

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
INSTITUTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E LUMINOSIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DA  
ESPÉCIE INVASORA *Tubastraea coccinea* NA REGIÃO  
DE RESSURGÊNCIA DE ARRAIAL DO CABO- RJ.

DAMIAN MIZRAHI

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação  
em Ecologia da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do grau de mestre em ecologia.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JUNHO DE 2008

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO/UFRJ**  
INSTITUTO DE BIOLOGIA  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA-  
PPGE**

CX.POSTAL 68.020 – ILHA DO FUNDÃO  
CEP: 21941-590 – RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL  
TEL./FAX: (21) 290-3308 TEL.: (21) 562-6320

Influência da temperatura e luminosidade na distribuição da espécie invasora  
*Tubastraea coccinea* na região de ressurgência de Arraial do Cabo – RJ.

DAMIAN MIZRAHI

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em ecologia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de mestre em ecologia.

defendida em 20 de junho de 2008

APROVADA POR:

---

---

---

MIZRAHI, DAMIAN

Influência da temperatura e luminosidade na distribuição da espécie invasora *Tubastraea coccinea* na região de ressurgência de Arraial do Cabo– RJ.

[Rio de Janeiro] 2008

85 p. 29,7 cm (Instituto de Biologia/UFRJ, M.Sc., Ecologia, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGE

1. *Tubastraea coccinea*; 2. Bioinvasão; 3. Arraial do Cabo; 4. Ressurgência; 5. Crescimento;  
6. Reprodução; 7. Assentamento larval; 8 Fatores abióticos

I. IB/UFRJ II. Título ( série )



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Dr. Ricardo Coutinho pela oportunidade brindada para o desenvolvimento deste projeto, pela sua orientação e acompanhamento intelectual, moral e logístico.

Ao “Programa de Estudante-Convênio de Pós-Graduação” (PEC-PG) e ao CNPq pelo financiamento da minha bolsa de estudos.

À direção do Instituto de Estudos do Mar “Almirante Paulo Moreira” (IEAPM) pela abertura e disponibilidade de recursos para a realização deste trabalho.

Ao Cadú, pela paciência e o acompanhamento no campo desde meus primeiros mergulhos e por ter me transmitido tantas idéias e informações sobre *T. coccinea* na RESEX-MAR de Arraial do Cabo.

Aos pesquisadores do laboratório de Bioincrustação do IEAPM que me ajudaram nas diferentes etapas de realização do projeto. Aos mergulhadores que me acompanharam durante os dois anos de trabalho: Luciana Lage, Suelen Felix, Sergio Coelho Souza Fabio Mostacato, Valéria Prota Salomon, Ana Carolina Mazzuco e Gilberto Pereira. A Louisi Oliveira, Márcio Freitas de Abril e Laura Zoffoli pela ajuda no campo. A José Eduardo Arruda Gonçalves, Luciana Brito, Bárbara Lage, Julieta Salles Vianna da Silva e Bruno Masi na identificação das espécies bentônicas. Também agradeço a Jurema Quintanilla pela ajuda na coordenação nas campanhas de mergulho. À Dra. Maria Helena C. Baeta Neves, ao Nicolao e o pessoal da microscopia do IEAPM.

Ao Tte. William, Deagles, Marco Lorenzo e Casarim, do Departamento de Química do IEAPM.

Ao pessoal de apoio na embarcação nas operações de mergulho: Marino, Lauro, Dica, Edgar e Biro-Biro.

Ao Dr. Flávio Fernandez e a Sávio Calazans, pelas orientações e disponibilidade de equipamentos no trabalho de laboratório.

A Maria Soledad López, Emiliano Calderon, Lilian Hage, Luciana Granthom pelas sugestões e tantas ajudas e a Magdalena Caretti pelas correções idiomáticas.

Muito obrigado ao Sávio e a Elizabeth por ter me acolhido e agüentado tanto tempo na sua casa, na minha chegada ao Brasil. Agradeço aos amigos que também tiveram que me suportar invadindo seus lares: Claudia Namiki, Demarques, Luicito, Paulinha Nunez, Manildo, Soledad, Ricardo, Abel e Ana Laura.

A meus pais, pela educação que me brindaram e o apoio na escolha de minha profissão. A minha irmã, Paola pelo incentivo para tentar sempre por mais.

E muito especialmente a minha melhor amiga, a pessoa a que mais quero e quem mais me quer, que mais me cuida, quem mais paciência me tem.....muita paciência, quem me acalma, me acorda, me aconselha, me salva, Laura, meu amor.

## ÍNDICE

Resumo	1
Abstract	2
Índice de figuras	3
Índice de tabelas	5
1. Introdução	6
1.1. Vetores da bioinvasão em Arraial do Cabo	7
1.2. Características de <i>Tubastraea coccinea</i>	10
1.2.1. Características gerais e morfológicas	10
1.2.2. Reprodução e crescimento	11
1.2.3. Ecologia	13
1.3. A expansão e colonização de <i>T. coccinea</i>	14
1.4. Objetivos e hipóteses	16
2. Área de estudo	17
3. Metodologia	19
3.1. Caracterização dos locais de amostragem	19
3.1.1. Localização geográfica	19
3.1.2. Luz e temperatura nos locais de ocorrência	20
3.1.3. Outros fatores abióticos	23
3.2. Efeito de <i>T. coccinea</i> sobre as comunidades bentônicas	24
3.3. Influência da luz e temperatura no crescimento e reprodução de <i>T. coccinea</i>	27
3.3.1. Crescimento de <i>Tubastraea coccinea</i> no campo	27
3.3.2. Reprodução de <i>T. coccinea</i> no campo	29
3.3.3. Experimentos no laboratório: Crescimento	30
3.3.4. Experimentos no laboratório: Reprodução	32
3.4. Vetores da bioinvasão na RESEX-MAR de Arraial do Cabo	32

4. Resultados	34
4.1. Caracterização dos locais de amostragem	34
4.1.1. Temperatura nos locais de amostragem	34
4.1.2. Luminosidade nos locais de amostragem	39
4.1.3. Inclinação do substrato	41
4.2. Efeito de <i>T. coccinea</i> sobre as comunidades bentônicas	42
4.3. Influência da luz e temperatura no crescimento e reprodução de <i>T. coccinea</i>	46
4.3.1. Crescimento de <i>Tubastraea coccinea</i> no campo	46
4.3.2. Reprodução de <i>T. coccinea</i> no campo	47
4.3.3. Experimentos no laboratório: Crescimento	53
4.3.4. Experimentos no laboratório: Reprodução	54
4.4. Vetores da bioinvasão na RESEX-MAR de Arraial do Cabo.	56
5. Discussão	59
6. Conclusões	71
7. Referências bibliográficas	72
8. Anexo I	81

## **RESUMO**

*Tubastraea coccinea* é um coral no hermatípico e azooxantelado. Originário do oceano Pacífico Sul, rapidamente expandiu-se nas regiões tropicais de todos os oceanos, e atualmente é considerado cosmopolita. Características tais como idade reprodutiva inicial, altas taxas de crescimento, reprodução, preferência por substratos novos e grande sucesso competitivo favorecem esta expansão, sendo por isso considerada uma espécie invasora. Os fatores abióticos luz e temperatura foram estudados neste trabalho como determinantes do crescimento e da reprodução, no processo de colonização de *Tubastraea coccinea*, na região de Arraial do Cabo. A influência destes fatores foi estudada, a partir de observações *in situ* (em quatro locais de amostragem), e em manipulações em laboratório. No local onde foi estimada a maior temperatura média anual (TMA = 21,63°C), e maior frequência de temperaturas superiores a 22°C, se observou a maior taxa de crescimento por área (4,59 cm<sup>2</sup> .ano<sup>-1</sup>). Ao contrário, o local mais frio (TMA=20,82°C) apresentou a menor taxa de crescimento (1,14 cm<sup>2</sup> .ano<sup>-1</sup>). A influência da temperatura no crescimento foi por sua vez corroborada em laboratório, onde a maior taxa de consumo de oxigênio foi estimada em 28°C de temperatura e a menor em 14°C. Em relação à luminosidade, não se observou influência deste fator no crescimento de *T. coccinea*. A avaliação do efeito destes fatores na reprodução foi concentrada em um processo de grande relevância ecológica em organismos bentônicos: o recrutamento. Neste sentido, todos os locais amostrados evidenciaram um mesmo padrão durante o ano. Este consistiu na presença de um máximo de recrutamento (abril-maio/2007), correspondente a um primeiro pico anual de liberação de larvas, e baixo recrutamento durante o segundo pico de liberação (setembro-novembro/2007). Esta diferença seria causada pela ação do fenômeno da ressurgência na região durante este período, que ocasionou aumento das frequências de baixas temperaturas, em relação ao primeiro período. A influência da temperatura no recrutamento das larvas foi constatada no laboratório, assim como a influência da luminosidade. Observou-se uma limitação do assentamento das larvas em baixas temperaturas (18°C) independentemente da luz. Em condições de temperaturas elevadas (28°C), a percentagem de assentamento foi maior e foi regulada pela luminosidade (maior assentamento em baixa luminosidade). Concluiu-se que no recrutamento, a temperatura é um fator limitante enquanto que a luminosidade seria regulador, quando as condições térmicas são favoráveis. Os resultados do presente estudo podem ser utilizados para o planejamento de estratégias de controle dessa espécie invasora.

## **ABSTRACT**

*Tubastraea coccinea* is an azooxanthellate and ahermatypic coral. Originary from the South Pacific, it has rapidly spread throughout tropical regions around the world, and currently is considered cosmopolitan. Features such as its early reproductive age, fast growth and reproduction, artificial or new substrate preferences and high competitive success promotes its expansion, and those are the reasons of being considered an invasive species. The abiotic factors light and temperature were analyzed in the present case, in order to establish their influence on growth and reproduction in the process of colonization of *T. coccinea* in Arraial do Cabo. The influence of these factors was studied, by observations *in situ*, at four sampling sites where the coral occurred, and by manipulations in laboratory. The fastest growth by area estimated (4.59 cm<sup>2</sup> year<sup>-1</sup>) corresponding to the sampling place with the highest average annual temperature (AAT=21.63°C), and with highest frequencies of temperatures above 22°C. In contrast, the lowest growth rate (1.14 cm<sup>2</sup> year<sup>-1</sup>) was recorded at the sampling place with lower temperatures (AAT=20.82°C). The influence of temperature on growth was in turn demonstrated at laboratory, where the highest oxygen consumption rate was estimated at 28 ° C and the lowest at 14°C. There were no proves of light influence in the growth of *T. coccinea*. The assessment of the influence of these factors in reproduction was focused on a process with great ecological significance in benthic organisms: the recruitment. In this regard, all sampled places showed the same pattern throughout the year. This was characterized by the presence of a maximum recruitment (April-May/2007), corresponding to the first annual peak of larvae release, and recruitment was low during the second peak of release (September-November/2007). This difference in the observed response would be due to the upwelling phenomenon that occurs during this period in the region, which caused increasing frequencies of low temperatures, in contrast to the first period. It also showed the influence on recruitment of both light and temperature in laboratory experiments and it was prove limitation of the settlement of larvae at low temperatures (18°C) with no effect of light. At high temperatures (28°C), settlement was higher and regulated by light conditions (greater settlement at low luminosity). It was concluded that the temperature was a limiting factor for recruitment, while light would be a regulating factor, when the thermal conditions are favourable. This study is profitable to contribute with strategies for controlling this alien species.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dois dos principais vetores responsáveis pela introdução de *Tubastraea coccinea* na RESEX-MAR de Cabo Frio, RJ. Plataforma petrolífera chegando ao mesmo porto, para manutenção e Monobóias situadas atualmente no Porto de Arraial do Cabo.

Figura 2: Colônia de *Tubastraea coccinea* de 7 cm de diâmetro fotografada em um costão rochoso da Ilha dos Porcos (Arraial do Cabo, RJ).

Figura 3: Distribuição atual de *T. coccinea*.

Figura 4: Área de estudo e sua localização na América do Sul.

Figura 5: Área de estudo e localização dos locais de amostragem.

Figura 6: Análise digital das foto-quadrats - Estimação das percentagens de cobertura das espécies bentônicas registradas nos locais de ocorrência de *T. coccinea*.

Figura 7: Detalhe mostrando o processo de identificação nos pontos de intercepto.

Figura 8: Taxa de crescimento ano<sup>-1</sup> de *Tubastraea coccinea* em função da área da colônia.

Figura 9: Processamento digital para a medição do tamanho, em área, das colônias de *T.coccinea* no campo.

Figura 10: Sub-quadrats localizados sobre áreas cobertas por algas crostosas vermelhas para a estimativa das densidades dos recrutas de *T. coccinea* nos locais de amostragem.

Figura 11: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Pedra Vermelha.

Figura 12: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Saco dos Cardeiros.

Figura 13: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Anequim.

Figura 14: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Ilha dos Porcos.

Figura 15: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Boqueirão.

Figura 16: Frequências dos intervalos de temperaturas dos locais de amostragem e valores médios das frequências entre os locais de amostragem.

Figura 17: valores médios e desvio padrão das temperaturas nos locais de ocorrência de *T.coccinea* em Arraial do Cabo.

Figura 18: valores médios e desvio padrão das intensidades luminosas que atingem as colônias de *T. coccinea* em Arraial do Cabo.

Figura 19: Freqüências dos intervalos de luminosidade que atingiram as colônias de *T. coccinea* no costão.

Figura 20: Valores médios das inclinações do substrato nos locais de ocorrência de *T. coccinea*.

Figura 21: Dendrograma com valores dos índices de Dissimilaridade entre os locais de amostragem em relação às percentagens de cobertura das espécies bentônicas das áreas com presença de *T. coccinea*.

Figura 22: Percentagens de cobertura das categorias dominantes das espécies bentônicas nos locais de amostragem.

Figura 23: Dendrograma com valores dos índices de Dissimilaridade entre os locais de amostragem em relação às percentagens de cobertura das espécies bentônicas das áreas com ausência de *T. coccinea*.

Figura 24: Valor médio e desvio padrão do crescimento areal das colônias, relativo aos tamanhos iniciais das mesmas

Figura 25: Densidade dos recrutas e histogramas de temperatura para o local de amostragem Ilha dos Porcos.

Figura 26: Densidade dos recrutas e histogramas de temperatura para o local de amostragem Saco dos Cardeiros.

Figura 27: Densidade dos recrutas e histogramas de temperatura para o local de amostragem Saco de Anequim.

Figura 28: Densidade dos recrutas e histogramas de temperatura para o local de amostragem Pedra Vermelha.

Figura 29: Valores médio do consumo de oxigênio vs a temperatura. Estimativas realizadas a partir de experimentos manipulativos de laboratório.

Figura 30: Assentamento de larvas de *T. coccinea*, ao vigésimo dia do experimento manipulativo, em laboratório.

Figura 31: Percentagem de larvas assentadas para duas temperaturas e três tratamentos de luminosidade.

Figura 32: Percentagens de cobertura estimada das espécies bentônicas mais representadas em três monobóias ancoradas no Porto do Forno (Arraial do Cabo, RJ).

Figura 33: Foto-quadrat correspondente à monobóia 3, onde se aprecia a alta percentagem de cobertura de *T. coccinea* e o estado de degeneração das colônias.



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Períodos dos dados de temperatura coletados pelos sensores I-Button, em cada local.

Tabela 2: Resultado do Análise de Chi-Quadrado das frequências de temperatura nos locais de amostragem.

Tabela 3: Resultado do Análise de Chi-Quadrado das distribuições de frequências das intensidades luminosas nos locais de ocorrência de *T.coccinea*.

Tabela 4: Resultados do Teste *a posteriori* Tukey. Comparação das luminosidades entre os locais de amostragem.

Tabela 5: Resultado do Teste *a posteriori* de Dunn utilizado para comparar as diferenças nas percentagens de recrutas entre os quatro locais de amostragem.

Tabela 6: Riqueza de espécies nas áreas com e sem *T. coccinea*.

Tabela 7: Índice de Diversidade de Simpson nas áreas com e sem *T. coccinea*.

Tabela 8: Índice de Diversidade de Shannon nas áreas com e sem *T. coccinea*.

Tabela 9: Resultado do teste de Tukey da análise dos valores dos incrementos das áreas das colônias estudadas nos locais de amostragem.

Tabela 10: Valores de teste de Tukey os fatores luz e temperatura.

Tabela 11: Resultado do teste de Tukey utilizado para comparar as diferenças no assentamento.

## **1. INTRODUÇÃO**

Uma invasão biológica consiste basicamente na chegada de espécies a locais onde não existiam historicamente (Carlton, 1979). Este é um processo natural, porém, as taxas e vias pelas quais espécies percorrem o planeta têm sido inteiramente modificadas (Elton, 1958; Williamsom, 1996; Vitousek *et al.*, 1997). A problemática das invasões biológicas tem se tornado um assunto muito estudado, devido às implicações na conservação que representa o conhecimento dos impactos ecológicos associados a elas (Elton, 1958; Vermeij, 1996; Williamsom, 1996; Carlton, 1999). Um foco primário do estudo das invasões biológicas é a avaliação dos impactos causados pelos invasores (Parker *et al.*, 1999; Ruiz *et al.*, 1999). Interações negativas entre espécies exóticas e nativas são umas das conseqüências das bioinvasões, como ser a competição por recursos como alimento e espaço (Race, 1982; Brenchley e Carlton, 1983; Byers, 2000). Bioinvasores também podem ser predadores (Oguz *et al.*, 2000), parasitas ou patógenos e geralmente são transmitidos a espécies nativas através de vetores que também são invasores (Dobson e Crawley, 1994; Mc Callum e Dobson, 1995). As invasões biológicas podem causar alterações genéticas através da hibridização ou outras alterações dos fluxos gênicos em espécies nativas. Em grande escala de tempo e espaço, as bioinvasões podem causar homogeneização da biota alterando padrões evolutivos (Carroll e Dingle, 1996; Williamsom, 1996; Cox, 1999).

As invasões biológicas são também uma das maiores causas de estresse nos ecossistemas marinhos, podendo causar a perda de biodiversidade (Carlton e Geller, 1993) e prejuízos econômicos (Stachowicz, 1999). Apesar dos danos ambientais e ecológicos já documentados, poucas informações são produzidas a respeito das características dos organismos invasores e do desenvolvimento de metodologias práticas e eficazes para o controle dos mesmos nos ecossistemas invadidos.

O caso do coral *Tubastraea coccinea* (classe Anthozoa), constitui um claro exemplo de espécie bioinvasora apresentando eficientes estratégias reprodutivas e alta taxa de crescimento o que possibilita uma ótima adaptação a novos ambientes, além de dominar rapidamente áreas já ocupadas (Vermeij, 2005).

Acredita-se que esta espécie é originária do Oceano Pacífico Sul (Arquipélago de Fiji), mas se dispersou para o Oceano Índico e resto do Pacífico, ampliando sua distribuição e hoje é considerada uma espécie cosmopolita (Cairns, 2000). Sua rota de dispersão natural, mediada pela deriva de larvas planctônicas, foi modificada por

atividades do homem, como a aqüicultura e o transporte marítimo (Ferreira *et al.*, 2004). *T. coccinea* foi provavelmente introduzida acidentalmente no Oceano Atlântico aderida nos cascos de barcos e principalmente em plataformas de petróleo. Atualmente, esta espécie é o coral com o maior número de populações na costa ocidental de México e no Pacífico Oriental (Fenner e Banks, 2004; Cairns, 2000).

Já no Brasil, na região do Cabo Frio, ao norte do Estado do Rio de Janeiro, *T. coccinea* foi registrada desde a década de 90 em Arraial do Cabo (Ferreira, 2003). Atualmente foi detectada formando colônias pouco desenvolvidas e habitando áreas de orientação negativa de matacões rochosos, de até 12 metros de profundidade, em um mínimo de 7 sites na região, ocupando contudo somente áreas do infralitoral. Nesta região, o coral se estabelece e desenvolve em substratos consolidados em locais de moderado hidrodinamismo. Tem sido encontrada habitando áreas sombreadas e existem indícios que levam a supor que o processo de colonização ocorre primeiro neste tipo de áreas com orientação negativa. A diferença do estado atual da colonização em Arraial do Cabo, *Tubastraea coccinea* encontra-se bem desenvolvido, estabelecido em costões rochosos de águas rasas e muitas vezes exposto à dessecação durante a maré-baixa e em altas densidades, na Baía Central da Ilha Grande, RJ (Figueira de Paula, 2002; Figueira de Paula e Creed, 2004).

No presente estudo, caracterizaremos a distribuição de *T. coccinea*, na Reserva Extrativista (RESEX-MAR) de Arraial do Cabo. A ocorrência dessa espécie será relacionada com as condições ambientais locais, notadamente a temperatura e luminosidade, de forma a conhecer seu efeito na distribuição e crescimento dessa espécie. Além disso, serão estabelecidos procedimentos metodológicos para seu controle na RESEX-MAR, fornecendo subsídios para futura regulamentação referente ao uso de zonas costeiras e ao tráfico marítimo, que venham a favorecer a preservação da biodiversidade local.

### 1.1. Vetores da bioinvasão em Arraial do Cabo

A presença de larvas e cistos de organismos marinhos em água de lastro é normalmente apontada como a principal causa do incremento de espécies exóticas (Carlton, 1985; Smith *et al.*, 1999). Porém, recentemente outros vetores de bioinvasão em ecossistemas marinhos, como bioincrustação em cascos de navios e plataformas de petróleo, têm sido considerados tão importantes como a água de lastro (Gollasch, 2002). Como as plataformas de petróleo e os navios perfuradores geralmente permanecem em

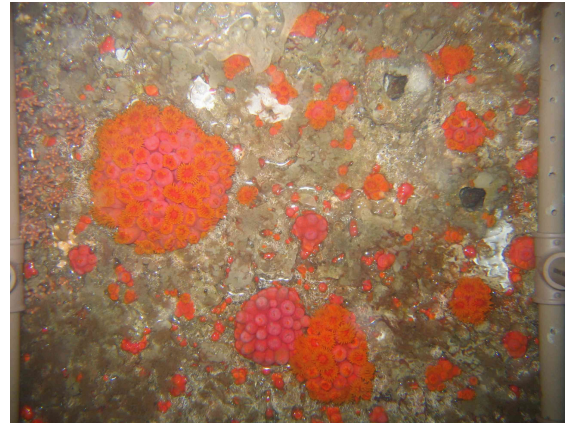
um ponto fixo durante vários anos, o processo de fixação nestas estruturas é mais acentuado, sendo mais provável que sirvam de transporte de acervos de genes representativos de várias espécies bentônicas. A translocação via incrustação inclui tanto organismos bentônicos sésseis quanto móveis e demonstrou-se o transporte destes organismos através de longas distancias ultrapassando inclusive barreiras ecológicas, físicas e químicas. Grupos como ascideas e briozoários, com períodos curtos de duração dos estágios larvais planctônicos são bons candidatos para serem introduzidos via incrustação (Svane e Young, 1989). Para o caso de *T. coccinea*, dadas suas características ornamentais, também deve considerar-se o transporte da espécie a causa do mercado de aquíicultura.

Já foram documentados vários casos de transporte e introdução de espécies em Arraial de Cabo. As principais causas vinculadas a estas introduções na região estão vinculadas às atividades petrolíferas. Além disso, foram registradas 22 espécies exóticas (e 98 consideradas nativas) que chegaram às águas do Porto do Forno incrustadas em cascos de navios perfuradores e em plataformas de petróleo (Ferreira *et al.*, 2006).

O porto local de Arraial do Cabo, Porto do Forno, foi construído ao fim da década de '50 especificamente para receber navios de carga doméstica e abastecer uma fábrica de matéria prima calcária. Por isso, tem sido originalmente caracterizado como de baixo tráfego de navios. Porém, recentemente começou a prestar serviços de apoio “*offshore*” das atividades das plataformas petrolíferas na bacia de Campos (atualmente, com mais de 60 pontos de perfuração em atividade), situada apenas a 70 milhas náuticas do mesmo. Também se realizam no porto local, atividades de manutenção de plataformas de petróleo entre as que foram registradas raspagens de organismos bentônicos aderidos nas bases. Se considerarmos uma média de área das plataformas de petróleo, tomando em conta o substrato submerso rígido e sombreado (7000 m quadrados por plataforma) e o multiplicamos pelo número de plataformas que se achavam em operação no ano 2002 na bacia de Campos (14 apenas considerando as da Petrobrás) daria um total de 98000 m<sup>2</sup> de substrato disponível para a colonização de organismos marinhos. Isto foi considerado para plataformas fixas e não navios perfuradores nem de apoio (Magalhães, 2002). Este valor de área calculado é consideravelmente maior na atualidade, e se contemplada como uma área de recife, mereceria uma análise em termos de passo para a migração de larvas de organismos bentônicos.



a



b



c



d

Figura 1: Dois dos principais vetores responsáveis pela introdução de *Tubastraea coccinea* na RESEX-MAR de Cabo Frio, RJ. Plataforma petrolífera chegando ao mesmo porto, para manutenção (a). Importante cobertura de colônias da espécie invasora na base da plataforma (b). Monobóias situadas atualmente no Porto de Arraial do Cabo (c) interior das mesmas (d).

## 1.2. Características de *Tubastraea coccinea*

### 1.2.1. Características gerais e morfológicas

Filo: Cnidária. Ahtschek, 1888

Classe: Anthozoa. Ehrenberg, 1831

Subclasse: Zoantharia, Hexacorallia. Himan, 1940

Ordem: Scleractinia. Bourne, 1900

Família: Dendrophylliidae. Gray 1847

Gênero: *Tubastraea*. Lesson, 1829

*Tubastraea coccinea*. Lesson 1829

*Tubastraea tagusensis*. Wells, 1982

*Tubastraea diaphana*. Dana 1846

*Tubastraea faulkneri*. Wells, 1982

*Tubastraea floreana*. Wells, 1982

*Tubastraea micrantus*. Ehrenberg, 1834

*Tubastraea coccinea* é conhecido vulgarmente como “orange cup” ou “sun coral”, devido à coloração do cenossarco, tecido que recobre as colônias (Figura 2). Essa coloração varia entre laranja amarelado e laranja avermelhado, inclusive púrpura, entre os diferentes locais onde essa espécie ocorre. Devido a esta característica chamativa, a espécie é muito procurada e comercializada por aquaristas no mundo intero. Trata-se de um cnidário colonial, não formador de arrecifes (no hermatípico) e até o momento não se conhece nenhum tipo de associação com algas e, portanto, é considerado um azooxantelado.

Secreta um esqueleto de carbonato de cálcio de modo que a colônia se desenvolve com configuração esquelética semiesférica. Apresenta coralo de até 105 mm de diâmetro fixado ao substrato firmemente com uma grande base. Os coralitos, quase sempre ligeiramente espaçados entre eles (embora às vezes se observem justapostos compartilhando paredes), se projetam entre 2 e 13 mm, acima da base esquelética. A disposição dos mesmos na colônia é irregular sem se observar nenhuma simetria na matriz que formam. Cada coralito apresenta uma columela esponjosa formada por uma massa de trabéculas delgadas. Em cada coralito observam-se septos arranjados hexameramente em quatro ciclos: S1-S2>S3>S4. O extremo de cada coralito,



denominado cálice, apresenta forma circular ou elíptica com 7,5 a 15 mm de diâmetro (Figueira de Paula, 2007).

No extremo apical de cada coralo, se encontra uma boca rodeada por tentáculos de coloração amarela, providos de nematocistos com um cnidocílio que se dispara frente a estímulos tácteis. Isto é utilizado para capturar zooplâncton e na alimentação suspensívora. Os hábitos de alimentação desta espécie são predominantemente noturnos, permanecendo os pólipos das colônias abertos na noite e fechados no dia, como ocorre também na maioria das espécies de corais caribenhos.

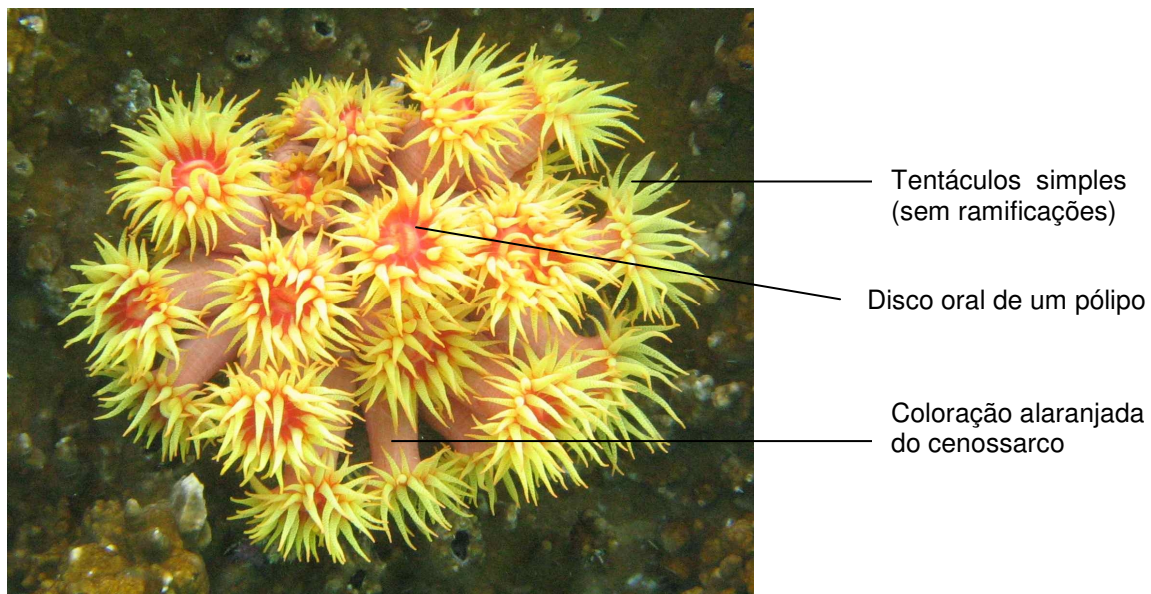


Figura 2: Colônia de *Tubastraea coccinea* de 7 cm de diâmetro fotografada em um costão rochoso da Ilha dos Porcos (Arraial do Cabo, RJ)

### 1.2.2. Reprodução e crescimento

Muitas espécies de corais escleractínios, incluída *Tubastraea coccinea* se perpetuam no tempo utilizando estratégias de reprodução tanto sexuada quanto assexuada. Quando a reprodução é assexuada, a colônia de coral se expande por gemação e os novos pólipos crescem a partir dos antigos ou a partir do disco oral dos parentais, prolongando-se em uma direção. Posteriormente ocorre uma fragmentação formando-se duas novas colônias (Campbell, 1974). O fragmento se deposita no substrato e se fixa a este por crescimento do tecido da colônia.

A reprodução sexuada nesta ordem de corais (Scleractinia) se produz através de larvas plânulas lecitotróficas que se fixam ao substrato consolidado formando o primeiro pólipo ou pólipo fundador, do qual surgirá o resto dos membros da colônia. As

espécies escleractínias podem ser dióicas ou hermafroditas, e podem apresentar fecundação externa, liberando gametas à água, ou interna, liberando larvas.

Colônias de *Tubastraea coccinea* apresentam sempre pólipos com estruturas gonadais femininas e em menor quantidade, estruturas masculinas, embora estas últimas possam estar ausentes. Esta espécie de coral é caracterizada como hermafrodita simultâneo e incubadora de larvas (Richmond, 1997) até por períodos de 6 semanas (Glynn *et al.*, 2007). Também conserva a capacidade de liberar gametas ao médio marítimo (Ayre, comunicação pessoal em Harrison e Wallace, 1990). Este coral produz um grande número tanto de gametas femininos quanto de larvas. A plânula de *T. coccinea* mede entre 0,5 e 1,5 mm de comprimento, no momento da liberação, e tem habilidade de se assentar rapidamente, entre 1 e 3 dias (Glynn *et al.*, 2007). Existem provas de produção assexuada de plânulas na Austrália (Ayre e Recing, 1986) e segundo Figueira de Paula (2007) podem realizar autofecundação. Estas estratégias são associadas a espécies oportunistas já que uma única colônia pode chegar a uma área nova e fundar uma população sem necessidade de um “parceiro sexual” (Szmant, 1986).

Segundo Vermeij (2006) o início da idade reprodutiva ocorre aos 1,5 anos, porém Glynn *et al* (2007) afirmaram que isto ocorre mais cedo, com apenas poucos meses de vida de colônias com somente dois pólipos desenvolvidos. Figueira de Paula encontrou que o recrutamento pode atingir taxas tão elevadas como 25,2 ( $\pm$  6,53) recrutas por 225 cm<sup>-2</sup> em dez meses. Estas estratégias reprodutivas juntamente com um ciclo reprodutivo extenso e superposição de estágios de desenvolvimento permitem a rápida extensão geográfica da espécie.

Em colônias da Baía da Ilha Grande, localidade mais próxima a Arraial do Cabo onde a colonização da espécie teve um alto sucesso, se observou liberação de larvas nos períodos de maio 2000, setembro-novembro de 2000 e abril de 2001, num estudo realizado entre maio/2000 e maio/2001 (Figueira de Paula, 2007). Estas observações concordam com os picos de atividade reprodutiva achados por Glynn *et al.* (2007) em um estudo realizado no Golfo de Chiriquí, no Panamá (costa Pacífico).

Além de uma alta taxa reprodutiva, esta espécie libera larvas com um tempo prolongado de viabilidade na coluna de água (até 18 dias) (Figueira de Paula, 2007), o que aumenta a probabilidade de dispersão e, portanto, a probabilidade de sucesso na colonização de áreas novas.

Somado às estratégias reprodutivas, *T. coccinea* apresenta uma alta taxa de crescimento o que também aumentaria a valor adaptativo nos processos de colonização.



Um rápido crescimento possibilita tanto a estabelecimento em áreas recentemente colonizadas quanto a expansão a novas áreas. Estudos realizados na Ilha Grande, RJ, mostraram que a taxa de crescimento linear médio das colônias de *T. coccinea* pode atingir 1,01 cm. ano<sup>-1</sup> enquanto que já se registrou uma taxa de aumento do número de pólipos ano<sup>-1</sup> = 8 e um aumento em área das colônias de 5,85cm<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (Figueira de Paula, 2007). Vermeij (2006) por sua parte calculou uma taxa de crescimento de 3,02 cm<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> para a espécie colonizando as Antilhas Holandesas. É importante mencionar que as taxas supracitadas correspondem a ambientes recentemente colonizados, onde *Tubastraea coccinea* é bioinvasor, podendo diferir dos valores das taxas reprodutivas e de crescimento assim como também das interações competitivas nos locais onde esta espécie é originária.

### 1.2.3. Ecologia

A teoria de sucessão ecológica (Clements, 1916; Gleason, 1926) propõe que uma área nova é colonizada por espécies oportunistas ou pioneiras caracterizadas por possuir um pequeno tamanho, rápido crescimento, alta capacidade reprodutiva e boa habilidade na dispersão. Na medida em que avança o tempo da sucessão, essas espécies oportunistas são substituídas competitivamente pela maioria das espécies colonizadoras tardias com longos tempos de gerações e padrões de crescimento mais lento (Rhoads, 1974; McCall, 1977; Pearson e Rosemberg, 1978; Gallagher, 1983). Porém, *T. coccinea*, apesar de possuir todas as características antes mencionadas próprias de uma espécie oportunista, apresenta habilidades competitivas que lhe conferem maior aptidão frente a um grande número de espécies de estádios sucessionais tardios, o que determina sua capacidade como invasora e modificadora da biodiversidade nativa.

Vários estudos têm sido focalizados nas interações biológicas entre este coral e outras espécies bentônicas, como no caso do coral endêmico do Brasil, *Mussismilia hispida*. Creed (2006) observou que *T. coccinea* causa necrose nos tecidos de *Mussismilia hispida* sempre que estão em contato, e ainda causa danos quando se encontram a distâncias de até 5 cm. Este trabalho mostrou evidências de que o coral invasor é um competidor dominante sobre o coral nativo, podendo reduzir a abundância e até causar a extinção do mesmo. Até o momento não existem estudos que verifiquem a natureza química de estas interações. Porém, isto já foi estudado para *Tubastraea faulkneri* (Koh e Sweatman, 2000), uma espécie com grande afinidade filogenética.

Vermeij (2005) estudou a interação com uma esponja do gênero *Ulosa* e observou que frequentemente a esponja cresce sobre *T. coccinea*. Contudo, o coral invasor tem desenvolvido uma estratégia de crescimento de fuga que lhe permite sobreviver, prolongando pólipos fora da área coberta pela esponja e a partir destes produzir por gemação novas colônias. Um dos poucos casos onde as habilidades competitivas de *Tubastraea coccinea* são superadas foi observado quando interage com o porífero *Desmapsamma anchorata*. Esta é uma esponja também considerada praga e segundo registros, com uma taxa de 37,1% de percentagem de recobrimento do coral foi o único caso observado de inibição de crescimento *T. coccinea* (Figueira de Paula, 2007).

*T. coccinea* apresenta ampla tolerância estresse ambiental, por exemplo, Robinson (1985) reportou que foi uma das poucas espécies de corais escleractínios que não sofreu branqueamento durante o período severo de “El Niño” de 1982-1983. Também é resistente à dessecação e temperatura já que ela foi achada tanto a 108 m de profundidade (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005) quanto na zona entremarés (Creed, 2006). Porém, ocorre preferencialmente em águas tropicais rasas, sempre crescendo sobre substratos consolidados e também com desenvolvimento extraordinário em substratos novos e artificiais (sem cobertura). Creed e Figueira de Paula (2007), demonstraram experimentalmente o sucesso no recrutamento em cinco diferentes tipos de substratos artificiais, relacionados com a atividade portuária e extração de petróleo. Geralmente é citada habitando locais sombreados (áreas negativas) e com baixo regime hidrodinâmico.

Todas as características próprias de uma espécie oportunista (altas taxas de liberação de gametas e larvas, tempo de viabilidade prolongado das larvas na coluna de água, elevada taxa de recrutamento e rápido crescimento) que favorecem a dispersão e colonização, assim como também características pertencentes a espécies tardias (como ser forte competidora), somado a uma ampla tolerância a variáveis ambientais, garantem para *T. coccinea* um sucesso no processo de invasão desta espécie.

### 1.3. A expansão e colonização de *Tubastraea coccinea*

*Tubastraea coccinea* foi descrita por Lesson no ano 1829 na localidade de Bora-Bora, no Arquipélago de Fiji, no Pacífico Sul. Acredita-se que posteriormente foi dispersa para o Oceano Índico e resto do Pacífico, inclusive foi registrada em uma região temperada no Japão (Cairns, 2000). Sua rota de dispersão natural, mediada pela

deriva de larvas planctônicas, foi modificada por atividades do homem, principalmente pelo transporte marítimo. O primeiro registro para a costa oriental do continente americano corresponde a material coletado nas Ilhas de Curaçao e Porto Rico (Vaughan e Wells, 1943). Em menos de 60 anos a espécie se dispersou através do resto do Mar do Caribe e do Golfo do México, chegando à Península da Flórida. Atualmente, é o coral com o maior número de populações na costa ocidental do México (Fenner, 2001; Fenner e Banks, 2004). Já para 1974 se citou a espécie na costa oriental do Oceano Atlântico, em Cabo Verde (Laborel, 1974).

O primeiro registro da espécie no Brasil foi em 1980 e atualmente ocorre na Bacia de Campos, na Baía da Ilha Grande, em Arraial do Cabo e na Armação dos Búzios, no estado do Rio de Janeiro (Ferreira, 2003; Ferreira *et al.*, 2004).

Sua distribuição atual nas regiões tropicais de todos os oceanos faz com que *Tubastraea coccinea* seja considerada uma espécie cosmopolita, como pode ser observado no mapa da Figura 3.

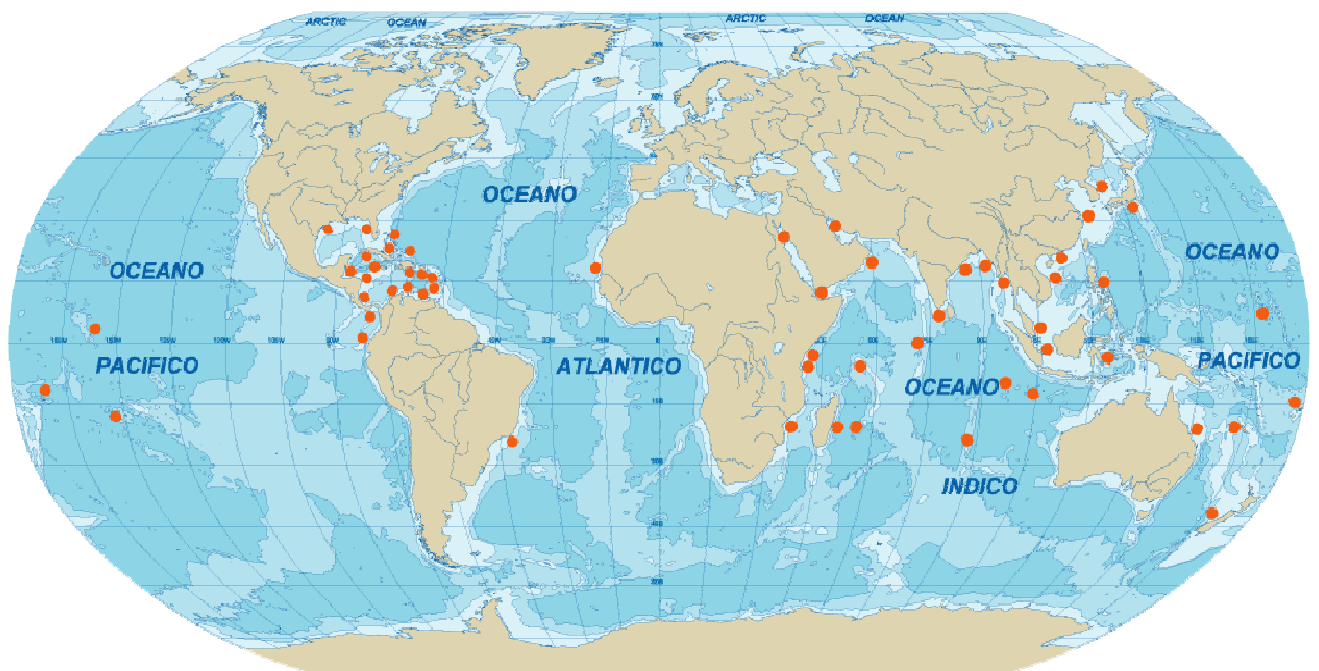


Figura 3: Distribuição atual de *T. coccinea* (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora).

## 1.4. OBJETIVOS E HIPÓTESES

### OBJETIVO GERAL

Caracterizar os locais de ocorrência da espécie invasora *T.coccinea* na região de Arraial do Cabo relacionando sua distribuição com fatores abióticos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as condições de temperatura e luminosidade dos locais de ocorrência de *Tubastraea coccinea* na reserva extrativista (RESEX-MAR) de Arraial do Cabo, RJ.
- Avaliar o efeito que este coral invasor causa sobre as comunidades bentônicas da RESEX-MAR de Arraial do Cabo.
- Avaliar o efeito da temperatura e luminosidade no crescimento de *T. coccinea*, em condições controladas de laboratório.
- Avaliar a influência da temperatura e luminosidade na fixação de larvas de *T. coccinea*, em condições controladas de laboratório.

### HIPÓTESES

As hipóteses deste trabalho foram:

- A temperatura e a luminosidade determinam a distribuição de *T. coccinea* na RESEX-MAR de Arraial do Cabo.
- A presença de *T. coccinea* altera a estrutura das comunidades bentônicas em Arraial do Cabo.
- O crescimento das colônias de *T. coccinea* é favorecido em uma faixa estreita de temperatura (superior a 20°C) e de luminosidade correspondente a ambientes marinhos tropicais.
- O estabelecimento das larvas de *T. coccinea* só ocorre em condições de baixa luminosidade e temperaturas superiores a 20°C.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

A região de Arraial do Cabo (RJ, Brasil), está localizada no centro-sul do litoral brasileiro, próximo às coordenadas 23° 44'S e 42° 00'O, situada a 160 km da cidade do Rio de Janeiro (Figura 4). O clima é de transição entre o tropical quente e o subtropical com temperaturas médias de 21°C no inverno e 26°C no verão.

A costa desta região é banhada por massas de água que são resultado da alternância ou superposição de:

- a) águas da Corrente do Brasil, águas superficiais quentes e de alta salinidade;
- b) águas costeiras, de maior temperatura, de salinidade inferior a 35‰ e que invadem a área quando prevalecem os ventos do Sudoeste; e
- c) águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS), de origem profunda (aproximadamente 300 m), de baixa temperatura e ricas em conteúdo de nitratos e fosfatos que afloram nas proximidades da costa de Arraial do Cabo. Estes ascensos de águas profundas ocorre devido às características meteorológicas, hidrológicas e topográficas (Valentin, 1984; Carvalho, 2000), durante períodos em que os ventos provenientes são do quadrante NE-E e só ocorre quando estes se mantêm mais de 24 h e com velocidades acima de 3,5 m s<sup>-1</sup>. Os ventos provocam o deslocamento da massa de água superficial e em seu lugar ascendem as águas profundas. Esse evento, conhecido como fenômeno de ressurgência, e mais freqüente entre os meses de outubro a março.

Devido à alta concentração de nutrientes, contidos nas águas que acendem durante os eventos de ressurgência, e pela alta periodicidade na ocorrência dos mesmos, a região apresenta uma alta produtividade primária que conseqüentemente sustenta uma rica rede trófica.

Esta região demarca uma transição entre os ambientes tropical ao norte e subtropical e temperado ao sul, sendo também limite superior da chamada Província Zoogeográfica Argentina, que se estende até a Península de Valdez.

Por outro lado, a região apresenta uma marcada heterogeneidade ambiental. A presença de costões rochosos expostos e profundos, banhados por águas frias de ressurgência, contrasta com dominância na área de ilhas e baías onde parte da água superficial fica constantemente aquecida, tornando-se um ambiente recifal com espécies tipicamente tropicais (Ferreira *et al.*, 1998; Ferreira *et al.*, 2001). Observa-se, então, uma área marinha limitada pelo continente e a Ilha de Cabo Frio com menor profundidade e menor influência das águas de ressurgência, se comparada com a região ao sudeste da mencionada ilha. Deste modo, em uma distância muito curta é possível

identificar dois ambientes com características contrastantes: um ambiente recifal tropical, e outro subtropical. A temperatura é o principal fator que determina a distribuição dos organismos. No cenário formado, o efeito de borda proporciona uma alta diversidade, incluindo espécies dos dois ambientes (Castro *et al.*, 1995; Guimarães e Coutinho, 1996; Ferreira *et al.*, 2001). Até o presente foram identificadas na região 196 espécies de algas entre as Divisões Chlorophyta, Rhodophyta e Phaeophyta. A riqueza de invertebrados também é muito alta. Estes estão representados pelos filos Porifera (com 42 espécies), Bryozoa (41), Mollusca (40), Cnidaria (30), Ascidiacea (18), Echinodermata (17 espécies), Crustacea (10) e Polychaeta (4) (Costa *et al.*, 2007). Por tanto, a região é considerada um “hot spot” com prioridade de conservação.

Com o objetivo de preservar a biodiversidade e recursos econômicos da comunidade local, a região foi em 1997 declarada Reserva Marinha Extrativista (RESEX-MAR). Este é um tipo de unidade de conservação em que os recursos locais são explorados e manejados apenas por pescadores artesanais locais. Paradoxalmente, a partir do ano de 2007 o Porto do Forno começou com as tarefas de suporte para plataformas de petróleo. Assim, a região poderia funcionar como um receptor de espécies tanto de altas quanto de baixas latitudes, ameaçando a diversidade local. Outra atividade de importância na região é o turismo que inclui o mergulho recreativo.

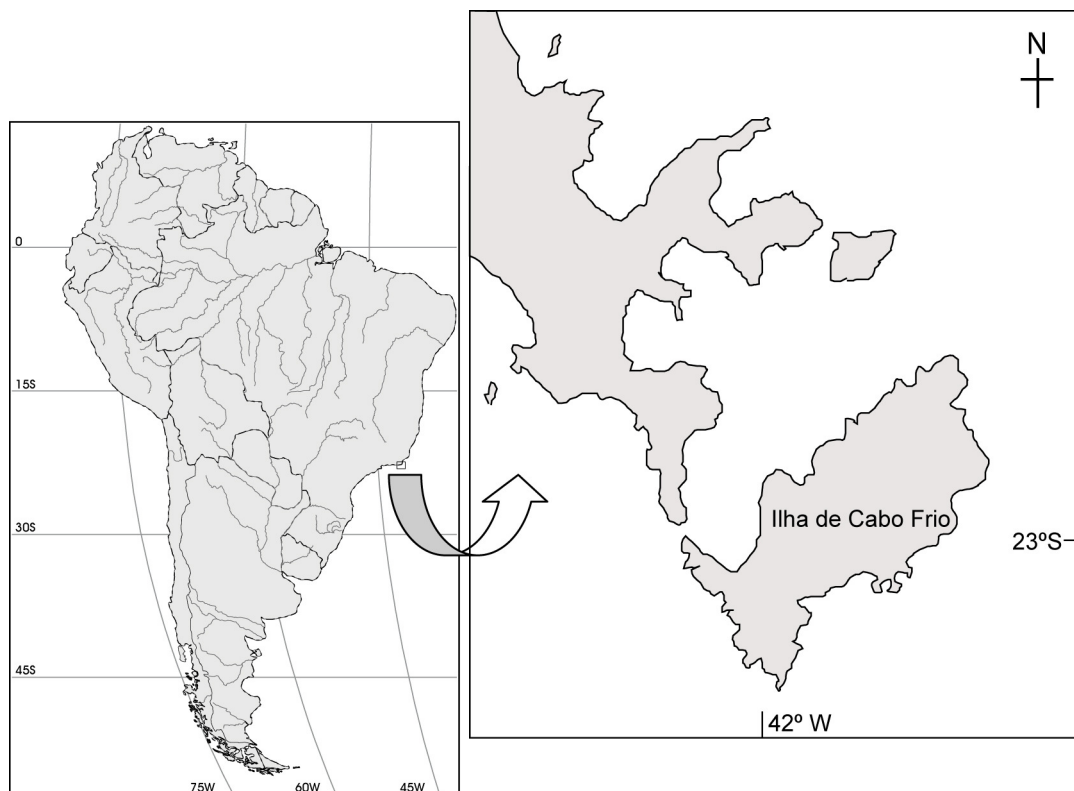


Figura 4: Área de estudo (dir.) e sua localização na América do Sul (esq.).

### **3. MATERIAL E METODO**

#### **3.1. Caracterização dos locais de amostragem**

##### **3.1.1. Localização geográfica**

Baseado em estudos prévios na área onde foram determinados os locais de ocorrência da espécie (Azevedo Garcia, 2004) se selecionaram os locais de monitoramento da mesma, todos eles na região interna compreendida entre a Ilha de Cabo Frio, o continente e a Ilha dos Porcos. Fora desses limites não existem registros de ocorrência da espécie na região de Arraial do Cabo.

Quatro locais de ocorrência foram escolhidos durante mergulhos autônomos como locais de amostragem no infralitoral. Os nomes dos locais foram os mesmos usados pela população de Arraial do Cabo: Pedra Vermelha, Ilha dos Porcos, Saco dos Cardeiros e Saco de Anequim (Figura 5). Existe entre esses quatro pontos de amostragem uma relação de distancia díspar: Pedra Vermelha e Saco do Anequim são mais próximos entre si, separados apenas por uma distancia de 750 m, e ficam ambos na Ilha de Cabo Frio. Saco dos Cardeiros encontra-se no continente e está distanciado por apenas 860 m do ponto de amostragem da Ilha dos Porcos. Os locais pares mencionados guardam, entre eles, uma distancia media de 2100 m.

Em nenhum dos quatro locais estudados se registraram colônias de *Tubastraea coccinea* a menos de 2m de profundidade. A distribuição vertical do coral invasor em Arraial do Cabo foi de 2 a 4m de profundidade no Saco dos Cardeiros, de 4 a 7m na Ilha dos Porcos, de 6 a 9m na Pedra Vermelha e de 9 a 12m no Saco de Anequim. A profundidade dos locais foi estimada durante mergulhos autônomos utilizando tanto profundímetros como trenas e padronizou-se a partir do valor 0 m de profundidade utilizando uma tabela de marés.

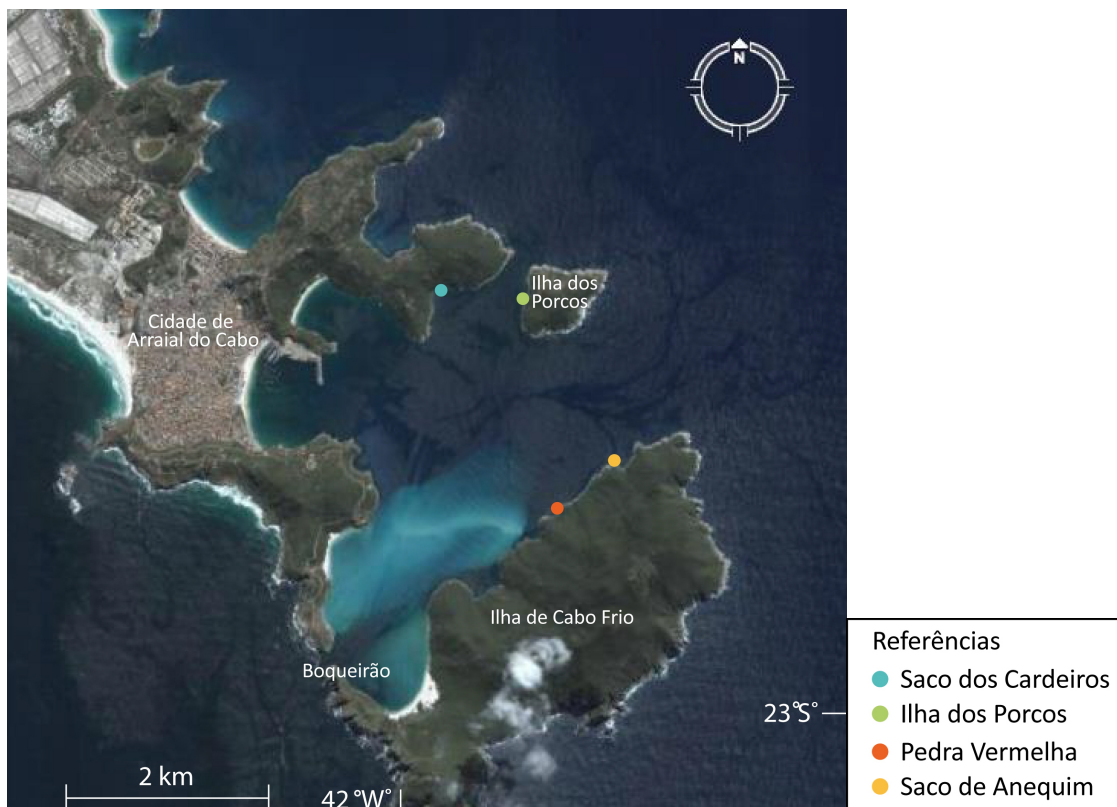


Figura 5: Área de estudo. Os pontos identificam os locais de amostragem. (fonte Google Earth v 4.3)

### 3.1.2. Luz e temperatura nos locais de ocorrência

Em cada local de ocorrência foi registrada a temperatura ao longo de um ano de estudo (17 de Março de 2007 – 9 de Março de 2008) (Tab. 1). Para isso foram utilizados sensores de temperatura marca I-Button T-MEX modelo DS1922-F que armazenam até 2.500 medições, colocados durante mergulhos autônomos. Os sensores foram programados para registrar temperaturas a cada hora apresentando uma autonomia de 2 a 3 meses, passados os quais foram substituídos por outros. Estes sensores têm sido comumente utilizados para o acompanhamento de alimentos no transporte em câmaras frigoríficas registrando as temperaturas. Por isso, tiveram que ser adaptados para realizar operações embaixo da água e a altas pressões devido às profundidades. Para isso foram colocadas em caixas estanques e vedadas com silicone. Foram realizados controles das medições dos mesmos sensores sem as adaptações, em diferentes condições de temperatura, e se constatou que a caixa estanque com a vedação não alterou o registro das mesmas.

Para a análise dos dados, foram tomados em consideração os sensores colocados na base da distribuição vertical de *T. coccinea*, com a finalidade de registrar as menores temperaturas ao longo do ano considerando a profundidade.



A falta de dados em alguns períodos foi devida à quebra ou perda de sensores de temperatura por subtração, já que estes pontos são frequentemente visitados por operadoras de mergulho com fins recreativos.

Para os períodos em que faltaram dados de algum local os valores de temperaturas foram extrapoladas a partir dos dados registrados em outros locais. Para isto, foram realizadas regressões entre todos os pares de séries de dados, correspondentes aos diferentes locais de amostragem, ajustando a diferentes tipos de funções (ex. linear, polinomial, exponencial, etc). Os melhores ajustes encontrados corresponderam a funções lineares, a partir do método de mínimos quadrados. As extrapolações para cada local foram realizadas com dados dos locais com o melhor valor de  $R^2$  (melhor ajuste) para a função linear obtida (Anexo I). Assim o valor de  $R^2$  foi considerado como a porcentagem de ajuste entre os valores extrapolados e os dados reais. Quando a porcentagem de ajuste foi entre 85 e 100%, este foi considerado como muito bom, bom para porcentagens entre 70 a 85%, regular, entre 50 e 70%; e ruim, quando foi menor do que 50%.

As temperaturas extrapoladas da Pedra Vermelha foram calculadas a partir das temperaturas do Saco dos Cardeiros e Saco do Anequim, com as seguintes funções:

$$T^{\circ}\text{C Pedra Vermelha} = 0,56 + 0,96 (T^{\circ}\text{C Cardeiros})$$

$$T^{\circ}\text{C Pedra Vermelha} = -0,42 + 1,01 (T^{\circ}\text{C Anequim})$$

Para o Saco dos Cardeiros foram utilizadas as temperaturas registradas nos locais Pedra Vermelha e Saco de Anequim:

$$T^{\circ}\text{C Cardeiros} = 3,39 + 0,85 (T^{\circ}\text{C Pedra Vermelha})$$

$$T^{\circ}\text{C Cardeiros} = 1,98 + 0,92 (T^{\circ}\text{C Anequim})$$

No Saco de Anequim, as extrapolações foram realizadas a partir dos dados de Pedra Vermelha e Saco dos Cardeiros:

$$T^{\circ}\text{C Anequim} = 4,4467 + 0,7933 (T^{\circ}\text{C Pedra Vermelha})$$

$$T^{\circ}\text{C Anequim} = 2,7013 + 0,8624 (T^{\circ}\text{C Cardeiros})$$

Finalmente, os dados extrapolados da Ilha dos Porcos foram calculados utilizando os registros de Pedra Vermelha, Saco de Anequim e Saco dos Cardeiros:

$$T^{\circ}\text{C Porcos} = 13 + 0,41 (T^{\circ}\text{C Pedra Vermelha})$$

$$T^{\circ}\text{C Porcos} = 4,76 + 0,79 (T^{\circ}\text{C Anequim})$$

$$T^{\circ}\text{C Porcos} = 3,71 + 0,83 (T^{\circ}\text{C Cardeiros})$$

Sensores adicionais foram colocados no local denominado Boqueirão, situado entre a Ilha de Cabo Frio e o continente (Figura 5). Este local possui características de

transição entre o ambiente tropical interno e o subtropical externo. Os sensores foram colocados nesses locais com o objetivo de se obter registros da entrada das massas d'água, na região interna, durante eventos de ressurgência e para evidenciar tanto a frequência quanto intensidade desses eventos. Os sensores neste local foram colocados em dois costões rochosos na Ilha de Cabo Frio, a 8 e 10m de profundidade.

Com a finalidade de estabelecer o grau de semelhança entre as temperaturas dos locais de amostragem, realizou-se uma análise de frequências das mesmas. Os intervalos considerados foram: [12-14), [14-16), [16-18), [18-20), [20-22), [22-24), [24-26) e [26-28]°C. Nesta análise foram utilizados os dados reais e somente os dados extrapolados com um ajuste superior a 70%. As frequências foram comparadas com um teste de Chi-Quadrado ( $N = 7080$  ; Valor tabelado para 100 graus de liberdade,  $\alpha=0,05$ ). Os histogramas de frequências de temperatura de cada ponto foram comparados com o histograma das frequências medias entre os locais, a fim de observar tendências nas distribuições das temperaturas dos locais de amostragem.

Também realizou-se uma análise de variâncias (ANOVA) monofactorial (temperatura) e o teste *a posteriori* de Tukey. Em ambos os casos foi considerado um valor de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

Tabela 1: Períodos dos dados de temperatura coletados pelos sensores I-Buttom, em cada local.

	Dados de temperatura
Pedra Vermelha	17/3/07-18/4/07; 3/5/07 – 26/7/07; 13/9/07 – 9/3/07
Ilha dos Porcos	4/4/07 – 18/4/07; 20/12/07 – 10/2/08
Saco dos Cardeiros	28/4/07 – 1/6/07; 26/7/07 – 1/3/08; 2/3/08 – 8/3/08
Saco de Anequim	17/03/07 – 29/03/07; 15/4/07 – 29/5/07; 29/10/07 – 9/3/08

Os registros da intensidade luminosa nos locais de ocorrência de *T. coccinea* foram realizados durante mergulhos autônomos utilizando um luxímetro Licor Modelo 185A Quantum Meter conectado a um sensor esférico Li-193SB que realiza medições em unidades de microeinstein ( $\mu E$ ). Foi medida a intensidade luminosa em pontos exatos da presença das colônias. Também foram realizados registros a distâncias superiores a dez metros dos costões rochosos, nas mesmas profundidades, a fim de avaliar a extinção da luz devida à topografia do substrato. Foram realizados entre dez e

quinze registros nas mesmas profundidades onde ocorriam os corais, por set de amostragem de dados nos locais exatos das colônias, e foram usados para calcular os valores médios nas comparações entre essas luminosidades. A luz obtida na superfície também foi medida para comparar entre diferentes locais e momentos de amostragem. Estes registros foram realizados a 1 m de profundidade para evitar distorções nas medições causadas pela irregularidade da superfície do mar. Neste caso, também foram realizadas entre dez e quinze medições, as quais calculadas as médias, foram usadas para comparar com os registros correspondentes aos locais de ocorrência da espécie. As medições foram realizadas em abril/2007, outubro/2007 e fevereiro e março/2008, em distintos momentos do dia (9-11hs e 14-17hs). Também foi registrada a hora do dia, cobertura de nuvens e a turbidez da água, mediante o uso de um disco de Secchi. Medições repetidas foram realizadas em cada local, em diferentes condições meteorológicas, horários, e turbidez da água, para se obter representatividade da variabilidade das condições ambientais de cada local e homogeneidade das mesmas entre locais.

Os dados foram analisados mediante uma ANOVA monofatorial. Embora os dados não atendessem as premissas da normalidade e a homogeneidade das variâncias, o resultado obtido para o teste paramétrico (ANOVA) foi equivalente ao obtido no teste não paramétrico (Kruskal-Wallis) pelo que foi considerado o resultado da ANOVA. Para esta análise foi considerado um nível de significância de 95%. As diferenças entre locais foram analisadas utilizando o teste *post-hoc* de Tukey.

Posteriormente, foram comparadas as frequências de ocorrência de distintos níveis de luminosidade mediante um teste de Chi-Quadrado. A partir de 51 registros de cada local, se determinou o número de intervalos para este teste, utilizando a fórmula empírica de Sturges, (1):

$$k = 1 + 3,3 (\log N) \quad (1)$$

onde k correspondeu ao número de intervalos e N ao tamanho amostral. A quantidade de intervalos utilizada foi 7, sendo estes: [12,94 a 45,66), [45,66 a 78,38), [78,38 a 111,1), [111,10 a 143,82), [143,82 a 176,54), [176,54 a 209,26) e [209,26 a 242]  $\mu\text{E}$ .

### 3.1.3. Outros fatores abióticos

Substrato: A inclinação do substrato foi registrada ao longo de todo o costão onde ocorreu *T. coccinea*, utilizando um transferidor colocado na moldura com que foram realizadas as foto-quadrats.

Os dados obtidos foram analisados mediante uma ANOVA monofatorial. Embora os dados não atendessem à premissa da homogeneidade das variâncias, o resultado obtido para a ANOVA foi o mesmo que o obtido no teste de Kruskal-Wallis pelo que foi considerado o resultado da ANOVA. O nível de significância considerado foi de 5% e foi realizado o teste *a posteriori* de Tukey para determinar quais locais diferiram significativamente na inclinação do substrato.

### **3.2. Efeito de *T. coccinea* sobre as comunidades bentônicas**

Com o objetivo de estabelecer o impacto que o processo de colonização de *T. coccinea* tem causado sobre as comunidades de espécies bentônicas nativas, em Arraial do Cabo, focalizou-se na análise da comparação da porcentagem de cobertura das mesmas em presença e ausência do coral invasor. A finalidade foi estabelecer deferências na composição da comunidade bentônica associadas à presença de *T. coccinea*. Como as colônias do mencionado coral ocorreram em Arraial do Cabo apenas sobre substrato com inclinação negativa, somente as áreas com este tipo de inclinação foram fotografadas. Os costões adjacentes aos de ocorrência deste coral também foram fotografados (fotografias “controle”) com a mesma metodologia e somente nas áreas negativas.

As áreas com inclinação negativa foram fotografadas em sua totalidade, utilizando uma moldura de 40 x 30 cm com 1 m de distancia focal e uma câmera fotográfica digital Cânon A710 com caixa estanque, durante mergulhos autônomos. Um total de 20 foto-quadrats foi escolhido aleatoriamente para cada local de amostragem e sendo que 10 corresponderam à comunidade com presença de *T. coccinea* e as outras 10, em áreas vizinhas sem a presença do coral invasor. Os registros foram obtidos no mês de fevereiro de 2008.

Todas as espécies foram identificadas através de observação no campo, análise das foto-quadrats, e no laboratório, a partir de material coletado, até o máximo nível taxonômico possível. As espécies de Porifera foram identificadas segundo Muricy e Hajdu (2006), as algas segundo Wynne (1998) e divididas em tipos funcionais (Széchy e De Paula, 1997). Os corais foram identificados segundo Prota Salomon (2007). A identificação organismos bentônicos, foi realizada com a orientação dos pesquisadores do Instituto de Estudos do Mar “Almirante Paulo Moreira”.

As fotografias foram analisadas utilizando o Software CPCe. O processamento consistiu em delimitar as margens das imagens obtidas de modo de padronizar as

dimensões em todas as foto-quadrats. Em cada uma delas foram definidos 100 pontos de interseção, dos quais 50 foram escolhidos aleatoriamente para registro das espécies presentes e a partir disso estimar as percentagens de cobertura (Figuras 6 e 7). Cada local de amostragem foi caracterizado pelas percentagens de cobertura das espécies incrustantes, nas áreas com e sem a presença de *Tubastraea coccinea*, calculando a média das percentagens das coberturas entre as réplicas (foto-quadrats).

Foram realizadas análises de agrupamento para ambos os tipos de comunidades em cada local: comunidades bentônicas **com** e **sem** *T. coccinea*. Esta análise foi realizada utilizando o Software Statistica 6.0. Implementou-se o método de agrupamento de Ward e a distância foi medida em percentagem de dissimilaridade.

No caso das comunidades bentônicas presentes nos locais de ocorrência do coral invasor, foram realizados análises de variâncias entre locais para as quatro categorias dominantes: alga crostosa vermelha, esponja *Darwinella* sp., recrutas de *T. coccinea* (indivíduos de um pólipos) e colônias adultas de *T. coccinea*. Para as categorias *Darwinella* sp. e adultos de *T. coccinea* utilizaram-se ANOVA e o teste *a posteriori* de Tukey; para recrutas de *T. coccinea* e alga crostosa vermelha foi utilizada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis e o teste *post-hoc* de Dunn, devido aos dados não atenderem as premissas da ANOVA. Estes testes foram realizados considerando um nível de significância de 5%.

Finalmente, foram realizadas comparativas, em cada local de amostragem, entre as comunidades **com** a presença de *Tubastraea coccinea* e **na ausência** da mesma. Novamente, foi examinado o grau de similaridade através de análises de agrupamentos utilizando o método de Ward. Foi calculada a riqueza de espécies como número total de espécies, e a diversidade através dos índices de Simpson e Shannon segundo as fórmulas:

$$\text{Índice de Simpson} = (\sum p_i^2)^{-1}$$

$$\text{Índice de Shannon} = - \sum p_i \ln p_i$$

onde  $p_i$  corresponde à percentagem de cobertura com que a espécie  $i$  contribui à biomassa total.

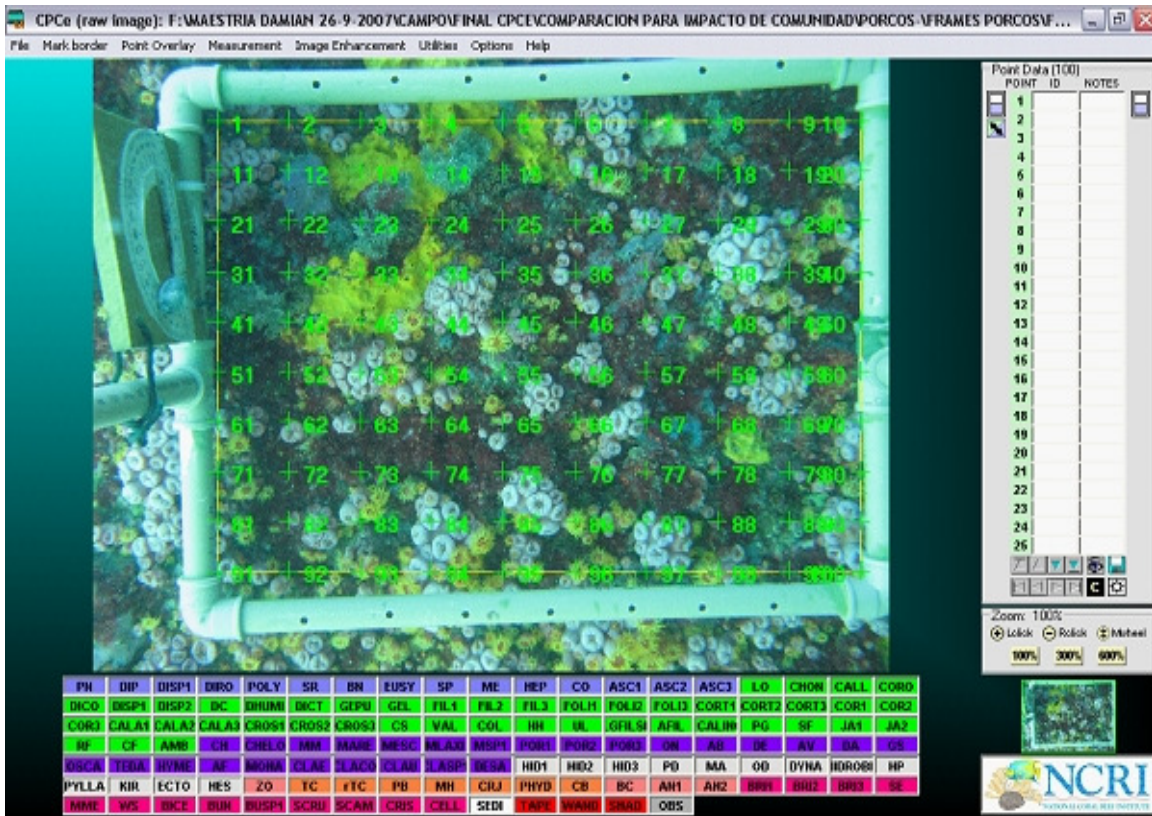


Figura 6: Análise digital das foto-quadrats – Estimativa das percentagens de cobertura das espécies bentônicas registradas nos locais de ocorrência de *T. coccinea*.

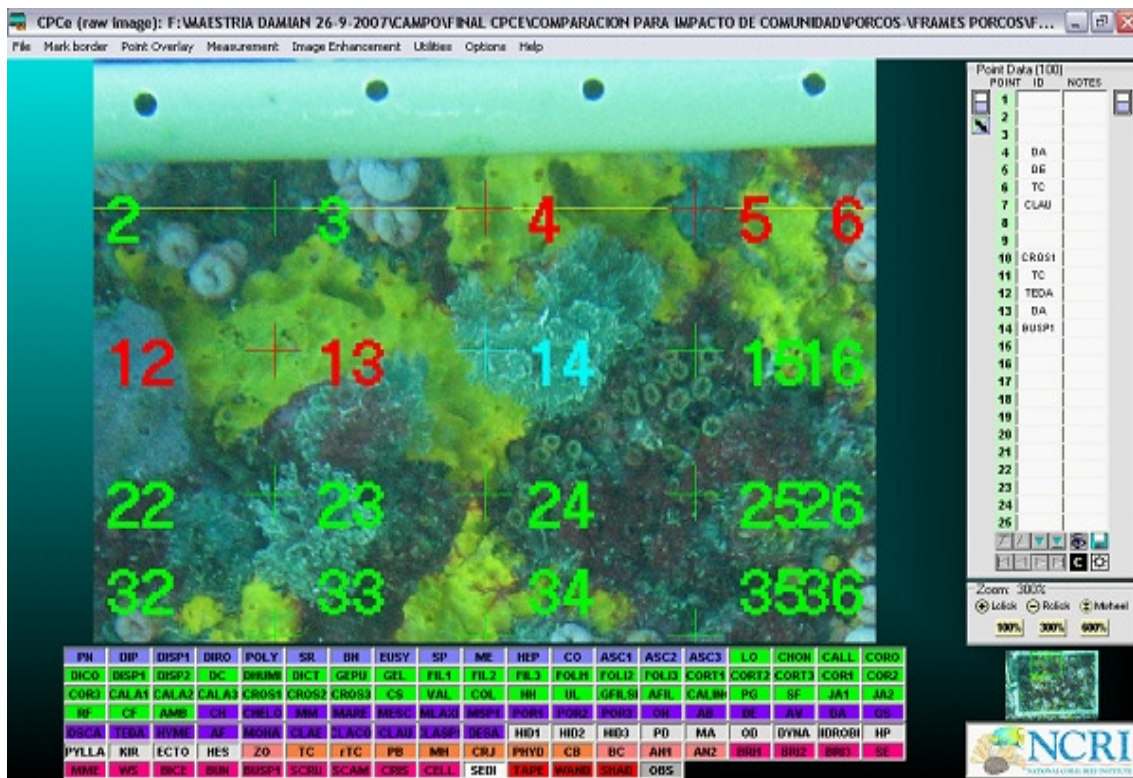


Figura 7: Detalhe mostrando o processo de identificação nos pontos de interseção.

### 3.3. Influência da luz e temperatura no crescimento e reprodução de *T. coccinea*

#### 3.3.1. Crescimento de *Tubastraea coccinea* no campo

Em cada local de amostragem foi estimado o crescimento do coral estudado o qual foi relacionado com a temperatura e a luminosidade. Para isso se fotografaram costões rochosos onde ocorreu o coral, utilizando uma moldura de 40 x 30cm construído com tubos de PVC e uma câmera fotográfica digital Cânon A710 com caixa estanque. As fotos foram tomadas a uma distância focal padronizada de 1 m. As áreas dos costões rochosos onde ocorreu *T. coccinea* foram registradas em sua totalidade evitando superposição entre elas. Foram escolhidas 22 colônias em cada local para acompanhar o crescimento em área e em número de pólipos ao longo de um ano entre fevereiro-março/2007 e fevereiro-março/2008. As colônias foram selecionadas de acordo com os tamanhos iniciais com o objetivo de obter tanto heterogeneidade para esse parâmetro, em cada local de amostragem, quanto homogeneidade, entre locais. A finalidade disso foi de evitar erros amostrais devido aos distintos tamanhos iniciais das colônias, já que é sabido que a taxa de crescimento de corais pode variar de acordo ao tamanho da colônia (e.g., Maragos, 1974; Loya, 1976; Hughes e Jackson, 1985). Porém, quando posteriormente foi analisada a taxa de crescimento em função da área, não se observou relação alguma entre estas variáveis, para os tamanhos de colônias estudadas (entre 0,99 e 56,71 cm<sup>2</sup>. Figura 8). Isto significa que a taxa de crescimento foi independente do tamanho inicial da colônia. Em cada local foi estimada a taxa de crescimento anual, considerando as áreas iniciais e finais das colônias estudadas, segundo:

$$\text{Taxa crescimento em área por ano} = \frac{(\text{Área final} - \text{Área inicial})}{\text{Quantidade dias entre data final e data inicial}} \times 365$$

As áreas foram calculadas por processamento digital das imagens utilizando o software CPCe (Figura 9).

A taxa de crescimento entre locais foi analisada através de uma ANOVA monofatorial. Os dados atenderam às premissas da normalidade (Teste Kolmogorov-Smirnov,  $p > 0,20$ ) e da homogeneidade das variâncias (Teste de Levene,  $p > 0,05$ ). O nível de significância considerado foi de 5% e foi realizado o teste *a posteriori* de Tukey para determinar entre quais locais as taxas de crescimento do coral diferiram.



Por outro lado, foi estimada a taxa de crescimento de *T. coccinea* a partir do aumento no número de pólipos por colônia. Isto se realizou para as mesmas 22 colônias por local, utilizadas para estimar a taxa de crescimento por aumento de área para o mesmo período de estudo. A taxa de crescimento em número de pólipos foi estimada segundo:

$$\text{Taxa de crescimento em número de pólipos por ano} = \frac{\text{Pólipos finais} - \text{Pólipos iniciais}}{\text{Dias a entre data final e inicial}} \times 365$$

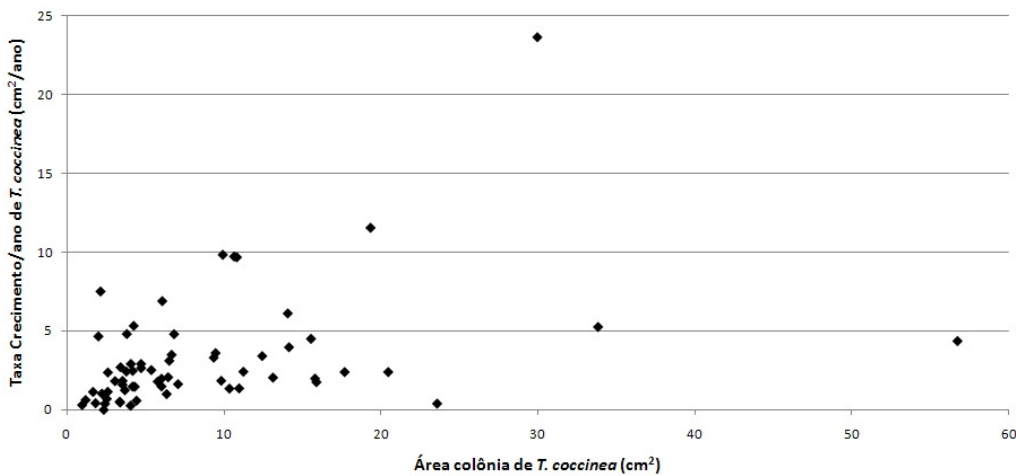


Figura 8: Taxa de crescimento de *Tubastraea coccinea* (expressa em  $\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$ ) em função da área da colônia.

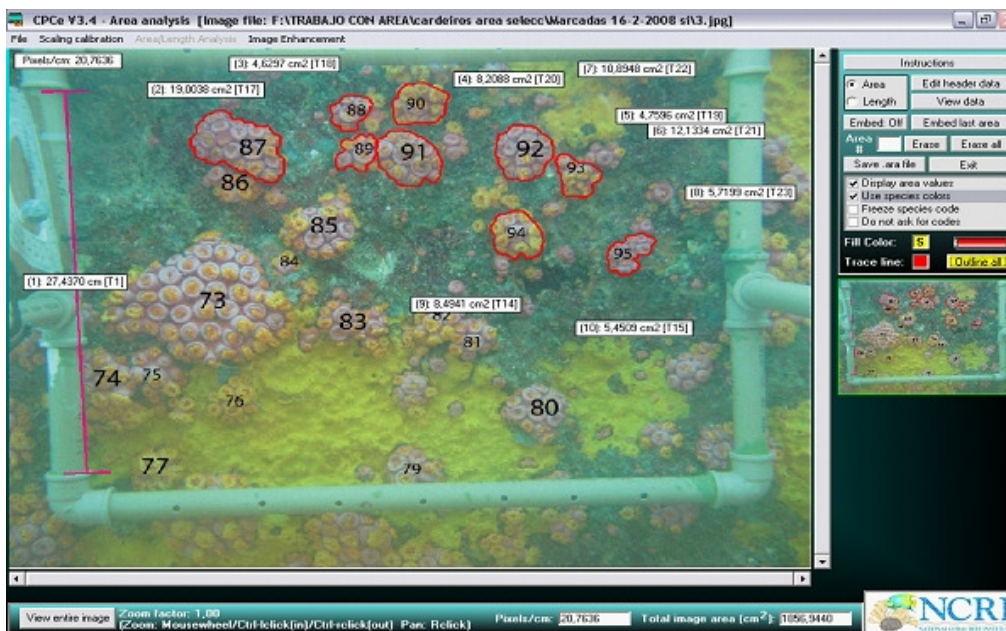


Figura 9: Processamento digital para a medição do tamanho, em área, das colônias de *T.coccinea* no campo.



O crescimento de *T. coccinea* em pólipos foi analisado através de ANOVA. Os dados não atenderam às premissas da ANOVA, porém os resultados obtidos entre a ANOVA e o teste de Kruskal-Wallis foram idênticos, pelo que se decidiu utilizar o resultado da ANOVA.

### 3.3.2. Reprodução de *T. coccinea* no campo

Para estimar o efeito da temperatura e da luminosidade na reprodução do coral invasor se realizaram estudos focalizados em uma das etapas determinantes desde o ponto de vista ecológico: o recrutamento.

Para isso se fotografaram os costões rochosos onde ocorreu o coral, utilizando um frame de 40 x 30 cm, e uma câmera fotográfica digital Cânon A710 com caixa estanque. As fotos foram realizadas a uma distância focal padronizada de 1 m ao longo de um ano (abril/2007-março-2008). Dentro das foto-quadrats foram definidos sub-quadrats de 5cm de lado, os que foram dispostos colocados sobre um substrato comum, com dominância de alga crostosa, para todos os locais de amostragem (Figura 10). Realizou-se esta escolha baseados nas informações da bibliografia sobre esta preferência no recrutamento (e.g., Morse *et al.*, 1988). Esta preferência também foi observada nas foto-quadrats analisadas. Assim mesmo, com esta metodologia procurou-se manter homogeneidade do substrato entre os locais para evitar diferenças na taxa de recrutamento devido a este fator.

O ano de estudo foi dividido em quatro períodos: abril-maio/2007, Junho-agosto/2007, setembro/2007-janeiro/2008 e fevereiro-março/2008. Essa divisão realizou-se em função da observação dos picos de liberação de larvas, de colônias coletadas na região de Arraial do Cabo e mantidas em laboratório durante o ano 2006. Esses picos coincidiram com os observados na Baía da Ilha Grande, RJ (Figueira de Paula, 2007). Os picos de liberação de larvas ocorreram em dois períodos: abril a maio e setembro a novembro.

Para cada um dos quatro períodos estudados se escolheram aleatoriamente 50 sub-quadrats em cada local, dentro dos quais se procedeu ao censo dos recrutas. Nesta seção consideramos “recrutas” a indivíduos de apenas um pólipos com até 5 mm de diâmetro. Procedeu-se desta forma, dado que dentro de cada um dos períodos se registrou um crescimento que superou os 5 mm e assim se evitaram contar recrutas estabelecidos em períodos anteriores.

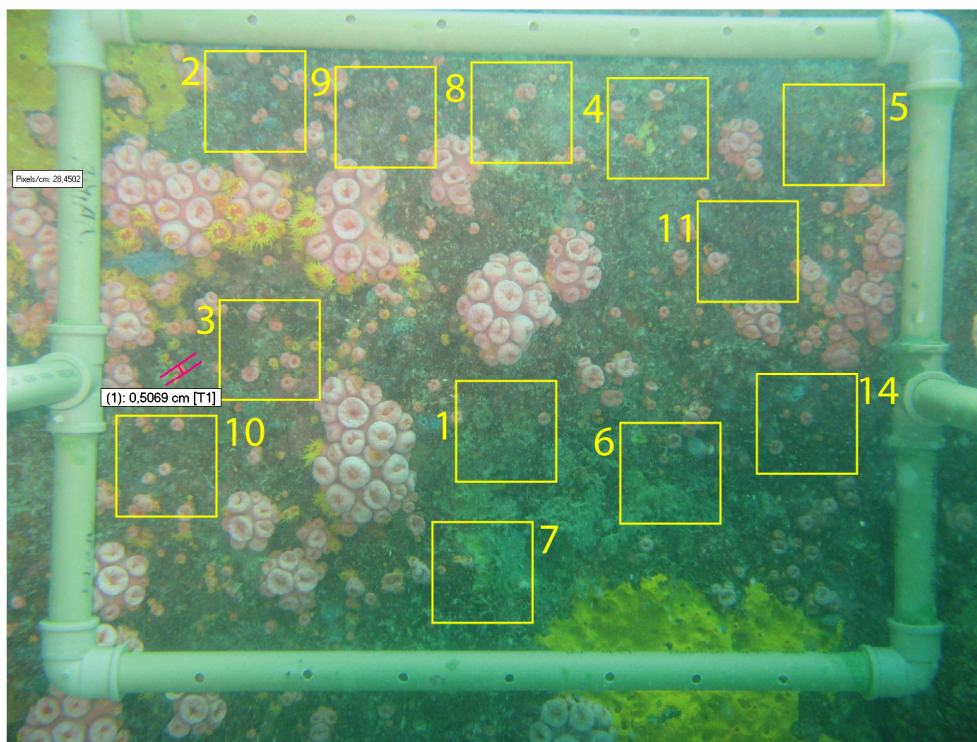


Figura 10: Sub-quadrats (de 5 x 5 cm) colocados sobre áreas cobertas por algas crostosas vermelhas para a estimação das densidades dos recrutas de *T. coccinea* nos locais de amostragem.

Foram realizadas análises comparativas do recrutamento entre locais e entre períodos antes mencionados. Estas comparações foram feitas através de teste de Kruskal-Wallis ( $\alpha=0,05$ ) já que os dados não atenderam as premissas da normalidade e da homogeneidade das variâncias.

Para cada período foi analisada a probabilidade de ocorrência de temperaturas para os seguintes intervalos: [12-14), [14-16), [16-18), [18-20), [20-22), [22-24), [24-26) e [26-28]°C. A distribuição das probabilidades de ocorrência das temperaturas foi analisada em conjunto com os valores de recrutamento em cada período.

### 3.3.3. Experimentos no laboratório: Crescimento

A partir das medições obtidas no campo foram delineados os experimentos de manipulação de temperatura e luminosidade para avaliar o crescimento do coral e seu potencial de reprodução em diferentes condições controladas. Estas estimativas foram ampliadas a fim de estabelecer os limites de tolerância da espécie

Devido à lenta velocidade de crescimento das colônias de *Tubastraea coccinea* o crescimento foi avaliado de forma indireta, a partir das estimativas de consumo de

oxigênio e padronizado por volume de colônia de coral. Segundo Paynter *et al* (1991), um maior consumo de oxigênio indicaria um metabolismo mais ativo e, conseqüentemente, uma taxa mais elevada de crescimento, e por isso o consumo de oxigênio poderia ser usado como um indicador do crescimento, sob condições controladas de laboratório.

Utilizaram-se colônias coletadas em mergulho autônomo tanto dos locais de ocorrência quanto de monobóias ancoradas no Porto do Forno, com grande abundância do coral invasor. Após a coleta as colônias foram limpas extraindo a totalidade organismos bentônicos aderidos a elas com a finalidade de evitar distorções nas estimativas de oxigênio consumido. A partir de experimentos piloto de consumo de oxigênio determinou-se um tempo de aclimatação das colônias de mínimo de 1 mês após a coleta, prévio ao começo dos experimentos, para evitar medições extremas por estresse pós-coleta. Também foi determinando nestes testes preliminares a duração ótima do experimento que permitisse obter resultados discriminantes (calibração do tempo do experimento). Os experimentos consistiram em manter colônias de *T. coccinea* em água de mar, em aquários herméticos de 3 litros de capacidade, durante 24 h sob 9 condições diferentes de temperatura (14°, 16°, 18°, 20°, 24°, 26°, 28°, 30° e 32°C) e 2 de luminosidade (“escuridão”: 0 µE; e “luminosidade”: 220-229 µE). Para a manipulação da temperatura estes experimentos foram levados a cabo em uma incubadora B.O.D. marca “Nova Era” modelo 411/FPD. Os valores de irradiância para cada experimento foram registrados por meio de um luxímetro Quantum Meter marca Licor Modelo 185A conectado a um sensor esférico Li-193SB.

Para cada tratamento de temperatura e luminosidade foram utilizadas 6 réplicas, cada uma incluindo entre 1 e 4 colônias de *T. coccinea* cujos volumes variaram entre 10 e 200 cm<sup>3</sup>, sendo que o volume total de coral utilizado em cada réplica foi entre 30 e 200 cm<sup>3</sup>. Cada tratamento teve quatro controles sem coral. Como a água utilizada nos experimentos não era filtrada, os controles permitiram estimar o consumo ou produção de oxigênio por zoo ou fitoplâncton.

O oxigênio consumido foi estimado por diferença do oxigênio dissolvido nas alíquotas retiradas dos aquários (300 ml), utilizando o oxímetro Digimed modelo DM-4P, sendo todas as medições realizadas a 25 °C, 1 atm e 34,845 de salinidade. Pequenas variações da salinidade das amostras de água foram corrigidas automaticamente pelo oxímetro. O volume de coral foi estimado pelo deslocamento de volume de água utilizando uma proveta.

Os dados foram analisados através de uma ANOVA de dois fatores (luz e temperatura). Foram testadas as premissas do teste e os dados atenderam à normalidade (teste Kolmogorov-Smirnov,  $p > 0,20$ ) e à homogeneidade das variâncias (teste de Levene,  $p = 0,779$ ). No teste de ANOVA foi considerado um nível de significância de 95% e foi realizado o teste *a posteriori* de Tukey para determinar quais tratamentos diferiram significativamente.

#### 3.3.4. Experimentos no laboratório: Reprodução

Foi também avaliada em laboratório a influência da temperatura e luminosidade na reprodução de *T. coccinea*. Este estudo focou no assentamento larval para poder, a partir dele, realizar inferências das observações de recrutamento no campo. Para isso foram delineados experimentos nos quais se colocaram 10 larvas de *Tubastraea coccinea* (com comprovada mobilidade e de menos de um dia desde o momento da sua liberação) obtidas no laboratório durante março-abril de 2008, em aquários cilíndricos. Os aquários, de PVC, tinham uma capacidade de 400 cm<sup>3</sup> e continham água de mar filtrada. As larvas foram mantidas em uma incubadora D.B.O. marca “Nova Era” 411/FPD durante 20 dias em diferentes condições de luminosidade (0; 60-65 e 220-229  $\mu\text{E}$ ) e temperatura (18 e 28°C). Foram utilizadas 6 réplicas para cada tratamento. No final do experimento foi registrado o número de larvas assentadas. A duração deste experimento foi baseada no tempo de vida de 18 dias das larvas na coluna d’água (Figueira de Paula, 2007).

Estes dados foram analisados através de uma ANOVA de dois fatores (luz e temperatura) considerando um nível de significância de 5% e o teste *post-hoc* de Tukey para determinar quais tratamentos diferiram significativamente.

#### 3.4. Vetores da bioinvasão na RESEX-MAR de Arraial do Cabo

Três monobóias (aqui denominadas 1, 2 e 3) utilizadas na extração de petróleo que se encontram depositadas no Porto do Forno, Arraial do Cabo donde se realizaram registros de *T. coccinea* foram caracterizadas quanto à potencialidade como vetor de introdução desta espécie em Arraial do Cabo.

Este estudo foi dirigido unicamente na base inferior das monobóias a qual constitui um substrato de angulação de 180° e que apresentou uma maior cobertura do

coral. As áreas basais, estudadas nas três monobóias, consistiram em círculos de 16m de diâmetro. Nos casos das monobóias 1 e 2, estas áreas estavam submersas a 2,5 m de profundidade e no caso da monobóia 3, a 4,5 m. Em cada uma das monobóias foram realizadas 10 foto-quadrats aleatórios ao longo de 3 transectos diametrais, de forma que a quantidade de réplicas por monobóia fosse igual a 30. O procedimento antes mencionado foi conduzido durante mergulhos com equipamento autônomo, utilizando uma moldura de 30 x 40 cm e 1 m de distância focal contendo um transferidor, e uma câmera digital Cânon A710 com caixa estanque.

O processamento das fotografias consistiu em delimitar as margens das imagens obtidas de modo a padronizar as dimensões em todas as foto-quadrats realizadas. Em cada uma delas foram definidos 100 pontos de interseção, dos quais 50 foram escolhidos aleatoriamente para registro das espécies e a partir de isso estimar a percentagem de cobertura das mesmas nas fotos. Foi estimada a cobertura média de cada espécie entre as réplicas (foto-quadrats) para cada monobóia.

Os valores de cobertura (transformados segundo:  $y = \arccos(x)$ ) das espécies dominantes foram transformados e comparados entre as monobóias através de testes de ANOVAs e testes *a posteriori* de Tukey, considerando um nível de significância de 5%.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Caracterização dos locais de amostragem**

#### **4.1.1. Temperatura nos locais de amostragem**

Durante o intervalo de tempo em que foi realizado o presente estudo (17 de março de 2007-9 de março/2008), as temperaturas na região variaram entre um mínimo absoluto de 13,5° C em setembro de 2007 e um máximo absoluto 26,5°C em abril/2007. Ambas as temperaturas foram registradas no local Pedra Vermelha. Nas figuras 11 a 14, podem-se observar as temperaturas reais, registradas pelos sensores I-Button em cada local, e as extrapoladas a partir dos dados reais dos outros locais de amostragem.

As curvas de temperaturas apresentaram dois períodos com comportamentos bem diferenciados ao longo do ano. O primeiro deles com uma notória homogeneidade entre os registros de temperatura que compreende o período entre começos do mês de Maio até meados de setembro de 2007. Neste período, as temperaturas registradas estiveram entre 20 e 24 °C. O segundo comportamento foi observado no resto do período de estudo, caracterizado por uma grande oscilação dos valores de temperatura em períodos curtos.

A figura 15 representa as temperaturas reais registradas no Boqueirão, local de transição entre os ambientes tropical interno e o subtropical externo da região, como detalhado na área de estudo. Este local apresentou o mesmo padrão geral que os outros locais de amostragem com ocorrência de *T. coccinea*. Porém, as oscilações de temperatura aqui observadas são muito mais marcadas chegando a se registrar, por exemplo, uma variação de 8°C em apenas uma hora (29/10/2007; 13:58 h =14 °C; 14:58 h = 22 °C). As temperaturas extremas neste local foram inferiores que as correspondentes à área subtropical interna. A mínima foi de 11° a mediados de outubro de 2007 enquanto que a temperatura máxima foi de 25,5°C a finais de fevereiro de 2008.

Se compararmos os gráficos dos locais de amostragem (Figuras 11 a 14) com o correspondente ao local de transição de Boqueirão (Figura 15), se aprecia uma evidente influência do ambiente subtropical externo no ambiente interno. O padrão de variação de ambas as curvas é semelhante, porém, as oscilações das temperaturas no ambiente interno estão amortecidas tanto nos valores absolutos quanto na frequência da oscilação.

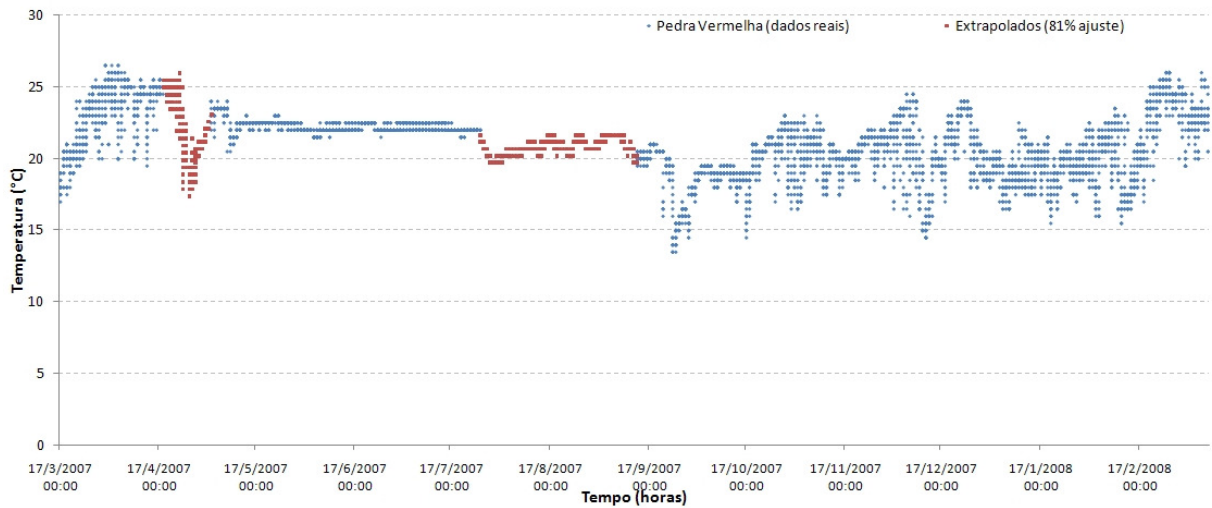


Figura 11: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Pedra Vermelha (dados reais em azul; dados extrapolados com 81 % de ajuste em vermelho) (Total de dados = 7081)

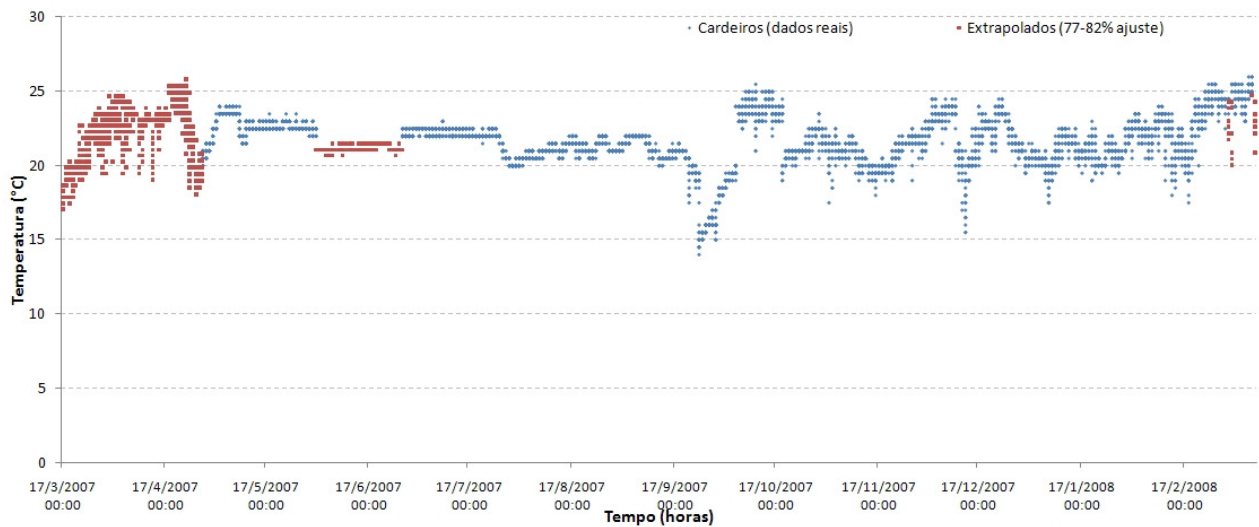


Figura 12: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Saco dos Cardeiros (dados reais em azul; dados extrapolados com 77 a 82 % de ajuste em vermelho) (Total de dados = 7081)

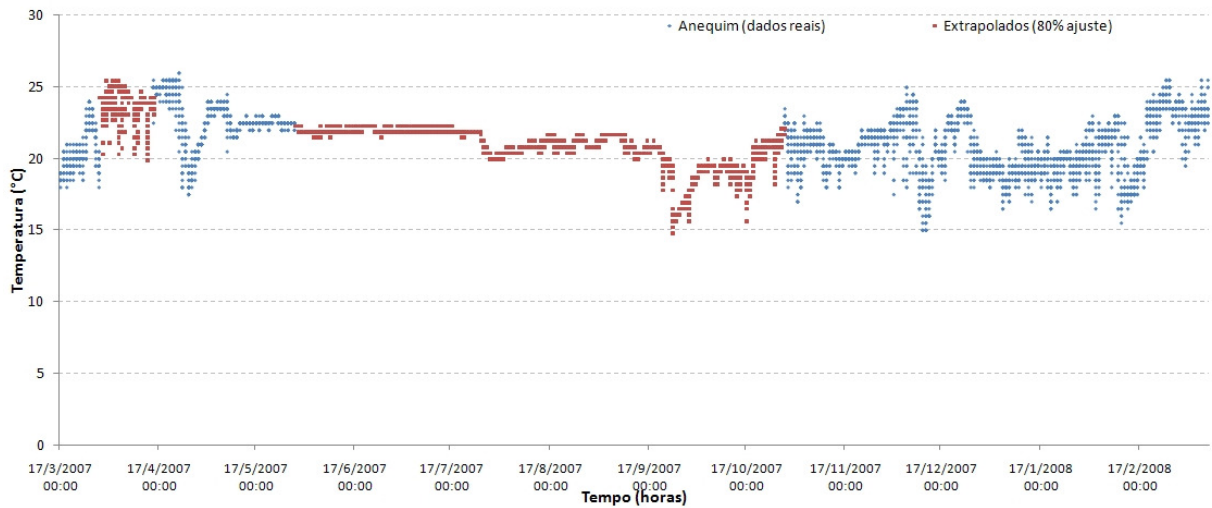


Figura 13: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Anequim (dados reais em azul; dados extrapolados com 80 % de ajuste em vermelho) (Total de dados = 7081)

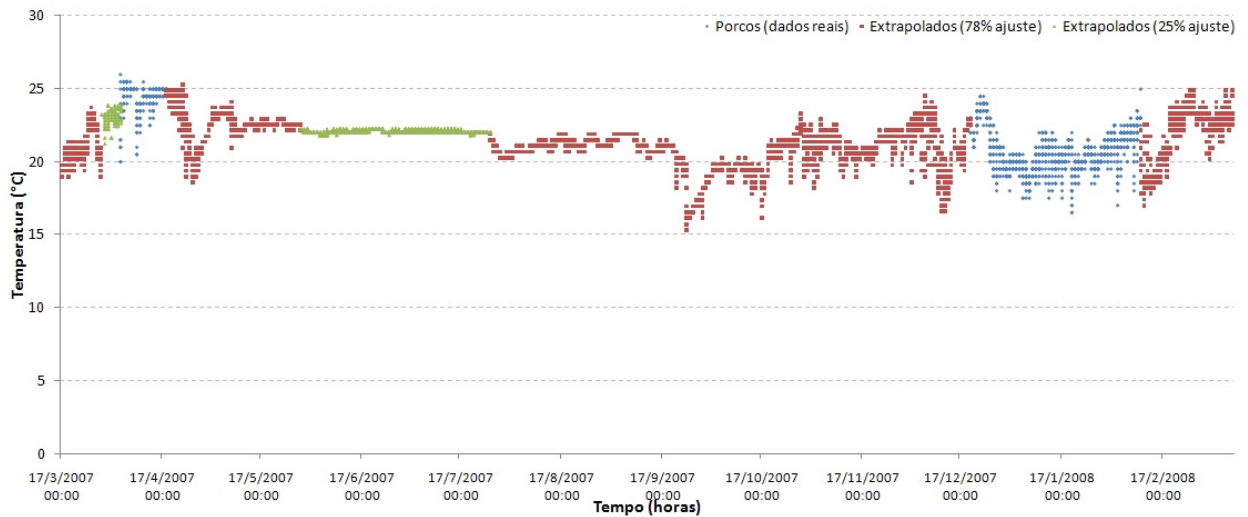


Figura 14: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Ilha dos Porcos (dados reais em azul; dados extrapolados com 78 % de ajuste em vermelho e 25% em verde) (Total de dados = 7081)



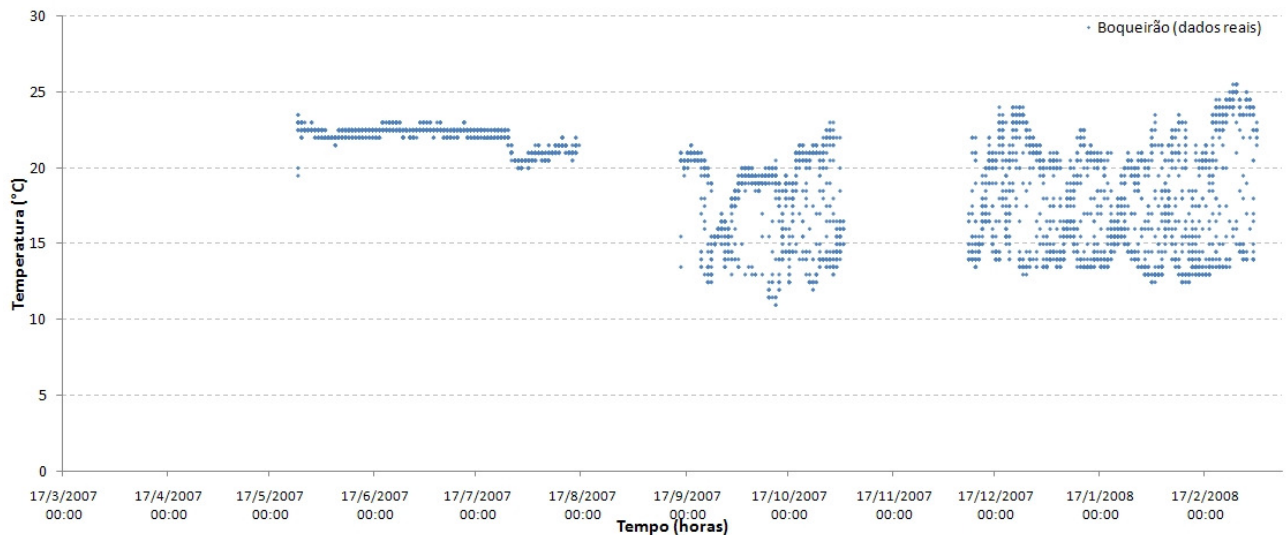


Figura 15: Temperaturas registradas ao longo do ano de estudo no local de amostragem Boqueirão (Total de registros = 5171)

A análise de Chi-Quadrado das frequências das temperaturas revelou diferenças significativas entre todos os locais de amostragem (Figura 16, Tabela 2). Porém, todos eles apresentaram o mesmo intervalo modal: entre 20 e 22°C. Ao comparar os valores médios das frequências de temperaturas entre todos os locais, com os observados em cada um deles se evidenciaram 3 diferentes padrões:

- nos locais Saco de Anequim e Pedra Vermelha se observou um aumento nas frequências nos intervalos menores ao modal e uma diminuição dos valores superiores a este (assimetria negativa);
- Ao contrário do padrão supracitado, no local Saco dos Cardeiros, houve uma maior ocorrência de temperaturas superiores a 20°C e uma diminuição das menores ao intervalo modal (assimetria positiva);
- E na Ilha dos Porcos, as frequências observadas se assemelharam com as frequências médias.

Estas comparações facilitam a observação da dominância de menores temperaturas tanto no Saco de Anequim quanto na Pedra Vermelha e maiores no Saco dos Cardeiros, com respeito à Ilha dos Porcos.

Uma análise de variâncias das temperaturas dos quatro locais indicou diferenças significativas entre todos eles (ANOVA  $p=0,00000025$ ; teste de Tukey  $p<0,05$  em todos os casos) (Figura 17). A figura 17 mostrou que a temperatura média mínima foi registrada em Pedra Vermelha e a máxima em Saco dos Cardeiros, reforçando a

tendência observada nos histogramas de frequência. Em termos gerais, a temperatura variou inversamente com a profundidade.

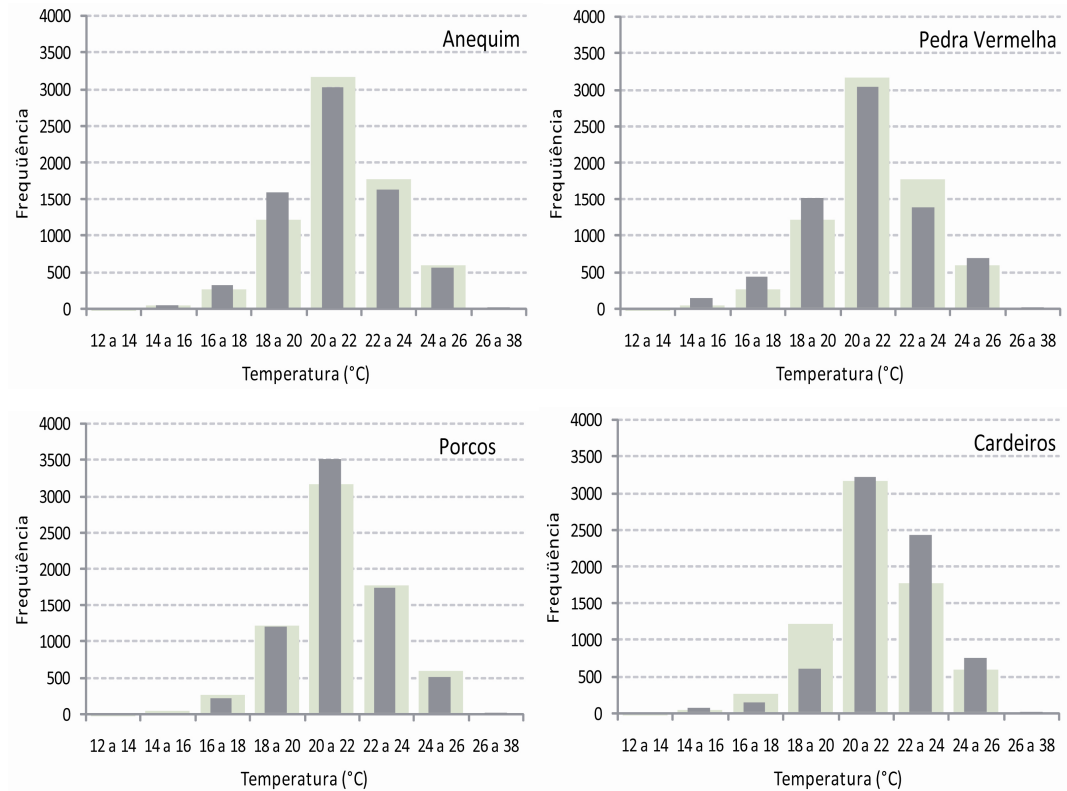


Figura 16: Frequências dos intervalos de temperaturas dos locais de amostragem ; Valores médios das frequências dos locais de amostragem

Tabela 2: Resultado do Teste de Chi-Quadrado das frequências de temperatura nos locais de amostragem. Valor tabelado (GL=100,  $\alpha=0,05$ ): 124,34

Chi-Quadrado	Pedra Vermelha	Anequim	Porcos
Anequim	178,06*		
Porcos	520,02*	264,62*	
Cardeiros	1624,75*	2349,91*	1276,07*

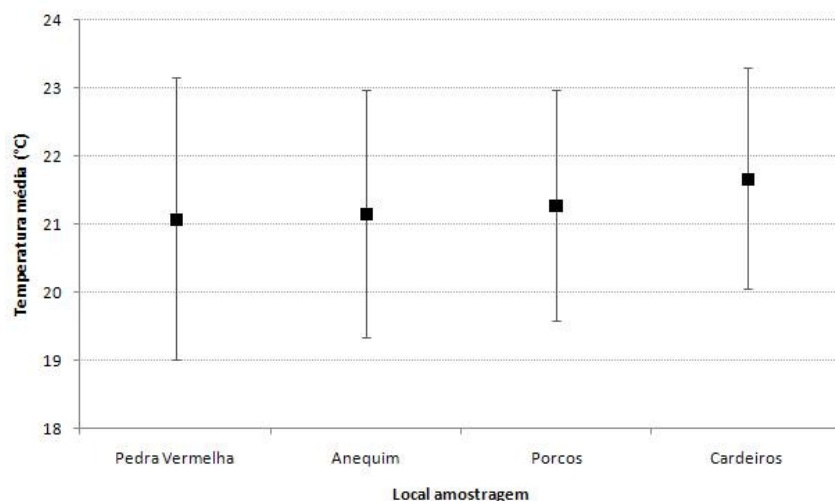


Figura 17: valores médios e desvio padrão das temperaturas nos locais de ocorrência de *T.coccinea* em Arraial do Cabo. (N =7081)

#### 4.1.2. Luminosidade nos locais de amostragem

*Tubastraea coccinea* foi observado em locais que receberam uma intensidade luminosa que variou entre 12,94 e 242  $\mu\text{E}$ . Enquanto que a luz registrada na superfície da água oscilou entre 732 e 2143  $\mu\text{E}$ , dependendo das condições meteorológicas. Em média, apenas entre 1,6 e 9,8 % do nível de luminosidade na superfície da água foi recebida pelo coral. Houve uma extinção das intensidades de luz de entre 73 e 80%, causada pela topografia do substrato, quando se compararam as irradiâncias que receberam as colônias com as que foram medidas na mesma profundidade a 10-15 m do costão.

Comparando as intensidades luminosas entre os locais de amostragem houve diferenças significativas (ANOVA:  $p = 0,014$ ) (Figura 18). Estas diferenças foram encontradas apenas entre os locais com valores extremos de luminosidade: Pedra Vermelha, com menor luminosidade média e Saco dos Cardeiros, com maior (Teste Tukey:  $p=0,007$ ).

A pesar do resultado acima exposto, quando analisadas as distribuições de frequências das luminosidades mediante um teste Chi-Quadrado não se evidenciaram diferenças significativas entre os locais de amostragem (Figura 19, Tabela 3). Em todos eles houve um mínimo de 92% dos registros que ocorreu dentro dos primeiros três intervalos (até 110  $\mu\text{E}$ ).

Embora o local mais raso (Saco dos Cardeiros) tenha apresentado uma média de intensidade luminosa maior do que os outros pontos, não se encontrou uma relação

linear entre a intensidade luminosa e a profundidade, para a amplitude de profundidades na que as colônias ocorreram.

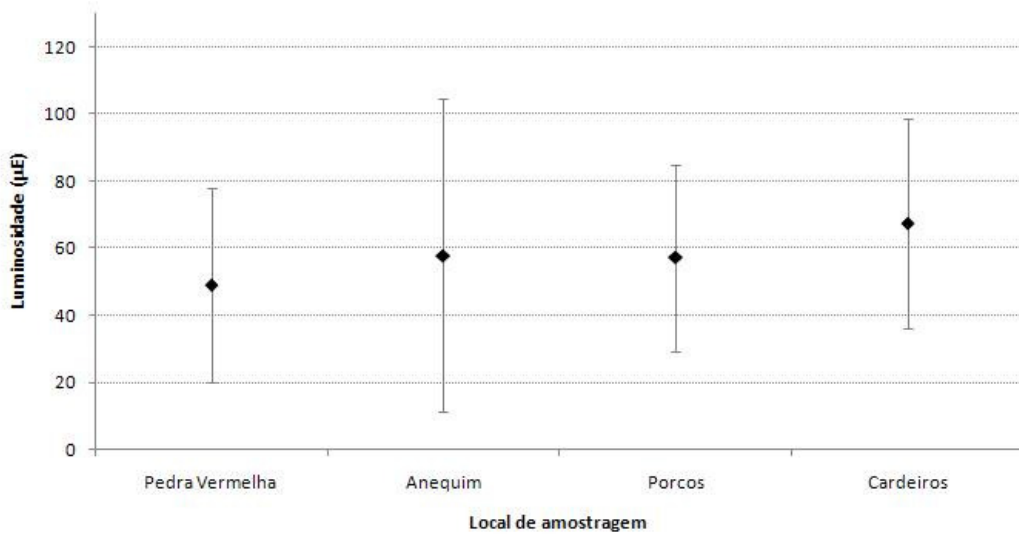


Figura 18: Figura: valores médios e desvio padrão das intensidades luminosas que atingem as colônias de *T. coccinea* em Arraial do Cabo. (N = 51)

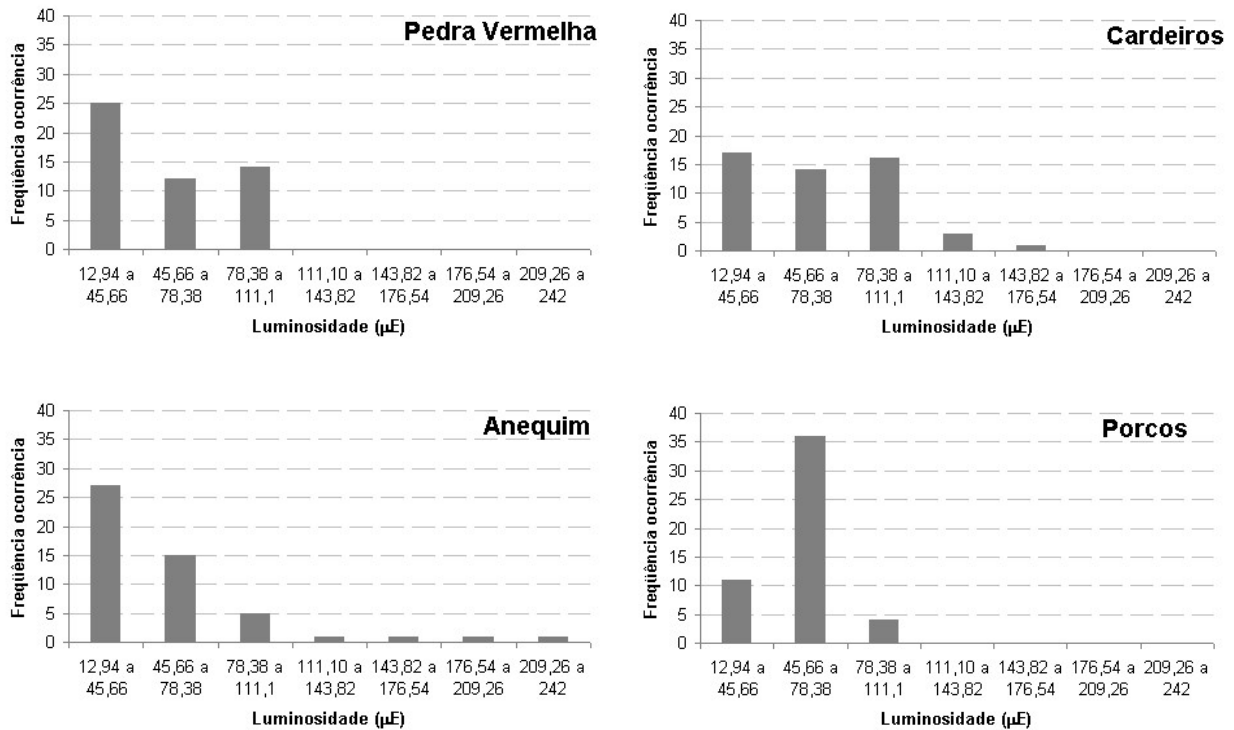


Figura 19: Frequências dos intervalos de luminosidade que atingiram as colônias de *T.coccinea* no costão.

Tabela 3: Resultado do Análise de Chi-Quadrado das distribuições de freqüências das intensidades luminosas nos locais de ocorrência de *T.coccinea*.

Valor crítico (GL: 50;  $\alpha:0,05$ )= 67,50

	Pedra Vermelha	Cardeiros	Porcos
Anequim	20,95	33,97	43,08
Pedra Vermelha		8,30	62,98
Cardeiros			49,69

#### 4.1.3. Inclinação do substrato

Em todos os locais estudados, a presença de *T. coccinea* se observou restrita somente às áreas com inclinação negativa de umas poucas rochas considerando toda a área de estudo. As inclinações do substrato onde ocorreu *T. coccinea* variaram entre 90 e 170 ° (Figura 20) e foram significativamente diferentes entre os locais (ANOVA,  $p=0,000$ ). Usando o teste *a posteriori* de Tukey se conseguiu distinguir diferenças significativas entre os locais, com exceção da Ilha dos Porcos respeito a Saco dos Cardeiros ( $p=0,80$ ) e Pedra Vermelha com Saco de Anequim ( $p=0,57$ ) (Tabela 4).

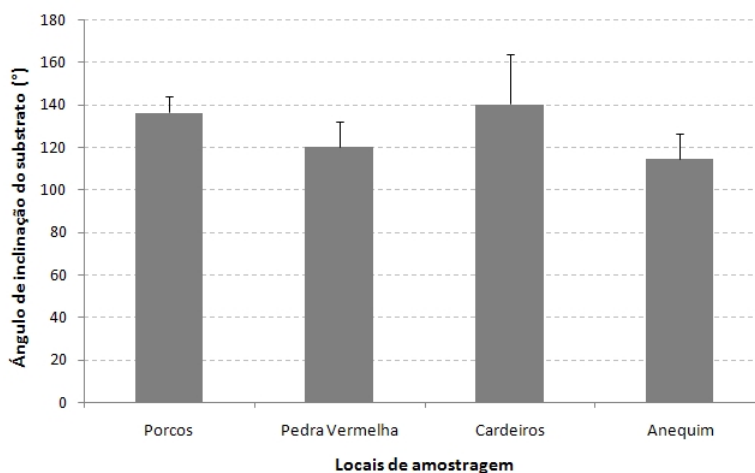


Figura 20: Valores médios e desvios padrões das inclinações do substrato nos locais de ocorrência de *T. coccinea* (N=24).

Tabela 4: Resultados do Teste *a posteriori* Tukey. Comparação das luminosidades entre os locais de amostragem (\*\*  $p < 0,001$ ).

	Porcos	Pedra Vermelha	Cardeiros	Anequim
Porcos		0,0018 **	0,80	0,0002**
Pedra Vermelha			0,0002**	0,57
Cardeiros				0,0001**
Anequim				

#### 4.2. Efeito de *T. coccinea* sobre as comunidades bentônicas

A análise de agrupamentos das comunidades bentônicas com presença do coral invasor mostrou que existe uma maior similaridade na porcentagem de cobertura das espécies entre o local Saco dos Cardeiros e Ilha dos Porcos. O Saco de Anequim foi o ponto de amostragem que mais se afastou de essa similaridade entre locais (Figura 21).

A análise de variância realizada entre os sites de amostragem para a cobertura de colônias adultas de *T. coccinea* diferiu significativamente só entre o Saco dos Cardeiros (média: 29,1% de cobertura) e Pedra Vermelha (média: 17,22 % de cobertura) (ANOVA:  $p = 0,041$ , Teste Tukey Pedra Vermelha-Cardeiros  $p=0,031$ ) (Figura 22). Este resultado coincidiu com as diferenças encontradas para as temperaturas entre os pontos, sendo que a temperatura média de Cardeiros foi a maior e a de Pedra Vermelha, a menor. A porcentagem de cobertura máxima de colônias adultas de *T. coccinea* foi de 47,27% no Saco dos Cardeiros; 39,22% no Saco de Anequim; 33,33% na Ilha dos Porcos e 26% na Pedra Vermelha.

Com relação à alga crostosa das famílias Corallineaceae e Delesseriaceae, a cobertura foi significativamente menor no Saco dos Cardeiros do que nos outros locais analisados (Kruskal-Wallis:  $p = 0,0007$ , teste de Dunn: Cardeiros-Pedra Vermelha  $p < 0,05$ , Cardeiros-Anequim  $p < 0,01$ , Cardeiros-Porcos  $p < 0,01$ ). A cobertura da alga crostosa foi menor em Cardeiros, justamente onde a cobertura de adultos de *T. coccinea* e seu crescimento foram maiores. Isto sugere que *T. coccinea* poderia estar ocupando áreas da alga crostosa com o avanço da sucessão.

A cobertura de recrutas do coral variou significativamente entre os locais estudados (Kruskal-Wallis:  $p = 0,0001$ ). Na Pedra Vermelha e no Saco de Anequim foi significativamente menor do que no Saco dos Cardeiros e esta, por sua vez, foi semelhante à Ilha dos Porcos (Tabela 5). Ainda foi observada uma relação entre a

menor cobertura de recrutas e a menor cobertura de algas crostosas no Saco dos Cardeiros respeito à Ilha dos Porcos.

A cobertura de *Darwinella* sp. foi semelhante em todos os pontos de amostragem (ANOVA  $p=0,889$ ).

Tabela 5: Resultado do Teste *a posteriori* de Dunn utilizado para comparar as diferenças nas percentagens de recrutas entre os quatro locais de amostragem

	Pedra Vermelha	Cardeiros	Porcos
Cardeiros	$p<0,05$		
Porcos	$p<0,001$	$p>0,05$	
Anequim	$p>0,05$	$p<0,01$	$p<0,001$

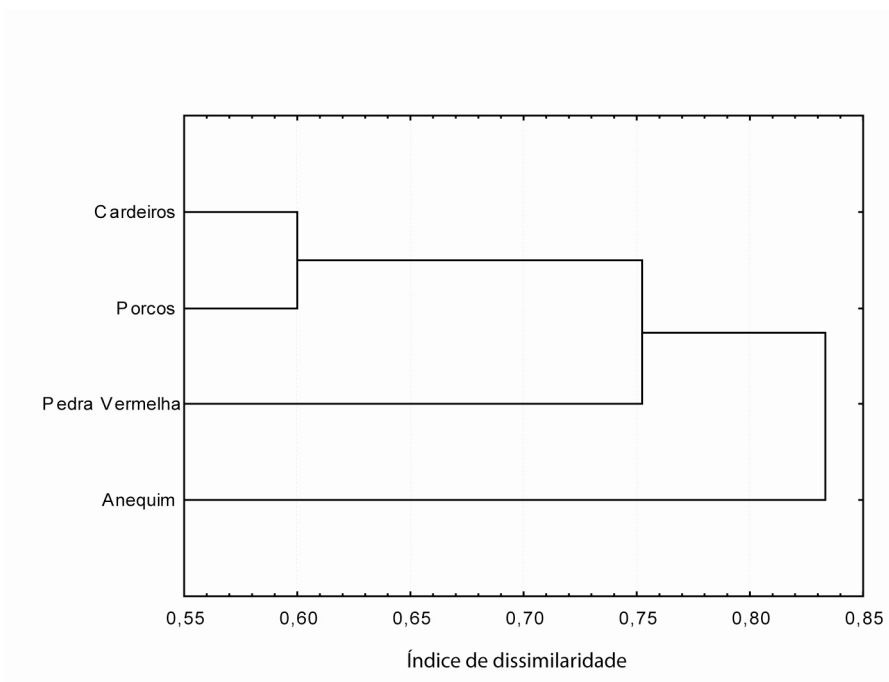


Figura 21: Dendrograma com valores dos índices de Dissimilaridade entre os locais de amostragem em relação às percentagens de cobertura das espécies bentônicas das áreas com presença de *T. coccinea*.

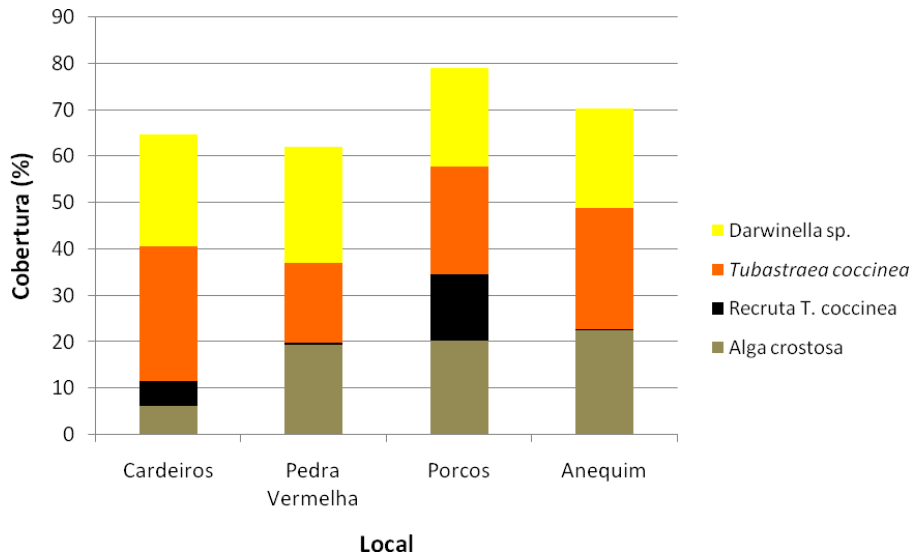


Figura 22: Percentagens de cobertura das categorias dominantes das espécies bentônicas nos locais de amostragem.

Quando analisadas as comunidades bentônicas adjacentes às áreas com *Tubastraea coccinea*, a análise de agrupamento mostrou maiores similaridades entre Ilha dos Porcos e Pedra Vermelha. Novamente, o local Saco de Anequim mostrou menor semelhança que com os outros locais (Figura 23).

Se comparados em cada local os costões com presença e ausência de *T. coccinea*, achamos uma diferença mínima de 55 % entre Ilha dos Porcos e Pedra Vermelha, e uma diferença máxima, de 63%, entre Saco de Anequim e o nodo [Ilha dos Porcos e Pedra Vermelha]. Em todos os casos, as comunidades com presença de *T. coccinea* apresentaram maior diversidade e maior riqueza de espécies do que as áreas com ausência do coral (Tabelas 6 a 8).



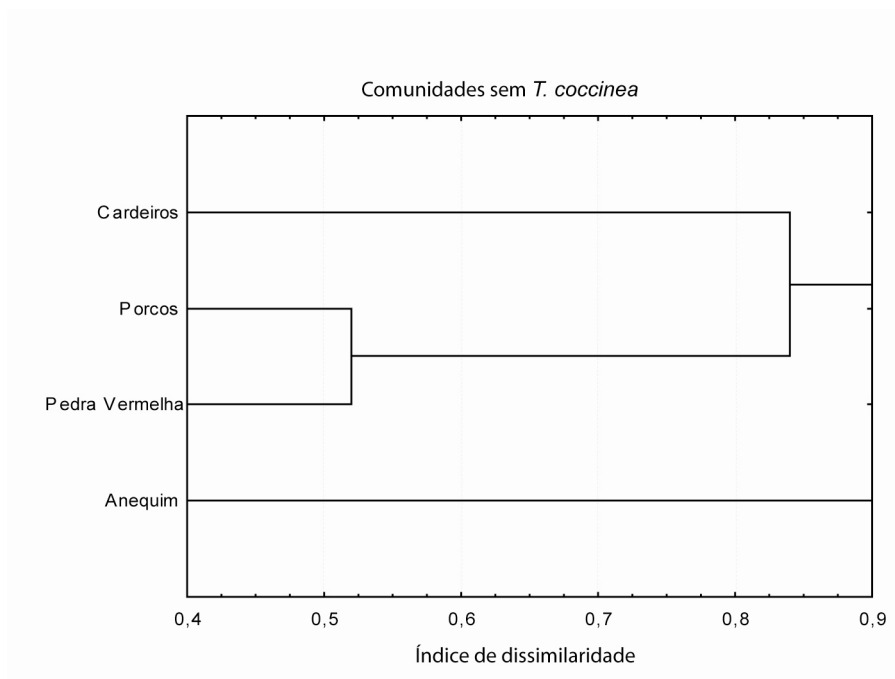


Figura 23: Dendrograma com valores dos índices de Dissimilaridade entre os locais de amostragem em relação às percentagens de cobertura das espécies bentônicas das áreas com ausência de *T. coccinea*.

Tabela 6: Riqueza de espécies nas áreas com e sem *T. coccinea*, dos locais de amostragem.

Número de espécies	Com <i>T. coccinea</i>	Sem <i>T. coccinea</i>
Saco dos Cardeiros	15	14
Ilha dos Porcos	17	9
Pedra Vermelha	18	11
Saco de Anequim	20	16

Tabela 7: Índice de Diversidade de Simpson nas áreas com e sem *T. coccinea*, dos locais de amostragem.

Índice Diversidade Simpson	Com <i>T. coccinea</i>	Sem <i>T. coccinea</i>
Saco dos Cardeiros	5,80	3,12
Ilha dos Porcos	5,96	4,54
Pedra Vermelha	5,97	4,82
Saco de Anequim	5,47	4,40

Tabela 8: Índice de Diversidade de Shannon nas áreas com e sem *T. coccinea*, dos locais de amostragem.

Índice Diversidade Shannon	Com <i>T. coccinea</i>	Sem <i>T. coccinea</i>
Saco dos Cardeiros	2,10	1,49
Ilha dos Porcos	2,03	1,64
Pedra Vermelha	2,05	1,79
Saco de Anequim	2,00	1,75

### 4.3. Influência da luz e temperatura no crescimento e reprodução de *T. coccinea*.

#### 4.3.1. Crescimento de *T. coccinea* no campo

Através do aumento tanto da área quanto de número de pólipos, foi avaliado o crescimento das colônias de *T. coccinea* nos costões da região. As estimativas foram geradas a partir de medições realizadas entre os períodos de Fevereiro-2007 e Março-2008. Em média, o incremento de área por colônia foi de  $3,31\text{cm}^2 \text{ano}^{-1}$  na região de Arraial do Cabo. O mesmo, não foi homogêneo entre os locais de amostragem (ANOVA:  $p=0,023$ ) variando entre uma média de  $1,14\text{cm}^2 \text{ano}^{-1}$  em Pedra Vermelha e  $4,59\text{cm}^2 \text{ano}^{-1}$  em Cardeiros, valores que diferiram significativamente (Figura 24, Tabela 9).

Estabelecendo relações entre o crescimento em área de *T. coccinea* no campo com as variáveis temperatura e luminosidade, observou-se uma relação direta quando analisadas as diferenças entre os locais de amostragem. No Saco dos Cardeiros, que é o local caracterizado por condições de maior temperatura e luminosidade, *Tubastraea coccinea* apresentou uma maior taxa de crescimento em área  $\text{ano}^{-1}$ . No extremo oposto do padrão dessas variáveis, em Pedra Vermelha a taxa de crescimento da área do coral foi a menor. De acordo com estes resultados, o fator temperatura influiria conforme o esperado no crescimento do coral. Porém, quando analisado o crescimento respeito à luminosidade não observamos concordância entre os resultados achados e os esperados dado que houve maior crescimento a maior intensidade luminosa.

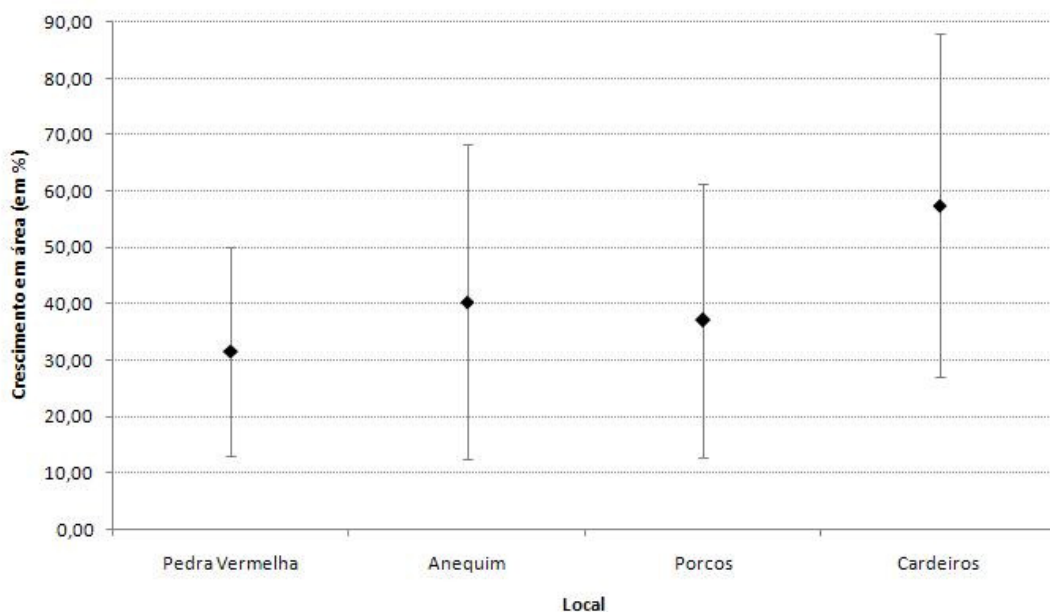


Figura 24: Valor médio e desvio padrão do crescimento areal das colônias, relativo aos tamanhos iniciais das mesmas (expressado em percentagem).

Tabela 9: Resultado do teste de Tukey da análise dos valores dos incrementos das áreas das colônias estudadas nos locais de amostragem. (\*:  $p < 0,05$ )

Local	Anequim	Cardeiros	Porcos	Pedra Vermelha
Anequim		0,20	0,98	0,74
Cardeiros			0,09	0,02*
Porcos				0,92

Ao contrário, o aumento do número de pólipos não diferiu entre os locais analisados na região (ANOVA:  $p=0,252$ ), sendo este em média de  $3,12$  pólipos  $\text{ano}^{-1}$ .

#### 4.3.2. Reprodução de *T. coccinea* no campo

Para todos os locais amostrados se observou um mesmo padrão de recrutamento ao longo do tempo (Figuras 25 a 28). Este padrão caracterizou-se pela presença de um máximo do número de recrutas entre os meses de abril e maio de 2007, que correspondeu ao primeiro pico de liberação de larvas de *Tubastraea coccinea* para esse ano (março a maio), na região. Durante esse período foram observados até 21 recrutas por  $25 \text{ cm}^2$ , registro correspondente à Ilha dos Porcos. Após este máximo, o número de recrutas diminuiu nos períodos de junho-agosto/2007 e setembro/2007-janeiro/2008, ocorrendo um mínimo neste último. Os valores de recrutas aumentaram no período de fevereiro-março/2008, o que corresponderia ao começo do primeiro pico anual de liberação de larvas de 2008.

Na Pedra Vermelha não foram obtidos dados correspondentes ao período junho-agosto de 2007 devido à baixa qualidade das foto-quadrats, o que não permitiu uma análise de um número considerável de réplicas.

Em todos os locais de amostragem houve uma densidade de recrutas significativamente maior durante o primeiro período, correspondente ao primeiro pico de liberação de larvas, em comparação aos outros períodos, inclusive o correspondente ao segundo pico de liberação (setembro/2007-janeiro/2008) (Anexo I).

Foram observadas diferenças nas temperaturas (se comparados os histogramas de probabilidades das mesmas) nos períodos correspondentes ao primeiro e segundo pico de liberação de larvas, nos locais de amostragem. Durante o primeiro pico, foi

registrado entre 83,24 e 87,26 % das temperaturas acima de 22°C. Ao contrário, no segundo pico reprodutivo, apenas entre 10,20 e 32,4 % das temperaturas superaram os 22°C. Estas diferenças de temperatura mantiveram uma correspondência com a diferença no recrutamento entre os dois picos reprodutivos observados para todos os locais amostrados.

Embora o padrão de recrutamento durante o ano de estudo tenha sido conservado nos diferentes pontos de amostragem, foram observadas diferenças significativas nas densidades de recrutas sobre manchas de algas crostosas vermelhas. Este recrutamento foi significativamente maior na Ilha dos Porcos e Saco dos Cardeiros do que na Pedra Vermelha e Saco de Anequim, para os quatro períodos estudados (Anexo I). Os locais Saco dos Cardeiros e Ilha dos Porcos não diferiram significativamente em relação à densidade de recrutas, exceto para o período fevereiro-março/2008. Por outro lado, Saco de Anequim e Pedra Vermelha foram estatisticamente semelhantes exceto para o período de setembro-janeiro 2008.

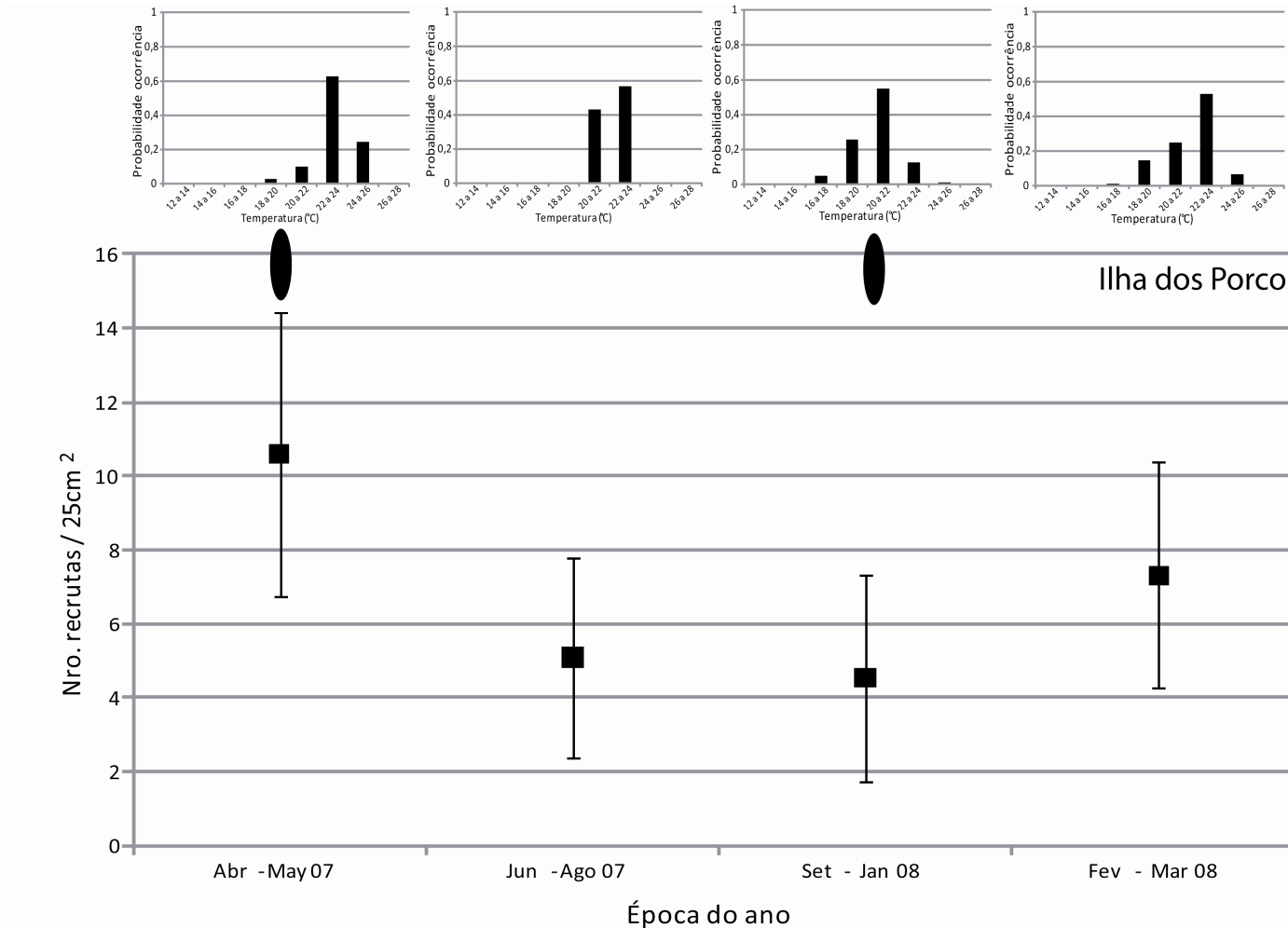


Figura 25: Densidade dos recrutas (valor médio  $\pm$  desvio padrão) e histogramas de temperatura para o local de amostragem Ilha dos Porcos.

●: Picos de liberação de larvas, registrados no laboratório e na Ilha Grande.

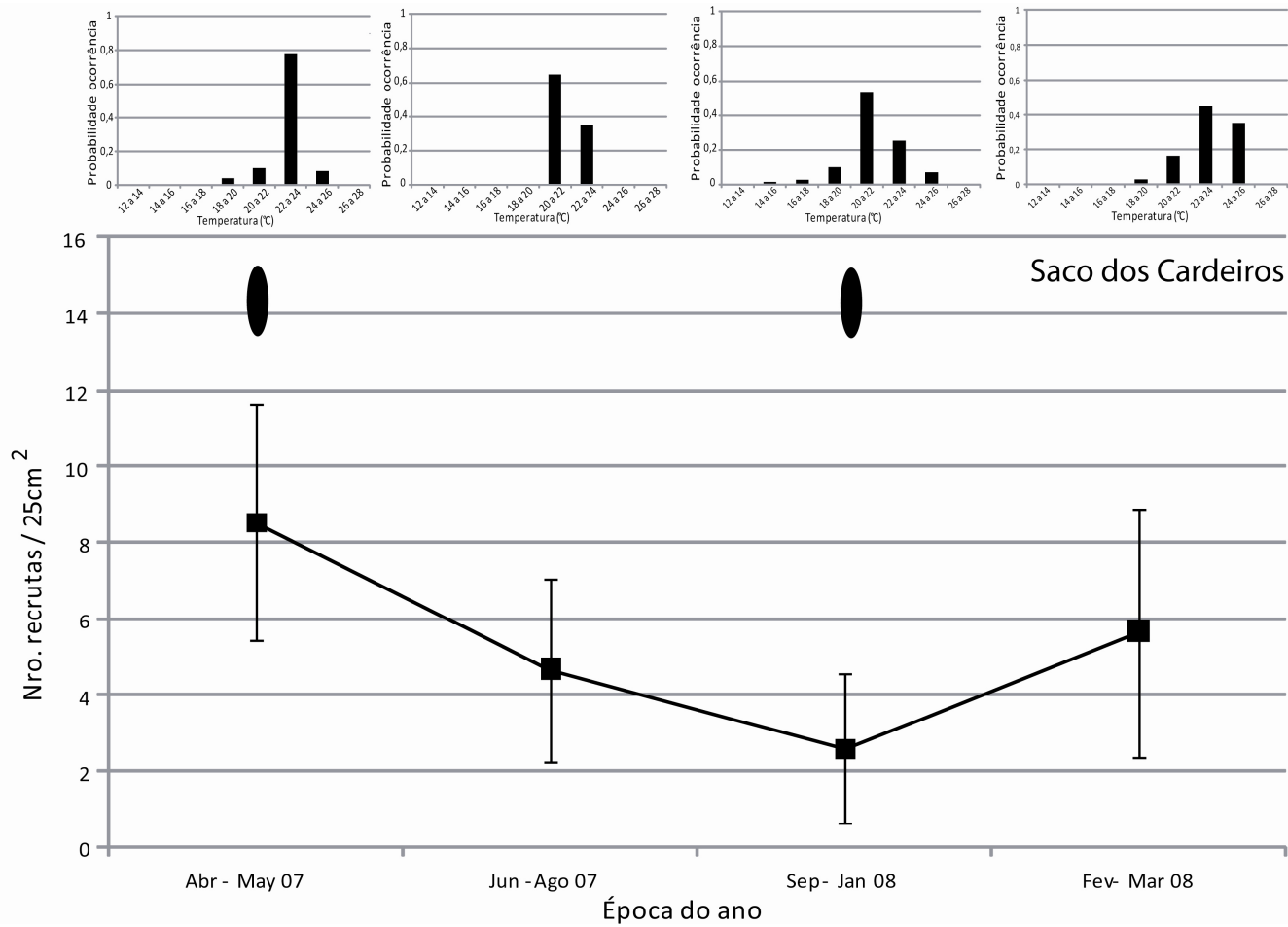


Figura 26: Densidade dos recrutas (valor médio  $\pm$  desvio padrão) e histogramas de temperatura para o local de amostragem Saco dos Cardeiros.

● : Picos de liberação de larvas, registrados no laboratório e na Ilha Grande.

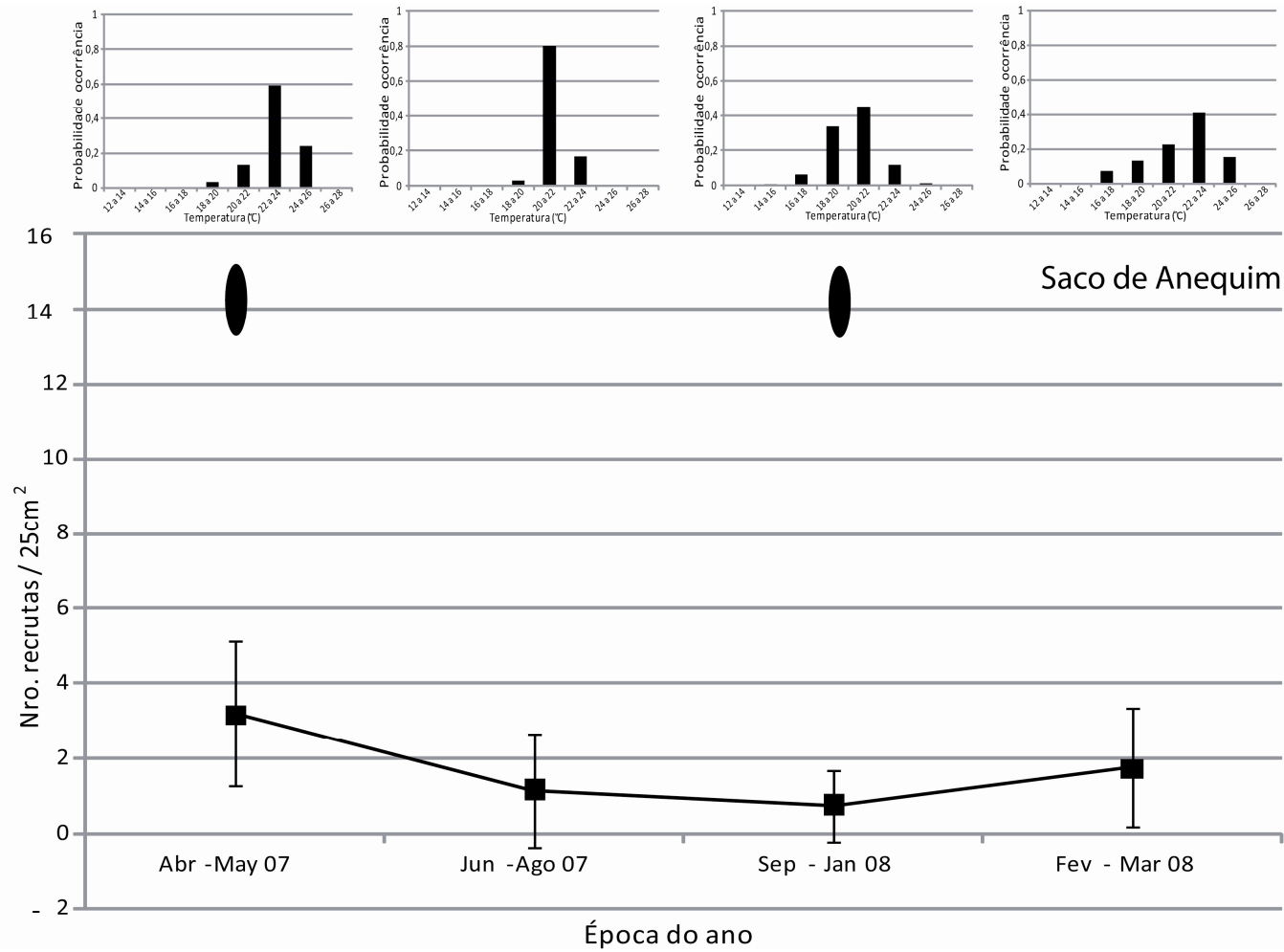


Figura 27: Densidade dos recrutas (valor médio  $\pm$  desvio padrão) e histogramas de temperatura para o local de amostragem Saco de Anequim.

○: Picos de liberação de larvas, registrados no laboratório e na Ilha Grande.

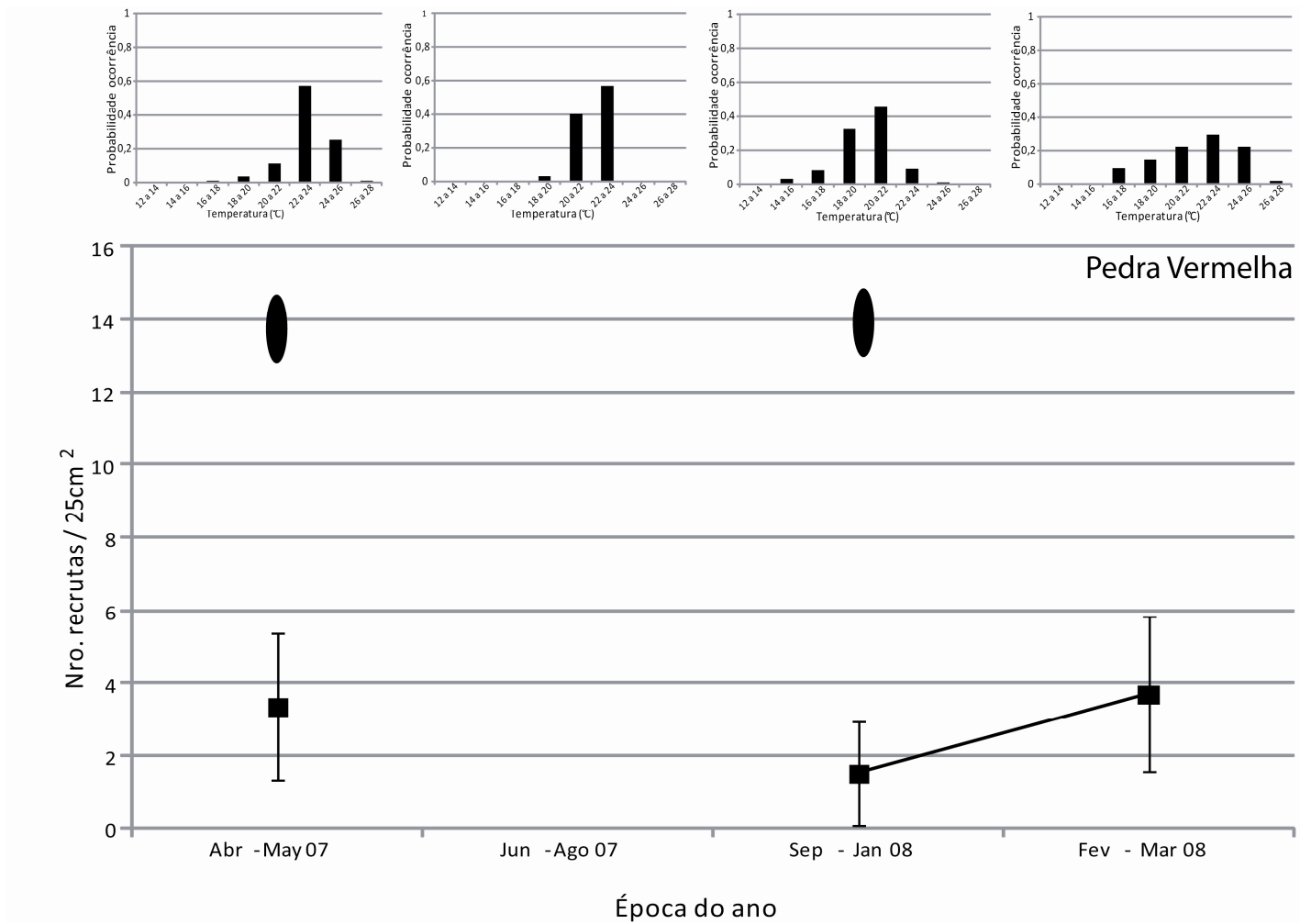


Figura 28: Densidade dos recrutas (valor médio  $\pm$  desvio padrão) e histogramas de temperatura para o local de amostragem Pedra Vermelha.

● Picos de liberação de larvas, registrados no laboratório e na Ilha Grande.



#### 4.3.3. Experimentos no laboratório: Crescimento

A partir dos experimentos realizados para avaliar a influência da temperatura e da luminosidade no consumo de oxigênio, como indicador do crescimento de *T. coccinea*, se observou um efeito significativo da temperatura (ANOVA bifatorial -temperatura e luminosidade- fator temperatura:  $p < 0,05$ ) (Figura 29). Analisando o padrão obtido, observou-se uma clara tendência de aumento da taxa de consumo do oxigênio à medida que aumentou a temperatura, onde as colônias foram mantidas. Essa tendência se manteve ao longo de todos os tratamentos de temperatura até se tornar uma diferença significativa chegando aos 28°C (Tabela 10). A partir desse valor até os 32°C o padrão se modificou, já que o consumo de oxigênio permaneceu constante (platô entre 28 e 32°C). O ponto mais alto da curva aos 28°C correspondeu possivelmente ao ótimo metabólico das colônias analisadas. Foi observado o mesmo padrão para ambos os experimentos de manipulação de luz realizados (Escuridão: 0  $\mu\text{E}$  e níveis saturados de iluminação: 220-229  $\mu\text{E}$ ). O fator luminosidade não resultou significativo ( $p = 0,593$ ), nem a interação entre luz e temperatura ( $p = 0,506$ ).

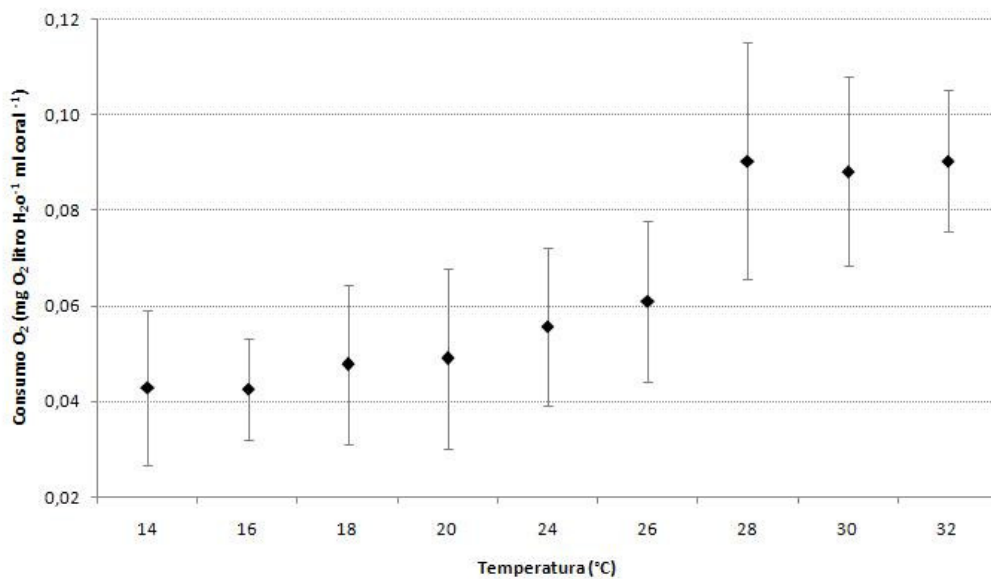


Figura 29: Valores médios,  $\pm$  desvio padrão, do consumo de oxigênio em função da temperatura. Estimativas realizadas a partir de experimentos manipulativos de laboratório.

Tabela 10: Valores de Teste de Tukey dois fatores: luz e temperatura (\*:p < 0,05; \*\*: p < 0,01)

		14°C	14°C	16°C	16°C	18°C	18°C	20°C	20°C	24°C	24°C	26°C	26°C	28°C	28°C	30°C	30°C	32°C	32°C	
		Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	Luz	Esc.	
14°C	Luz		1	1	1	0,99	1	1	0,8	0,97	0,93	0,81	0,6	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	
14°C	Escuridão			1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,01*	0,02*	0,01*	0,03*	0,00**	0,05	
16°C	Luz				1	1	1	1	0,89	0,99	0,97	0,89	0,73	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	
16°C	Escuridão					1	1	1	1	1	1	1	0,97	0,00**	0,01*	0,01*	0,01*	0,00**	0,02*	
18°C	Luz						1	1	1	1	1	1	1	0,02*	0,06	0,05	0,09	0,01	0,14	
18°C	Escuridão							1	0,98	1	1	0,98	0,91	0,00**	0,00**	0,00**	0,01*	0,00**	0,01*	
20°C	Luz								0,84	0,98	0,95	0,84	0,65	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	
20°C	Escuridão									1	1	1	1	0,14	0,31	0,27	0,4	0,06	0,52	
24°C	Luz										1	1	1	0,04*	0,12	0,1	0,16	0,02	0,24	
24°C	Escuridão											1	1	0,07	0,17	0,14	0,23	0,03	0,32	
26°C	Luz												1	0,14	0,31	0,26	0,4	0,06	0,52	
26°C	Escuridão													0,28	0,51	0,46	0,62	0,14	0,73	
28°C	Luz														1	1	1	1	1	
28°C	Escuridão															1	1	1	1	
30°C	Luz																1	1	1	
30°C	Escuridão																		1	
32°C	Luz																			1
32°C	Escuridão																			

#### 4.3.4. Experimentos no laboratório: Reprodução

Para os três tratamentos de luminosidade realizados foi observado um aumento na porcentagem de larvas aderidas nas paredes dos aquários com o aumento da temperatura (Figura 30). Mediante uma ANOVA bifatorial se observou um efeito significativo para o fator luz ( $p = 0,035$ ) e para o fator temperatura ( $p = 0,0000035$ ), assim como também para a interação entre eles ( $p = 0,038$ ). Na figura 30, se observou um aumento mínimo de 5 vezes na porcentagem de larvas assentadas, se comparadas as experiências com ambas temperaturas. Aos 18°C de temperatura, a porcentagem de larvas assentadas foi baixa. Isto ocorreu para todos os tratamentos de luminosidades, sem registrar-se diferenças significativas entre eles, o que sugere que o único fator limitante, em laboratório, foi a temperatura (Tabela 11). Contrariamente, a 28°C, foram observadas diferenças significativas no assentamento larval nos distintos tratamentos de luminosidade, sendo maior a baixos níveis de luz (Tabela 11). Por tanto, a esta temperatura estariam influenciando ambos os fatores no processo do estabelecimento das larvas.

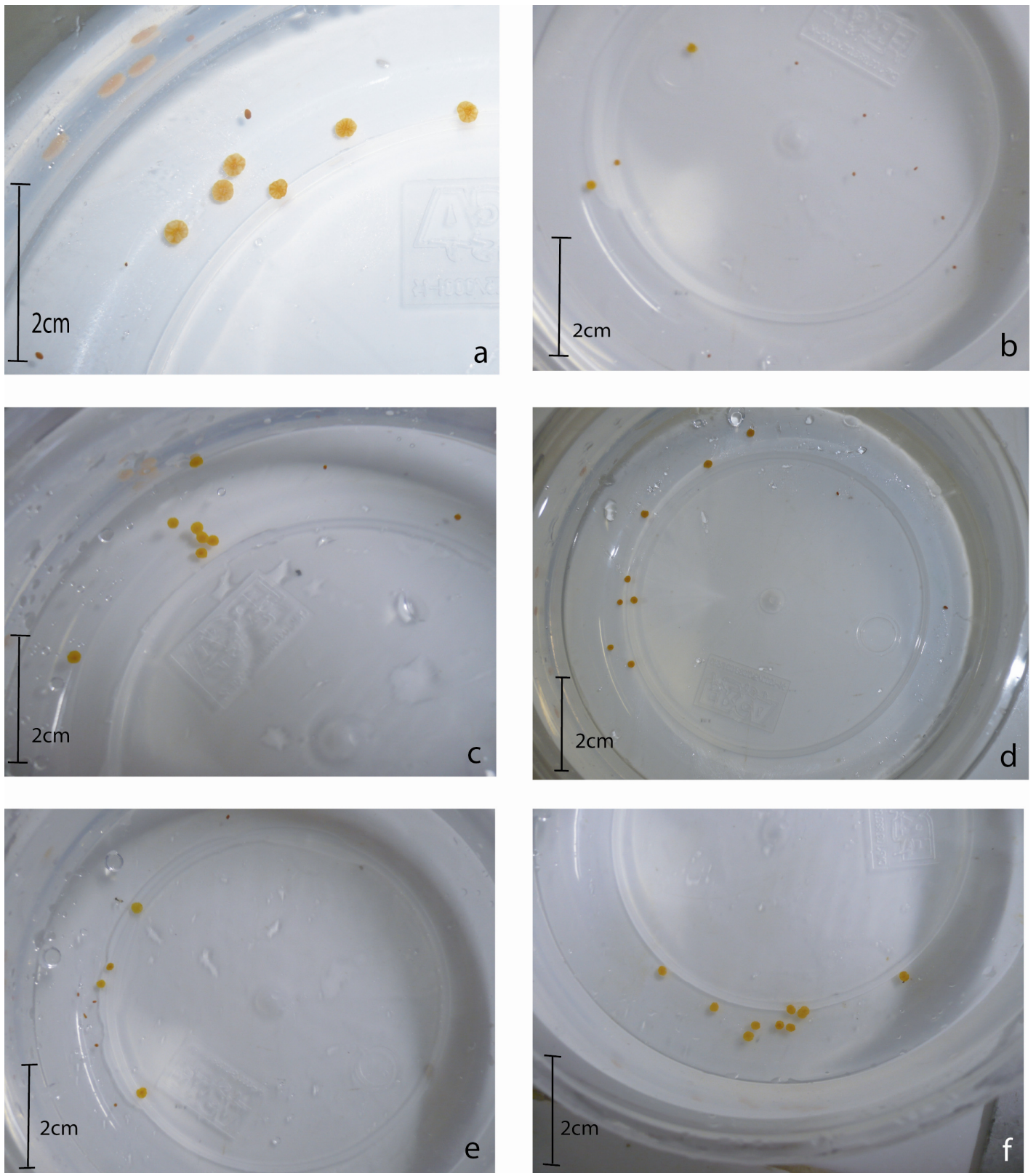


Figura 30: Assentamento de larvas de *T. coccinea*, ao vigésimo dia do experimento manipulativo, em laboratório. a: Detalhe de larvas com formação de septos do esqueleto de carbonato de cálcio. b: Maioria de larvas não assentadas a 18°C e escuridão. c,d,f: Assentamento larval a 28°C, escuridão. e: Assentamento a 28°C, 220-229  $\mu$ E.

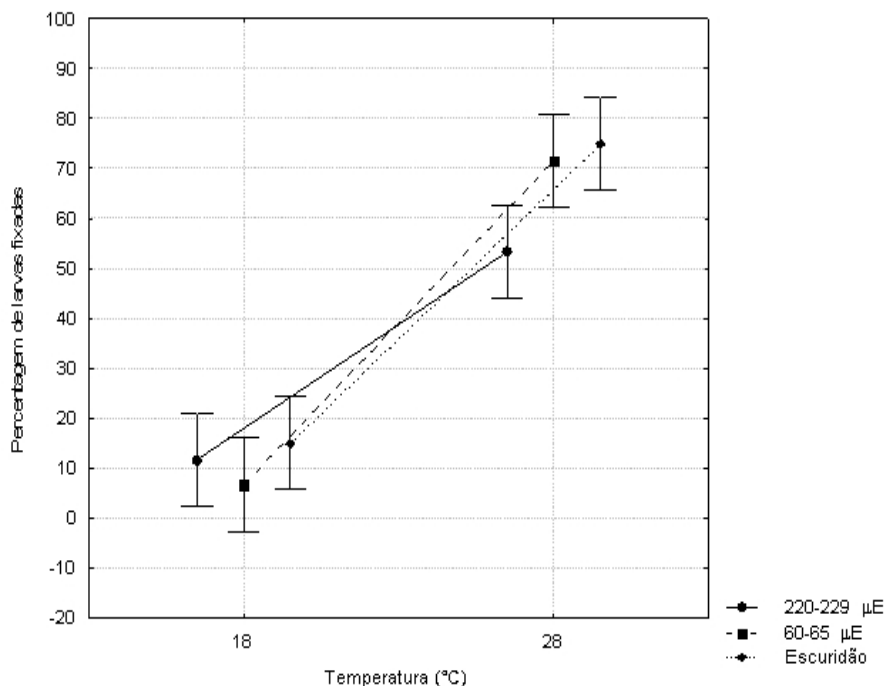


Figura 31: Percentagem de larvas assentadas para duas temperaturas (18 e 28°C) em três tratamentos de luminosidade.

Tabela 11: Resultado do Teste de Tukey utilizado para comparar as diferenças no assentamento de larvas para os fatores luminosidade e temperatura (\*: p<0,05; \*\*: p<0,01)

	Temp	18°C	18°C	18°C	28°C	28°C	28°C
Temp	Luz	220-229µE	60-65 µE	Escuridão	220-229µE	60-65 µE	Escuridão
18°C	220-229µE		0,97	1,00	0,00**	0,00**	0,00**
18°C	60-65 µE			0,79	0,00**	0,00**	0,00**
18°C	Escuridão				0,00**	0,00**	0,00**
28°C	220-229µE					0,08	0,02*
28°C	60-65 µE						1,00
28°C	Escuridão						

#### 4.4. Vetores da bioinvasão na RESEX-MAR de Arraial do Cabo

As espécies dominantes nas três monobóias foram as mesmas (Figura 31). *T. coccinea* foi a espécie mais representada, com uma cobertura total que variou entre 33,02 e 35,86% (% somada de cobertura de colônias adultas mais recrutas) entre as três monobóias. Porém, existem maiores semelhanças entre as percentagens de cobertura das monobóias 1 e 2 com respeito à 3. Estas diferenças significativas consistiram

principalmente em uma menor representatividade tanto dos poríferos *Mycale* sp. (ANOVA  $p=0,0000034$ ; teste de Tukey, Monobóia 1-Monobóia 3  $p<0,001$ ; Monobóia 2-Monobóia 3,  $p<0,001$ ), quanto de recrutas de *T. coccinea* (ANOVA  $p=0,000$ ; Teste Tukey, Monobóia 1-Monobóia 3  $p=0,000$ ; Monobóia 2-Monobóia 3,  $p=0,000$ ), na monobóia 3.

Nos fotos-quadrats foi possível observar que as colônias adultas, tanto de *T. coccinea* quanto de outra espécie do mesmo gênero, também invasora, *Tubastraea tagusensis* na monobóia 3, se encontram em um estado avançado de degeneração (Figura 33). Isto pode explicar de alguma forma, a baixa percentagem de cobertura de recrutas. As colônias adultas não estariam liberando larvas que poderiam recrutar na monobóia. Porém, em todas elas, a presença de colônias adultas de *T. coccinea* é semelhante com coberturas que oscilaram entre 22,5 e 32,5% com o qual fica evidente a potencialidade de estes vetores de origem antrópico, representando atuais riscos de reintrodução dessa espécie, na região de Arraial do Cabo. Apesar disso, não foi registrada nenhuma colônia de *T. coccinea* nem *T. tagusensis* aderida a outro substrato consolidado nas adjacências das monobóias.

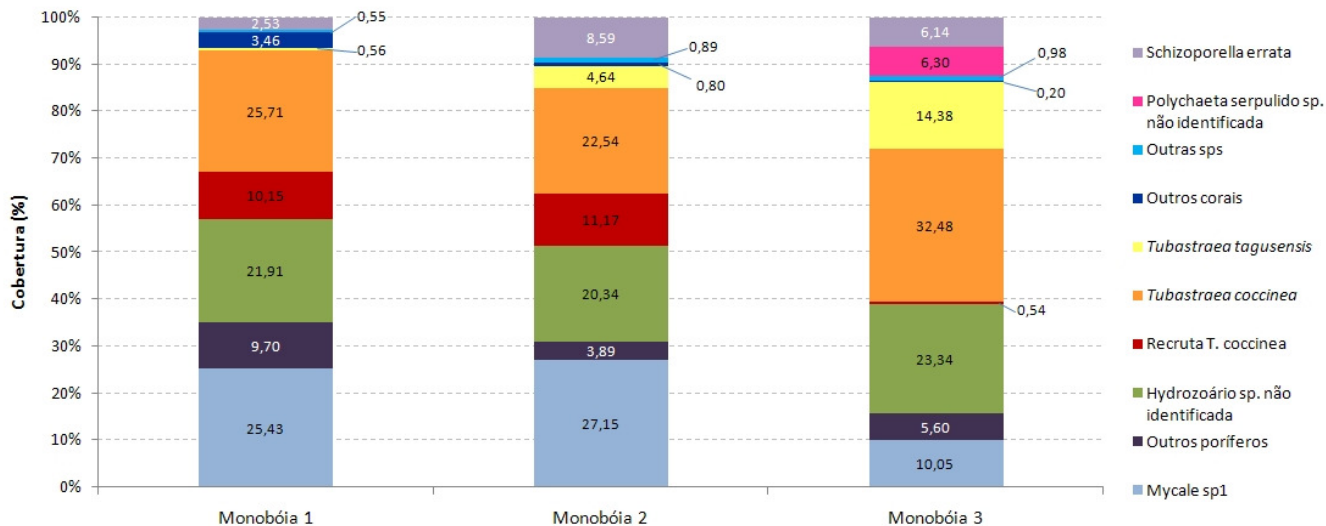


Figura 32: Percentagens de cobertura estimadas para as espécies bentônicas mais representadas, em três monobóias ancoradas no Porto do Forno (Arraial do Cabo, RJ).



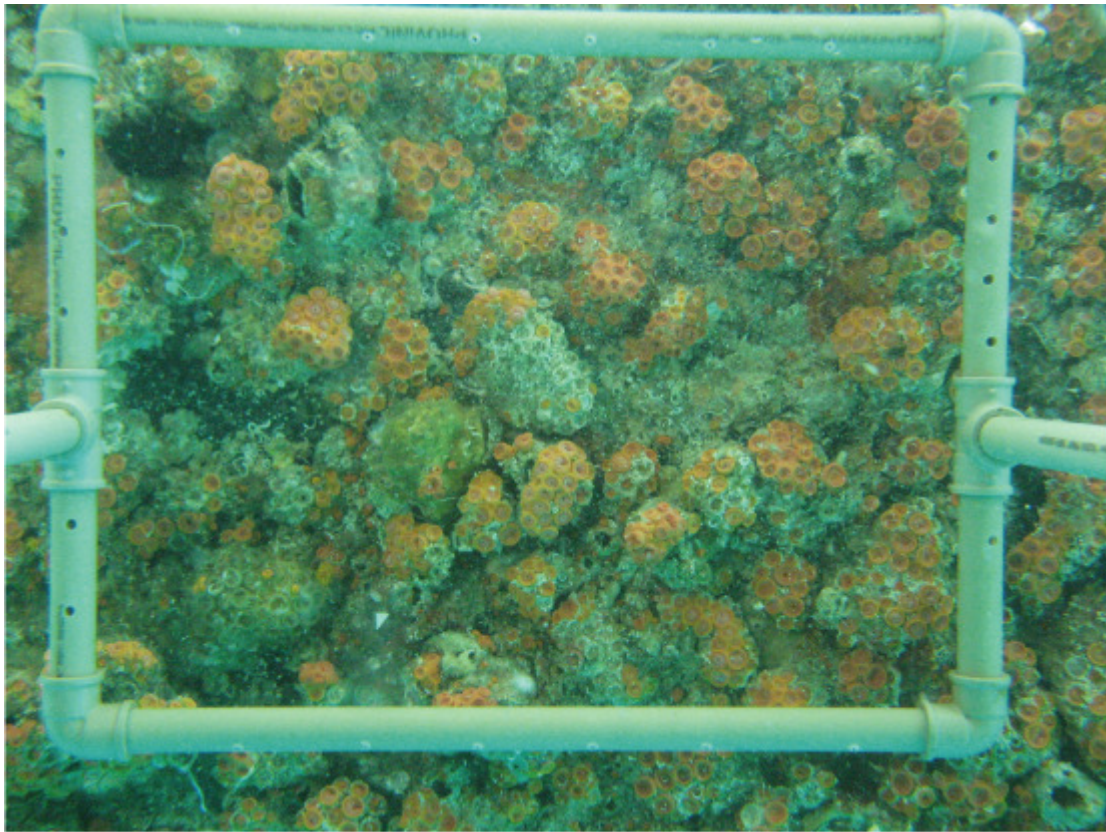


Figura 33: Foto-quadrat correspondente à monobóia 3, onde se aprecia a alta percentagem de cobertura de *T. coccinea* e o estado de degeneração das colônias.

## **5. DISCUSSÃO**

*Tubastraea coccinea* é um coral de origem tropical cuja invasão foi documentada e tem sido bem sucedida em regiões tropicais de todos os oceanos. Em geral, nos registros dos locais colonizados por este bioinvasor, observou-se um rápido sucesso competitivo com uma rápida expansão e dominância. Analisando a região mais próxima a Arraial do Cabo onde *T. coccinea* mostrou um processo de colonização bem desenvolvido, a Baía da Ilha Grande, tem sido observado que este coral tem ocupado rapidamente os costões rochosos em profundidades variáveis inclusive ocorrendo na região entremarés e alcançando uma cobertura máxima de 80% (Figueira de Paula e Creed, 2005; Creed, 2007), quase o dobro da cobertura máxima registrada em Arraial do Cabo. Porém, apesar da proximidade geográfica e temporal no processo de colonização, o estado atual das sucessões nestes locais é bem diferente.

Embora Arraial do Cabo encontra-se em uma região tropical (23°S), foram registradas durante o período de estudo temperaturas que não são próprias a ambientes dessas latitudes (até 13,5°C). Comparando os locais onde *T. coccinea* tem colonizado com grande sucesso, como por exemplo, o Golfo de México e a Península da Flórida, podemos constatar que a temperatura máxima observada em Arraial do Cabo (26,5°C), no presente estudo, é consideravelmente menor que nos locais onde essa espécie mostra um êxito imediato na colonização (30,6°C na Flórida) (Fenner e Banks, 2004). Dessa forma, nossos resultados mostraram a temperatura como principal responsável, entre os fatores testados, pela redução do processo de colonização dessa espécie em Arraial do Cabo. A frequência, duração e intensidade das temperaturas mínimas registradas durante os eventos de ressurgência limitam a distribuição de algumas espécies tropicais além de controlar o desenvolvimento de algumas sucessões ecológicas. São também os eventos de ressurgência que favorecem a subida das isotermas de menor temperatura, o que limita a distribuição vertical de muitas espécies tropicais presentes na região, a uns poucos metros de profundidade. *T. coccinea* não é uma exceção e isto pôde ser visto nos registros da profundidade de ocorrência dessa espécie na área de estudo, que não superam os 12 m, com maior presença entre 2 e 7 m de profundidade.

Embora os locais de amostragem encontrem-se próximos entre si, a distâncias de c.e. 2000m, houve entre eles diferenças tanto nos valores médios de temperatura quanto nas suas distribuições de frequências. Aspectos tais como a diferença na distribuição vertical do coral (distintas profundidades onde foram colocados os sensores de

temperatura) assim como também a direção predominante na circulação das massas d'água na região interna, poderiam explicar essas diferenças. Segundo Valentin *et al* (1975) e Candela (que realizou um modelo de circulação das massas de água, incluído em Pires Ribeiro, 2002), existe na baía formada entre as Ilhas de Cabo Frio, dos Porcos e o continente, uma circulação quase constante de águas no eixo Boqueirão-Ponta Leste (situada no extremo norte da Ilha de Cabo Frio). Quando o regime de ventos predominantes é dos quadrantes Sul e Oeste, as águas de subsidência entram pelo Boqueirão com direção à Ponta Leste. Se os ventos predominantes são do Norte-Nordeste, o sentido desta circulação se inverte em direção ao Boqueirão. Águas frias penetram quando o vento vem do Leste-Sudeste e podem entrar na baía tanto pelo Boqueirão quanto pela Ponta Leste. Segundo Candela, a circulação das águas nos locais Saco do Anequim e Pedra Vermelha é mais intensa e constante, enquanto que no Saco dos Cardeiros e na Ilha dos Porcos haveria maior estancamento e, portanto, aquecimento das massas de água, dado que os locais são menos profundos.

O registro contínuo e simultâneo de temperaturas, ao longo do ano de desenvolvimento do presente estudo, permitiu detectar diferenças significativas para o fator temperatura entre locais, dentro do ambiente interno da RESEX-MAR de Arraial do Cabo. Até o momento, não existiam estudos com este grau de detalhe e amplitude espaço-temporal da região, pelo que a área interna sempre foi considerada uniforme em relação a este fator.

Em Arraial do Cabo, *Tubastraea coccinea* ocorreu exclusivamente em locais sombreados; mais de 90% dos registros do coral corresponderam a luminosidades inferiores a 110  $\mu$ E. Consistentemente com os resultados obtidos, na bibliografia sempre é mencionada a preferência da espécie por locais de baixa intensidade luminosa (Vermeij, 2005). Porém, em nenhuma das observações realizadas, a intensidade luminosa foi quantificada.

Asume-se geralmente que a escolha do local de estabelecimento das larvas traga benefícios posteriores a sua sobrevivência (Denley e Underwood, 1979; Sebens, 1983; Raimondi, 1988) ou sua fecundidade. Como *T. coccinea* não apresenta associação simbiótica com algas *Zooxantella* nem *Symbiodinium* para a fixação de energia solar, o fato de se estabelecer em áreas iluminadas não implicaria nenhuma vantagem energética. Pelo contrário, em áreas iluminadas a competição por substrato seria maior,



incluindo tanto algas quanto espécies que possuem estes organismos simbiotes dependentes da luz.

Na área de estudo, *T. coccinea* ocorreu em inclinações entre 100 e 140°, em 80% dos casos. Tanto os recrutas quanto os adultos foram registrados unicamente ocupando áreas entre 90 e 170°. Não houve registros de recrutamento no campo em áreas com inclinação positiva do substrato. Porém, nos experimentos de estabelecimento de larvas realizados em laboratório, observou-se que a maioria dos assentamentos ocorreram nas áreas positivas dos aquários, fato que comprovou a capacidade das plânulas de *T. coccinea* de se fixar em áreas positivas. Em estudos prévios realizados no campo com larvas de corais dos gêneros *Oxypora* e *Platygyra*, que têm capacidade de se fixar em qualquer angulação do substrato, se observou maior mortalidade dos recrutas de até quatro meses, quando estes se estabeleciam tanto em áreas positivas quanto verticais, em relação às áreas negativas (Harriot, 1983; Sato, 1985; Babcock e Mundy, 1996). A explicação sugerida para isto foi que essa maior mortalidade era devida à acumulação de sedimentos nessas áreas, aumentadas pelo apanhado dos mesmos devido ao crescimento de tufos de algas filamentosas. Porém, esta conclusão não é absoluta nem engloba todas as espécies de corais. Existem autores que afirmam que a acumulação de sedimentos sobre áreas positivas inibe o estabelecimento das larvas (Hodgson, 1990; Babcock e Davies, 1991). Como estas espécies são próprias de ambientes consolidados não possuem estruturas especializadas para a fixação sobre sedimentos, pelo que a pressão de seleção não estaria atuando em nível de mortalidade de recrutas, mas impedindo o assentamento, como sugerido acima. Observações no presente trabalho estão de acordo com estas hipóteses, já que nos locais de ocorrência de *T. coccinea*, foi observada a presença de um tufo compacto de *Gelidium pusillum* acumulando sedimentos, no limite superior da distribuição destes corais. Mais estudos com experimentos tanto de remoção de tufos de *Gelidium pusillum*, quanto de replante de recrutas de *T. coccinea*, com distintas angulações, ajudariam a esclarecer estes aspectos.

Quando comparadas as percentagens de cobertura das espécies bentônicas nos locais onde ocorreu *T. coccinea* e analisando os índices de similaridade entre eles, pôde-se observar a relação direta que estes mantiveram com a distribuição vertical da espécie (profundidades dos sites de amostragem). Saco dos Cardeiros (prof. 2 a 4 m) e Ilha dos Porcos (prof. 4 a 7 m) guardam entre eles a maior percentagem de similaridade (40%), seguidos de Pedra Vermelha (prof. 6 e 9 m; similaridade de 25%). Este por sua vez é

seguido de Saco de Anequim (6 a 12 m, similaridade de 17%). Estes resultados devem ser interpretados com cautela já que não foram contemplados os limites das distribuições verticais das espécies que ocorreram com *Tubastraea coccinea*. Resultados semelhantes foram observados ao comparar as percentagens de similaridades entre locais para as comunidades em ausência de *T. coccinea*. Os locais mais semelhantes foram os que tiveram maior faixa de profundidade. A distribuição dos organismos bentônicos é determinada pela profundidade (Doty, 1946; Lewis, 1964). Se isto tivesse sido estritamente considerado, dadas as diferenças nas profundidades entre os locais de amostragem, só teria sido possível realizar uma comparação restrita a uma faixa de 3 m de profundidade, entre Pedra Vermelha e Anequim, e apenas 1 m se incluído o local Ilha dos Porcos. Saco dos Cardeiros não poderia ser considerado nesta análise.

Em outras comparações entre os índices de similaridade, pode-se observar que estes são menores **entre** locais (0,10 a 0,45) do que para **um mesmo** local na presença e ausência de *T. coccinea* (0,34 a 0,45). Estabelecendo um critério de corte de 50% de percentagem de similaridade, se observa uma reestruturação das comunidades bentônicas que acompanha a presença de *T. coccinea*, apenas a nível pontual (em cada local de amostragem), mas não se pode afirmar que esta espécie seja estruturante da comunidade nativa da RESEX-MAR de Arraial do Cabo. Apenas poderíamos hipotetizar que o coral invasor aumenta a complexidade do habitat e como consequência há um aumento da diversidade e riqueza de espécies bentônicas. Dificuldades na avaliação do impacto de *Tubastraea coccinea* surgem com a metodologia aqui utilizada, já que não é possível estabelecer convincentemente relações causais que expliquem os padrões encontrados. Experimentos manipulativos, com maior controle das variáveis ambientais, com remoção deste coral e um acompanhamento ao longo prazo seriam necessários para avaliar o impacto sobre as comunidades locais.

Outra questão que precisa ser observada com especial atenção é a análise de áreas totais de amostragem entre locais, que foram diferentes: na Ilha dos Porcos 26m<sup>2</sup>; no Saco dos Cardeiros 15m<sup>2</sup>; no Saco de Anequim 10,25m<sup>2</sup> e na Pedra Vermelha 9,71m<sup>2</sup>. Como é sabido, a riqueza de espécies depende do tamanho da mancha analisada (Williamson, 1981), especialmente para organismos bentônicos e mais ainda quando a distribuição dos indivíduos é agregada. Porém, devido ao fato de que o processo de colonização de *T. coccinea* em Arraial do Cabo é restrito a umas poucas áreas de

pequeno tamanho, isto limitou as possibilidades de escolha de áreas semelhantes e de mesma extensão. Ainda que se tivesse restrito em todos os locais o tamanho das áreas analisadas de forma de que fossem equivalentes, encontrar-nos-íamos com problemas tais como efeito de borda diferente para cada local. Isto deve ser tomado em consideração já que em cada site de amostragem, a presença de *T. coccinea* ficou restrita a uma ou poucas áreas de grandes corpos rochosos.

Tomando a área de estudo como um todo, a estimativa da taxa de crescimento para Arraial do Cabo foi de  $3,31\text{cm}^2\text{ano}^{-1}$ , durante o ano de estudo. Se comparado este valor com o registrado para o local de ocorrência mais próximo -  $5,85\text{cm}^2\text{ano}^{-1}$ , no canal central da Baía da Ilha Grande (Figueira de Paula, 2007) - observamos que o valor estimado no presente estudo foi consideravelmente inferior, embora Arraial do Cabo se situe a apenas 300 km ao norte da Ilha Grande, encontrando-se ainda em latitudes menores.

Diferenças na taxa de crescimento de *T. coccinea* acompanhadas por diferenças da temperatura da água foram também observadas em uma escala espacial mais reduzida, entre os distintos pontos de amostragem. Comparando Saco dos Cardeiros, o local de temperatura média maior ( $21,63^\circ\text{C}$ ), com Pedra Vermelha com temperatura média menor ( $20,82^\circ\text{C}$ ), foi apreciável a diferença da taxa de crescimento entre eles ( $4,59\text{cm}^2\text{ano}^{-1}$  em Sacos dos Cardeiros;  $1,14\text{cm}^2\text{ano}^{-1}$  na Pedra Vermelha).

As experiências realizadas em laboratório, em que se estimou a taxa metabólica a partir de medições de consumo de oxigênio, permitiram inferir que o aumento na temperatura se reflete em um aumento do crescimento das colônias. Na medida em que foi aumentada a temperatura em laboratório, se observaram maiores taxas de consumo de oxigênio. Taxas metabólicas podem ser quantificáveis por taxa de consumo de oxigênio e apresentam base genética (Paynter *et al.*, 1991). As taxas de crescimento são correlacionadas, por sua vez, com taxas metabólicas a uma dada temperatura, como foi provado em vários organismos (Jobling, 1985; Kiorbe *et al.*, 1987).

Outros estudos que relacionam tanto o crescimento em área como populacional com a temperatura, em espécies de corais, também apóiam nossas observações. Carricart-Ganivet (2003) achou que tanto as taxas anuais de crescimento e calcificação, quanto a densidade populacional, em *Monastraea annularis*, são afetadas por redução da temperatura máxima da superfície do mar. Esse autor encontrou aumentos de  $0,57\text{g cm}^{-2}\text{ano}^{-1}$  por cada grau de aumento de temperatura superficial do mar e traçou zero

calcificação ocorrendo em temperaturas de 23,7°C, para corais do Golfo de México. Suas estimativas corroboraram com levantamentos no campo achando o limite latitudinal da distribuição de *M. anularis* correspondendo à isoterma de 24°C, da temperatura média anual da superfície do mar.

Por outro lado, Lough e Barnes (2000) observaram que a taxa de crescimento da área e a taxa de calcificação se vêm diminuídas a temperaturas baixas, em corais maciços do gênero *Porites*. Para corais maciços e no hermatípicos, como *T. coccinea*, a taxa de calcificação guarda uma relação direta com a taxa de crescimento de área. Em Arraial do Cabo, se observou que tanto um aumento das frequências e intensidades das temperaturas mínimas limita a distribuição de *T. coccinea* à área tropical interna, quanto retardam o crescimento do coral.

Quando foi avaliado no laboratório o efeito do fator luminosidade na taxa de crescimento, não se obtiveram resultados que respaldassem a hipótese proposta de que uma menor luminosidade implicaria em maior crescimento do coral. Esta hipótese tem sido proposta devido ao consenso nos registros em nível mundial, da preferência desta espécie por áreas escuras. Com os resultados do presente estudo, não estaríamos em condições de afirmar que uma diminuição na luminosidade que atinge as colônias incrementaria a aptidão evolutiva, quer dizer, a seleção natural não estaria operando através da luz, ao menos em estágios adultos.

Por outro lado, em laboratório foi observado um efeito significativo do fator luminosidade no assentamento das larvas de *Tubastraea coccinea*. Nas experiências em que se mantiveram larvas deste coral a 28°C, houve uma maior proporção de estabelecimentos em condições de escuridão. Portanto, a seleção natural estaria operando em nível do estabelecimento da larva, mas com isto não pode-se descartar que exista pressão de seleção através de mortalidade pós-estabelecimento.

Existem estudos que têm demonstrado que plânulas de corais se deslocam tanto ativa quanto passivamente e exibem um comportamento complexo durante o assentamento (Badcock e Mundy, 1996; Raimodi e Morse, 2000; Stake e Sammarco, 2003). A chegada de plânulas a um local favorável para o assentamento carece de significado ecológico se essa plânula tem passado ao chamado “ponto sem retorno” ou tornando-se uma larva “morta-viva” (Raimondi e Morse, 2000). Isto ocorre quando a larva já consumiu uma grande quantidade da sua reserva energética, não tendo suficiente energia para realizar a metamorfose e sua morte seria inevitável. Embora as

larvas sejam capazes de sobreviver na coluna d'água, se elas investirem excessiva energia na atividade de fuga de ambientes desfavoráveis, isto resultaria num impedimento para futuras etapas de desenvolvimento e sobrevivência (Vermeij, 2006).

As larvas que foram mantidas a 28°C em condições de alta luminosidade foram observadas nadando em forma ativa em um comportamento que poderia ser interpretado como a procura de locais com condições de luminosidade menos intensas. A diferença nas percentagens de estabelecimento nos distintos tratamentos de luz a 28°C poderia ser devida ao consumo de reservas energéticas destas larvas, que nadam continuamente na procura de locais escuros. Não se conhece quais são os processos envolvidos nessa busca, mas acredita-se que larvas de corais possuem órgãos ou células fotossensíveis, como o sugerido para o coral no hermatípico *Montastrea faveolata*, que poderiam funcionar com esse propósito (Gorbunov e Falkowski, 2002). Isto também poderia ocorrer com plânulas de *Tubastraea coccinea*. Com isto pode-se pensar em uma ação da seleção natural ao nível de escolha da larva.

Muitas larvas que não se estabeleceram durante diferentes experimentos, depois do término dos mesmos ficaram nadando durante vários dias, mas sem experimentar assentamento nem metamorfose embora tenham sido colocadas em condições favoráveis de luminosidade e temperatura, o que sugere que poderiam estar nesse “ponto sem retorno”. Foi observado o assentamento de plânulas após 20 dias da liberação o que superaria o registro realizado por Figueira de Paula (2007). Estas larvas foram mantidas a temperaturas de 18°C e, finalizado o experimento, foram colocadas a temperatura ambiente (aprox. 26°C) 24 h após o qual foi observado o assentamento. Sugere-se, então, que para locais com maior permanência de temperaturas que poderiam se considerar baixas para esta espécie (próximas a 18°C), como pode ocorrer em Arraial do Cabo, a viabilidade das larvas na coluna de água seja maior, dado que o metabolismo das mesmas se torna mais lento.

Em relação ao fator temperatura, também houve um efeito significativo no assentamento larval, com maior proporção de larvas estabelecidas a maiores temperaturas. Porém, essa variação não foi uniforme tomando em consideração os diferentes tratamentos de iluminação, e evidenciando um efeito conjunto dos dois fatores. Para temperaturas inferiores, não houve diferenças significativas entre os tratamentos de luz, enquanto que para temperaturas superiores sim. Isto poderia significar que a temperatura estaria atuando como um fator **limitante** do

estabelecimento a baixos valores do mesmo - a 18°C o número de larvas estabelecidas foi mínimo -, e o fator luminosidade seria um **regulador** do assentamento somente em condições favoráveis de temperatura – maior estabelecimento a 28°C e escuridão que a 28°C e saturação de luz. Uma análise evolutiva desse aspecto contemplaria o desenvolvimento da capacidade, por parte da larva, de escolher o local de assentamento em função da luminosidade (deslocando-se por natação ativa a locais escuros) e a impossibilidade de modificar o fator temperatura durante o processo de estabelecimento. A capacidade de translocação ativa das larvas lecitotróficas é restrita a pequenas distâncias (Vermeij, 2006). Portanto, as plânulas de *T. coccinea* poderiam escolher somente, em nível de microhábitat, locais escuros para assentar-se, mas não teriam a capacidade de se deslocar por longas distâncias (talvez subindo na coluna d'água) à procura de temperaturas mais favoráveis. As baixas temperaturas poderiam inibir o metabolismo das larvas impedindo a metamorfose e portanto, o estabelecimento (Edmondson, 1946). No extremo oposto, é provável que altas temperaturas (acima de 33°C) causem efeitos negativos na fisiologia das larvas (Coles, 1985; Richmond, 1997) com uma conseqüente diminuição do assentamento (Jokiel e Guinther, 1978).

Os resultados obtidos em laboratório foram relacionados com os obtidos no campo. Os padrões de recrutamento ao longo do ano mostraram apenas um máximo, correspondente ao primeiro pico de liberação de larvas, e não se observou o segundo pico de recrutamento esperado no período setembro-janeiro, concordante com um segundo pico de liberação de larvas. A partir do mês de setembro se observam nos gráficos de temperaturas, tanto dos locais de ocorrência da espécie quanto no Boqueirão, grandes oscilações com a ocorrência de valores mínimos absolutos para o ano, que são manifestações de eventos de ressurgência. Estas temperaturas mínimas e fundamentalmente a freqüência de baixas temperaturas (inferiores a 22°C) seriam as responsáveis pela ausência de um segundo pico de recrutamento. Isto poderia ser devido tanto à inibição do metabolismo das larvas liberadas, que limitaria a metamorfose das mesmas e, portanto, o assentamento, quanto à inibição da gametogênese ou embriogênese das colônias adultas, ou seja, poderia não acontecer o segundo pico reprodutivo no ano, para *Tubastraea coccinea* na área de Arraial do Cabo. Existem estudos que demonstram a sazonalidade da espermatogênese e o desenvolvimento de larvas de *T. coccinea* relacionados com a diminuição da temperatura do mar por ressurgência, nas Ilhas Galápagos (Glynn *et al.*, 2007). Esta questão poderia ser

resolvida realizando experimentos de campo colocando armadilhas de larvas nos locais de ocorrência do bioinvasor. Por outro lado, deveriam realizar-se estudos a partir de cortes histológicos de colônias coletadas nos períodos mencionados para analisar o estado do ciclo gametogênico e embriogênico.

As diferenças encontradas para as densidades de recrutas entre os locais estudados poderiam responder a mais de uma questão. Como vemos nos resultados, os locais se agrupam por pares; Cardeiros e a Ilha dos Porcos com maior recrutamento que o Saco do Anequim e a Pedra Vermelha. Rapidamente surge a hipótese de que estes agrupamentos podem ser devidos às diferenças de temperatura entre estes locais (considerando tanto temperaturas médias quanto frequência de temperaturas). Esta associação é mais fácil de obter depois que observamos o efeito da temperatura na taxa de assentamento no laboratório. Somado a isto, considerando o modelo de circulação da água na região interna (Valentin *et al.*, 1975; modelo desenvolvido pelo Dr. Candela em: Pires Ribeiro, 2002) onde tanto na Ilha dos Porcos quanto no Saco dos Cardeiros o regime hidrodinâmico é mais estacionário em relação a Anequim e Pedra Vermelha, poderíamos pensar que nestes últimos locais as larvas liberadas são “extraídas” em maior quantidade pelas correntes e, portanto, têm menos recrutas. Outros fatores que podem estar relacionados às diferenças no recrutamento são a profundidade e a inclinação do substrato. A maior inclinação e menor profundidade do Saco dos Cardeiros e da Ilha dos Porcos poderiam também favorecer o assentamento larval. Para estudar se esse padrão ocorre ou não por acaso, deveriam ser realizado tanto experimentos de assentamento no laboratório oferecendo diferentes inclinações de substrato e manipulações da pressão hidrostática dos aquários, dada a comprovada influência da pressão em outras espécies de corais escleractínios (Stake e Sammarco, 2003).

As colônias de corais são compostas por módulos, unidades que derivam todas de um mesmo zigoto, o que poderíamos considerar como clones. Estes podem se separar em fragmentos independentes e sobreviver sob diversas condições ambientais, o que constitui uma estratégia de reprodução assexuada. Isto já tem sido documentado em várias espécies de corais (Coates e Jackson, 1985; Harper, 1985). A fragmentação em nestes organismos implicaria em algumas vantagens como, por exemplo, um rápido aumento na biomassa de um mesmo genótipo a partir de diferentes unidades simultâneas de crescimento (Jackson, 1977; Hughes *et al.*, 1992). Outra vantagem é a

maior sobrevivência dos fragmentos recrutados devido a um maior tamanho, quando comparados com o tamanho inicial dos recrutas a partir de plânulas (Jackson, 1977). Por outro lado, a estratégia assexuada é vantajosa quando a reprodução sexual se vê restrita por sazonalidade (Szmant, 1986). *Acropora palmanta* e *Montastraea* spp. são alguns exemplos extremos disto, nos quais já se observou ausência total de recrutamento sexual em vários estudos (Dustan, 1977; Bak e Engel, 1979; Hughes e Jackson, 1980; 1985). Durante a realização deste trabalho foi observada sobrevivência prolongada de fragmentos de colônias de *T. coccinea* tanto em laboratório quanto em experiências piloto de manipulação no campo. Apesar disto e da existência dos registros de reprodução assexuada desta espécie em outros locais invadidos (Figueira e Creed, 2005), a colonização deste coral em Arraial do Cabo claramente não acontece por fragmentação. Evidência disto é que a presença de colônias foi sempre registrada em áreas com inclinação negativa, o que pode ser explicado unicamente pelo assentamento de larvas, já que fragmentos de colônias de corais somente podem se estabelecer em áreas com inclinação positiva onde se depositam por gravidade.

Juntamente com a análise do processo biológico que marcadamente influi na colonização de *T. coccinea* em Arraial do Cabo, o recrutamento larval, uma interpretação a nível macroecológico é pertinente. Frequentemente, as espécies exóticas somente conseguem se instalar com sucesso em novos ambientes, depois de ter fracassado em várias introduções prévias (e.g. Veltman *et al.*, 1996). Alguns exemplos disto são o caso do estorninho (*Sturnus vulgaris*) nos Estados Unidos estabelecido com sucesso somente após 8 introduções registradas (Lever, 1985) ou o acontecido com o cervo nobre (*Cervus elaphus*), cuja invasão começou a ocasionar prejuízos econômicos sérios após 31 introduções, na Nova Zelândia (Clarke, 1971). A presença de *T. coccinea* em Arraial do Cabo poderia ser explicada, então, por múltiplas reintroduções mediadas pela intensa atividade portuária na região. Com isto, a espécie deve ter superado variações demográficas estocásticas (Shaffer, 1981; 1987) e ambiente-temporais (Lande, 1988; Simberloff, 1988; Mack, 1995), que operaram com maior força, em etapas iniciais da bioinvasão.

Sax e Brown (2000) mencionam outros dois fenômenos que podem afetar o sucesso da introdução, e que talvez sejam mais significativos no caso de Arraial do Cabo. O primeiro deles considera a variação ambiental espacial. Muitas espécies invasoras, amplamente distribuídas, são raras ou ausentes em locais onde os fatores



bióticos e/ou abióticos se encontram abaixo de níveis ótimos, embora estes “ambientes marginais” se localizem dentro do próprio padrão de distribuição geográfica (Brown *et al.*, 1995; 1996). Arraial do Cabo poderia ser considerado como um ambiente marginal se levadas em consideração às análises comparativas já realizadas com a Ilha Grande para as taxas de crescimento, percentagens de cobertura máxima, distribuições do coral invasor e temperaturas. O segundo fenômeno que limitaria a invasão contempla a força ou intensidade da presença da espécie introduzida. Espécies que têm se estabelecido em múltiplos locais dentro de uma região colonizada, tem maiores possibilidades de persistência. É possível resgatar populações da extinção causada por variações tanto demográficas quanto ambientais devido ao aporte de populações próximas (Brown e Kodric-Brown, 1977). Novamente, a temperatura seria responsável das diferenças achadas entre Ilha Grande e Arraial do Cabo, onde a presença do bioinvasor é confinada a uns poucos locais.

Além do intenso tráfego marítimo na RESEX-MAR de Arraial do Cabo devido ao Porto do Forno, neste trabalho foi comprovado o papel ativo das monobóias ancoradas no mesmo, como vetores de *Tubastraea coccinea*, evidenciando uma alta representatividade do bioinvasor. Porém, uma observação que chamou a atenção foi o fato de não ter sido registrada nenhuma colônia adulta nem recruta nos substratos consolidados nas proximidades das mesmas. Isto poderia ser causado pela alta quantidade de sedimentos ressuspensos devido ao trânsito de embarcações neste ambiente antrópico. Estes sedimentos prejudicariam tanto processos de alimentação e respiração de colônias adultas quanto o estabelecimento de larvas. Outra observação talvez coerente com esta hipótese, foi que na monobóia 3 as colônias de *T. coccinea* e *T. tagusensis* mostraram um alto grau de degeneração. Possivelmente esta monobóia seja mais antiga e permaneceu mais tempo no ambiente portuário com o que as colônias aderidas nela estiveram expostas durante mais tempo aos efeitos nocivos dos sedimentos em suspensão.

Este estudo poderia ser aplicado na hora de delinear estratégias de controle e erradicação de esta espécie invasora. Uma estratégia em curto prazo e de baixo custo seria a remoção manual das colônias das áreas de ocorrência. A partir das curvas de recrutamento, poderiam ser definidos períodos mais adequados para essa remoção. Como o maior pico reprodutivo acontece entre abril e maio, seria recomendável a remoção dos indivíduos antes desse período. Desta forma, se reduziria a quantidade de

colônias que estariam liberando larvas, reduzindo conseqüentemente o suprimento larval. Nossos estudos mostraram que os locais que precisam de maior controle são a Ilha dos Porcos e o Saco dos Cardeiros, onde as taxas de recrutamento foram maiores.

Porém, não basta estabelecer estratégias de controle se ainda existem vetores ativos de *Tubastraea coccinea* na região. Os principais vetores seriam as monobóias, com altas densidades da espécie, e barcos que entram ao Porto do Forno assim como também plataformas de petróleo que têm ingressado para manutenção. Estudos como o presente devem ser acompanhados da implementação de políticas dirigidas a minimizar os riscos ambientais que vão aumentaram com o incremento do comercio internacional e o tráfego marítimo.

## **6. CONCLUSÕES**

- Através das análises ao campo e por constatações em laboratório comprovou-se que o crescimento em área das colônias de *Tubastraea coccinea* é influenciado pela temperatura. Porém, não pode se asseverar o mesmo para o fator luminosidade.
- A taxa anual de crescimento em área, das colônias deste coral de origem tropical, estimada para Arraial do Cabo, é inferior à obtida em localidades próximas e de latitudes inclusive maiores. Isto é devido ao fenômeno de ressurgência na região.
- Para valores baixos de temperatura, este fator atua como um limitante do assentamento larval em *T. coccinea*. Por outro lado, em condições ótimas de temperatura, o fator luminosidade é um regulador do estabelecimento das plânulas deste coral.
- O fenômeno de ressurgência afeta o padrão de recrutamento de *Tubastraea coccinea* em Arraial do Cabo.
- Existem grandes diferenças na estrutura das comunidades em presença ou ausência de *T. coccinea*. A riqueza e a diversidade de espécies foram maiores na presença do coral invasor. Porém, experimentos manipulativos são requeridos para determinar se essas diferenças observadas são conseqüências da presença do coral invasor.
- Estudos dirigidos para avaliar o suprimento larval de *T. coccinea* são necessários para determinar em que nível é afetado o recrutamento durante os períodos de ressurgência, na região interna da RESEX-MAR de Arraial do Cabo. Estes deveriam ser complementados com estudos dos ciclos gametogênico e embriogênico, na região.
- Para um delineamento efetivo de políticas de controle da espécie invasora, deveria se considerar a remoção mecânica das colônias adultas em épocas prévias ao período correspondente ao pico máximo de recrutamento (abril-maio). Um aumento da fiscalização do tráfego marítimo na RESEX-MAR de Arraial do Cabo também é necessário se contempladas as evidências da existência de vetores ativos de esta espécie na região.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AYRE, D.J., REICING, J.M. 1986. "Sexual and asexual production of planulae in reef corals". Mar. Biol, v.90 pp.187-190.
- AZEVEDO GARCIA, P.H. 2004. *The distribution of the Tubastraea coccinea (Cnidaria: Scleractinia) coral in Arraial do Cabo, Brazil*. Dissertação. Escola Americana do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BABCOCK, R.C., DAVIES, P. 1991. "Effects of sedimentation on settlement of *Acropora millepora*". Coral Reefs. v.9 pp.205-208.
- BABCOCK, R., MUNDY C. 1996. "Coral recruitment: consequences of settlement choice for early growth and survivorship in two scleractinians". J. of Exp. Mar Biol. and Ecol.. v.206 pp.179-201.
- BAK, R.P.M., ENGEL, M.S. 1979. "Distribution, abundance, and survival of juvenile hermatypic corals (Scleractinia) and the importance of life history strategies in the parent coral community". Mar. Biol. v.54 pp. 341-352.
- BRENCHLEY, G.A., CARLTON, J.T. 1983. "Competitive displacement of native mud snails by introduced periwinkles in the New England intertidal zone". Biol. Bull. v. 165 pp.543-558.
- BROWN, J.H., MEHLMAN, D.W., STEVENS, G.C. 1995. "Spatial variation in abundance". Ecol, v.76 pp.2028-2043.
- BROWN, J.H., STEVENS, G.C. KAUFMAN, D.M. 1995. "The geographic range, size, shape, boundaries, and internal structure." Ann. Rev. of Ecol. and Syst., v.27 pp.597-623.
- BROWN, J.H., KODRIC-BROWN, A. 1977. Turnover rates in insular biogeography, effect of immigration on extinction". Ecol. v.58 pp.445-449.
- BYERS, J.E. 2000. "Competition between two estuarine snails: implications for invasions of exotic species". Ecol. v. 81 pp.1225-1239.
- CAMPBELL, R.D. 1983. *Cnidaria*. Em Giese, A.C. e Pearse, J.S. (Eds): *Reproduction of Marine Invertebrates I*. Academic Press, New York, pp.133-200.
- CAIRNS, S. 2000. "A revision of the shallow-water azooxanthellate Scleractinia of the Western Atlantic". Stud. Nat. Hist. Carib. v.75 pp.240.
- CARLTON, J.T. 1979. *History, biogeography, and ecology of the introduced marine invertebrates of the Pacific coast of North America*. D. Sc. University of California. California.

- CARLTON, J.T., GELLER, J. 1993. "Ecological roulette: The global transport and invasion of nonindigenous marine organisms". *Science* v.261 pp.78-82.
- CARLTON, J.T. 1985. "Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water". *Oceanographic and Marine Biology Annual Review*. v.23 pp.313-371.
- CARLTON, J.T. 1999. "A journal of biological invasions". *Biological invasions*. v. 1
- CARRICART-GAVINET, J.P. 2004. "Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. v.302 pp.249-260.
- CARROLL, S.P., DINGLE, H. 1996. "The biology of post-invasions events". *Biol. Conserv.* v. 78 pp.207-214.
- CARVALHO, W.F. 2000. "Produção bacteriana e fitoplanctônica da região da ressurgência de Arraial do Cabo, RJ". M. Sc.Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- CASTRO, C.B.; ECHEVERRÍA, C.A.; PIRES, D.O.; MASCARENHAS, B.J. & FREITAS, S.G. 1995. "Distribuição de Cnidaria e Equinodermata no infralitoral de costões rochosos de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil." *Rev. Brasil. Biol.* v.55 pp. 471-480.
- CLARKE, C.M.H. 1971. "Liberations and dispersal of red deer in northern South Island districts". *New Zealand Journal of Forest Science* v.1 pp. 194-207.
- CLEMENTS, F.E. 1916. "Plant succession: Analysis of the development of vegetation". Carnegie Institute of Washington Publication. v.242. Washington D.C.
- COATES, A.G., JACKSON, J.B.C. 1985. "Morphological themes in the evolution of clonal and a clonal marine invertebrates." Em: Jackson, J.B.C., Buss, L.W., Cook, R.E. (Eds), *Population Biology and Evolution of Clonal Organisms*. Yale University Press, New Haven, CT, pp.67-106
- COLES, S.L. 1985. *The effects of elevated temperature on reef coral planulae settlement as related to power plant entrainment*. In: Gabrié C, et al. Proc. 5<sup>th</sup> International Coral Reef Congress. v.4. Antenne Muscum-EPHE, Moorca, French Polynesia, pp.171-176.
- COSTA, L.V.G., SOUZA, E.C.F., COUTINHO, R. 2007. *Levantamento das espécies bentônicas marinhas na região de Cabo Frio, sudeste do Brasil*. VII Encontro de Bioincrustação, Ecologia Bêntica e Biocorrosão. Arraial do Cabo, Brasil.
- COX, G.W. 1999. *Alien species in North America and Hawaii*. Island Press.

- CREED, J.C. 2006. "Two invasive alien azooxanthellate corals, *Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis*, dominate the native zooxanthellate *Mussismilia hispida* in Brazil". *Coral Reefs*. v. 25 pp 350.
- CREED, J.C., FIGUEIRA DE PAULA, A. 2007. "Substratum preference during recruitment of two invasive alien corals onto shallow-subtidal tropical rocky shores". *Marine Ecology Progress Series*. v. 330 p.101-111.
- DENLEY, E.J., UNDERWOOD, A.J. 1979. "Experiments of factors influencing settlement, survival and growth of two species of barnacles in New South Wales." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. v.36 pp.269-293.
- DOBSON, A., CRAWLEY, M. 1994. "Pathogens and the structure of plant communities". *Trend Ecol. Evol.* v. 9 pp.393-397.
- DOTY, M.S. 1946. "Critical tide factors that are correlated with the vertical distribution of marine algae and other organisms along Pacific Coast". *Ecology*, v.27 pp.315-328.
- DUSTAN, P. 1977. "Vitality of reef populations of Key Largo, Flórida: Recruitment and mortality. *Environ. Geol.* v.2 pp.51-58.
- EDMONDSON, C.H.1946. "Behaviour of coral planulae under altered saline and thermal conditions". *Bernice P Bishop Mus Oceas Pap* v.18 pp.283-304.
- ELTON, C.S. 1958. "The ecology of invasions by animals and plants". John Wiley and Sons. New York.
- FENNER, D. 2001. "Biogeography of three Caribbean corals (Scleractinia, Milleporidae, and Stylasteridae) species of Belize (Central America) and Cozumel (Mexico)". *Bull. Mar. Sci.* v.64, pp.143-154.
- FENNER, D., BANKS, K. 2004. "Orange cup coral *Tubastraea coccinea* invades Flórida and the Flower Garden Banks, Northwestern Gulf of Mexico". *Coral Reefs*. v. 23 pp. 505-507
- FERREIRA, C.E.L., PERET, A.C., COUTINHO, R. 1998. "Seasonal grazing rates and food processing by tropical herbivorous fishes". *J. Fish Biol.* v.53 pp.222-235.
- FERREIRA, C.E.L., GONÇALVEZ, J.E.A., COUTINHO, R. 2001. "Community structure of fishes and habitat complexity in a tropical rocky shore". *Environmental Biology of Fishes*. v.61 pp.353-369.
- FERREIRA, C.E.L. 2003. "Non-indigenous corals at marginal sites". *Coral Reefs* v.22 pp.498.

- FERREIRA, C. E. L.; GONÇALVES, J.E.A. & COUTINHO, R. 2004. “Cascos de navios em plataformas como vetores na introdução de espécies exóticas”. In: Salles Vianna da Silva, J. Corrêa de Souza, R.C. (Orgs) Água de lastro e bioinvasão. Ed. Interciência. pp.143-155.
- FERREIRA, C.E.L., GONÇALVES, J.E.A., COUTINHO, R. 2006. “Ship hulls and oil platforms as potential vectors to marine species introduction”. Journal of Coastal Research. v. 39 pp.1341-1346.
- FIGUEIRA DE PAULA, A. 2002. *Abundância e distribuição espacial do coral invasor Tubastraea na Baía da Ilha Grande, RJ e o registro de T. tagusensis e T. coccinea para o Brasil*. M. Sc., Universidade Estadual do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- FIGUEIRA DE PAULA, A., CREED, J.C. 2003. “Spatial distribution and abundance of nonindigenous coral genus *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) around Ilha Grande, Brazil.” Braz. J. Biol. v.65. pp.661-673.
- FIGUEIRA DE PAULA, A., CREED, J.C. 2004. “Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: a case of accidental introduction”. Bulletin of Marine Science. v.74 pp.175–183.
- FIGUEIRA DE PAULA, A. 2007. *Biologia reprodutiva, crescimento e competição dos corais invasores Tubastraea coccinea e Tubastraea tagusensis (Scleractinia: Dendrophylliidae) com espécies nativas*. D. Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- GALLAGHER, E.D., JUMARS, P.A., TRUEBLOOD, D.D. 1983. “Facilitation of soft-bottom benthic succession by tube builders”. Ecology, v.64 pp.1200–1216.
- GLEASON, H.A. 1926. “The individualistic concept of the plant association”. Torrey Botanical Club Bolletin, v.53. pp.7-26.
- GLYNN, P.W, COLLEY, S.B., MATÉ, J.L., CORTÉS, J., GUZMAN, H.M., BAILEY, R.L., FEINGOLD, J.S., ENOCHS, I.C. 2007. “Reproductive ecology of the azooxanthellate coral *Tubastraea coccinea* in the Equatorial Eastern Pacific: Part V. Dendrophylliidae”. Marine biology, v.153 pp.529-544.
- GOLLASCH, S. 2002. “The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea”. Biofouling. v.18 pp.105-121.
- GORBUNOV, M.Y., FALKOWSKI, P.G. 2002. “Photoreceptors in the cnidarians hosts allow symbiotic corals to sense blue moonlight. Limnol Oceanograph. v.47 pp. 309-315.

- GUIMARÃES, M.A., COUTINHO, R. 1996. "Spatial and temporal variation of benthic marine algae at Cabo Frio upwelling region, Rio de Janeiro, Brazil". *Aquatic Bot.* v.52 pp.283-299.
- HARPER, J.L. 1985. "Modules, branches and the capture of resources". Em: Jackson, J.B.C, Buus, L.W., Cook, R.E. (eds). *Population Biology and Evolution of Clonal Organisms*. Yale University Press, New Haven, CT, pp.1-34.
- HARRISON, P.L., WALLACE, C.C. 1990. *Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals*. Em: Dubinsky Z (Ed). *Coral reefs, ecosystems of the world 25*. Elsevier, Amsterdam, PP.133-207.
- HARRIOT, V.J. 1983. "Reproductive seasonality, settlement, and post-settlement mortality of *Pocillopora damicornis* (Linnaeus), at Lizard Island, Great Barrier Reef". *Coral Reefs* v.2 pp.151-157.
- HODGSON, G. 1990. "Sediment and the settlement of larvae of the reef coral *Pocillopora damicornis*". *Coral Reefs*, v.9 pp.41-43.
- HUGHES, T.P., AYRE, D., CONNELL, J.H. 1992. "The evolutionary ecology of corals". *J. Ecol. Evol.* v.7 pp.292-295.
- HUGHES, T.P., JACKSON, J.B.C. 1980. "Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion". *Science* v.209 pp.713-715.
- HUGHES, T.P., JACKSON, J.B.C. 1985. "Population dynamics and life histories of foliaceous corals". *Ecol. Mongr.* v.55 pp.141-166.
- JACKSON, J.B.C. 1977, "Competition on marine hard substrata: the adaptive significance of solitary and colonial strategies. *Am. Nat.* v.111 pp.743-767.
- JOBLING, M. 1985. *Growth in Fish energetic: New perspectives* (Tytler, P & Calow P, eds), pp.212-230. London: Croom Helm.
- JOKIEL, P.L., GUINTEHER, E.B. 1978. "Effects of temperature on reproduction in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. *Bulletin of Marine Science.* v.28 pp.786-789.
- KIORBE, T., MUNK, P., RICHARDSON, K., 1987. "Respiration and growth of larval herring *Clupea harengus*: relation between specific dynamic action and growth efficiency". *Marine Ecology Progress Series.* v.40 pp.1-10.
- KOH, E.G.L., SWEATMAN, H. 2000. "Chemical warfare among scleractinians: bioactive natural products from *Tubastraea falkneri* Wells kill larvae of potential competitors". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* v. 251 pp.141-160.



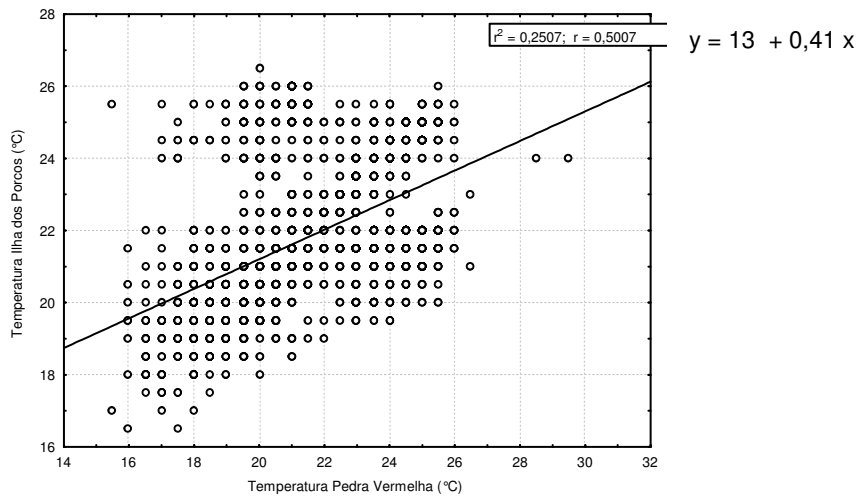
- LABOREL, J. 1974. *West African reef corals an hypothesis on their origin*. Em: Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Coral Reef Symp, v.1. pp.425-443. Brisbane.
- LANDE, R. 1988. "Genetics and demography in biological conservation". Science, v.241, pp.1455-1460.
- LEVER, C. 1985. *Naturalized mammals of the world*. Longman, Essex, UK.
- LEWIS, J.R. 1964. *The Ecology of Rocky Shore*. English University Press, London, pp. 300.
- LOUGH, J.M., BARNES, D.J. 2000. "Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*". Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v. 245 pp. 225-243.
- LOYA, Y. 1976. "Skeletal regeneration in a Red Sea scleractinian coral population". Nature, v.261 pp.490-491.
- MACK, R.N. 1995. *Understanding the process of weed invasions, the influence of environmental stochasticity*. Weeds in a changing world, BCPC Symposium Proceedings Number 94, British Crop Protection Council, UK.
- MAGALHÃES, M.A. 2002. *Descrição dos métodos de pesca utilizados pelas frotas artesanal e industrial nas áreas offshore da Bacia de Campos, RJ*. Final Report, Dept. of Oceanographic, Geoscience Institute, State University of Rio de Janeiro, 38 pp.
- MARAGOS, J.E. 1974. Coral transplantation: a method to create, reserve and manage coral reefs. University of Hawaii Sea Grant Program, AR-74-03.
- MCCALL, P.L. 1977. "Community patterns and adaptive strategies of the infaunal benthos of Long Island Sound". J. Mar. Res. v.35 pp.221-266.
- MC CALLUM, H., DOBSON, A. 1995. "Detecting disease and parasite threats to endangered species and ecosystems". Trends Ecol. Evol. v.10 pp.190-194.
- MORSE, D.E., HOOKER, N., MORSE, A.N.C., JENSEN, R.A. 1988. "Control of larval metamorphosis and recruitment in sympatric agariciid corals". J. Exp. Mar. Biol. Ecol, v.16 pp.193-217.
- MURICY, G., HAJDU, E. 2006. *Porifera Brasilis. Guia de identificação das esponjas marinhas mais comuns do Sudeste do Brasil*. Museu Nacional. Rio de Janeiro. 2006.
- OGUZ, T., DUCKLOW, H.W., PURCELL, J.E., MALANOTTE-RIZ-ZOLI, P. 2001. "Modeling the response of top-down control exerted by gelatinous carnivores on the Black Sea pelagic food web". J. Geophys. Res. C. Oceans. v.106 pp.4543-4564

- PARKER, I.M., SIMBERLOFF, D., LONSDALE, W.M. 1999. "Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders". *Biol. Invasions* v. 1 pp. 3-19.
- PAYNTER, K.T., DIMICHELE, L., HAND, S.C., POWERS, D.A. 1991. "Metabolic implications of *Ldh-B* genotype during early development in *Funfulus Heteroclitus*". *Journal of Experimental Zoology*. v.257 pp.24-33.
- PEARSON, T.H., ROSENBERG, R. 1978. "Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment". *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* v.16 pp.229–311.
- PIRES RIBEIRO, V. 2002. "*Avaliação do Potencial da espécie Stramonita haemastoma (Kool, 1987) como indicador biológico de contaminação ambiental por compostos organo-estênicos*". Tese de M. Sc. Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- PROTA SALOMON, V. 2007. Guia de identificação das espécies de corais e zooantídeos registrados nos costões rochosos em Arraial do Cabo. Dissertação. FERLAGOS. Cabo Frio.
- RACE, M.S. 1982. "Competitive displacement and predation between introduced and native mud snails". *Oecologia* v.54 pp.337-347.
- RAIMONDI, P.T. 1988. "Settlement and determination of the vertical limit of an intertidal barnacle". *Ecology*. v.69 pp.400-407.
- RAIMONDI, P.T., MORSE, A.N.C. 2000. "The consequences of complex larval behavior in a coral". *Ecology*. v.81 pp.3193-3211.
- REYES-BONILLA, H., CALDERÓN-AGUILERA, L.E., CRUZ-PIÑÓN, G., MEDINA-ROSAS, P., LÓPEZ-PÉREZ, R.A., HERRERO-PÉREZRUL, M.D., LEYTE-MORALES, G.E., CUPUL-MAGAÑA, A.L., CARRIQUIRY-BELTRÁN, J.D. 2005. *Atlas de los corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico Mexicano*. CICESE, CONABIO, CONACYT, DBM/UABCS, CUC/UdeG, Umar, Guadalajara.
- RHOADS, D.C. 1974. "Organism–sediment relations on the muddy seafloor". *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* v.12 pp.263–300.
- RICHMOND, R.H. 1997. "Energetic relationships and biogeographical differences among fecundity, growth and reproduction in the reef coral *Pocillopora damicornis*". *Bulletin of Marine Science*. v.41 pp.594-604.

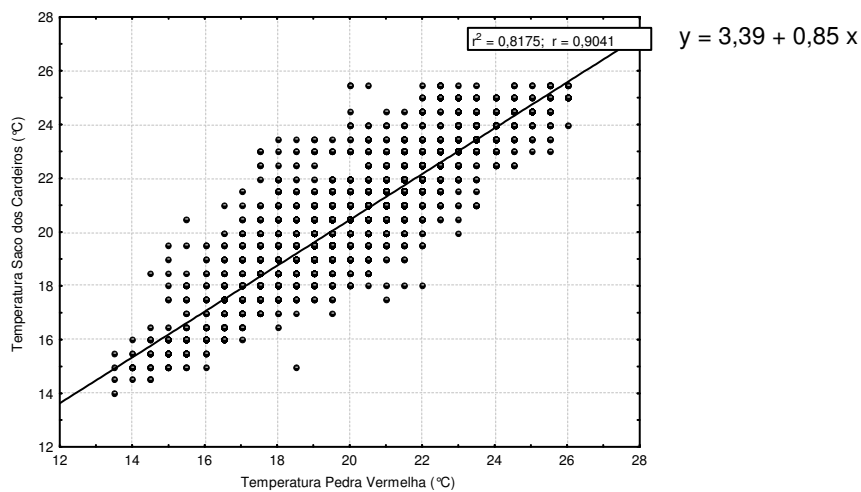
- RICHMOND, R.H. 1997. *Reproduction and recruitment in coral: critical links in the persistence of reefs*. Em: Birkeland E (Ed) *Life and death of corals reefs*. Chapman and Hall, New York, pp. 175-197.
- ROBINSON, G. 1985. *Influence of the 1982-83 El Niño on Galápagos marine life*. Em: Robinson, G., del Pino, E.M. (eds) *El Niño en las Islas Galápagos: El evento de 1982-1983*. Publication of the Charles Darwin Foundation for the Galápagos Islands, Quito, pp. 153-190.
- RUIZ, G.M., FOFONOFF, P., HIÑES, A.H., GROSHOLZ, E.D. 1999. "Nonindigenous species as stressors in estuarine and marine communities: assessing impacts and interactions". *Limnol. Oceanogr.* v.44 pp.950-972.
- SATO, M. 1985. "Mortality and growth of juvenile coral *Pocillopora damicornis* (Linnaeus)". *Coral Reefs* v.4 pp.27-33.
- SAX, D.F. BROWN, J.H. 2000. "The paradox of invasion". *Global Ecology and Biogeography*, v.9 pp.363-371.
- SEBENS, K.P. 1983. "The larval and juvenile ecology of the temperate octocoral *Alcyonium siderium* Verill II. fecundity, survival and juvenile growth". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. v.72 pp.263-285.
- SHAFFER, M.L. 1981. "Minimum population sizes for species conservation". *Bioscience*. v.31 pp.131-134.
- SHAFFER, M.L. 1987. *Minimum viable populations, coping with uncertainty*. Em: SOULÉ, M.E. (Ed) *Viable populations for conservation*. Cambridge University Press, Cambridge. pp.69-86.
- SIMBERLOFF, D. 1988. "The contribution of population and community biology to conservation science". *Annual Review of Ecology and Systematics*. v.19, pp.473-511.
- SMITH, L.D., WONHAM, M.J., MCCANN, L.D., RUIZ, G.M., HINES, A.H., CARLTON, J.T. 1999. "Invasion pressure to a ballast-floated estuary and an assessment of inoculants survival". *Biological Invasions* v.1 pp.67-87.
- STACHOWICZ, J.J., WHITLATCH, R.B., OSMAN, R.W. 1999. "Species diversity and invasion resistance in a marine ecosystem". *Science*, v.286 pp.1577-1579.
- STAKE, J.L., SAMMARCO, P.W. 2003. "Effects of pressure on swimming behaviour in planula larvae of the coral *Porites asteriodes* (Cnidaria, Scleractinia)". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. v.288 pp.181-201.
- SVANE, I.B., YOUNG, C.M. 1989. "The ecology and behavior of ascidian larvae". *Oceanographic and Marine Biology Annual Review*. v. 27 pp.45-90.

- SZÉCHY, M.T., DE PAULA, E.J. 1997. "Macroalgas epífitas em *Sargassum* (Phaeophyta – Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil". *Leandra*. v.12 pp.1-10.
- SZMANT, A.M. 1986. "Reproductive ecology of Caribbean reef corals". *Coral Reefs* v.5 pp.43-53.
- VALENTIN, J., MACEDO, F.E., MONTEIRO, W.M., MUREB, M.A. 1975. "*O plâncton na ressurgência de Cabo Frio (Brasil)*" Publicação do Instituto de Pesquisas da Marinha. Rio de Janeiro.
- VALENTIN, J.L. 1984. "Analyse des parameters hydrobiologiques dans la remotée de Cabo Frio (Brésil)". *Mar. Biol.* v. 82 pp.259-276.
- VAUGHAN, T.W., WELLS, J.W. 1943. "Revision of the suborders, families, and genera of the Scleractinia". *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* v.44 pp.363.
- VELTMAN, C.J. NEE, S., CRAWLEY, M.J. 1996. "Correlates of introduction success in exotic New Zealand birds". *Am. Nat.*, v.147, pp.542-557.
- VERMEIJ, G.J. 1996. "An agenda for invasion biology". *Biol. Consev.* v. 78 pp.3-9.
- VERMEIJ, M.J.A. 2005. "A novel growth strategy allows *Tubastraea coccinea* to escape small-scale adverse conditions and start over again". *Coral Reefs* v. 24 pp.442.
- VERMEIJ, M.J.A., FOGARTY, N.D, MILLER, M.W. 2006. "Pelagic conditions affect larval behavior, survival, and settlement patterns in the Caribbean coral *Montastraea faveolata*". *Marine Ecology Progress Series*. v.310 pp.119-128.
- VITOUSEK, P.M., WALKER, L.R., WHITEAKER, L.D. 1997. "Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystems development in Hawaii". *Science*. v.238 pp.802-804.
- WILLIAMSON, M.H. 1981. *Island Populations*. Oxford University Press. Oxford. 1981.
- WILLIAMSON, M. 1996. *Biol invs*. Chapman and Hall.
- WYNNE, M.J. 1998. *A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: first revisión*. Gebrüder Borntraeger. Berlin.

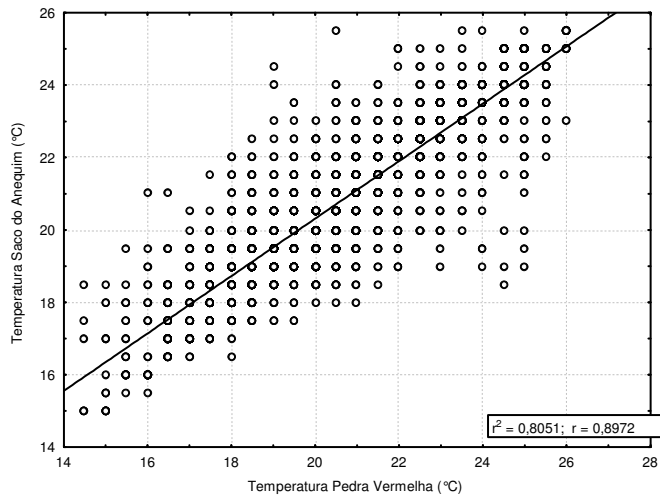
## 8. ANEXO I



Temperaturas registradas na Ilha dos Porcos (em °C) em função das temperaturas da Pedra Vermelha (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.

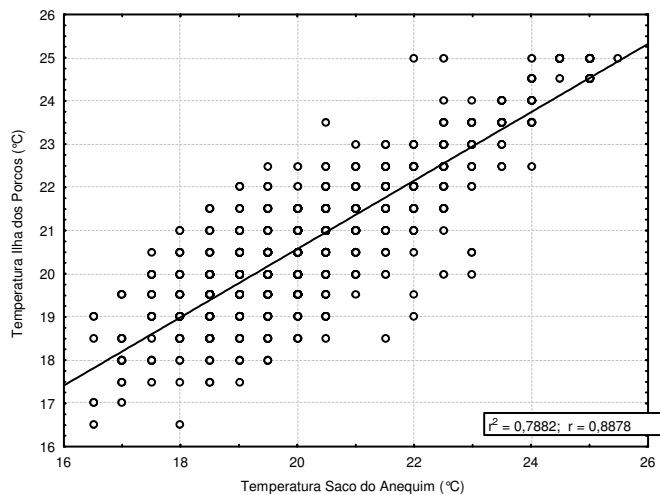


Temperaturas registradas no Saco dos Cardeiros (em °C) em função das temperaturas da Pedra Vermelha (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.



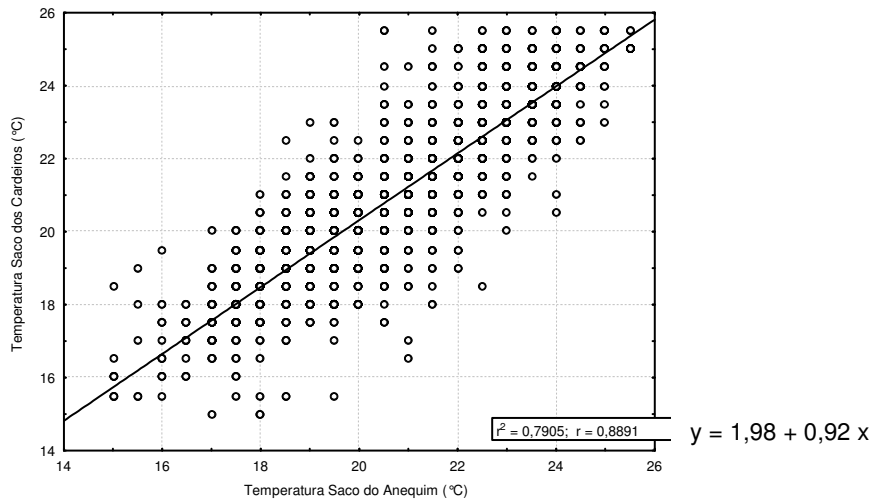
$$y = -0,42 + 1,01 x$$

Temperaturas registradas no Saco de Anequim (em °C) em função das temperaturas da Pedra Vermelha (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.

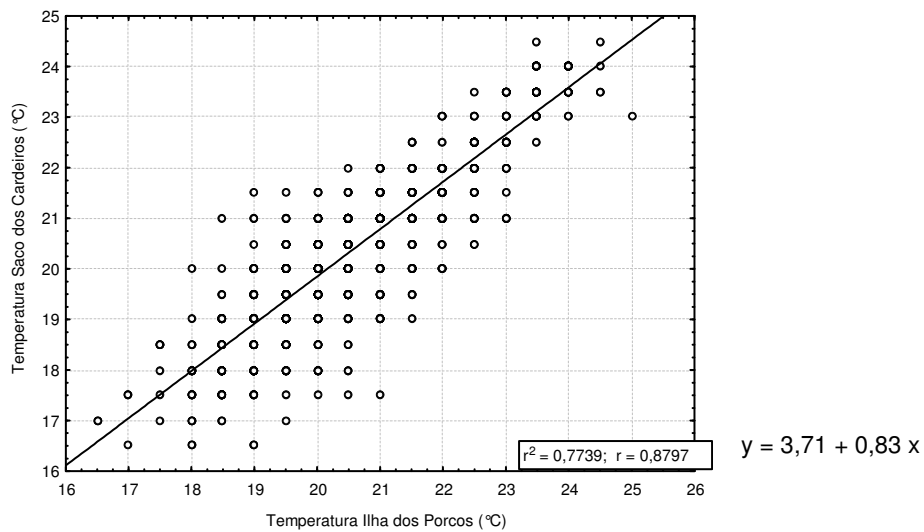


$$y = 4,76 + 0,79 x$$

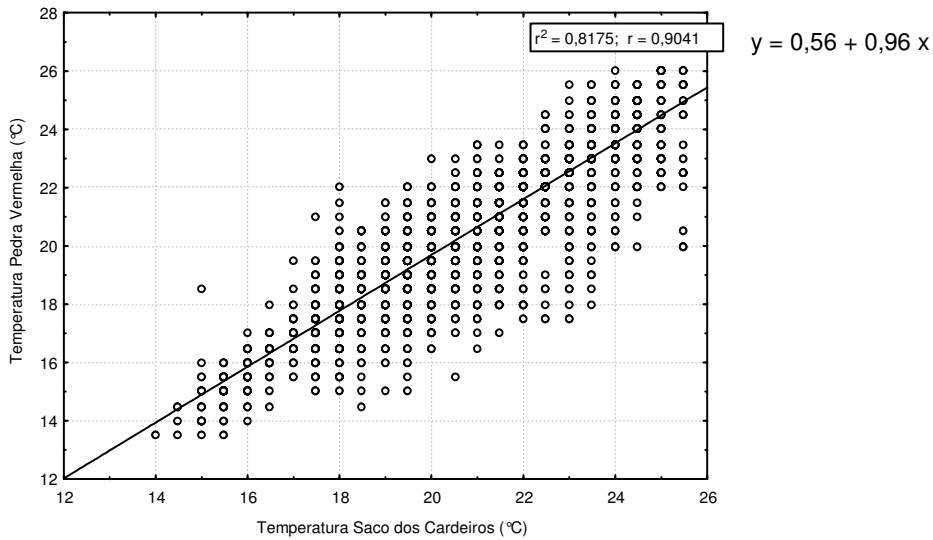
Temperaturas registradas na Ilha dos Porcos (em °C) em função das temperaturas do Saco de Anequim (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.



Temperaturas registradas no Saco dos Cardeiros (em °C) em função das temperaturas do Saco de Anequim (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.



Temperaturas registradas no Saco dos Cardeiros (em °C) em função das temperaturas da Ilha dos Porcos (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.



Temperaturas registradas na Pedra Vermelha (em °C) em função das temperaturas no Saco dos Cardeiros (°C). A reta representa a função achada pelo método de mínimos quadrados.

Resultados do Teste de Tukey para a densidade de recrutas comparando os locais de amostragem dentro de cada período de estudo.

Abril-Maio/2007

	Pedra Vermelha	Cardeiros	Porcos
Anequim	p>0,05	p<0,05	p<0,05
Pedra Vermelha		p<0,05	p<0,05
Cardeiros			p>0,05

Junho-Agosto/2007

	Cardeiros	Porcos
Anequim	p<0,05	p<0,05
Cardeiros		p>0,05

Setembro/2007-Janeiro/2008

	Pedra Vermelha	Cardeiros	Porcos
Anequim	p<0,05	p<0,05	p<0,05
Pedra Vermelha		p>0,05	p<0,05
Cardeiros			p<0,05

Fevereiro-Março/2008

	Pedra Vermelha	Cardeiros	Porcos
Anequim	p<0,05	p<0,05	p<0,05
Pedra Vermelha		p>0,05	p<0,05
Cardeiros			p>0,05



Resultados do Teste de Tukey para a densidade de recrutas comparando os períodos de estudo dentro de cada local de amostragem.

Ilha dos Porcos	Jun-Ago/2007	Sep/2007-Jan/2008	Fev-Mar/2008
Abr-Mai/2007	p<0,05	p<0,05	p<0,05
Jun-Ago/2007		p>0,05	p<0,05
Sep/2007-Jan/2008			p<0,05

Saco dos Cardeiros	Jun-Ago/2007	Sep/2007-Jan/2008	Fev-Mar/2008
Abr-Mai/2007	p<0,05	p<0,05	p<0,05
Jun-Ago/2007		p<0,05	p>0,05
Set/2007-Jan/2008			p<0,05

Saco de Anequim	Jun-Ago/2007	Sep/2007-Jan/2008	Fev-Mar/2008
Abr-Mai/2007	p<0,05	p<0,05	p<0,05
Jun-Ago/2007		p>0,05	p>0,05
Sep/2007-Jan/2008			p<0,05

Pedra Vermelha	Sep/2007-Jan/2008	Fev-Mar/2008
Abr-Mai/2007	p<0,05	p>0,05
Set/2007-Jan/2008		p<0,05

# 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](#)