horizontal fica exposto durante as marés baixas. Esses topos intermareais são irregulares e apresentam poças rasas e arenosas, ou mais profundas e com o substrato rochoso. Canais meandantes cortam a superfície do topo dos bancos recifais fazendo conexão entre as poças de marés (LEÃO, 2002).

Em Coroa Vermelha, as poças funcionam como sistema de incubações *in situ*, o que permite estudos acerca dos processos metabólicos desenvolvidos pelos organismos que nelas habitam, além das interações destes com o meio. Devido às extensões reduzidas, estes ambientes são caracterizados por grande variação diária e sazonal dos parâmetros físicos e químicos, principalmente temperatura, salinidade e amplitude de maré. A variação na concentração de CO₂ e O₂ irá depender da estrutura da comunidade dominante nestes locais.

1.3 Metabolismo, Calcificação e Fluxos de CO₂

O metabolismo de um ecossistema é definido como o balanço da matéria orgânica produzida a partir dos processos de fotossíntese e de quimiossíntese e da mineralização desta através dos processos de respiração e fermentação (ODUM, 1956; CARMOUZE, 1994).

Quando o sistema é autotrófico ou apresenta autotrofia líquida, os processos de produção de matéria orgânica excedem os de consumo por remineralização (produção primária maior que respiração) e a matéria orgânica produzida é utilizada no metabolismo dos organismos presentes no meio ou eventualmente exportada. Nestas condições, o sistema importa nutrientes inorgânicos de fonte alóctone (natural ou antropogênico) e funciona como um dreno de carbono da atmosfera. Quando o sistema apresenta heterotrofia líquida, há dominância na entrada de matéria orgânica alóctone e taxas de produção primária menores que a respiração em escala ecossistêmica. Desta forma, há exportação de nutrientes inorgânicos produzidos por remineralização bacteriana e liberação de CO₂ para a atmosfera. Quando avaliado na escala de ecossistema, o metabolismo líquido representa o balanço dos processos metabólicos de todas as comunidades presentes. Assim, o metabolismo líquido do sistema pode ser medido a partir do balanço entre os processos de produção primária e

respiração. Isto é possível pela determinação da variação de carbono inorgânico total dissolvido (CID) e de oxigênio dissolvido em uma determinada área e intervalo de tempo (LIETH & WHITTAKER, 1975; CARMOUZE, 1994).

1.3.1 Importância dos recifes de coral para o ciclo global do carbono – participação dos processos de fotossíntese e calcificação

Em recifes de coral, os processos de fotossíntese e calcificação estão fisiologicamente ligados. Os corais escleractíneos vivem em associação simbiótica com as zooxantelas, dinoflagelados do gênero *Symbiodinium* que apresentam capacidade fotossintética. O metabolismo líquido destes organismos é determinado, portanto, pelo balanço entre a produção fotossintética das zooxantelas e o consumo heterotrófico pelos corais. Além disso, corais escleractíneos, macroalgas calcárias e comunidades recifais exibem uma maior taxa de calcificação sob luminosidade. A partir desta observação, concluiu-se que o processo fotossintético, de algum modo, atua como intensificador da calcificação nestes organismos (GATTUSO *et al.*, 1999; LECLERCQ *et al.*, 2002; BUDDEMEIER *et al.*, 2004).

O mecanismo que guia este processo ainda é pouco conhecido. Uma das hipóteses defendidas por pesquisadores é a de que o aumento das taxas de calcificação ocorre devido à diminuição da pressão parcial de CO₂ extracelular no tecido do coral, decorrente da assimilação de CO₂ pelas zooxantelas durante o processo fotossintético. Este consumo de CO₂ acarreta aumento do pH e, conseqüentemente, da disponibilidade de íons carbonatos, aumentando as taxas de calcificação (GATTUSO *et al.*, 1999).

Os processos biológicos de fotossíntese e calcificação em recifes de coral estão intrinsecamente relacionados com o ciclo global do carbono, uma vez que ambos são consumidores de carbono inorgânico dissolvido (GATTUSO *et al.*, 1999; LECLERCQ *et al.*, 2002), como pode ser observado nas equações simplificadas 1, 2 e 3.



Complexas interações existem entre a calcificação e o carbono inorgânico dissolvido. Os organismos calcificantes utilizam para a deposição de carbonato de cálcio (CaCO₃) íons

carbonato e bicarbonato em conjunto com o cálcio (Ca^{2+}), elemento com grande concentração e tempo de residência na água do mar (GATTUSO *et al.*, 1999; REYNAUD *et al.*, 2003).

Os íons carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) são produtos da solubilidade do dióxido de carbono na água mar (LECLERCQ *et al.*, 2000; ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001) como pode ser observado na reação (4):



A especiação química do CO_2 na água do mar e as concentrações dos íons produzidos por sua dissociação dependem, principalmente, da alteração do pH (Figura 1) e consequentemente, dos fatores que atuam para esta variação. Processos que conduzem o aumento das concentrações de CO_2 (respiração e entrada deste gás por difusão) diminuem o pH da água, o oposto ocorre através de processos assimiladores de CO_2 como a fotossíntese. Na faixa de pH “normal” da água do mar (por volta de 8 – 8,2) a forma predominante é o íon bicarbonato (HCO_3^-) (ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001) o que torna a reação de calcificação a partir do bicarbonato (equação 2) mais consistente que a reação com carbonato, apresentada na equação 3.

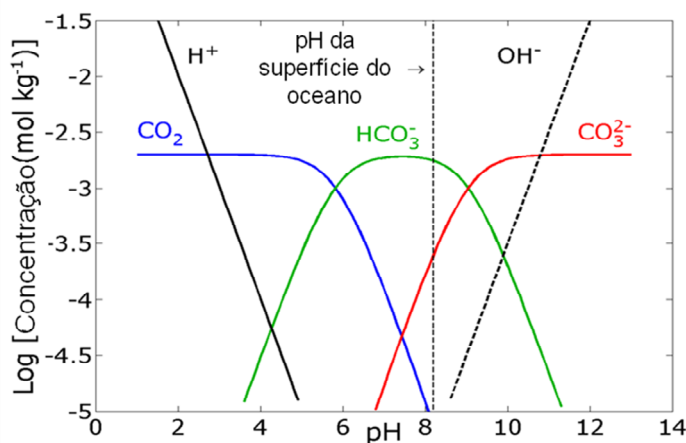


Figura 1: Especiação química do CO_2 na água do mar de acordo com a variação no pH. Fonte: Modificado de http://www.eoearth.org/article/Marine%5C_carbonate%5C_chemistry.

Outro fator determinante para que haja a calcificação é o estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}) (GATTUSO *et al.*, 1998; LECLERCQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003). A aragonita é a forma de carbonato de cálcio que os corais utilizam para a precipitação do

esqueleto calcário. Seu estado de saturação está relacionado com o equilíbrio de solubilidade deste sólido na água do mar. Se a saturação estiver acima da capacidade corrosiva da água do mar, então há uma supersaturação da aragonita e poderá ocorrer precipitação de CaCO_3 . No entanto, se o potencial de solubilidade da água for maior que a saturação do sólido, existe uma subsaturação da água com relação à aragonita e pode ocorrerá dissolução de CaCO_3 . Ω_{arag} pode ser quantificado a partir da equação (5):

$$\Omega_{arag} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] / K_{arag}, \quad (5)$$

onde K_{arag} é o produto da solubilidade de CaCO_3 na forma de aragonita.

Como o cálcio é um elemento conservativo na água do mar, a concentração de íons carbonato é o maior determinante para o estado de saturação da aragonita.

1.3.2 Alcalinidade Total e Calcificação

A alcalinidade de uma amostra d'água é definida como o número de prótons H^+ necessários para neutralizar as bases presentes nesta amostra, sendo determinada através da titulação com um ácido forte (CARMOUZE, 1994).

$$[\text{AT}] = 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{B(OH)}_4^-] + [\text{OH}^-] - \{\text{H}^+\} \quad (6)$$

onde AT é alcalinidade total.

Nas águas naturais, geralmente predominam as bases conjugadas ao ácido carbônico, ou seja, CO_3^{2-} e HCO_3^- . Portanto, [AT] é aproximadamente igual à alcalinidade dos carbonatos (cerca de 96% da alcalinidade total é decorrente da alcalinidade dos carbonatos) (CARMOUZE, 1994; ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001). Então,

$$[\text{AC}] : [\text{AT}] \approx 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad (7)$$

onde AC é a alcalinidade dos carbonatos.

Como a precipitação de CaCO_3 requer íons carbonato (CO_3^{2-}), a alcalinidade total é reduzida em duas unidades para cada mol de carbonato de cálcio precipitado (Figura 2), devido à dupla carga negativa do íon carbonato (ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001).

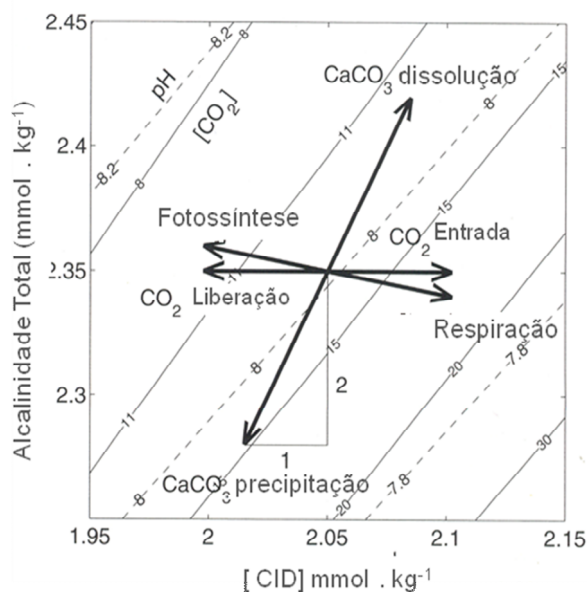


Figura 2: Processos que afetam as concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID) e a alcalinidade total. Fonte: Modificado de ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001.

A técnica da anomalia da alcalinidade (SMITH & KINSEY, 1978) baseia-se, então, na variação da alcalinidade total de uma amostra durante um intervalo de tempo, considerando a proporção desta que é reduzida devido à calcificação ou dissolução de CaCO₃ (1:2), segundo a equação 8:

$$G = (\Delta AT/2) / \Delta t \quad (8)$$

onde, G = taxa de calcificação/dissolução de CaCO₃; ΔAT é a variação da alcalinidade total; Δt é a variação do tempo.

1.3.3 Fluxos de CO₂ e influências sobre as taxas de Calcificação

A crescente emissão de gases pela ação antrópica, principalmente com a queima de combustíveis fósseis, tem aumentado a concentração de CO₂ atmosférico e a sua pressão parcial (pCO₂) (LECLERCQ *et al.*, 2000). Mudanças ambientais ocorridas na atmosfera ao longo do tempo são também distinguíveis nos oceanos, uma vez que estes ambientes estão intrinsecamente relacionados (REYNAUD *et al.*, 2003). Desta forma, o aumento na concentração de CO₂ atmosférico e da pCO₂ implica em maior difusão deste nos oceanos pela interface ar-água.

O aumento da $p\text{CO}_2$ e conseqüente elevação da concentração de CO_2 na superfície dos oceanos afetam profundamente o sistema carbonático da água do mar. Uma dessas mudanças é o decréscimo na concentração de um dos blocos construtores de carbonato de cálcio, os íons carbonato, o que resulta no decréscimo do estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}) (equação 5) e conseqüentemente, das taxas de calcificação (GATTUSO *et al.*, 1998; LECLERQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003).

Tem sido estimado que a pressão parcial de CO_2 alcançará o dobro do nível pré-industrial no ano de 2065 (GATTUSO *et al.*, 1999), podendo reduzir os níveis de saturação do carbonato na superfície dos mares tropicais a cerca de 2/3 dos valores atuais (SMITH & BUDDEMEIER, 1992). O aumento na $p\text{CO}_2$ previsto para o próximo século poderá provocar um significativo decréscimo na calcificação marinha em decorrência da diminuição da saturação de CaCO_3 (GATTUSO *et al.*, 1999; KLEYPAS *et al.*, 1999; LECLERQ *et al.*, 2002).

O decréscimo nas taxas de calcificação devido ao aumento de $p\text{CO}_2$, combinado a outras ameaças ambientais, pode provocar um grande impacto nos recifes de coral quanto à capacidade de recuperação após eventos drásticos, tais como tempestades e mortalidade em massa decorrente de efeitos de branqueamento (LECLERCQ *et al.*, 2000).

1.4 Produtores primários e o metabolismo recifal

A avaliação do balanço total das taxas metabólicas em recifes de coral no período de 24 horas mostra que estes sistemas apresentam equilíbrio entre os processos assimiladores e liberadores de CO_2 , o que resulta em uma proporção P/R aproximadamente igual a um (CROSSLAND *et al.*, 1991; GATTUSO *et al.*, 1993).

Entretanto, durante o período diurno é conhecido que estes sistemas apresentam autotrofia líquida (SARGENT & AUSTIN, 1954 *apud* SMITH, 1973; ODUM & ODUM, 1955 *apud* SMITH, 1973; SMITH, 1973; SMITH & MARSH JÚNIOR, 1973; GATTUSO *et al.*, 1993; KRAINES *et al.*, 1996; LONGHINI, 2007). Os principais produtores primários destes ambientes incluem as macroalgas, o microfitobentos epilítico (colonizadores da superfície do substrato carbonático), as microalgas endolíticas (microperfurantes que habitam o interior da estrutura calcária) e as zooxantelas associadas aos corais escleractíneos.

A contribuição individual destes grupos de organismos para o metabolismo recifal é pouco conhecida e os estudos desenvolvidos acerca deste assunto geram inúmeras contradições.

SMITH (1973) e SMITH & MARSH JÚNIOR (1973) realizaram estimativas de produção primária em dois transectos, com diferentes estruturas de dominância na comunidade. Eles concluíram que o transecto com predominância de macroalgas foi consideravelmente mais produtivo que o transecto coral/algas, sugerindo que a maioria da produção de carbono orgânico em um platô recifal não está intimamente associada aos corais e que ao invés disso, a presença destes últimos organismos parece diminuir a capacidade de produção primária, bem como a razão P/R no platô do recife.

TRIBOLLET *et al.* (2006) demonstraram experimentalmente que as comunidades endolíticas têm maior contribuição para a produção primária em substratos de coral mortos, quando comparadas com a produtividade de comunidades epilíticas. Em contrapartida, estudos realizados por SUZUMURA *et al.* (2002) demonstraram que comunidades epilíticas de microfítobentos colonizadoras de sedimentos carbonáticos exibem uma elevada eficiência fotossintética e que estes organismos são provavelmente responsáveis pela elevada produtividade de ecossistemas recifais.

Estes distintos resultados podem indicar que a importância relativa dos produtores primários deve variar de acordo com as características do ambiente recifal considerado e com a sua estrutura de comunidade dominante. Este último fator pode ser controlado por vários aspectos. LAPOINTE *et al.* (2004) afirmam que a eutrofização tende a ser o principal fator que controla a biomassa e a assembléia taxonômica de macroalgas em recifes de coral, enquanto que a herbivoria é mais importante no controle da composição das espécies, devido às preferências na dieta. Estas modificações na estrutura das comunidades implicam em mudanças na armazenagem e fluxos de carbono orgânico nos recifes, com conseqüências sobre o seu metabolismo e das áreas adjacentes (BARRÓN *et al.*, 2003).

Estudos mostram que a eutrofização pode ter influências negativas no crescimento de corais e afetar sistemas recifais. Em escala ecossistêmica, isto ocorreria devido ao aumento do crescimento algal favorecido pelo enriquecimento de nutrientes. A proliferação de macroalgas pode levar ao estabelecimento de dominância destas sobre as comunidades de corais, enquanto que o aumento da biomassa fitoplanctônica aumenta a turbidez da água, limitando a penetração de luz. Na escala celular, isso ocorreria devido à interrupção da simbiose entre a zooxantela e o coral. O enriquecimento por nutrientes levaria ao aumento da densidade de zooxantelas, o que acarretaria em desvantagem da simbiose para o coral, uma vez que grande parte do carbono produzido fotossinteticamente pelas microalgas acabaria sendo utilizado para o seu próprio crescimento (FERRIER-PAGÈS *et al.*, 2000).

Os ecossistemas recifais sobreviveram às drásticas mudanças globais nos últimos 40-50 milhões de anos. Porém, nas últimas décadas, estão sujeitos a uma variedade de estresses antropogênicos, tais como o impacto pelo fluxo turístico, eutrofização, sedimentação e mudanças na química e temperatura da água do mar. Em escala regional estes fatores podem ser mais importantes que as mudanças globais, especialmente em recifes costeiros (ABRAMOVITCH-GOTTLIB *et al.*, 2002).

2 HIPÓTESES

- Os fluxos de CO₂ através da interface ar-água afetam os processos metabólicos de produção primária e calcificação, devido a alterações químicas da água do mar.
- As comunidades endolíticas e o microfitobentos epilítico e epifítico colonizadores de blocos carbonáticos têm maior contribuição do que as macroalgas para a produção primária líquida do recife.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

- Elucidar aspectos do ciclo do carbono no sistema recifal de Coroa Vermelha.

3.2 Específicos

- Caracterizar o metabolismo líquido do carbono no platô recifal de Coroa Vermelha durante o período diurno de exposição;
- Estimar a direção e intensidade dos fluxos de CO₂ através da interface ar-água;
- Analisar a relação entre estes fluxos e os processos metabólicos de produção primária e calcificação;
- Avaliar a contribuição individual de diferentes grupos autotróficos (macroalgas, microfitobentos epilíticos e microalgas endolíticas) para o metabolismo líquido do recife.

CAPÍTULO I

4 METABOLISMO LÍQUIDO, CALCIFICAÇÃO E FLUXOS DE CO₂ NO PLATÔ RECIFAL DE COROA VERMELHA, SUL DA BAHIA, NORDESTE DO BRASIL.

RESUMO

Os processos metabólicos de produção primária e precipitação de CaCO₃ participam diretamente do ciclo global do carbono, tendo grande influência sobre os fluxos de CO₂ através da interface ar-água. Foram realizadas quatro coletas no platô recifal exposto de Coroa Vermelha no período diurno de baixamar, a fim de caracterizar o balanço do carbono neste ecossistema. Para isto, foram descritas as taxas de produção líquida do ecossistema (PLE), precipitação/dissolução de CaCO₃ e fluxos de CO₂ através da interface ar-água, além de estimativas destas taxas nas condições de imersão (maré alta). Os resultados mostram a ocorrência de autotrofia e calcificação líquida durante o período diurno de exposição. As taxas de PLE variaram entre -5,8 e 31,0 mmol C m⁻² h⁻¹ e a calcificação ocorreu em torno de -9,4 e 26,4 mmol CaCO₃ m⁻² h⁻¹. As maiores taxas de calcificação ocorreram no mês de Agosto/2007 e coincidiram com as maiores PLE, o que pode indicar que este último processo favorece o primeiro. No platô recifal exposto, ocorreu predominância de entrada de CO₂ para a água do mar, a partir do momento em que a pCO₂ na água tornou-se menor que a atmosférica devido à assimilação de CO₂ pelos produtores primários. Estes fluxos variaram entre -5,0 e 23,0 x 10⁻³ mmol CO₂ m⁻² h⁻¹. Na coleta realizada em Janeiro/2008, foram observadas diferentes tendências quanto à caracterização hidroquímica e aos processos metabólicos. Este resultado pode refletir sazonalidade e influência do regime de chuvas para a dinâmica do carbono, uma vez que esta campanha foi caracterizada por nebulosidade e chuva intensa. Em geral, as águas das regiões adjacentes ao recife, principalmente as enseadas, apresentaram predominância de heterotrofia líquida, exercendo influência sobre o metabolismo do recife quando imerso, que, em geral, apresentou liberação líquida de CO₂ para a atmosfera (-10,5 a 0,4 x 10⁻³ mmol CO₂ m⁻² h⁻¹). Dados coletados em uma amostragem noturna no recife exposto mostram valores de alcalinidade e pH que podem resultar em elevados valores de pCO₂. Estima-se que a liberação noturna deste gás para a atmosfera seja de até duas ordens de grandeza maior do que a absorção durante o dia, o que pode indicar a ocorrência de saída líquida de CO₂ no platô recifal de Coroa Vermelha no período de 24 horas.

PALAVRAS-CHAVE: Produção líquida; Autotrofia/Heterotrofia; Carbonato de cálcio; $p\text{CO}_2$; Ciclo do carbono.

ABSTRACT

The metabolic processes of primary production and precipitation of CaCO_3 influence directly the carbon global cycle, controlling the CO_2 fluxes through the air-sea interface. Four sampling surveys were carried in the exposed Coroa Vermelha reef flat in daylight low tide period, to characterize the daily carbon budget in this ecosystem. The rates of net ecosystem production (NEP), precipitation/dissolution of CaCO_3 and CO_2 fluxes through the air-sea interface were measured in the exposed reef flat and estimated during immersion condition (high tide). The results shows net autotrophy and calcification during the daylight time and the flat exposition. The NEP rates varied among -5.8 and $31.0 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and calcification were about -9.4 to $26.4 \text{ mmol CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. The higher calcifications rates occurred in August/2007 and coincided with the higher NEP, which can indicate that the later process can favor the former. At the exposed reef flat, occurs a predominance of the CO_2 invasion to the seawater, since seawater $p\text{CO}_2$ become lower than atmospheric due to CO_2 assimilation by the primary producers. These fluxes varied among -5.0 and $23.0 \times 10^{-3} \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. There were observed different trends in January/2008 with respect to the hydrochemical characterization and the metabolic process. These results can be evidence that the weather modify the carbon dynamics, since this survey was characterized by cloudy and rainy weather. The adjacent regions to the reef, mainly the small bights, presented a prevalence of net heterotrophy, influencing the metabolism of the immerse reef flat, which present net release of CO_2 to the atmosphere ($-10,5$ a $0,4 \times 10^{-3} \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). The data collected in one nighttime sampling at exposed reef shows alkalinity and pH values that could result in an elevated $p\text{CO}_2$. There is estimated that the release of this gas to the atmosphere could be two orders of magnitude higher than the daylight invasion, which can indicate a net release of CO_2 during the 24 hours period in Coroa Vermelha reef flat.

KEY WORDS: Net production; Autotrophy/Heterotrophy; Calcium carbonate; $p\text{CO}_2$; Carbon cycle.

4.1 INTRODUÇÃO

Os recifes de coral do Brasil estão distribuídos ao longo de 3000 km da costa nordeste do país, desde o sul da Bahia até o norte do Maranhão, e representam os únicos sistemas recifais verdadeiros do Atlântico Sul, conhecidos pelo seu elevado grau de endemismo (FERREIRA & MAIDA, 2006). A maioria de registros sobre os recifes verdadeiros do sul encontra-se no Complexo Recifal de Abrolhos, BA (18°S) (CASTRO & PIRES, 2001).

Os estudos realizados nos ecossistemas recifais da Bahia avaliam principalmente a distribuição, composição e aspectos geológicos, além de alterações físicas e biológicas da estrutura recifal decorrentes de impactos naturais e/ou antropogênicos (e.g., LEÃO & BITTENCOURT, 1977; LEÃO, 1994; LEÃO *et al.*, 1994; LEÃO, 1996; KIKUSHI & LEÃO, 1998; SILVA *et al.*, 2001; KELMO *et al.*, 2003; FERREIRA & MAIDA, 2006; COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006). Pesquisas descrevendo alterações dos processos biogeoquímicos são raras nestes ambientes, não só para a costa Nordeste, mas em todo o país (COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006).

Os processos biológicos de fotossíntese e precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3) estão intrinsecamente relacionados com o ciclo global do carbono, uma vez que interferem direta e indiretamente nas concentrações do dióxido de carbono em ecossistemas marinhos (GATTUSO *et al.*, 1999; LECLERCQ *et al.*, 2002; BUDDEMEIER *et al.*, 2004). As poças de maré formadas em platôs recifais durante a baixamar funcionam como incubações *in situ*, o que permite o cálculo das taxas metabólicas a partir da variação nas concentrações de carbono inorgânico dissolvido e alcalinidade total.

As taxas de precipitação de CaCO_3 em platôs de recifes de coral são elevadas (KINSEY, 1985) e este processo é controlado principalmente pela concentração do íon carbonato (CO_3^{2-}) e pelo estado de saturação da aragonita na água do mar (Ω_{arag}) (GATTUSO *et al.*, 1998; LECLERCQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003). O aumento da pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) no sistema altera o equilíbrio carbonato devido à diminuição do pH, o que reduz as concentrações de CO_3^{2-} dissolvido, o Ω_{arag} e então as taxas de calcificação (GATTUSO *et al.*, 1998; LECLERCQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003), estimulando a dissolução.

A direção dos fluxos de CO_2 através da interface ar-água depende principalmente da $p\text{CO}_2$ entre estas fases e da velocidade do vento. Alterações diretas na $p\text{CO}_2$ da água do mar ocorrem devido a processos que assimilam e liberam CO_2 , tais como a produção primária e a respiração. O primeiro, diminui os valores de $p\text{CO}_2$, enquanto o segundo os aumenta. Os

fluxos de CO₂ para a atmosfera também podem ser influenciados pela deposição de carbonato de cálcio. Este processo altera o sistema carbonato da água do mar, liberando CO₂ para as águas circundantes e, conseqüentemente, para a atmosfera (FRANKIGNOULLE & GATTUSO, 1993; FRANKIGNOULLE *et al.*, 1994).

A avaliação do balanço total das taxas metabólicas em recifes de coral no período de 24 horas mostra que estes sistemas apresentam equilíbrio entre os processos assimiladores e liberadores de CO₂, o que resulta em uma proporção P/R aproximadamente igual a um (CROSSLAND *et al.*, 1991; GATTUSO *et al.*, 1993). O metabolismo do carbono orgânico tem menor contribuição para os fluxos líquidos de carbono em recifes de coral, sendo o processo de calcificação/dissolução de CaCO₃ mais importantes neste sentido (SMITH, 1974; CROSSLAND *et al.*, 1991; GATTUSO *et al.* 1993).

FRANKIGNOULLE *et al.* (1994) observaram a ocorrência de um processo de retroalimentação positiva entre o aumento de pCO₂ atmosférico e a proporção de CO₂ liberado durante a calcificação. Estes autores estimaram que os fluxos adicionais de CO₂ para a atmosfera devido à calcificação deveriam alcançar ~130 Mt C ano⁻¹ quando a pCO₂ atmosférica chegar a 560 µatm entre os anos de 2030-2050.

Desta forma, considerando que os sistemas recifais desenvolvidos geralmente exibem o metabolismo do carbono orgânico praticamente balanceado (CROSSLAND *et al.*, 1991; GATTUSO *et al.*, 1993) e elevadas taxas de calcificação, estes ecossistemas deveriam liberar CO₂ da água do mar para a atmosfera.

O objetivo deste estudo é descrever o metabolismo do carbono no platô recifal de Coroa Vermelha, além de avaliar a direção e intensidade dos fluxos de CO₂ através da interface ar-água e a influência dos processos metabólicos para estes fluxos.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Área de estudo

O recife de Coroa Vermelha é um recife costeiro situado no litoral da cidade de Santa Cruz de Cabrália, Sul da Bahia, Nordeste do Brasil (Figura 3). O clima local é tropical úmido, com temperatura média anual de aproximadamente 24°C e índice pluviométrico anual maior do que 1600 mm (AOUAD, 1998).

O sistema recifal de Coroa Vermelha é formado por estruturas descontínuas paralelas à costa. Este ecossistema está conectado ao litoral por um tómbolo, estrutura geológica que separa a costa em duas enseadas, norte e sul. Estas regiões adjacentes, principalmente a enseada norte, recebem substancial entrada de nutrientes e matéria orgânica de fontes terrestres, tais como escoamento superficial, descarga via lençol freático e esgotos não tratados. O platô recifal, quando exposto na baixamar, forma poças rasas com fundo consolidado ou arenoso. Estes ambientes agem como sistemas de incubações *in situ*, o que permite estudo sobre processos metabólicos dos organismos e suas interações com o ambiente (SOUZA *et al.*, 2002).

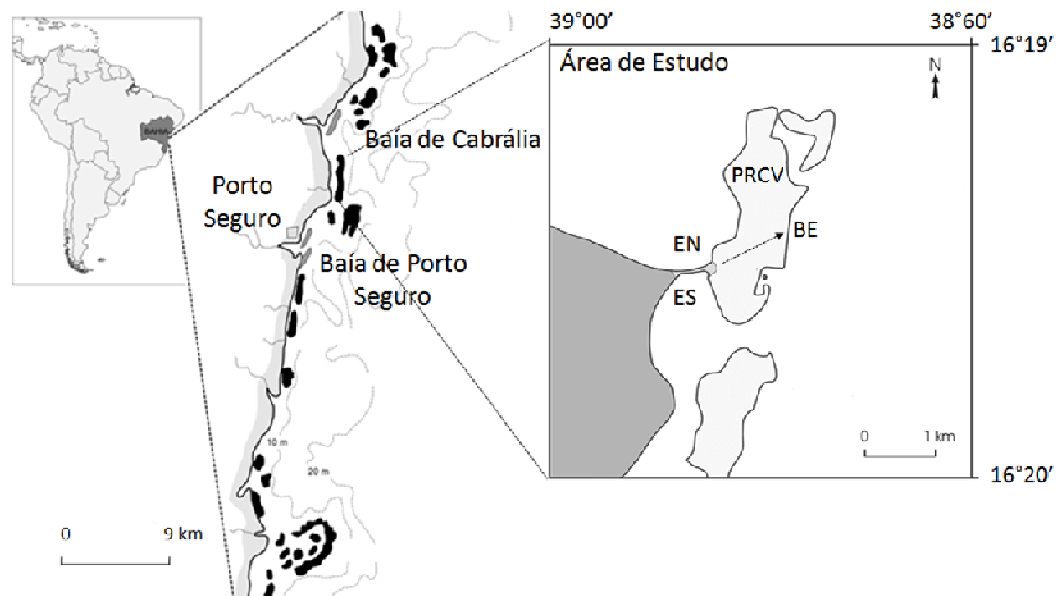


Figura 3: Localização da área de estudo. PRCV = Platô Recifal de Coroa Vermelha; EN = Enseada Norte; ES = Enseada Sul; BE = Borda Externa. Seta com linha tracejada sobre o platô do recife mostra a direção do transecto. Modificado a partir de COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006.

4.2.2 Amostragem

Foram realizadas quatro coletas no recife de Coroa Vermelha, em Julho de 2006, Junho e Agosto de 2007 e Janeiro de 2008. Foram obtidos dados de uma única coleta noturna em Abril de 2008. No campo, as amostragens foram conduzidas durante a baixamar no platô recifal de Coroa Vermelha, nas enseadas norte e sul e na borda externa do recife. No platô do recife, a coleta foi realizada em poças de maré selecionadas aleatoriamente a cada 10 metros de distância, aproximadamente, sobre um transecto imaginário traçado na direção do tómbolo para a borda externa do recife (Figura 3). A temperatura, salinidade e pH da água do mar foram medidos com um multiparâmetro Multiline WTW. A pressão parcial do CO₂ atmosférico foi medida com sensor Testo a 2 e 0,5 metros de altura. No período noturno, foi realizada a medição de oxigênio dissolvido com oxímetro Hanna, a fim de identificar a ocorrência de anoxia/subanoxia. Alíquotas de 20 mL de água do mar foram coletadas em seringas previamente lavadas com HCl 1:1, água destilada e preservadas com solução saturada de cloreto de mercúrio (HgCl₂) para posterior análise de alcalinidade total.

As poças de maré foram marcadas temporariamente e os processos metabólicos foram estimados através de variações no pH, alcalinidade total e concentrações de CO₂ no início e no final do tempo de exposição do recife, cujo período foi de aproximadamente uma hora e meia. O número de poças variou de acordo com o tempo de exposição do recife (n=6 em Julho/2006 e Janeiro/2008; n=8 em Junho e Agosto/2007). Nas enseadas e borda externa, as amostragens foram realizadas em um único ponto aleatório para cada região, no tempo inicial da baixamar.

4.2.3 Análises químicas; Cálculos da especiação química CO₂/H₂O; Fluxos de CO₂; Produção Primária Líquida; Precipitação/Dissolução de CaCO₃; Análises Estatísticas

A alcalinidade das amostras foi analisada através da titulação com HCl 0,01N e a alcalinidade total foi calculada a partir do programa ALCAGRAN.BAS (CARMOUZE, 1994).

A concentração de carbono inorgânico total (CID) e suas espécies químicas foram calculadas por um modelo de associações iônicas utilizando-se a alcalinidade, o pH e a salinidade (CARMOUZE, 1994). Foi utilizado o programa CO2SYS.EXE (LEWIS & WALLACE, 1998), com as opções de K₁ e K₂ (MERHBACH *et al.*, 1973) replotadas por

DICKSON & MILLERO (1987), K_H de DICKSON (1990). A pCO_2 e o estado de saturação em aragonita também foram obtidos com este programa.

O fluxo de dióxido de carbono através da interface água/atmosfera foi calculado através do modelo do filme estagnante e da equação (1):

$$F = K \times \alpha \times \Delta pCO_2 \quad (1)$$

no qual F = fluxo de CO_2 em $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$; K = coeficiente de troca do gás em $m \cdot s^{-1}$; α = solubilidade do CO_2 em $mol \cdot atm^{-1} \cdot m^{-3}$; e ΔpCO_2 é o gradiente de pressão parcial na água e atmosfera (FRANKIGNOULLE & GATTUSO, 1993). Utilizou-se os coeficientes de troca com a atmosfera de acordo com LISS & MERLIVAT (1986).

As taxas de precipitação ou dissolução de calcário foram calculadas através da técnica da anomalia da alcalinidade (SMITH & KINSEY, 1978). As taxas de produção primária líquida do ecossistema foram calculadas por meio da variação nas concentrações de carbono inorgânico dissolvido durante o intervalo de tempo, descontando-se a variação da alcalinidade total decorrente da calcificação/dissolução de carbonato (Equação 2).

$$PLE = [(\Delta CID/\Delta t) - G] \cdot 0,2 \quad (2)$$

onde PLE é a produção líquida do ecossistema em $mmol \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, CID é a concentração de carbono inorgânico total em $\mu mol \cdot L^{-1}$; t é o intervalo de tempo em horas; G é a precipitação/dissolução de $CaCO_3$ em $\mu mol \cdot h^{-1}$ e 0,2 é a profundidade média das poças em metros.

Para estimar as taxas metabólicas do recife imerso, os pontos utilizados na coleta sobre o recife foram plotados em um plano cartesiano e foi realizada a interpolação dos valores de pH, temperatura, alcalinidade total e salinidade registrados nas regiões adjacentes (borda externa e enseadas norte e sul). Os cálculos das taxas foram realizados como descritos para o recife exposto, considerando o intervalo de tempo de uma hora. Este procedimento baseia-se na assunção de estabilidade das características físico-químicas da água do mar nesta escala temporal.

O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi aplicado utilizando o programa Biostat para avaliar a similaridade das taxas metabólicas (produção primária e calcificação) e fluxos de CO_2 entre as campanhas. Quando foi encontrada diferença significativa, o teste *a posteriori* de Student-Newman-Keuls foi utilizado a fim de revelar quais campanhas diferiram entre si.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Caracterização hidroquímica e especiação química do CO₂

A estimativa dos valores de salinidade e temperatura para o recife imerso resultou em um intervalo de 32,6 e 36,2 para a primeira variável e 24,3 e 26,3°C para a segunda. No platô recifal exposto, a salinidade variou entre 32,1 e 36,7 e aumentou durante o intervalo de tempo de exposição. A temperatura variou entre 24,4 e 31,7°C e apresentou o mesmo padrão de variação temporal que a salinidade. Nas enseadas, a salinidade variou entre 33,9 e 35,7 e a temperatura entre 24,1 e 25,8°C. Estas variáveis apresentaram valores mais elevados no platô do recife do que nas regiões adjacentes. Entretanto, em Janeiro/2008 estas tendências para salinidade e temperatura não foram evidentes. Nesta coleta, observou-se diminuição da salinidade durante o intervalo de tempo de exposição do platô e estratificação vertical nas enseadas, com variação no valor de aproximadamente 0,5 em um intervalo de 0,5 metros de profundidade.

A estimativa do pH para o recife imerso resultou em valores inferiores do que os registrados no platô quando este tornou-se exposto (Tabela 1). Observou-se aumento do pH durante o intervalo de exposição, o inverso ocorreu à noite (Abril de 2008). A alcalinidade total diminuiu durante o intervalo diurno e noturno de exposição do platô recifal, e apresentou valores mais elevados à noite do que sob luminosidade (Tabela 1). Na coleta noturna, o percentual de saturação médio do oxigênio dissolvido foi de 35%, o que retrata uma subsaturação deste gás e caracteriza o ambiente como subóxico.

Em geral, as regiões adjacentes e o platô imerso apresentaram concentrações de CID e $p\text{CO}_2$ mais elevadas do que no platô do recife exposto. Esta tendência foi mais expressiva nas enseadas no mês de Agosto/2007. No platô recifal, observou-se diminuição destas variáveis durante o intervalo de tempo de exposição (Tabela 1). Este decréscimo foi relacionado com o aumento do pH neste mesmo período (Figura 4). Em Janeiro de 2008, foi registrada uma diferente tendência para esta variação, o que sugere sazonalidade ou influência do regime de chuvas. A enseada norte apresentou menor concentração de carbono inorgânico dissolvido do que no platô recifal. Além disso, foram observadas menores variações nas poças durante o tempo de exposição.

Em todas as amostragens, houve um decréscimo da concentração de bicarbonato no platô do recife durante o tempo de exposição. Nas três primeiras campanhas, as concentrações deste íon foram maiores nas regiões adjacentes (principalmente nas enseadas) do que no platô. Na última coleta diurna foi observada menor concentração deste íon nas regiões adjacentes e

menor variação temporal no platô recifal exposto. Os íons carbonato e Ω_{arag} aumentaram no platô do recife exposto durante o intervalo de tempo. Estas variáveis foram maiores neste ambiente do que nas regiões adjacentes (Tabela 1).

Tabela 1- Média e desvio-padrão do pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID), pCO_2 e Ω_{arag} registrados durante o intervalo de exposição do platô recifal (n=6 em Julho/2006 e Janeiro/2008; n=8 em Junho e Agosto/2007; n=3 em Abril/2008 – coleta noturna) e regiões adjacentes. AT e CID em $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; pCO_2 em μatm ; T_o = tempo inicial; T_f = tempo final da exposição do platô.

Variáveis e local	Campanhas				Noturna
	Jul/2006	Jun/2007	Ago/2007	Jan/2008	Abr/2008
pH					
Platô T_o imerso	8,13	8,17	8,03 ± 0,03	8,11 ± 0,01	-
Platô T_o exposto	8,33 ± 0,12	8,30 ± 0,07	8,28 ± 0,06	8,19 ± 0,02	7,67 ± 0,05
Platô T_f	8,54 ± 0,16	8,47 ± 0,06	8,47 ± 0,07	8,21 ± 0,05	7,63 ± 0,05
Enseada Norte	8,13	8,17	7,97	8,10	-
Enseada Sul	8,11	8,18	7,88	8,11	-
Borda Externa	8,13	8,17	8,09	8,12	7,85
AT					
Platô T_o imerso	1902,8 ± 42,9	2271,5 ± 50,6	2047,8 ± 0,8	1988,6 ± 45,9	-
Platô T_o exposto	2012,7 ± 88,9	2360,3 ± 135,4	2056,8 ± 62,7	2025,2 ± 94,3	3904,4 ± 22,7
Platô T_f	1889,5 ± 87,3	2245,8 ± 137,2	1847,6 ± 106,8	1973,8 ± 68,7	3789,9 ± 115,4
Enseada Norte	2043,2	2389,1	2014,4	1622,2	-
Enseada Sul	2158,8	2545,0	2098,0	2040,9	-
Borda Externa	1772,1	2165,3	2049,2	2112,6	3778,4
CID					
Platô T_o imerso	1662,5 ± 40,1	1980,8 ± 47,4	1842,0 ± 13,9	1764,5 ± 38,6	-
Platô T_o exposto	1641,4 ± 129,6	1972,5 ± 147,0	1705,3 ± 82,7	1759,1 ± 85,5	-
Platô T_f	1372,5 ± 89,2	1729,8 ± 157,7	1364,9 ± 125,6	1699,4 ± 83,2	-
Enseada Norte	1806,6	2094,6	1840,2	1446,5	-
Enseada Sul	1925,3	2225,3	1958,7	1806,1	-
Borda Externa	1553,8	1880,8	1812,2	1870,8	-
pCO_2					
Platô T_o imerso	371,6 ± 9,2	405,6 ± 9,4	541,4 ± 42,6	422,0 ± 3,98	-
Platô T_o exposto	230,7 ± 73,9	294,7 ± 70,3	272,8 ± 51,3	352,4 ± 27,2	-
Platô T_f	106,4 ± 18,3	164,1 ± 38,4	132,1 ± 33,1	323,0 ± 54,5	-
Enseada Norte	404,9	429,9	623,4	374,3	-
Enseada Sul	453,2	440,3	832,1	437,6	-
Borda Externa	346,7	385,7	459,9	433,1	-
Ω_{arag}					
Platô T_o imerso	2,51 ± 0,06	3,27 ± 0,06	2,34 ± 0,14	2,50 ± 0,08	-
Platô T_o exposto	3,98 ± 0,86	4,29 ± 0,46	3,79 ± 0,43	2,95 ± 0,18	-
Platô T_f	5,28 ± 0,45	5,57 ± 0,36	4,93 ± 0,42	3,03 ± 0,19	-
Enseada Norte	2,71	3,40	2,01	1,93	-
Enseada Sul	2,75	3,70	1,75	2,64	-
Borda Externa	2,36	3,15	2,64	2,69	-

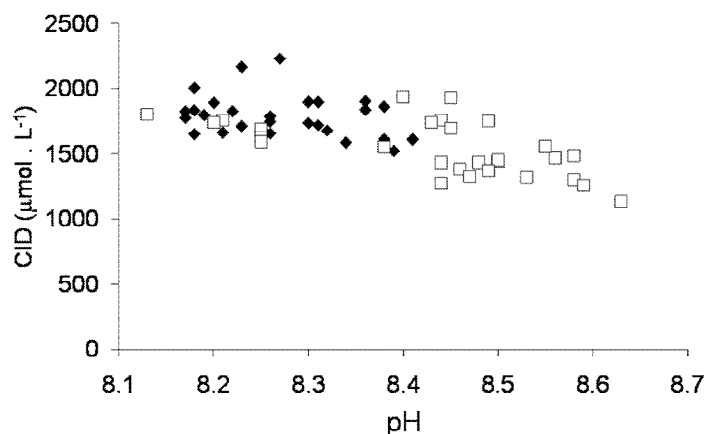


Figura 4: Diagrama de dispersão mostrando o comportamento do carbono inorgânico dissolvido x pH no platô recifal durante o intervalo diurno de exposição. ◆ = tempo inicial; □ = tempo final.

4.3.2 Produção líquida do ecossistema (PLE), precipitação/dissolução líquida de CaCO_3 e fluxos de CO_2

Durante o período de exposição, o platô recifal apresentou predominância de taxas positivas de produção (PLE) e diferenças significativas destes valores entre as campanhas ($p < 0,05$). Taxas líquidas de calcificação também foram registradas, não apresentando diferenças estatísticas significativas entre as campanhas ($p > 0,05$). Entretanto, as taxas calculadas para o recife imerso revelaram valores inferiores de PLE e predominância de dissolução líquida de CaCO_3 durante as coletas realizadas (Tabela 2). Em Janeiro/2008 foram observadas as menores taxas de PLE e valor negativo em uma das poças amostradas, mesmo após a exposição (Tabela 2). As coletas de Junho/2007 e Janeiro/2008 apresentaram dissolução líquida de carbonato de cálcio em algumas das poças amostradas no platô do recife exposto. As maiores taxas de PLE e calcificação ocorreram em Agosto/2007.

Tabela 2 – Intervalo, média e desvio-padrão das taxas do metabolismo líquido do ecossistema (PLE - $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), precipitação/dissolução líquida de CaCO_3 ($\text{mmol CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e fluxos de CO_2 ($10^{-3} \text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) calculados para as poças de maré amostradas no platô recifal exposto (EX) e estimados para o platô imerso (IM) (n=6 em Julho/2006 e Janeiro/2008; n=8 em Junho e Agosto/2007). Valores positivos de PLE = autotrofia líquida, valores negativos = heterotrofia líquida; Valores positivos de G = precipitação líquida de CaCO_3 , valores negativos = dissolução líquida de CaCO_3 ; Valores positivos de fluxos = entrada de CO_2 para o recife, valores negativos = liberação de CO_2 para a atmosfera.

Coletas		Precipitação/Dissolução de					
		PLE		CaCO ₃ (G)		Fluxos de CO ₂	
		Intervalo	Média ± DP	Intervalo	Média ± DP	Intervalo	Média ± DP
Jul/2006	IM	-22,6 – 28,9	8,4 ± 17,7	-23,5 – -6,5	-16,7 ± 5,8	-0,9 – 0,4	-0,4 ± 0,5
	EX	5,0 – 22,5	17,3 ± 6,5	1,5 – 18,3	8,4 ± 5,5	-0,3 – 17,0	9,7 ± 4,9
Jun/2007	IM	-11,1 – 24,1	7,2 ± 13,8	-31,9 – 3,9	-8,9 ± 11,8	-3,3 – -2,1	-2,7 ± 0,4
	EX	11,4 – 31,0	18,9 ± 7,3	-5,0 – 26,4	8,1 ± 10,1	-2,0 – 14,0	7,3 ± 1,6
Ago/2007	IM	7,9 – 42,4	24,3 ± 10,5	-8,0 – 7,9	-0,9 ± 6,3	-10,5 – - 5,0	-7,6 ± 2,0
	EX	14,6 – 24,3	19,8 ± 3,1	5,3 – 13,1	8,7 ± 2,9	2,0 – 23,0	13,0 ± 1,8
Jan/2008	IM	-3,4 – 17,0	4,7 ± 8,3	-14,4 – 9,7	-3,7 ± 10,3	-6,4 – -5,4	-5,8 ± 0,4
	EX	-5,8 – 14,1	3,9 ± 7,9	-9,4 – 12,1	4,1 ± 7,4	-5,0 – 11,0	3,4 ± 5,7

O recife imerso apresentou predominância de liberação líquida de CO_2 para a atmosfera (na ordem de $-10,5$ a $0,4 \times 10^{-3} \text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Após a exposição do platô recifal, pode-se observar predominância de entrada de CO_2 para o sistema (entre $-5,0$ e $23,0 \times 10^{-3} \text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e aumento destes fluxos ao longo do período (Tabela 2, Figura 5). Entretanto, foi registrada liberação de CO_2 para a atmosfera em algumas das poças do platô recifal próximas ao tómbolo no tempo inicial de exposição. Ao longo do período de exposição esta situação inverteu-se e foi observada entrada líquida de CO_2 para o sistema (Figura 5). As taxas dos fluxos apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as coletas ($p < 0,05$). Ao contrário do observado nas campanhas anteriores, em Janeiro/2008 a poça próxima à borda externa apresentou características heterotróficas durante todo o período de exposição, liberando CO_2 para a atmosfera. Nesta mesma coleta duas poças localizadas na região central do platô apresentaram variação temporal de fluxos praticamente nula (Figura 5d). A terceira campanha apresentou as maiores taxas de fluxos de CO_2 (Tabela 2). Em geral, as regiões adjacentes apresentaram características heterotróficas, principalmente as enseadas norte e sul (Figura 5). Os fluxos negativos mais expressivos nestes locais foram registrados em Agosto/2007.

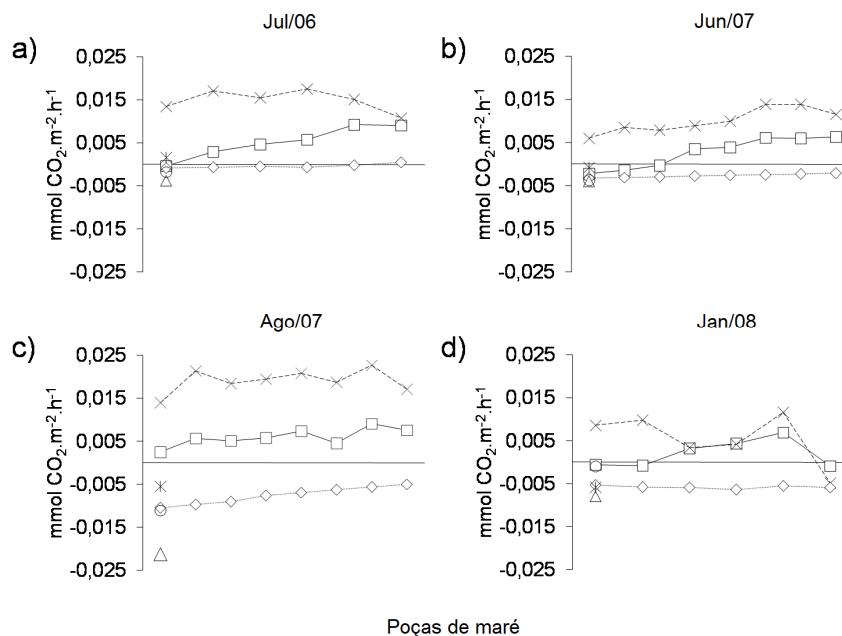


Figura 5: Fluxos de dióxido de carbono através da interface ar-água no platô recifal de Coroa Vermelha ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). a) Julho/2006; b) Junho/2007; c) Agosto/2007; d) Janeiro/2008. Valores positivos indicam entrada de CO_2 na água; valores negativos indicam liberação de CO_2 para a atmosfera. \diamond = tempo inicial no recife imerso; \square = tempo inicial de exposição; \times = tempo final de exposição. Δ = enseada sul; \circ = enseada norte; $*$ = borda externa do recife.

A $p\text{CO}_2$ atmosférica medida a 2,0 metros de altura apresentou pequena variação espacial e temporal, ocorrendo entre 353 e 418 μatm . A 0,5 metros de altura observou-se maior variação desta pressão, entre 333 e 413 μatm . Na água do platô recifal registrou-se grande diferença temporal e espacial de $p\text{CO}_2$, resultando no intervalo de 194 a 375 μatm . Estes resultados mostram um decréscimo desta variável da atmosfera para a água do platô do recife e difusão de CO_2 para este ambiente (Figura 6).

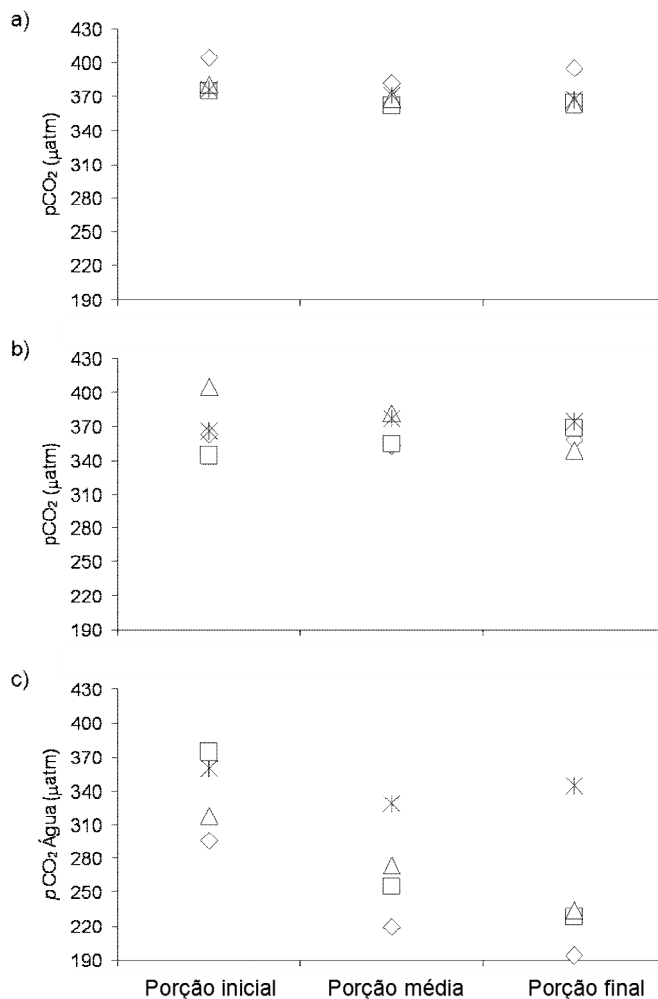


Figura 6: Pressão parcial de CO₂ (pCO₂) atmosférica medida em a) 2,0 metros de altura; b) 0,5 metros de altura; e c) pCO₂ na água do mar do platô recifal. Medidas realizadas nas porções inicial, média e final do platô do recife, partindo do tómbolo em direção à borda externa. \diamond = Jun/2006; \square = Jul/2007; \triangle = Ago/2007; $*$ = Jan/2008.

4.4 DISCUSSÃO

O aumento da temperatura e da salinidade no platô do recife durante o tempo de exposição está relacionado com o pequeno volume de água das poças amostradas, o que possibilita maior aquecimento e taxas de evaporação. O mesmo fator pode explicar os maiores valores destas variáveis no platô do recife do que nas águas adjacentes. KRAINES (1995) também descreveu picos de salinidade nas águas empoçadas no platô do recife de Bora Bay (sul do Japão) durante a baixamar. Este pesquisador propõe que uma vez que a água está aprisionada em pequena profundidade, a evaporação é capaz de aumentar a salinidade significativamente. A ocorrência de chuva intensa durante o período de amostragem de

Janeiro/2008 resultou em menor temperatura e salinidade no platô do recife e estratificação vertical da salinidade nas enseadas.

A elevação do pH no platô recifal exposto pode ser atribuída ao consumo de CO_2 pelos processos autotróficos. O decréscimo nas concentrações de CID, íons bicarbonato e $p\text{CO}_2$ no platô do recife também são evidências da ocorrência de autotrofia líquida no sistema. Os menores valores de pH e maiores concentrações de carbono inorgânico nas regiões adjacentes podem ser um indicativo de heterotrofia líquida nestes locais. As enseadas, especialmente a norte, estão sujeitas à entrada de despejos domésticos originados de canais urbanos e do manguezal, o que favorece a teia trófica detritica e os processos de remineralização. A ocorrência de diferenças mais expressivas entre o platô recifal e as águas adjacentes em Agosto/2007, pode ser explicada pela intensificação das condições heterotróficas nas adjacências devido à grande quantidade de macroalgas arribadas observadas nesta coleta.

A redução da alcalinidade total durante o intervalo de exposição do platô recifal é um indicativo de calcificação líquida neste ambiente e produção autotrófica em segundo plano. A deposição de carbonato de cálcio diminui a alcalinidade em duas unidades para cada mol de CaCO_3 precipitado; a dissolução de CaCO_3 tem um efeito inverso (ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001). KRAINES *et al.* (1997) também registraram menores valores de CID e AT após o período diurno de exposição do platô recifal de Bora Bay. Com o “aprisionamento” das águas no platô e fluxos mínimos destas com as regiões adjacentes durante a baixamar, estas variáveis são fortemente influenciadas pelas comunidades biológicas e CID e AT são reduzidos através da fotossíntese e calcificação durante o dia. O aumento na concentração de íons carbonato e Ω_{arag} no platô do recife exposto também indicam condições favoráveis para a calcificação, já que estes são fatores determinantes para a precipitação do carbonato de cálcio (GATTUSO *et al.*, 1998; LECLERCQ *et al.*, 2000; REYNAUD *et al.*, 2003). A ocorrência de autotrofia líquida nas poças estimulou estas condições, uma vez que o consumo de CO_2 e decréscimo de $p\text{CO}_2$ na água do mar acarretam no aumento da concentração de CO_3^{2-} , devido a elevação do pH e alteração da especiação química do carbono, favorecendo a formação de íons carbonato. O Ω_{arag} está diretamente relacionado com o aumento da disponibilidade de íons carbonato na água do mar (ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001).

Desta forma, o estado de saturação da aragonita e, então, as taxas de calcificação têm uma relação inversa com os valores de $p\text{CO}_2$. GATTUSO *et al.* (1998) e LECLERCQ *et al.* (2000) também registraram relação inversa entre Ω_{arag} e $p\text{CO}_2$. Os valores de Ω_{arag} registrados

no platô exposto do recife de Coroa Vermelha caracterizam uma supersaturação da água do mar com respeito à aragonita. LECLERCQ *et al.* (2000) registraram em experimentos laboratoriais com corais escleractíneos taxas de calcificação de $9,0 \text{ mmol CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ com $\Omega_{arag} = 4,3$. O presente estudo apresentou resultados similares nas três primeiras campanhas realizadas, sendo estimadas taxas de calcificação por volta de $8,5 \text{ mmol CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ com Ω_{arag} aproximadamente igual a 5,0.

As menores taxas de calcificação em Janeiro/2008 coincidiram com os menores valores de produção líquida. Este evento pode sustentar o conceito defendido por alguns autores de que a fotossíntese favorece o processo de calcificação (GATTUSO *et al.*, 1999; LECLERCQ *et al.*, 2002; BUDDEMEIER *et al.*, 2004). A condição climática desta coleta foi desfavorável para os processos fotossintéticos, o que explica as menores taxas de produção primária nesta campanha. KRAINES *et al.* (1997) também registraram variação significativa das taxas de produção com as condições climáticas.

A subsaturação de oxigênio dissolvido no período noturno impede que as taxas de calcificação/dissolução de CaCO_3 e as variáveis relacionadas ao carbono sejam calculadas a partir da alcalinidade total, uma vez que sob condições subóxica/anóxica outras bases como o sulfeto devem ter influência sobre esta variável, além das bases carbonáticas. Entretanto, como as baixas concentrações de oxigênio dissolvido também impedem a ocorrência de processos que diminuiriam a alcalinidade, tais como a reoxidação do sulfeto, pode-se considerar que a diminuição da alcalinidade total no período noturno é decorrente de calcificação, ainda que estas taxas não possam ser quantificadas.

A pequena variação de $p\text{CO}_2$ atmosférico a 2,0 metros de altura é resultado da mistura contínua da camada de ar e conservação das características atmosféricas. A 0,5 metros de altura pode-se observar uma maior variação espacial e temporal provavelmente devido a influência do metabolismo recifal para a $p\text{CO}_2$. O decréscimo de $p\text{CO}_2$ na água do mar devido à assimilação de CO_2 por organismos autotróficos durante o dia, permitiu a difusão deste gás da atmosfera para a água do platô recifal, uma vez que a $p\text{CO}_2$ na água tornou-se menor que a atmosférica. Apesar da dissolução de CO_2 , não foi observado aumento nas concentrações deste gás e de $p\text{CO}_2$ na água, devido à eficiente assimilação pelos produtores primários. Este resultado mostra que o platô recifal de Coroa Vermelha agiu como um sumidouro de CO_2 durante o período diurno de exposição e que o principal processo que direciona estes fluxos é a fotossíntese. Relatos encontrados na literatura contradizem este resultado, mostrando que a calcificação é o processo responsável por guiar os fluxos de CO_2

através da interface ar-água (SMITH, 1974; CROSSLAND *et al.*, 1991; GATTUSO *et al.*, 1993).

TANAKA *et al.* (2007) mostraram que o aumento na disponibilidade de nutrientes em recifes de coral aumenta a atividade fotossintética algal e, conseqüentemente, as taxas de produção primária bruta e líquida. Como resultado do aumento da fotossíntese, as taxas de calcificação deveriam aumentar proporcionalmente, tendo em vista que estes são processos intrinsecamente relacionados. Entretanto, as taxas de PLE a partir deste enriquecimento foram cerca de três vezes maiores que a precipitação de CaCO_3 e a curva de correlação gerada com estes dados sugere que a calcificação não foi consideravelmente acentuada pela atividade fotossintética. As taxas encontradas para o recife de Coroa Vermelha mostram padrão similar de valores de PLE cerca de três vezes mais elevados do que a calcificação (exceto em Janeiro/2008). Desta forma, o enriquecimento de nutrientes no sistema pode estar aumentando a fotossíntese em detrimento da calcificação e condicionando maior interferência deste primeiro processo sobre os fluxos de CO_2 neste recife.

A estimativa da taxas para o recife imerso resultou em predominância de liberação líquida de CO_2 para a atmosfera. Esta observação permite a descrição de duas situações inversas para o metabolismo diurno do platô recifal de Coroa Vermelha. Neste sistema, ocorre predomínio de processos heterotróficos e liberação líquida de CO_2 em condições de submersão, isto é, quando há mistura entre as águas recifais e adjacentes. Isto reflete influência heterotrófica das regiões das enseadas, o que também é evidenciado pela ocorrência de liberação de CO_2 nas poças próximas ao tómbolo durante o tempo inicial de exposição. No entanto, após algum tempo de exposição, o metabolismo real das comunidades presentes nas poças pode ser avaliado, uma vez que estas ficam praticamente isoladas das águas adjacentes. Assim, a inversão do metabolismo líquido para condições autotróficas e invasão líquida de CO_2 para a água do mar podem ser observadas até o tempo final de exposição.

Na coleta noturna, os valores de AT e pH registrados resultariam em valores calculados de pCO_2 por volta de 2500,0 μatm , o que implicaria em taxas de liberação líquida de CO_2 cerca de duas ordens de grandeza maiores do que durante o dia. Apesar da impossibilidade de calcular valores dada a provável presença de outras bases, a maior parte da alcalinidade ainda deve ser constituída pelas bases carbonáticas, de forma que o balanço diário de carbono provavelmente resulta em expressiva liberação líquida de CO_2 para a atmosfera.

KRAINES *et al.* (1996) e KRAINES *et al.* (1997) caracterizam o platô recifal de Bora Bay como um sumidouro de CO_2 na maré baixa, momento de fluxo nulo entre as águas

recifais e oceânica. SMITH & MARSH JÚNIOR (1973) concluíram que, no período de 24 horas, os processos de produção e respiração são balanceados em ambientes com comunidades dominadas por mistura coral-algas. GATTUSO *et al.* (1993) também obtiveram este resultado. Estes pesquisadores registraram uma invasão de $0,026 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para a água do recife durante o dia em Moorea na Polinésia Francesa, e elevadas taxas de produção primária bruta. Porém, as taxas de respiração foram da mesma ordem de magnitude que a produção primária diurna. Além disso, a respiração somada às taxas de calcificação noturnas foram responsáveis pela liberação do dobro de CO_2 neste período, o que resultou em uma evasão de CO_2 na ordem de $-1,5 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

A tabela 3 mostra a comparação das taxas metabólicas estimadas neste estudo com outras pesquisas realizadas acerca do metabolismo do carbono em ecossistemas recifais. As taxas do metabolismo líquido e calcificação foram similares a alguns dos valores estimados em diferentes estudos desenvolvidos em platôs recifais (SARGENT & AUSTIN, 1954 *apud* SMITH, 1973; ODUM & ODUM, 1955 *apud* SMITH (1973); SMITH, 1973; SMITH & MARSH JÚNIOR, 1973; KRAINES *et al.*, 1996) e com taxas medidas diretamente por GATTUSO *et al.* (1993) em recife de barreira ($6,7 \text{ mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). É importante evidenciar a diferença entre os tipos de recife considerados nesta comparação. O sistema recifal de Coroa Vermelha é classificado como banco recifal costeiro influenciado por aportes naturais e antropogênicos, o que reflete sobre as taxas metabólicas deste ecossistema. A maioria dos recifes considerados na Tabela 3 são classificados como atóis, ocorrendo em regiões oceânicas e com influências costeiras negligenciáveis.

SMITH (1973) e SMITH & MARSH JÚNIOR (1973) evidenciaram a importância da estrutura da comunidade para as taxas metabólicas, e registraram maiores taxas de produção em predominância de comunidade algal do que em mistura coral-alga e nenhuma diferença para as taxas de calcificação. No presente estudo, a comunidade predominante geral foi mistura coral-alga (dados a serem publicados em outro trabalho), o que resultou em taxas de PLE similares às registradas por SMITH (1973) com esta estrutura de comunidade. KRAINES *et al.* (1997) revelaram variação das taxas metabólicas com a condição climática, registrando condições heterotróficas na estação chuvosa e elevadas taxas de produção no verão. O mesmo pode ser observado no presente estudo, no qual foram registradas menores taxas de produção primária e alguns casos de heterotrofia líquida durante a estação chuvosa (Janeiro/2008).

Tabela 3- Comparação das taxas metabólicas estimadas neste estudo (média \pm desvio padrão) com outras pesquisas realizadas em platôs recifais. PPB = produção primária bruta; R = respiração; PLE = metabolismo líquido do ecossistema; G = precipitação/dissolução de carbonato de cálcio. Taxas em $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

Tipo de recife	Localização	PPB	R	PLE	G	Referência
Atol (Rongelap) ^a	Ilhas	27,5	-12,5	15,0	38,8	SARGENT & AUSTIN (1954) <i>apud</i> SMITH (1973)
	Marshall					
Atol (Eniwetok) ^a	Ilhas	66,6	-33,3	33,3	34,8	ODUM & ODUM (1955) <i>apud</i> SMITH (1973)
	Marshall					
Atol (Eniwetok) ^a	Ilhas	41,6	-20,8	20,8	4,6	SMITH (1973); SMITH & MARSH JÚNIOR (1973)
	Marshall					
Atol (Eniwetok) ^b	Ilhas	80,8	-20,8	60,0	4,6	SMITH (1973); SMITH & MARSH JÚNIOR (1973)
	Marshall					
Recife de franja (Bora Bay)	Japão	45,5	-18,0	27,4	–	KRAINES <i>et al.</i> (1996)
Recife de franja (Bora Bay) ^c	Japão	37,5	-55,5	-17,7	0,8	KRAINES <i>et al.</i> (1997)
Recife de barreira (Bora Bay) ^d	Japão	49,3	-4,5	44,8	1,6	KRAINES <i>et al.</i> (1997)
Banco recifal (Coroa Vermelha) ^{a,d}	Brasil	–	–	18,8 \pm 5,7	8,4 \pm 6,6	Este estudo
Banco recifal (Coroa Vermelha) ^{a,c}	Brasil	–	–	3,9 \pm 7,9	4,2 \pm 7,4	Este estudo

a: predominância de comunidade coral-alga; *b*: predominância de comunidade algal; *c* e *d*: o mesmo estudo - *c* estimado na estação chuvosa, *d* estimado na estação de maior radiação luminosa.

4.5 CONCLUSÕES

Durante a exposição diurna, o platô recifal de Coroa Vermelha apresenta predomínio de autotrofia e calcificação líquida. Estes processos autotróficos podem estar favorecendo a calcificação, devido à eficiente assimilação de CO₂ pelos produtores primários, decréscimo de *p*CO₂ e aumento do Ω_{arag} da água do mar.

Ao contrário do que é relatado na literatura, de que a calcificação é o principal processo que guia os fluxos de CO₂ através da interface ar-água, no recife de Coroa Vermelha a produção primária é o processo que apresenta maior influência sobre estes fluxos durante a exposição diurna. O decréscimo de *p*CO₂ devido à produção primária foi mais importante do

que o aumento desta pressão decorrente da deposição de carbonato de cálcio, o que gerou menor $p\text{CO}_2$ na água do que na atmosfera e difusão deste gás para o sistema. Esta maior interferência da produção primária em detrimento da calcificação para os fluxos de CO_2 pode ser consequência das condições do recife, caracterizado por apresentar aporte de nutrientes. Esta entrada alóctone pode estar favorecendo a fotossíntese, tornando-a mais importante para as variações de $p\text{CO}_2$ na água, o que estabelece a direção e magnitude dos fluxos de CO_2 .

As regiões adjacentes, especialmente as enseadas, apresentam predomínio de características heterotróficas, o que pode estar refletindo processos de decomposição/remineralização decorrentes da entrada de matéria orgânica por canais de esgoto. Esta característica heterotrófica tem influência sobre o metabolismo recifal quando este encontra-se imerso, além de refletir nas taxas das poças próximas ao tómbolo no tempo inicial de exposição do platô. Apesar disso, houve predominância de processos autotróficos até o tempo final de exposição. O metabolismo diurno do recife de Coroa Vermelha pode ser caracterizado por duas situações opostas: heterotrofia, dissolução e liberação líquida de CO_2 para a atmosfera no período de submersão e autotrofia, precipitação e acúmulo líquido de CO_2 na fase de exposição.

As diferentes tendências dos processos metabólicos em Janeiro/2008 mostram a relevância das condições climáticas para o ciclo do carbono e fluxos de CO_2 através da interface ar-água, o que enfatiza a importância da produção primária para estes eventos em Coroa Vermelha.

Durante o período noturno, apesar de não quantificadas, as taxas de liberação de CO_2 podem alcançar valores de até duas ordens de grandeza maiores do que a absorção diurna deste gás. Este resultado pode indicar que o balanço diário de carbono no platô recifal de Coroa Vermelha deve resultar em liberação líquida de CO_2 para a atmosfera.

As taxas avaliadas neste trabalho correspondem ao metabolismo líquido do recife durante o período diurno de exposição e uma única coleta noturna, além de valores estimados no momento diurno de imersão. Pesquisas adicionais realizando medidas reais do metabolismo do recife imerso e no período noturno podem elucidar aspectos do balanço total do carbono no platô recifal de Coroa Vermelha durante o período de 24 horas, possibilitando maiores explicações sobre o funcionamento do ciclo do carbono e suas influências sobre as características biogeoquímicas deste sistema.

CAPITULO II

5 IMPORTÂNCIA RELATIVA DE ORGANISMOS AUTOTRÓFICOS PARA O METABOLISMO LÍQUIDO DO PLATÔ RECIFAL DE COROA VERMELHA, BAHIA.

RESUMO

Comunidades de macroalgas, microfitobentos e microalgas endolíticas apresentam importante contribuição para a produção primária líquida (PPL) em substratos carbonáticos de recifes de coral. Estudos indicaram que o platô do recife costeiro de Coroa Vermelha é caracterizado por apresentar autotrofia líquida durante o período diurno de exposição. Porém, a contribuição individual de grupos autotróficos para esta condição é pouco conhecida. Para isto, foram determinadas experimentalmente as taxas de produção primária líquida dos microfitobentos epilíticos e epifíticos, microalgas endolíticas e diferentes espécies de macroalgas, a partir da variação na concentração de CO₂ dissolvido durante um intervalo de tempo de incubação. Foram realizados três experimentos *in situ*, constituídos de quatro tratamentos com réplica em cada, separados de acordo com a predominância dos grupos de interesse. Os resultados mostram que em substratos carbonáticos, as macroalgas apresentam maiores taxas instantâneas para a produção primária líquida ($21,74 \pm 4,02 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) do que os microfitobentos epilíticos e epifíticos ($12,34 \pm 21,13 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e as microalgas endolíticas ($2,91 \pm 3,76 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Entretanto, quando foi considerada a área de cobertura individual destes organismos, as microalgas endolíticas se destacaram com importante contribuição para a produtividade total do recife ($2,28 \pm 2,95 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; cerca de 12%). Nos experimentos realizados com diferentes espécies de macroalgas, a produtividade expressa por biomassa seca foi similar entre as espécies Phaeophyta 2, *Dictyopteris* sp., *Acanthophora* cf. *spicifera* e *Caulerpa racemosa* ($0,11 \pm 0,02$; $0,08 \pm 0,03$ e $0,08 \pm 0,02$; $0,10 \pm 0,02 \text{ mmol C. g}^{-1} \text{ BS. h}^{-1}$, respectivamente). A Rhodophyta calcária incrustante *Sporolithon* sp. apresentou taxas negligenciáveis. Considerando a área de cobertura das espécies de macroalgas consideradas, estes organismos foram os principais produtores do recife, contribuindo com cerca de 34% do metabolismo total deste ecossistema. A Phaeophyta *Dictyopteris* sp. apresentou maior contribuição dentre as macroalgas estudadas ($3,0 \pm 0,6 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; cerca de 16% da produção total).

PALAVRAS-CHAVE: Metabolismo, recifes de coral, macroalgas, microflora epilítica, microalgas endolíticas.

ABSTRACT

The macroalgae, epilithic microphytobenthos and endolithic microalgae communities have important contribution for the net primary production (NPP) in dead carbonate substrates of coral reefs. The Coroa Vermelha nearshore reef flat is characterized for net autotrophy during the daylight time of exposure. However, the individual contribution of the autotrophic organisms for this condition is poorly understood. The net primary production rates of epilithic microphytobenthos, endolithic microalgae and macroalgae were estimated by the variation in the dissolved CO₂ concentration during a time interval of incubation of three *in situ* experiments composed with four treatments and triplicates for each. These treatments were divided according to the different autotrophic groups. In carbonate substrates, the macroalgae presented higher instantaneous contribution for primary production ($21,74 \pm 4,02$ mmol C. m⁻². h⁻¹) than epilithic microphytobenthos ($12,34 \pm 21,13$ mmol C. m⁻². h⁻¹) and endolithic microalgae ($2,91 \pm 3,76$ mmol C. m⁻². h⁻¹). However, when the individual coverage area of these organisms was taking account, the endolithic microalgae stand out with important participation for the total reef productivity ($2,28 \pm 2,95$ mmol C. m⁻². h⁻¹; around 12%). At the macroalgae experiments, the Phaeophyta 2 and *Dictyopteris* sp., the Rhodophyta *Acanthophora* cf. *spicifera* and the Chlorophyta *Caulerpa racemosa* showed similar rates and higher instantaneous productivity ($0,11 \pm 0,02$; $0,08 \pm 0,03$ e $0,08 \pm 0,02$; $0,10 \pm 0,02$ mmol C . g⁻¹ BS . h⁻¹, respectively) and the crustose coralline algae *Sporolithon* sp. show negligible rates. The macroalgae are the main primary producers of the Coroa Vermelha reef, contributing with around 34% of the ecosystem metabolism. The Phaeophyta *Dictyopteris* sp. shows the higher contribution amongst the tested macroalgae ($3,0 \pm 0,6$ mmol C. m⁻². h⁻¹; around 16% of the total production).

KEY WORDS: Metabolism; coral reefs; macroalgae; epilithic microflora; endolithic microalgae.

5.1 INTRODUÇÃO

Os recifes de coral do Brasil estão distribuídos ao longo de 3000 km da costa nordeste do país, desde o sul da Bahia até o norte do Maranhão, e representam os únicos sistemas recifais verdadeiros do Atlântico Sul, conhecidos pelo seu elevado grau de endemismo (FERREIRA & MAIDA, 2006). A maioria de registros sobre os recifes verdadeiros do sul encontra-se no Complexo Recifal de Abrolhos, BA (18°S) (CASTRO & PIRES, 2001).

Os estudos realizados nos ecossistemas recifais da Bahia avaliam principalmente a distribuição, composição e aspectos geológicos, além de alterações físicas e biológicas da estrutura recifal decorrentes de impactos naturais e/ou antropogênicos (e.g., LEÃO & BITTENCOURT, 1977; LEÃO, 1994; LEÃO *et al.*, 1994; LEÃO, 1996; KIKUSHI & LEÃO, 1998; SILVA *et al.*, 2001; KELMO *et al.*, 2003; FERREIRA & MAIDA, 2006; COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006). Pesquisas descrevendo alterações dos processos biogeoquímicos são raras nestes ambientes, não só para a costa Nordeste, mas em todo o país (COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006).

Os recifes de coral são ecossistemas que participam intrinsecamente do ciclo global do carbono, uma vez que os processos de produção primária/respiração e calcificação/dissolução desempenham importante papel na especiação química do sistema CO₂ na água do mar (GATTUSO *et al.*, 1999; ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001; LECLERCQ *et al.*, 2002; BUDDEMEIER *et al.*, 2004).

O balanço líquido do metabolismo nestes ambientes geralmente resulta em uma razão P/R próxima ou igual a um, o que caracteriza o equilíbrio entre a produção diurna de carbono orgânico e o consumo diário por respiração/remineralização (CROSSLAND *et al.*, 1991; GATTUSO *et al.*, 1993). Entretanto, estudos desenvolvidos em platôs recifais (SARGENT & AUSTIN, 1954 *apud* SMITH, 1973; ODUM & ODUM, 1955 *apud* SMITH, 1973; SMITH, 1973; SMITH & MARSH JÚNIOR, 1973; KRAINES *et al.*, 1996; LONGHINI, 2007) e em recifes de barreira (GATTUSO *et al.*, 1993) mostram que estes sistemas apresentam autotrofia líquida no período diurno. Porém, a contribuição individual de diferentes organismos autotróficos para este metabolismo líquido ainda é pouco conhecida.

SMITH (1973) afirma que em um ambiente tão ativo quanto um recife de coral, pode-se assumir que as reações biogeoquímicas do bentos são dominantes em detrimento das

reações planctônicas. KINSEY (1985) também considera a contribuição do fitoplâncton negligenciável para o metabolismo recifal.

Alguns estudos realizaram estimativas de produção primária em dois transectos traçados no atol de Eniwetok, com diferentes estruturas de dominância na comunidade (SMITH, 1973; SMITH & MARSH JÚNIOR, 1973). Eles concluíram que o transecto com predominância de macroalgas foi consideravelmente mais produtivo que o transecto coral/algas, sugerindo que a maioria da produção de carbono orgânico em um platô recifal não está intimamente associada aos corais e que, ao invés disso, a presença destes últimos organismos parece diminuir a capacidade de produção primária, bem como a razão P/R no platô do recife. CHISHOLM (2003) mediram a produtividade primária em quatro espécies de macroalgas calcárias incrustantes em função da profundidade e concluíram que este tipo de alga apresenta uma grande contribuição para a produção de carbono orgânico em ecossistemas recifais.

Tem sido observado experimentalmente que as comunidades endolíticas têm maior contribuição para a produção primária em substratos de coral mortos, quando comparadas com a produtividade de comunidades epilíticas (TRIBOLLET *et al.*, 2006). Em contrapartida, estudos realizados por SUZUMURA *et al.* (2002) demonstraram que comunidades epilíticas de microfitobentos colonizadoras de sedimentos carbonáticos exibem uma elevada eficiência fotossintética, e que estes organismos são um dos mais importantes produtores em ecossistemas recifais.

Tendo em vista as inúmeras contradições a respeito dos principais produtores dos ambientes recifais, o objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição individual de diferentes organismos autotróficos para o metabolismo líquido do platô recifal de Coroa Vermelha.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Área de estudo

O recife de Coroa Vermelha é um recife costeiro situado no litoral da cidade de Santa Cruz de Cabrália, Sul da Bahia, Nordeste do Brasil (Figura 7). O clima local é tropical úmido com temperatura média anual de aproximadamente 24°C e índice pluviométrico anual é maior do que 1600 mm (AOUAD, 1998).

O sistema recifal de Coroa Vermelha é formado por estruturas descontínuas paralelas à costa. Este ecossistema está conectado ao litoral por um tómbolo, estrutura geológica que separa a costa em duas enseadas, norte e sul do tómbolo. Estas regiões adjacentes, principalmente a enseada norte, recebem substancial entrada de nutrientes e matéria orgânica de fontes terrestres, tais como despejos domésticos advindos de canais urbanos e do manguezal. Além disso, COSTA JÚNIOR *et al.* (2006) encontraram elevadas concentrações de nutrientes no recife de Coroa Vermelha, as quais foram atribuídas à entrada de esgoto não tratado via lençol freático.

O platô recifal de Coroa Vermelha é caracterizado por apresentar elevada abundância de macroalgas, que ocorrem sempre com percentual de cobertura acima de 50% tanto na estação seca quanto na chuvosa. Destas, cerca de 35% são decorrentes de algas frondosas, 23% de algas carnosas e 3% de algas incrustantes (COSTA JÚNIOR *et al.*, 2001).

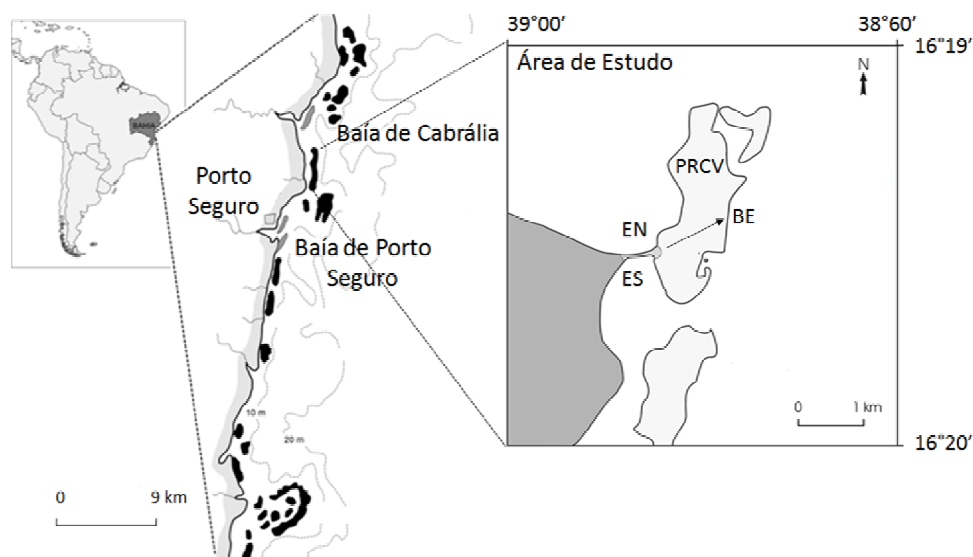


Figura 7: Localização da área de estudo. PRCV = Platô Recifal de Coroa Vermelha; EN = Enseada Norte; ES = Enseada Sul; BE = Borda Externa. Seta com linha tracejada sobre o platô do recife mostra a direção do transecto. Modificado a partir de COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006.

5.2.2 Amostragem e experimentos

5.2.2.1 Comunidades epilíticas, epifíticas e endolíticas em substratos carbonáticos

Para estimar a área de cobertura dos diferentes organismos autotróficos sobre o recife, foram realizados registros fotográficos em dez poças de maré distribuídas ao longo de 100 metros em um transecto traçado sobre o platô de Coroa Vermelha. Foram utilizados cinco quadrates de 0,25 m² em cada poça. Esta área total de cobertura foi estimada a partir da análise das imagens através do programa Image J (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>), o qual determina a área total de porções da imagem previamente selecionadas. No tratamento das imagens, foram consideradas as macroalgas, os produtores primários em associação simbiótica (corais escleractíneos), os microfitobentos epilíticos e epifíticos (considerando a superfície de substratos calcários mortos e macroalgas frondosas), além das microalgas endolíticas (consideradas como toda a área de cobertura exceto fundo arenoso). Posteriormente, foi calculada a média da área ocupada por essas comunidades dentro de cada poça e então a área total dos mesmos ao longo do transecto.

Em 26 de Outubro de 2008, foram selecionados em campo nove blocos carbonáticos contendo macroalgas de maior predominância visual no local de coleta, microfitobentos epilíticos e epifíticos e microalgas endolíticas. Estes substratos foram coletados no platô recifal e transportados para o laboratório de campo, onde foi realizada a manipulação dos blocos. Os organismos heterotróficos foram retirados com o auxílio de espátulas e pinças. Seis destes blocos foram lavados com jatos de água utilizando o Waterpick® para a retirada dos microfitobentos epilíticos e epifíticos. Dentre os seis, três destes blocos foram raspados para a retirada total dos organismos epilíticos (Figura 8). Desta forma, foram estabelecidos quatro tratamentos com réplicas para cada (n=12):

- Tratamento 1: blocos completos, contendo macroalgas, microfitobentos epilíticos e epifíticos e microalgas endolíticas;
- Tratamento 2: blocos lavados com Waterpick® para retirada dos microfitobentos epilíticos e epifíticos. Predominância de macroalgas e microalgas endolíticas;
- Tratamento 3: blocos tratados para a total retirada dos organismos epilíticos, predominância de microalgas endolíticas.
- Tratamento 4: incubação com o tipo de macroalga predominante nos blocos selecionados.

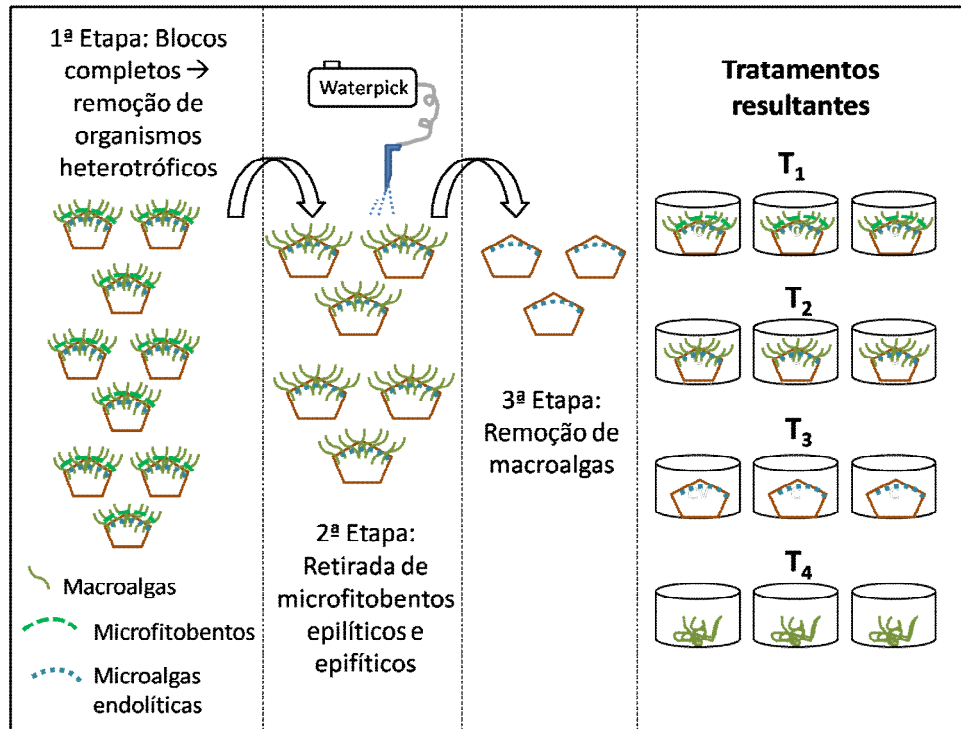


Figura 8: Esquema ilustrando a manipulação dos blocos e classificação dos tratamentos utilizados experimentalmente. Microfítobentos incluem os epilíticos e epifíticos.

Os blocos e macroalgas foram aclimatados por cerca de 24 horas em água do mar com aeração. No dia 27 de Outubro de 2008, estes foram transportados para o campo no platô do recife de Coroa Vermelha durante o período matinal de exposição na baixamar para o desenvolvimento do experimento *in situ*. Cada tratamento e suas respectivas réplicas foram incubados separadamente em aquários de acrílico com capacidade para 1000 mL, os quais foram mantidos em uma poça de maré selecionada aleatoriamente (Figura 9). Os aquários permaneceram abertos na poça por meia hora, a fim de homogeneizar as condições iniciais em todos os tratamentos. Foram feitas as medições iniciais de pH, salinidade e temperatura e amostras de 20 mL foram coletadas em seringas previamente lavadas com HCl 1:1 e envenenadas com solução saturada de cloreto de mercúrio, para posterior análise de alcalinidade. Após este procedimento, os aquários foram fechados para dar início às incubações, cujo período foi de aproximadamente uma hora. Também foram feitas incubações com a água da poça em frascos de DBO para estimar o metabolismo líquido do fitoplâncton (n=3). No final do experimento, foram feitas as medições de pH, salinidade e temperatura e coletadas as amostras para alcalinidade em cada aquário, na poça de incubação e nas garrafas de DBO.

No mesmo dia, realizou-se uma incubação *ex situ* no laboratório de campo, seguindo o mesmo procedimento utilizado para as incubações *in situ*. O experimento foi feito com água do mar do local de coleta e os aquários mantidos fechados em bandejas contendo água do mar (Figura 10).

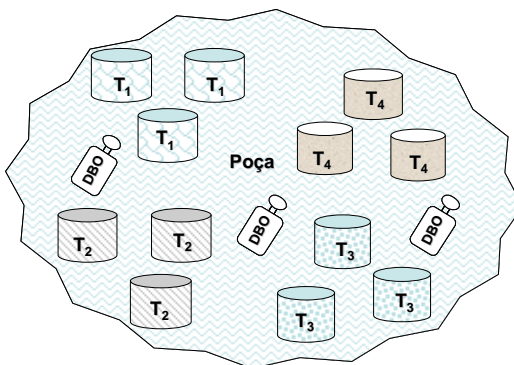


Figura 9: Esquema exemplificando o desenvolvimento do experimento *in situ*; incubações realizadas dentro da poça de maré. T = Tratamento.

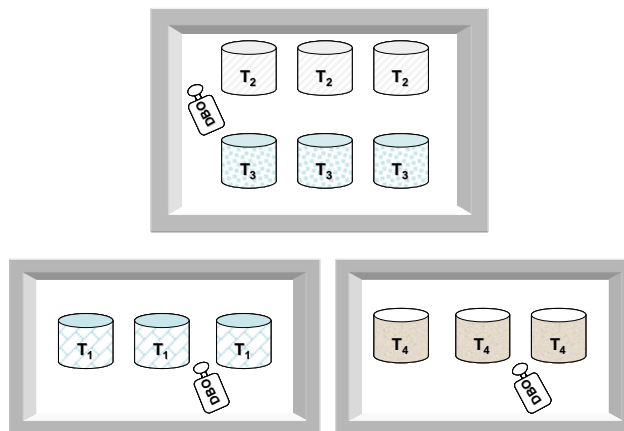


Figura 10: Esquema exemplificando o desenvolvimento do experimento *ex situ*; incubações realizadas em bandejas contendo água do mar. T = Tratamento.

5.2.2.2 Macroalgas

Nos dias 28 e 29 de Outubro de 2008, foram realizados experimentos com sete espécies de macroalgas mais abundantes visualmente no platô do recife. Buscou-se selecionar macroalgas classificadas dentro das divisões: Phaeophyta, Chlorophyta e Rhodophyta (turfosa, foliácea, calcária articulada e calcária incrustante). Quatro espécies foram selecionadas em 28 de Outubro e outras três diferentes espécies no dia 29/10, além de uma

espécie controle de maior predominância no recife (Phaeophyta 1), cujo metabolismo foi estimado em ambos os experimentos. As incubações foram realizadas *in situ* seguindo o mesmo protocolo utilizado nos experimentos com os substratos carbonáticos. Quatro tratamentos foram estabelecidos, com réplicas para cada (n = 12), separados de acordo com a espécie de macroalga. A tabela 1 mostra os tipos de macroalgas utilizados durante o experimento.

Tabela 4 - Classificação e identificação (quando concluída) dos tipos de macroalgas utilizados nos experimentos em 28 e 29 de Outubro de 2008.

Divisão	Característica		Tratamento/Data correspondente
	morfológica	Espécie	
Rhodophyta	Filamentosa	<i>Acanthophora</i> cf. <i>spicifera</i>	T1 (28/10)
	Calcária Articulada	<i>Jania</i> sp.	T4 (28/10)
	Calcária Incrustante	<i>Sporolithon</i> sp.	T2 (28/10)
Phaeophyta	Turfosa	1*	T3 (28/10) e T2 (29/10)
	Filamentosa	2*	T1 (29/10)
	Foliácea	<i>Dictyopteris</i> sp.	T3 (29/10)
Chlorophyta	Carnosa	<i>Caulerpa racemosa</i>	T4 (29/10)

* Espécies não identificadas.

5.2.3 Laboratório

As amostras de macroalgas foram lavadas e secas em estufa a 60°C até quando fosse observado o peso constante. Estas foram pesadas em balança analítica para a obtenção da biomassa seca. Posteriormente, as amostras foram maceradas com gral e pistilo e o teor de matéria orgânica foi estimado em alíquotas de 1 grama, a partir da perda de matéria orgânica por ignição (PPI) ou “biomassa livre de cinzas”. Esta técnica utiliza a combustão de amostras de peso seco conhecido em um forno mufla a 500°C, por 10 horas para determinar o conteúdo inorgânico das cinzas (BROWER & ZAR, 1977).

5.2.4 Cálculos do sistema CO₂/H₂O; Calcificação/dissolução de CaCO₃ (G) e Produção Primária Líquida (PPL)

A alcalinidade das amostras foi analisada através da titulação com HCl 0,01N e a alcalinidade total foi calculada a partir do programa ALCAGRAN.BAS (CARMOUZE, 1994).

A concentração de carbono inorgânico total e suas espécies químicas na água foram calculadas por um modelo de associações iônicas utilizando-se a alcalinidade, o pH e a salinidade (CARMOUZE, 1994). Foi utilizado o programa CO2SYS.EXE (LEWIS & WALLACE, 1998), com as opções K1 e K2 de MERHBACH *et al.* (1973) replotadas por DICKSON & MILLERO (1987) e KH de DICKSON (1990).

As taxas de produção primária líquida foram estimadas a partir da variação da concentração de carbono inorgânico total dissolvido durante o intervalo de tempo de incubação em cada aquário. No caso das incubações com os blocos, as taxas dos microfitobentos epilíticos e epifíticos foram calculadas por diferença entre os valores registrados nos tratamentos 1 (T₁) e 2 (T₂), uma vez que não foi possível realizar incubações individuais para este grupo de organismos.

Foram feitas correções das taxas para a variação da alcalinidade total decorrente da calcificação e para o volume real de água contido em cada aquário medido com uma proveta de 1000 mL. A contribuição do plâncton para a produtividade líquida total também foi descontada. Desta forma, obteve-se as seguintes equações para os cálculos de PPL:

$$PPL = (v \cdot (\Delta CID_{am} - G_{am}) - (\Delta CID_p - G_p) / \Delta t \cdot AB) / 10^3 \quad (1)$$

$$PPL = (v \cdot (\Delta CID_{am} - G_{am}) - (\Delta CID_p - G_p) / \Delta t \cdot BS) / 10^3 \quad (2)$$

onde PPL é a taxa de produção primária líquida expressa em mmol de C . m⁻² . h⁻¹ na equação (1) e em mmol de C . g⁻¹ BS . h⁻¹ na equação (2), sendo BS a biomassa seca das macroalgas em g; 10³ converte os valores de μmol para mmol de C; v é o volume do aquário em litros subtraído do volume deslocado pelos organismos (L); ΔCID_{am} e ΔCID_p são as variações da concentração de carbono inorgânico total da amostra e do plâncton, respectivamente, em μmol . L⁻¹; G_{am} e G_p são as variações da alcalinidade total decorrente da calcificação da amostra e do plâncton, respectivamente, em μmol . L⁻¹; Δt é o intervalo de tempo em horas. Na equação (1) AB é a área da superfície dos blocos em m².

Para os substratos carbonáticos, as taxas foram calculadas a partir da primeira equação. Para as macroalgas, além do cálculo por área (Equação 1) integrou-se os valores pelo teor de biomassa seca em gramas presente em cada espécie (Equação 2). Posteriormente, estas taxas foram expressas pela área total de cobertura destes organismos no recife, estimada a partir da análise das imagens.

Foi realizada a estatística descritiva, calculando-se a média e o desvio-padrão das taxas de produção primária líquida em cada tratamento, a fim de comparar a contribuição de cada grupo para o metabolismo líquido total de recife.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Área total de cobertura dos principais organismos autotróficos

A análise das imagens registradas no transecto traçado no platô de Coroa Vermelha mostra que o grupo autotrófico predominante neste sistema são as microalgas endolíticas, encontradas em 78% da área avaliada. Estes organismos foram encontrados ao longo de todo o transecto, habitando a grande maioria do substrato calcário disponível, como esqueletos vivos e mortos de corais e macroalgas incrustantes. Os microfitobentos epilíticos e epifíticos distribuíram-se em cerca de 11% do transecto (Figura 11).

As macroalgas da divisão Phaeophyta apresentaram maior percentual de cobertura no platô recifal (total de 12%). Dentre as macroalgas consideradas durante os experimentos, a Phaeophyta *Dictyopteris* sp. foi a espécie que apresentou maior área de cobertura (6%), seguida pela Rhodophyta calcária articulada *Jania* sp. (4%).

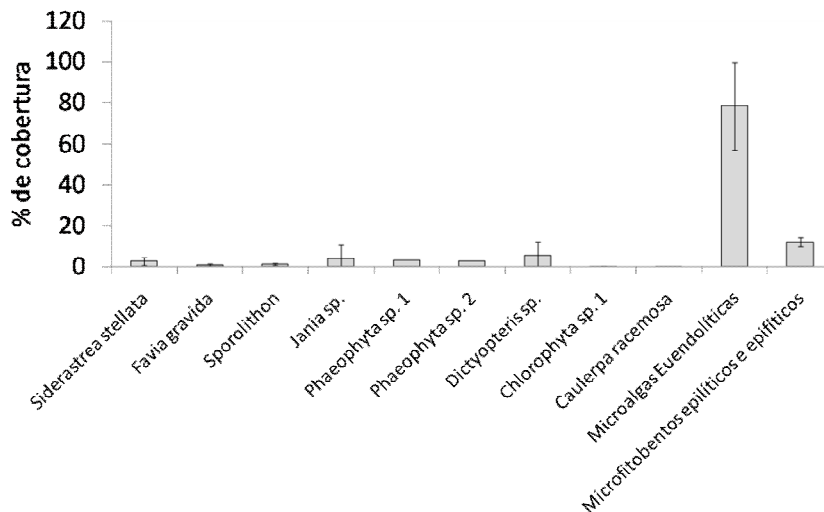


Figura 11: Média \pm desvio padrão do percentual de cobertura de organismos autotróficos (incluindo produtores simbiotes presentes nos corais) ao longo de um transecto traçado no platô recifal de Coroa Vermelha.

5.3.2 Variáveis abióticas

Nos experimentos realizados com os blocos carbonáticos, observou-se aumento do pH e da temperatura ao longo do tempo de incubação. A salinidade foi praticamente inalterada neste período. Em geral, ocorreu diminuição da alcalinidade total e das concentrações de carbono inorgânico dissolvido nos experimentos e no plâncton. Entretanto, foram registrados aumento em AT para o plâncton e para o tratamento 3 (Tabela 5). Este último, apresentou a menor variação em pH e AT, enquanto que o plâncton revelou um menor consumo de CID ao longo do tempo. No tratamento 1, foram observadas as maiores variações na alcalinidade total e nas concentrações de CID. O pH apresentou um aumento mais expressivo no tratamento 2. Observou-se aumento do estado de saturação da aragonita em todos os experimentos realizados (Tabela 5).

Tabela 5 - Variação da temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID) e Ω_{arag} ao longo do tempo de incubação nos experimentos *ex situ* com os blocos carbonáticos e no fitoplâncton em 27 de Outubro de 2008. t_o = tempo inicial de incubação; t_f = tempo final de incubação. Alcalinidade total e concentração de CID expressas em $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Tratamentos	Variáveis					
	T (°C)	Sal	pH	AT	CID	Ω_{arag}
T ₁ t _o	28,9	36,1	7,88	3167,4	2948,9	3,03
T ₁ t _f	34,1 ± 0,68	36,1	8,33 ± 0,10	2903,9 ± 98,3	2325,1 ± 176,7	7,06 ± 0,93
T ₂ t _o	28,3	36,0	7,73	3147,3	3014,5	2,18
T ₂ t _f	33,7 ± 0,26	36,0	8,24 ± 0,08	2998,5 ± 114,2	2491,7 ± 132,9	6,30 ± 0,82
T ₃ t _o	28,3	36,0	7,73	3147,3	3014,5	2,18
T ₃ t _f	33,0 ± 0,17	36,0	7,88 ± 0,17	3199,3 ± 69,6	2947,4 ± 82,2	3,51 ± 0,45
T ₄ t _o	29,8	36,1	7,87	3105,8	2890,1	3,0
T ₄ t _f	33,7 ± 0,06	36,1	8,23 ± 0,11	2869,2 ± 78,2	2386,6 ± 161,7	5,92 ± 0,92
Fitoplâncton t _o	29,0 ± 0,70	36,1	7,83 ± 0,08	3140,2 ± 31,4	2951,2 ± 62,2	2,74 ± 0,48
Fitoplâncton t _f	33,1	36,1	8,04 ± 0,06	3248,7 ± 83,5	2886,9 ± 76,0	4,76 ± 0,14

Nos experimentos realizados com as macroalgas em 28 de Outubro de 2008, foram registrados aumentos na temperatura e no pH durante o período de incubação. A salinidade permaneceu constante ao longo do tempo. Houve aumento da alcalinidade total nos tratamentos 1 (*A. cf. spicifera*), 2 (*Sporolithon* sp.) e no plâncton. Em T₃ (Phaeophyta 1) e T₄ (*Jania* sp.), AT diminuiu durante o intervalo de tempo. As concentrações de CID diminuiram nas incubações realizadas com as macroalgas, enquanto aumentaram no plâncton. A maior alteração desta variável foi verificada no tratamento 3 (Phaeophyta 1). O estado de saturação da aragonita aumentou durante o período de incubação (Tabela 6).

Tabela 6 - Variações da temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID) e Ω_{arag} ao longo do tempo de incubação nos tratamentos, no plâncton e na poça de maré onde foi realizado o experimento com as macroalgas em 28/10/2008. t_o = tempo inicial de incubação; t_f = tempo final de incubação. Alcalinidade total e concentração de CID expressas em $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. * Amostras perdidas. T_1 = *Acanthophora* cf. *spicifera*; T_2 = *Sporolithon* sp.; T_3 = Phaeophyta 1; T_4 = *Jania* sp.

Tratamentos	Variáveis					
	T (°C)	Sal	pH	AT	CID	Ω_{arag}
Poça t_o	28,3	36,2	8,19	2454,8	2098,8	4,08
$T_1 t_f$	$33,2 \pm 0,26$	36,2	$8,81 \pm 0,07$	$2751,4 \pm 244,2$	$1749,6 \pm 228,1$	$11,41 \pm 0,90$
$T_2 t_f$	$33,0 \pm 0,15$	36,2	$8,38 \pm 0,03$	$2630,8 \pm 56,5$	$2056,6 \pm 51,7$	$6,72 \pm 0,38$
$T_3 t_f$	$33,1 \pm 0,10$	36,2	$8,77 \pm 0,03$	$2206,7 \pm 113,8$	$1384,9 \pm 60,8$	$8,66 \pm 0,73$
$T_4 t_f$	$32,4 \pm 0,15$	36,2	$8,64 \pm 0,11$	$2153,3 \pm 450,7$	$1471,6 \pm 430,4$	$7,15 \pm 0,96$
Fitoplâncton t_f	30,5	36,2	8,37	2785,6	2226,0	6,60
Poça t_f	30,9	36,4	7,98	_*	_*	_*

Os experimentos realizados no dia 29/10 resultaram em maiores variações em CID e pH ao longo do tempo do que as registradas para os blocos carbonáticos e para as macroalgas em 28/10. Observou-se aumento do pH e da temperatura em todas as incubações realizadas, o que também foi registrado para a poça onde foi desenvolvido o experimento e para o plâncton. Ocorreu diminuição da alcalinidade total e das concentrações de CID ao longo do tempo. A única exceção foi o plâncton, que exibiu aumento da alcalinidade total durante o período de incubação. Este compartimento apresentou variações expressivas nas concentrações de CID. As variações no pH e em CID foram maiores em T_1 (Phaeophyta 2), T_2 (Phaeophyta 1) e T_3 (*Dictyopteris* sp.). Houve aumento no estado de saturação da aragonita em todas as incubações realizadas (Tabela 7).

Tabela 7 - Variações da temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total (AT), carbono inorgânico dissolvido (CID) e Ω_{arag} ao longo do tempo de incubação nos tratamentos, no plâncton e na poça de maré onde foi realizado o experimento com as macroalgas em 29/10/2008. t_o = tempo inicial de incubação; t_f = tempo final de incubação. Alcalinidade total e concentração de CID expressas em $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. * Amostras perdidas. T_1 = Phaeophyta 2; T_2 = Phaeophyta 1; T_3 = *Dictyopteris* sp.; T_4 = *Caulerpa racemosa*.

Tratamentos	Variáveis					
	T (°C)	Sal	pH	AT	CID	Ω_{arag}
Poça T_o	29,5	36,3	7,80	2806,0	2642,0	2,33
$T_1 t_f$	$33,8 \pm 0,26$	36,3	$8,92 \pm 0,06$	$2519,0 \pm 172,2$	$1475,0 \pm 156,0$	$11,33 \pm 0,70$
$T_2 t_f$	$33,8 \pm 0,60$	36,3	$8,68 \pm 0,06$	$2489,5 \pm 285,6$	$1664,2 \pm 260,8$	$9,20 \pm 0,88$
$T_3 t_f$	$33,8 \pm 0,72$	36,3	$8,72 \pm 0,05$	$2627,1 \pm 107,5$	$1731,0 \pm 122,9$	$10,15 \pm 0,45$
$T_4 t_f$	$33,5 \pm 0,30$	36,3	$8,54 \pm 0,02$	$2508,4 \pm 240,7$	$1807,9 \pm 208,0$	$7,95 \pm 0,65$
Plâncton t_f	30,7	36,3	8,45	2837,1	2192,3	7,59
Poça T_f	29,7	36,5	8,28	2353,0	1931,4	4,72

5.3.3 Taxas de produção primária líquida das comunidades epilíticas e endolíticas colonizadoras de substratos carbonáticos

Os experimentos *in situ* realizados com os blocos carbonáticos resultaram em valores erráticos e incoerentes. Possivelmente, o período de 24 horas referente à aclimação não foi suficiente para estabilizar as condições de alcalinidade nos tratamentos, o que gerou valores incoerentes de CID (calculados a partir de AT). Desta forma, como as incubações *in situ* foram as primeiras a serem realizadas, estas devem ter exercido a função da aclimação dos substratos, permitindo o condicionamento destes às características da água do mar. Em função disso, serão descritos apenas os resultados encontrados nas incubações realizadas *ex situ*.

As incubações desenvolvidas com os organismos colonizadores dos substratos carbonáticos mostraram que o tratamento constituído de blocos completos apresentou maior taxa média de produção primária líquida ($37,0 \pm 20,8 \text{ mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) (Tabela 8; Figura 12a).

O tratamento T_2 , que apresentava colonização de macroalgas e microfitobentos e T_4 , realizado apenas com macroalgas apresentaram taxas de PPL semelhantes ($25,3 \pm 19,5$ e $21,7 \pm 4,0 \text{ mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente). O único tratamento em que as macroalgas foram retiradas (T_3), cuja predominância foi de microalgas endolíticas, apresentou a menor taxa média de PPL (Figura 12a; Tabela 8). O metabolismo líquido do plâncton nos experimentos

resultou em taxas consideráveis ($8,33 \pm 3,01 \text{ mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), similares às calculadas para os microfitobentos.

Tabela 8 - Média, desvio padrão e percentual de contribuição dos diferentes grupos autotróficos para as taxas de produção líquida nos experimentos em $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Macro = macroalgas; micro = microfitobentos epilíticos e epifíticos; endo = microalgas endolíticas; T = tratamentos.

Grupos de organismos	PPL		
	Média	DP	%
Macro + micro + endo (T ₁)	37,0	20,8	-
Macro + endo (T ₂)	25,3	19,5	-
Microalgas endolíticas (T ₃)	2,9	3,8	7,9
Microfitobentos	12,3	21,1	33,4
Macroalgas (T ₄)	21,7	4,0	58,8

Quando avaliadas individualmente, pode-se observar uma dominância das macroalgas como maiores produtores primários, com taxas médias de $21,7 \pm 4,0 \text{ mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, o que corresponde a 58,8% da produtividade total dos blocos testados experimentalmente. As microalgas endolíticas foi o grupo que apresentou o menor percentual de contribuição para a produtividade dos substratos carbonáticos (7,9%) (Tabela 8; Figura 12a).

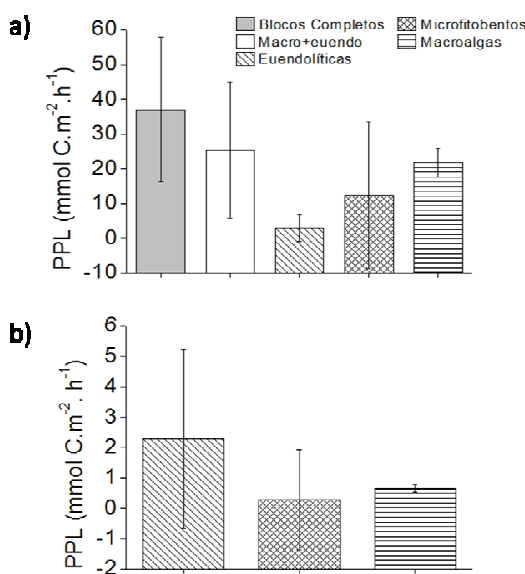


Figura 12: Média \pm desvio padrão das taxas de produção primária líquida ($\text{mmol C} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) estimadas para os diferentes grupos de organismos colonizadores de substratos carbonáticos no experimento *ex situ*. Em a) taxas estimadas para 1m² no experimento; em b) taxas extrapoladas para a área total de cobertura dos diferentes organismos no recife de Coroa Vermelha (em m²). Macro = macroalgas; euendo = microalgas endolíticas.

Entretanto, quando estas taxas foram extrapoladas para a área total de cobertura destes organismos no platô do recife de Coroa Vermelha, pode-se observar uma maior contribuição das microalgas endolíticas para o metabolismo líquido deste ecossistema ($2,28 \pm 2,95$ mmol C. $m^{-2} \cdot h^{-1}$). As macroalgas apresentaram valores intermediários e os microfitobentos epilíticos e epifíticos revelaram menores taxas de produtividade quando este fator foi considerado ($0,65 \pm 0,12$ e $0,28 \pm 1,65$ mmol C. $m^{-2} \cdot h^{-1}$, respectivamente) (Figura 12b).

5.3.4 Taxas de produção primária líquida das diferentes espécies de macroalgas

Dentre as macroalgas avaliadas, a Chlorophyta *Caulerpa racemosa* apresentou o maior teor de matéria orgânica por grama de biomassa seca ($73,0 \pm 0,05\%$). Observou-se também valores de matéria orgânica acima de 40,0 e 50,0% nas espécies não identificadas da divisão Phaeophyta e de 50,0% na Rhodophyta *A.cf. spicifera*. As Rhodophyta calcárias *Jania* sp. e *Sporolithon* sp. apresentaram os menores teores de matéria orgânica (Tabela 9).

Tabela 9 - Razão matéria orgânica/g de biomassa seca e taxas de produção primária líquida (PPL) das diferentes espécies de macroalgas utilizadas nos experimentos. BS = biomassa seca.

Espécie	M.O./g de biomassa seca (%)			PPL (mmol C . g ⁻¹ BS . h ⁻¹)	
	Média	DP	N	Média	DP
<i>Acanthophora</i> cf. <i>spicifera</i>	50,0	0,01	3	0,08	0,02
<i>Jania</i> sp.	17,2	0,02	3	0,02	0,01
<i>Sporolithon</i> sp.	7,0	0,01	3	3×10^{-4}	1×10^{-4}
Phaeophyta 1	44,0	0,07	6	0,03	0,008
Phaeophyta 2	51,0	0,01	3	0,11	0,02
<i>Dictyopteris</i> sp.	42,0	0,15	3	0,08	0,03
<i>Caulerpa racemosa</i>	73,0	0,05	3	0,10	0,02

As taxas de produção primária das macroalgas estimadas pela biomassa seca variaram entre 0,01 e 0,12 mmol C. g⁻¹ BS. h⁻¹. Os maiores valores foram registrados nas espécies que apresentaram as maiores razões MO/g de biomassa seca (Phaeophyta 2, *Caulerpa racemosa*, *Dictyopteris* sp. e *A. cf. spicifera*) e estas taxas foram similares entre estas espécies. As macroalgas *Jania* sp. e Phaeophyta 1 também apresentaram taxas similares entre si. A

rodofícia calcária incrustante *Sporolithon* sp. apresentou taxas negligenciáveis (Tabela 9; Figura 13a).

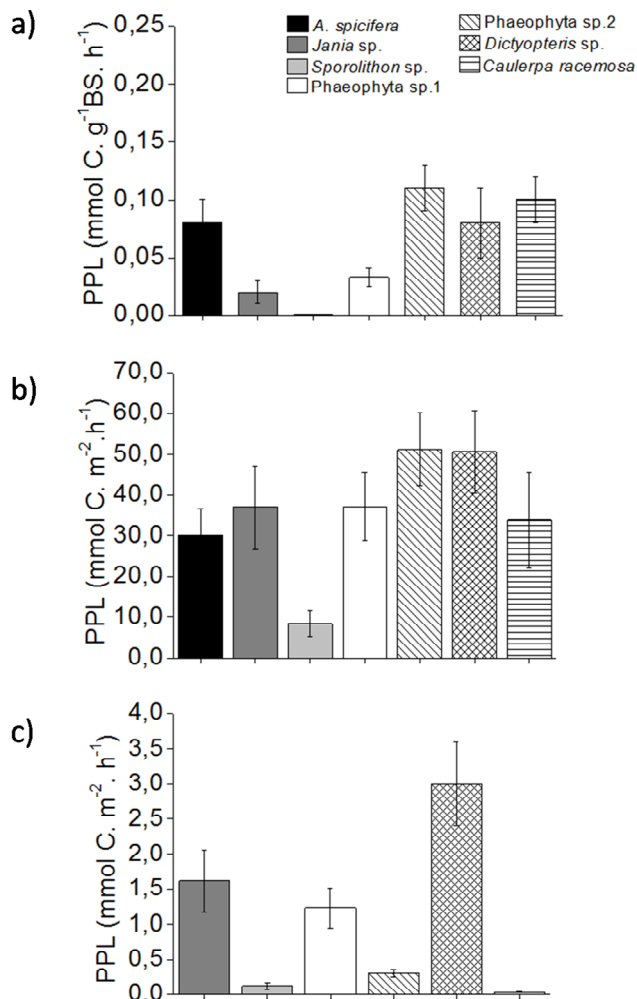


Figura 13: Média \pm desvio padrão das taxas de produção primária líquida das espécies de macroalgas estimadas por a) biomassa seca (g); b) área no experimento (m²); c) área de cobertura de cada espécie no recife (m²).

Quando as taxas foram expressas pela área das algas nos experimentos (m²), os valores variaram entre 4,89 e 61,0 mmol C . m⁻² . h⁻¹. A produtividade foi similar entre as espécies *Phaeophyta* sp. 2 e *Dictyopteris* sp., as quais apresentaram os maiores valores de PPL. As macroalgas *Jania* sp., *Phaeophyta* sp. 1, *Caulerpa racemosa* e *A. cf. spicifera* também apresentaram taxas similares de PPL e contribuição expressiva para o metabolismo dos experimentos. A Rhodophyta calcária incrustante *Sporolithon* sp. permaneceu com os menores valores de produtividade (8,34 \pm 3,21 mmol C. m⁻². h⁻¹) (Figura 13b). Entretanto, quando a área total de cobertura destes organismos no recife foi considerada, *Dictyopteris* sp.

destacou-se pela maior contribuição para o metabolismo deste ecossistema ($3,0 \pm 0,6 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), seguida por *Jania* sp. ($1,6 \pm 0,5 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e Phaeophyta 1 ($1,23 \pm 0,28 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). A Chlorophyta *Caulerpa racemosa* e a Rhodophyta calcária incrustante *Sporolithon* sp. apresentaram a menor participação para o metabolismo líquido do ecossistema ($0,03 \pm 0,01$ e $0,11 \pm 0,04 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente) (Figura 13c). A Rhodophyta filamentosa *A. cf. spicifera* não foi encontrada durante a avaliação das imagens retratadas no platô de Coroa Vermelha, em virtude disto não foi possível extrapolar estas taxas para a área de cobertura desta macroalga no recife.

Nestas incubações, o fitoplâncton apresentou taxas de produção primária negligenciáveis no primeiro dia de experimento ($1,8 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Contudo, no segundo dia este grupo apresentou taxas consideráveis para o metabolismo líquido total ($34,0 \text{ mmol de C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$).

5.4 DISCUSSÃO

A diminuição da alcalinidade total observada na maioria dos experimentos realizados mostra a ocorrência de calcificação e produção primária líquida nas incubações. Cada mol de CaCO_3 precipitado é responsável pela diminuição da alcalinidade total em duas unidades (ZEEBE & WOLF-GLADROW, 2001). Assim, o aumento desta variável ao longo do tempo caracteriza a reação inversa (dissolução líquida de CaCO_3). Os valores de Ω_{arag} caracterizam uma supersaturação deste sólido na água do mar e o aumento desta variável ao longo do período de incubação indica condições favoráveis para a calcificação. Entretanto, a ocorrência de dissolução líquida de CaCO_3 foi marcante em todas as estimativas do metabolismo planctônico e em alguns dos experimentos realizados, inclusive para o grupo de macroalgas calcárias incrustantes (*Sporolithon* sp.). O aumento do pH é decorrente da diminuição na concentração de carbono inorgânico dissolvido, consumido pelos organismos autotróficos considerados.

O elevado desvio-padrão encontrado para as taxas de PPL, principalmente com os blocos carbonáticos, pode ser atribuído à presença de organismos heterotróficos não visualizados/retirados durante a etapa de manipulação das amostras precedente às incubações.

As maiores taxas de produção primária no primeiro tratamento dos experimentos realizados com os substratos carbonáticos podem ser atribuídas às macroalgas. Este tratamento foi representado pelos três grupos autotróficos considerados. Os microfítobentos epilíticos e epifíticos e as microalgas endolíticas colonizam a base e o interior da superfície do

substrato, respectivamente. Desta forma, a predominância de macroalgas na região superior dos blocos implica em sombreamento para os organismos que se desenvolvem abaixo delas e conseqüentemente menores taxas de produção. As incubações realizadas em T₂, no qual os microfítobentos epilíticos e epifíticos foram retirados e em T₄, quando as macroalgas foram avaliadas individualmente, mostraram que a ausência dos outros organismos não causou influência expressiva sobre as taxas de PPL. Além disso, o cálculo das contribuições individuais dos organismos autotróficos para a produtividade total do substrato evidencia a idéia de que as macroalgas foram os principais produtores instantâneos de carbono orgânico ao longo do intervalo de incubação.

Entretanto, no momento em que as taxas de PPL foram extrapoladas para a área de cobertura destes organismos no platô do recife, as microalgas endolíticas destacaram-se por apresentar importante produtividade líquida para este ecossistema. O metabolismo destes organismos em corais vivos não foi considerado, uma vez que a estimativa deste gera valores variáveis devido à assimilação de parte desta produção pelo próprio coral (SCHLICHTER *et al.*, 1995). Além disso, existe a questão da rugosidade do recife, a qual não foi avaliada neste estudo. Estes fatores podem levar a valores subestimados para as taxas dos organismos endolíticos.

Quando comparados a cianobactérias e algas, organismos fotoautotróficos endolíticos são ubíquos em recifes e outros ecossistemas rasos de fundo consolidado, onde eles colonizam fissuras e poros em esqueletos de corais e outros invertebrados ou penetram ativamente os substratos carbonáticos (GOLUBIC *et al.*, 1981). Microorganismos euendolíticos habitam todo o substrato carbonático disponível incluindo esqueletos de corais vivos ou mortos (TRIBOLLET *et al.*, 2002), macroalgas calcárias vivas ou mortas (TRIBOLLET & PAYRI, 2001), conchas de moluscos (MAO CHE *et al.*, 1996), bem como substrato calcário compactado (SCHNEIDER & TORUNSKI, 1983) ou grãos de sedimentos carbonáticos soltos (TUDHOPE & RISK, 1985). Estes fotoautotróficos microperfurantes têm adaptações diversas, permitindo-os sobreviver em habitats sombreados. Por exemplo, organismos endolíticos que habitam esqueletos de corais vivos absorvem a luz vermelha eficientemente e possuem atividades de catalase, protegendo-os das espécies de oxigênio reativo (SHASHAR & STAMBLER, 1992).

TRIBOLLET *et al.* (2006) demonstraram experimentalmente que os organismos fotoautotróficos endolíticos são os principais produtores primários em substratos de corais mortos, registrando taxas médias de PPL de $191 \pm 25 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (ou $16,6 \text{ mmol C. m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Sob condições experimentais, a contribuição destes organismos para a produtividade foi

de 56% a 81% e sob condições naturais estimou-se que estes valores alcancem de 32% a 46%. No presente estudo, as taxas de PPL encontradas para as microalgas endolíticas alcançou valores inferiores aos calculados por TRIBOLLET *et al.* (2006), o que pode ser atribuído à interferência causada pela permanência de organismos heterotróficos nos blocos, não visualizados/retirados durante a manipulação dos mesmos. No entanto, constatou-se que este grupo apresenta importante contribuição para a produtividade do recife de Coroa Vermelha (12% da produtividade total).

A contribuição significativa do fitoplâncton em um dos dias dos experimentos contradiz a suposição defendida por alguns autores (SMITH, 1973; KINSEY, 1985) e resultados encontrados para esta área de estudo (SILVA, 2009) de que o plâncton teria participação negligenciável para o metabolismo recifal. Provavelmente, este resultado reflete uma característica pontual da poça utilizada durante o experimento, o que não teria influência expressiva sobre o metabolismo total do recife.

O metabolismo do microfitobentos epilítico e epifítico também pode estar subestimado em consequência da presença variada de organismos heterotróficos nos blocos, uma vez que estas taxas foram calculadas a partir da diferença entre o metabolismo dos blocos completos e sem microfitobentos.

SUZUMURA *et al.* (2002) encontraram elevadas taxas fotossintéticas para comunidades de microfitobentos em sedimentos carbonáticos, na ordem de 2,0 – 5,1 mmol C m⁻² h⁻¹. Eles estimaram que a produção líquida destes organismos contribui com 27,0 e 13,0% da produtividade total, a depender da sazonalidade. BOUCHER *et al.* (1998) também estimaram grande contribuição fotossintética destes organismos em sedimento não consolidado, colaborando com 2,8 a 32,0% da produção da comunidade do platô de um recife de barreira em Moorea, Polinésia Francesa. Os experimentos deste estudo constataram menores taxas de produção para os microfitobentos epilítico e epifíticos (0,28 ± 1,65 mmol C m⁻² h⁻¹). Esta diferença pode estar associada à abordagem experimental e ao tipo de substrato considerado nestes estudos. No presente estudo, o percentual de contribuição deste grupo para a produtividade total do recife foi de cerca de 1,5%. Levando em consideração que estas taxas podem estar subestimadas, é esperado que a participação dos microfitobentos para este metabolismo seja maior que a quantificada.

As taxas de produção primária das macroalgas apresentaram variações expressivas, principalmente quando foi considerada a área de ocorrência de cada espécie no platô de Coroa Vermelha. Além disso, à medida que foi avaliado o metabolismo das diferentes espécies para o recife, observou-se que as macroalgas são os principais produtores primários do ecossistema

recifal, mesmo comparado às microalgas endolíticas, contribuindo com cerca de 33% destas taxas. A eutrofização tende a ser o principal fator que controla a biomassa e a assembléia taxonômica de macroalgas em recifes de coral, enquanto que a herbivoria é mais importante no controle da composição das espécies, devido às preferências na dieta (LAPOINTE *et al.*, 2004). Estas modificações na estrutura das comunidades implicam em mudanças na armazenagem e fluxos de carbono orgânico nos recifes, com conseqüências sobre o seu metabolismo (BARRÓN *et al.*, 2003).

O recife costeiro de Coroa Vermelha é caracterizado por apresentar um aporte natural e antropogênico de nutrientes, que entram neste ecossistema principalmente a partir do lençol freático (COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006). Esta condição pode ter favorecido o crescimento e maior produtividade de organismos autotróficos. Esta resposta, no entanto, pode variar de acordo com a categoria dos produtores primários e entre as diferentes espécies de macroalgas.

THACKER & PAUL (2001) afirmam que a disponibilidade de nutrientes não é significativamente associada com a abundância de cianobactérias bênticas e que o principal fator que afetou este parâmetro biológico foram distúrbios físicos causados pelo comprimento das ondas. Entretanto, foi comprovada a existência de competição entre produtores primários dos compartimentos bêntico e planctônico (FONG *et al.*, 1993). Através de experimentos em microcosmos utilizando enriquecimento de nutrientes, estes pesquisadores concluíram que macroalgas e cianobactérias foram melhores competidores por recurso do que assembléias fitoplanctônicas em elevadas taxas de suprimento. Além disso, FONG & ZEDLER (1993) encontraram relações negativas entre macroalgas e cianobactérias, argumentando que a competição entre estes grupos deveria ser a maior forçante para a estruturação destas comunidades.

Assim, a elevada disponibilidade de nutrientes descrita para a área de estudo pode estar influenciando positivamente a produtividade das macroalgas que possivelmente apresentam vantagem competitiva sobre as microalgas endolíticas e os microfítobentos epilíticos e epifíticos, justificando assim a menor produtividade destes últimos grupos.

A faixa de produtividade líquida encontrada em comunidades recifais autotróficas tem sido estimada em: 0,7 – 27,7 mmol C . m⁻² . h⁻¹ para macroalgas carnosas bênticas; 0,7 – 3,5 mmol C . m⁻² . h⁻¹ para o fitoplâncton; 6,9 – 42,0 mmol C . m⁻² . h⁻¹ para algas turfosas e 4,2 mmol C . m⁻² . h⁻¹ para as zooxantelas (LARKUM, 1983). Comunidades epilíticas dominadas por macroalgas turfosas da porção central de Great Barrier Reef (Grande Barreira de Recifes; GBR) exibem taxas entre 0,42 – 8,75 mmol C . m⁻² . h⁻¹ (KLUMPP & MCKINNON, 1989) e comunidades de algas calcárias incrustantes neste local de estudo apresentam taxas de 1,17 –

9,0 mmol C . m⁻² . h⁻¹ (CHISHOLM, 2003). ROSENBERG *et al.* (1995) estimaram taxas instantâneas de 0,5 mmol C. g⁻¹ BS. h⁻¹ para *Ulva fasciata* (Chlorophyta), 0,2 mmol C. g⁻¹ BS. h⁻¹ para *Sargassum cymosum* (Phaeophyta) e 0,03 mmol C. g⁻¹ BS. h⁻¹ para *Laurencia papillosa* (Rhodophyta). A produção de carbono normalizada para a área de superfície do substrato gerou taxas de 65,8 mmol C. m⁻². h⁻¹ e 110 mmol C. m⁻². h⁻¹ para as duas primeiras espécies descritas anteriormente, além de 57,5 mmol C. m⁻². h⁻¹ e 18,3 mmol C. m⁻². h⁻¹ para as Rhodophyta *Pterocladia capillacea* e *Hypnea musciformis*, respectivamente.

Dentre as espécies consideradas no presente estudo, tanto as taxas instantâneas (expressas por biomassa seca) quanto as normalizadas pela área de cobertura no recife foram inferiores às estimadas por ROSENBERG *et al.* (1995) para as macroalgas incluídas nas divisões Phaeophyta, Rhodophyta e Chlorophyta. Apesar disso, a Chlorophyta *Caulerpa racemosa*, a Phaeophyta 2 e *Dictyopteris* sp. e a Rhodophyta calcária articulada *Jania* sp. apresentaram taxas instantâneas próximas às encontradas por estes autores para estas divisões taxonômicas. Esta última espécie e a Phaeophyta 1 apresentaram taxas de produção dentro da faixa de valores descrita por CHISHOLM (2003). A Phaeophyta *Dictyopteris* sp. demonstrou taxas médias semelhantes às exibidas pelas macroalgas turfusas de GBR (KLUMPP & MCKINNON, 1989).

A Rhodophyta calcária incrustante *Sporolithon* sp. apresentou taxas negligenciáveis e similares às registradas em *Lithotamnium corallioides* por MARTIN *et al.* (2006) (0,0003 e 0,0002 mmol C. g BS⁻¹. h⁻¹, respectivamente). Entretanto, as taxas descritas por estes autores foram medidas a 5 metros de profundidade, a fim de caracterizar as respostas com relação à luminosidade. A produção primária calculada para as macroalgas incrustantes no presente trabalho também podem estar subestimadas, uma vez que a avaliação das imagens para estimar a área de cobertura destes organismos não leva em consideração as irregularidades da estrutura calcária na qual estes organismos se desenvolvem.

5.5 CONCLUSÕES

As macroalgas possuem taxas instantâneas de produção primária maiores do que os microfitobentos epilíticos e epifíticos e as microalgas endolíticas. No entanto, a avaliação da contribuição individual destes grupos para a produtividade total do recife a partir da análise da área de cobertura dos mesmos no platô, mostrou que as microalgas endolíticas também apresentam importante contribuição para a produção primária líquida do ecossistema. A

ubiquidade destes organismos e as adaptações encontradas para otimizar o metabolismo destes no interior dos substratos calcários são características relevantes que podem explicar estes resultados.

Além disso, a entrada alóctone de nutrientes registrada para o recife de Coroa Vermelha, oriunda de aporte fluvial e/ou subterrâneo pode favorecer o crescimento e produtividade dos organismos autotróficos, estabelecendo uma competição entre estes grupos, onde provavelmente as macroalgas obtêm vantagem. Desta forma, as macroalgas podem ser consideradas os maiores produtores no recife de Coroa Vermelha. Dentre as espécies utilizadas neste trabalho, a Phaeophyta *Dictyopteris* sp. apresentou uma maior representatividade para este metabolismo em decorrência das maiores taxas instantâneas e área de cobertura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os recifes de coral desempenham importante papel nos ciclos biogeoquímicos globais. Fotossíntese e calcificação afetam o sistema CO_2 da água do mar, alterando as concentrações de carbono inorgânico dissolvido e a alcalinidade total. A análise da forma como os recifes responderão a maiores alterações ambientais, tais como o aumento na temperatura do oceano ou penetração de raios ultravioletas, pode ser impossibilitada se não houver o conhecimento do balanço de CO_2 , bem como das fontes e sumidouros de carbono orgânico (CROSSLAND *et al.*, 1991).

Com base nos resultados encontrados no presente trabalho, o sistema recifal de Coroa Vermelha pode ser caracterizado por processos metabólicos que apresentam complexas mudanças ao longo do dia. Foram observadas alterações no metabolismo entre o período diurno de exposição e submersão, o que também deve ocorrer no período noturno. Até o momento, foi possível a realização de medidas destas taxas durante o período diurno de exposição e em uma única coleta noturna.

Durante o período de exposição, o recife de Coroa Vermelha apresenta autotrofia líquida e funciona como um sumidouro de CO_2 atmosférico. A produção primária diurna foi o principal processo responsável pela direção e magnitude dos fluxos de CO_2 , resultado que destoa de relatos da literatura, os quais descrevem que a calcificação tem maior influência neste sentido. Este resultado pode ser discutido pelas condições de entradas alóctones de nutrientes para este recife, o que acentuaria as taxas de produção em detrimento da calcificação.

A tabela 10 mostra os principais processos e correspondentes taxas que caracterizam a biogeoquímica do carbono no recife de Coroa Vermelha. Os processos de produção primária consomem carbono inorgânico dissolvido enquanto produzem carbono orgânico e possibilitam a entrada de CO_2 da atmosfera para a água. As taxas médias dos fluxos através da interface ar-água mostram que esta entrada tem pouca interferência sobre o metabolismo do carbono orgânico e que, contrariamente, os fluxos são controlados pela produção. A calcificação atua consumindo carbono inorgânico e repondo-o para o sistema na forma de CO_2 , o qual pode ser assimilado pelos organismos autotróficos ou disponibilizado para as trocas com a atmosfera. Uma vez constatada a maior influência da produção primária para os

fluxos de CO₂, conclui-se que este produto da calcificação deve ser consumido através da fotossíntese.

A estimativa das taxas de diferentes grupos autotróficos bênticos e a participação individual dos mesmos para o metabolismo total do recife mostra que as macroalgas são as principais responsáveis pela produção primária neste ecossistema, contribuindo com cerca de 34% para o mesmo. Constatou-se que a Phaeophyta *Dictyopteris* sp. tem maior contribuição para estas taxas (16%) quando comparada às demais algas testadas experimentalmente, o que reflete a maior produção instantânea e distribuição desta espécie no platô recifal. As microalgas endolíticas também apresentam importante participação nestas taxas, considerando a ubiqüidade e adaptações destes organismos (Tabela 10).

Os resultados descritos para o recife no período de imersão diurna e exposição noturna permitem a suposição de que, apesar das elevadas taxas de produção durante a exposição diurna, o balanço total do carbono no período de 24 horas poderia resultar em liberação líquida de CO₂ para a atmosfera. Desta forma, a avaliação real do balanço diário do carbono neste recife pode originar resultados inversos relacionados aos fluxos de CO₂ e, então, maior contribuição dos processos de calcificação e remineralização noturnas para estes fluxos.

Tabela 10 - Taxas metabólicas dos principais processos que atuam na biogeoquímica do carbono no recife de Coroa Vermelha. PLE = Produção líquida do ecossistema. * Total macroalgas corresponde à soma da contribuição individual de cada grupo para o metabolismo líquido do recife.

Taxas Metabólicas	Metabolismo líquido (mmol C. m ⁻² . h ⁻¹)		
	Média	DP	Contribuição para PLE (%)
PLE	18,8	5,7	-
<i>Siderastrea stellata</i> ^a	0,44	0,5	2,34
Microalgas endolíticas	2,28	2,95	12,1
Microfitobentos	0,28	1,65	1,49
Macroalgas			
<i>Jania</i> sp.	1,62	0,45	8,62
<i>Sporolithon</i> sp.	0,11	0,04	0,59
Phaeophyta 1	1,23	0,28	6,54
Phaeophyta 2	0,30	0,05	1,60
<i>Dictyopteris</i> sp.	3,00	0,60	16,0
<i>Caulerpa racemosa</i>	0,03	0,01	0,16
* Total macroalgas	6,29	-	33,5
Calcificação/dissolução	8,40	26,4	-
Trocas com a atmosfera	10 x 10 ⁻³	6,0 x 10 ⁻³	-

^a Calculados a partir dos dados obtidos por SILVA (2009).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOUAD, M. Projeto Porto Seguro- Santa Cruz Cabrália. 1998. **Clima**. Programa Informações para Gestão Territorial – GATE/CPRM. Salvador.

ABRAMOVITCH-GOTTLIB, L.; KATOSHEVSKI, D.; VAGO, R. 2002. A computerized tank system for studying the effect of temperature on calcification of reef organisms. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, v.50, p. 245-252.

BARRÓN, C.; TMARBA, N.; DUARTE, C.M.; PEDERSEN, M.F.; LINDBLAD, C.; KERSTING, K.; MOY, F.; BOKN, T. 2003. High Organic Carbon Export Precludes Eutrophication Responses in Experimental Rocky Shore Communities. **Ecosystems**, v. 6, p. 144–153.

BOUCHER, G.; CLAVIER, J.; HILY, C.; GATTUSO, J-P. 1998. Contribution of soft-bottoms to the community metabolism (primary production and calcification) of a barrier reef flat (Moorea, French Polynesia). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 225, p. 269 – 283.

BROWER J.E.; ZAR, J.H. 1977. **Field and laboratory methods for general Ecology**. Dubuque, Brow Company Publishers. 194 p.

BUDDEMEIER, R.W.; KLEYPAS, J.A.; ARONSON, R.B. 2004. **Coral Reefs & Global climate change**: Potential Contributions of Climate Change to Stresses on Coral Reef Ecosystems. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change, 56p. Disponível em: <www.pewclimate.org>. Acesso em: 08 Jul. 2007.

CARMOUZE, J-P. 1994. **O Metabolismo dos Ecossistemas Aquáticos**. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Edgard Blücher/FAPESP. 253 p.

CASTRO, C.B.; PIRES, D.O. 2001. Brazilian coral reefs: what we already know and what is still missing. **Bulletin of marine science**, v. 69, n. 02.

CHISHOLM, J.R.M. 2003. Primary productivity of reef-building crustose coralline algae. **Limnology and Oceanography**, v. 48, n. 04, p. 1376 – 1387.

COSTA JÚNIOR, O.S.; ATTRILL, M.J.; NIMMO, M. 2006. Seasonal and spatial controls on the delivery of excess nutrients to nearshore and offshore coral reefs of Brazil. **Journal of Marine Systems**, v. 60, p. 63-74.

COSTA JÚNIOR, O.S.; ATTRILL, M.J.; PEDRINI, A.G.; DE-PAULA, F.C. 2001. Benthic macroalgal distribution in coastal and offshore reefs at Porto Seguro Bay, Brazilian Discovery Coast. **Proceedings of 9th International Coral Reef Symposium**.

CROSSLAND, C.J.; HATCHER, B.G.; SMITH, S.V. 1991. Role of coral reefs in global ocean production. **Coral Reefs**, v. 10, p. 55 – 64.

DICKSON, A. G. 1990. Thermodynamics of the dissociation of boric acid in synthetic seawater from 273.15 to 318.15 K. **Deep-Sea Research**, v. 37, p. 755-766.

- DICKSON, A. G.; MILLERO, F. J. 1987. A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. *Deep-Sea Research*, v. 34, p.1733-1743.
- DUTRA, L.X.C. 2000. O branqueamento de corais hermatípicos no litoral norte da Bahia associado ao evento El Niño/98. **Monografia de Graduação**. Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia, 85p.
- FERREIRA, B.P. MAIDA, M. 2006. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Situação atual e perspectivas**. Brasília: MMA,120p.
- FERRIER-PÀGES, C.; GATTUSO, J-P.; DALLOTE, S.; JAUBERT, J. 2000. Effect of nutrient enrichment on growth and photosynthesis of the zooxanthellate coral *Stylophora pistillata*. **Coral Reefs**, v. 19, p. 103 – 113.
- FONG, P.; DONOHUE, R.M.; ZEDLER, J.B. 1993. Competition with macroalgae and benthic cyanobacterial mats limits phytoplankton abundance in experimental microcosms. **Marine Ecology Progress Series**, v. 100, p. 97-102.
- FONG, P.; ZEDLER, J. B. 1993. Temperature and light effects on the seasonal succession of algal communities in shallow coastal lagoons. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 171, p. 259 -272.
- FRANKIGNOULLE, M.; CANON, C.; GATTUSO, J-P. 1994. Marine calcification as a source of carbon dioxide: positive feedback of increasing atmospheric CO₂. **Limnology and Oceanography**. 39: 458 – 462.
- FRANKIGNOULLE, M.; GATTUSO, J.P. 1993. Air-sea CO₂ exchange in coastal systems. In: R. Wollanski, F.T. Mackenzie, and L. Chou (eds.). **Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change**. NATO ASI Series. Springer-Verlag, Berlin, v. 14, p. 233-248.
- GATTUSO, J-P.; ALLEMAND, D.; FRANKIGNOULLE, M., 1999. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral: a review on interactions and control by carbonate chemistry. **American Zoology**, v.39, p. 160-183.
- GATTUSO, J-P.; FRANKIGNOULLE, M.; BOURGE, I.; ROMAINE, S.; BUDDEMEIER, R.W. 1998. Effect of calcium saturation of seawater on coral calcification. **Global and Planetary Change**, v.29, p. 37-46.
- GATTUSO, J-P.; PICHON, M.; DELESALLE, B.; FRANKIGNOULLE, M. 1993. Community metabolism and air-sea CO₂ fluxes in a coral reef (Moorea, French Polynesia). **Marine Ecology Progress Series**, v. 96, p. 259 – 267.
- GOLUBIC, S.; FRIEDMAN, I.; SCHNEIDER, J. 1981. The lithobiontic ecological niche, with especial reference to microorganisms. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 51, p. 475 – 478.
- KELMO, F.; ATTRILL, M.J.; JONES, M.B. 2003. Effects of the 1997–1998 El Niño on the cnidarian community of a high turbidity coral reef system (northern Bahia, Brazil). **Coral Reefs**, v. 22, p. 541-550.

- KIKUCHI, R.K.P.; LEÃO, Z.M.A.N. 1998. The effects of Holocene sea-level fluctuation on reef development and coral community structure, Northern Bahia, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 70, n. 2, p. 159-171.
- KINSEY, D.W. 1985. Metabolism, calcification and carbon production. System level studies. **Proc. 5th int. Coral Reef Congress**, v.4, p. 1790 – 1799.
- KLEYPAS, J.A.; BUDDEMEIER, R.W.; ARCHER, D.; GATTUSO, J-P.; LANGDON, C.; OPDYKE, B.N. 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. **Science**, v.284, p. 118-120.
- KLUMPP, D. W.; MCKINNON, A. D. 1989. Temporal and spatial patterns in primary productivity of a coral-reef epilithic algal community. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 131, p. 1–22.
- KRAINES, S.B. 1995. Construction of a model of mass flux in a coral reef. **Master's thesis**, University of Tokyo.
- KRAINES, S.; SUZUKI, Y.; YAMADA, K.; KOMIYAMA, H. 1996. Separating biological and physical changes in dissolved oxygen concentrations in a coral reef. **Limnology and Oceanography**, v. 41, p. 1790-1799.
- KRAINES, S.B.; SUZUKI, Y.; OMORI, T.; SHITASHIMA, K.; KANAHARA, S.; KOMIYAMA, H. 1997. Carbonate dynamics of the coral reef system at Bora Bay, Miyako Island. **Marine Ecology Progress Series**, v. 156, p. 1-16.
- LAPOINTE, B.E; BARILE, P.J.; YENTSCH, C.S.; LITTLER, M.M.; LITTLER, D.S.; KAKUKD, B. 2004. The relative importance of nutrient enrichment and herbivory on macroalgal communities near Norman's Pond Cay, Exumas Cays, Bahamas: a 'natural' enrichment experiment. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 298, p. 275– 301.
- LARKUM, A. W. D. 1983. The primary productivity of plant communities on coral reefs, p. 221–230. *In*: D. J. Barnes (ed.) **Perspectives on coral reefs**. Australian Institute of Marine Science.
- LEÃO, Z.M.A.N. 1994. The coral reefs of Southern Bahia. *In*: Hetzel, B. & Castro C.B (eds). **Coral of Southern Bahia**. Ed. Nova fronteira, RJ, 159 p.
- LEÃO, Z.M.A.N. 1996. The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the major environmental impacts. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 3, p. 439-452.
- LEÃO, Z.M.A.N. 2002. Abrolhos, BA - O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul. *In*: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (eds), **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 1. ed, v.01, p. 345-359. Disponível em: <www.unb.br/ig/sigep/sitio090/sitio090.htm>. Acesso em: 11 Nov. 2008.

- LEÃO, Z.M.A. N.; BITTENCOURT, A.C.S.P. 1977. A fração biodetrítica dos sedimentos de fundo da Baía de Aratu, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília, v. 7, n. 2, p. 115-130.
- 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 e Tecnologia**, v.8, n.1, p.287.
- LEÃO, Z.M.A.N.; TELLES, M. D. ; SFORZA, R. ; BULHÕES, H. ; KIKUCHI, R.K.P. 1994. Impact of tourism development on the coral reefs of the Abrolhos area, Brazil. *In*: GINSBURG, R.N. (Org.). **Global Aspects of Coral Reefs: health, hazard and history**. 1 ed. Miami: University of Miami, p. 254-260.
- LECLERCQ, N.; GATTUSO, J-P.; JAUBERT, J., 2000. CO₂ partial pressure controls de calcification rate of a coral community. **Global Change Biology**, v.6, p. 329-334.
- LECLERCQ, N.; GATTUSO, J-P; JAUBERT, J. 2002. Primary production, respiration, and calcification of a coral reef mesocosm under increased CO₂ partial pressure. **Limnology and Oceanography**, v.47, n. 2, p. 558-564.
- LEWIS, E., WALLACE, D. W. R. 1998. Program Developed for CO₂ System Calculations. ORNL/CDIAC-105. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
- LIETH, H.; WHITTAKER, R.H. 1975. **Primary productivity of the biosphere**. New York: Springer-Verlag, 339 p.
- LISS, P.S.; MERLIVAT, L. 1986. Air-sea gas exchange rates: introduction and synthesis. *In*: Buart- Menard, P. (ed.) **The role of air-sea exchange in geochemical cycling**. D. Reidel Publishing Company, Utrecht, p. 113-128.
- LONGHINI, C.M. 2007. Taxas metabólicas líquidas, calcificação e fluxos de CO₂ nos recifes de Coroa Vermelha e Ponta Grande – Bahia. **Monografia de Graduação**. Universidade Estadual de Santa Cruz.
- MAO CHE, L.; LE CAMPION-ALSUMARD, T.; BOURY-ESNAULT, N.; PAYRI, C.; GOLUBIC, S.; BEZAC, C. 1996. Biodegradation of shells of the black pearl oyster, *Pinctada margaritifera* var. *Cumingii*, by microborers and sponges of French Polynesia. *Marine Biology*, v. 126, p. 509 – 519.
- MARTIN, S.; CASTETS, M-D.; CLAVIER, J. 2006. Primary production, respiration and calcification of the temperate free-living coralline alga *Lithothamnion corallioides*. **Aquatic Botany**, v. 85, p. 121 – 128.
- MEHRBACH, C.; CULBERSON, C.H.; HAWLEY, J.E.; PYTKOWICZ, R.M. 1973. Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. **Limnology and Oceanography**, v. 18, p. 897 – 907.
- ODUM, H. T. 1956. Primary Production in Flowing Waters. **Limnology and Oceanography**, v. 1, n. 2, p. 102-117.
- REYNAUD, S.; LECLERCQ, N.; ROMAINE-LIOUD, S.; FERRIER-PAGÈS, C.; JAUBERT, J.; GATTUSO, J-P., 2003. Interacting effects of CO₂ partial pressure and

temperature on photosynthesis and calcification in a scleractinian coral. **Global Change Biology**, v.9, p. 1660-1668.

ROSENBERG, G.; LITTLER, D.S.; LITTLER, M.M.; OLIVEIRA, E.C. 1995. Primary production and Photosynthetic Quotients of Seaweeds from São Paulo State, Brazil. **Botânica Marina**, v. 38, p. 369 – 377.

SCHLICHTER, D., ZSCHARNACK, B., KRISCH, H. 1995. Transfer of Photoassimilates from Endolithic Algae to Coral Tissue. **Naturwissenschaften**, v. 82, p. 561 – 564.

SCHNEIDER, J.; TORUNSKI, H. 1983. Biokarst on limestone coasts, morphogenesis and sediment production. **Marine Ecology Progress Series**, v. 4, p. 45 – 63.

SHASHAR, N.; STAMBLER, N. 1992. Endolithic algae within corals - life in an extreme environment. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 163, p. 277–86.

SILVA, A.M. 2009. Calcificação e metabolismo líquido em *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868), Cnidaria, Scleractinea no recife de Coroa Vermelha, Bahia. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais, Universidade Estadual de Santa Cruz, 64 p.

SILVA, I.R.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L. 2001. Principais padrões de dispersão de sedimentos ao longo da Costa do Descobrimento - sul do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n 03, p. 335-340.

SMITH, S.V. 1973. Carbon dioxide dynamics: a record of organic carbon production, respiration, and calcification in the Eniwetok reef flat community. **Limnology and Oceanography**, v. 18, n. 01, p. 106-120.

SMITH, S.V. 1974. Coral reef carbon dioxide flux. **Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium**.

SMITH, S.V.; BUDDEMEIR, R.W. 1992. Coral Change and Coral Reef Ecosystems. **Annual Reviews Ecology Systems**, v.23, p. 89-118.

SMITH, S.V.; KINSEY, W. 1978. Calcification and organic carbon metabolism as indicated by carbon dioxide, p. 469-484. In: STODDART, D.R.; JOHANNES, R.E. (eds), Coral Reefs: Research methods. **Monograph of Oceanography Methodology**, n. 5. UNESCO.

SMITH, S.V.; MARSH JÚNIOR, J.A. 1973. Organic carbon production on the windward reef flat of Eniwetok Atoll. **Limnology and Oceanography**, v. 18, n. 06, p. 953-961.

SOUZA, M.F.L.; COIMBRA, C.S.; COUTO, E.C.G. 2002. Efeitos do aumento do CO₂ atmosférico e da temperatura sobre o metabolismo de corais e algas calcárias. **Relatório final de projeto**. UESC/Fundação O Boticário de Proteção à Natureza. 46 p.

SUZUMURA, M.; MIYAJIMA, T.; HATA, H.; UMEZAWA, Y. U.; KAYANNE, H.; KOIKE, I. 2002. Cycling of phosphorus maintains the production of microphytobenthic communities in carbonate sediments of a coral reef. **Limnology and Oceanography**, v. 47, p. 771–81.

- TANAKA, Y.; MIYAJIMA, T.; KOIKE, I.; HAYASHIBARA, T.; OGAWA, H. 2007. Imbalanced coral growth between organic tissue and carbonate skeleton caused by nutrient enrichment. **Limnology and Oceanography**, v. 52, n. 03, p. 1139 – 1146.
- THACKER, R. W.; PAUL, V. J. 2001. Are benthic cyanobacteria indicators of nutrient enrichment? Relationships between cyanobacterial abundance and environmental factors on the reef flats of Guam. **Bulletin of Marine Science**, v. 69, p. 497–508.
- TRIBOLLET, A.; DECHERF, G.; HUTCHINGS, P.A.; PEYROT-CLAUSADE, M. 2002. Large-scale spatial variability in bioerosion of experimental coral substrates on the Great Barrier Reef (Australia): importance of microborers. **Coral Reefs**, v. 21, p. 424 – 432.
- TRIBOLLET, A.; LANGDON, C.; GOLUBIC, S.; ATKINSON, M. 2006. Endolithic microflora are major producers in dead carbonate substrates of Hawaiian coral reefs. **Journal of Phycology**, v. 42, p. 292-303.
- TRIBOLLET, A.; PAYRI, C. 2001. Bioerosion of the crustose coralline alga *Hidrolithon onkodes* by microborers in the coral reefs of Moorea, French Polynesia. **Oceanologica Acta**, v. 24, p. 239 – 242.
- TUDHOPE, A.W.; RIEK, M. J. 1985. Rate of dissolution of carbonate sediments by microboring organisms, Davies Reef, Australia. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 55, p. 440–7.
- ZEEBE, R. E.; WOLF-GLADROW, D. 2001. **CO₂ in Seawater: Equilibrium, kinetics, Isotopes**. Elsevier Oceanography Series. 346p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)