



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

MONITORAMENTO DO AMBIENTE DO CULTIVO
EXPERIMENTAL DA ALGA *Kappaphycus alvarezii* NA PRAIA DE
SAMBAQUI, FLORIANÓPOLIS/SC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Aimê Rachel Magenta Magalhães

Co-Orientadora: Prof^ª. Dra. Leila Hayashi

BEATRIZ GOMES NUNES

Florianópolis
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Nunes, Beatriz Gomes

Monitoramento do ambiente do cultivo experimental da alga *Kappaphycus alvarezii* na Praia de Sambaqui, Florianópolis/SC / Beatriz Gomes Nunes – 2010.

103 f.: 18 fig., 5 tabs.

Orientadora: Aimê Rachel Magenta Magalhães

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.

1.Aquicultura; 2.*Kappaphycus alvarezii*; 3.Macroalga marinha vermelha; 4.Monitoramento ambiental.

**Monitoramento do ambiente do cultivo experimental da alga
Kappaphycus alvarezii na Praia de Sambaqui, Florianópolis/SC**

Por

BEATRIZ GOMES NUNES

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

E aprovada em sua forma final pelo Programa de
Pós-Graduação em Aquicultura

Prof. Cláudio Manoel Rodrigues de Melo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Dr^a. Aimê Rachel Magenta Magalhães

Dr. Roberto Bianchini Derner

Dr^a. Zenilda Laurita Bouzon

“Cada pessoa que passa em nossa vida, passa sozinha, é porque cada pessoa é única e nenhuma substitui a outra! Cada pessoa que passa em nossa vida passa sozinha e não nos deixa só, porque deixa um pouco de si e leva um pouquinho de nós. Essa é a mais bela responsabilidade da vida e a prova de que as pessoas não se encontram por acaso”.

Charles Chaplin

Dedico esse trabalho ao Professor Elpídio Beltrame (*in memoriam*).

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me protegido e guiado até aqui. Muitas vezes a vontade de desistir foi grande, mas nunca maior do que minha vontade de vencer.

Aos meus pais, por tantos anos de dedicação e apoio. Vocês investiram e apostaram em mim e agora estamos colhendo os doces frutos. OBRIGADA por estarem ao meu lado em todos esses anos de batalha! Amo todos vocês! À minha irmã Camilla por todas as dicas e revisões aos meus textos. Pelo companheirismo, amizade e apoio. Obrigada maninha, te amo muito. Um grande obrigada à toda minha família, cada um de vocês foi importante na conclusão desse projeto!

À co-orientadora, minha guia, anjo da guarda e mestre, a querida Dr.^a Leila Hayashi, que aceitou o desafio de me orientar. Obrigada por todas as lições, puxões de orelha, apoio e pelo ombro nos momentos difíceis. Às incansáveis revisões e buscas pela perfeição do trabalho. Aprendi muito contigo e espero levar esses ensinamentos para a minha vida; me fizesse crescer muito nesses 3 anos.

À minha orientadora Dr.^a Aimê Rachel Magenta Magalhães, que me acolheu quando mais precisava, me dando a possibilidade de tocar esse projeto. Obrigada por todos os ensinamentos dos últimos 7 anos de convívio.

À professora Zenilda por ter possibilitado a minha entrada no LAMAR, permitindo o meu primeiro contato com as macroalgas. Aos ensinamentos, ajudas e por ter disponibilizado toda a infra-estrutura necessária para o meu trabalho.

À equipe LAMAR: Lidiane, Ticiane, Éder, Carmen, Gabriel, Marthiellen, Rodrigo, Luciana, Leila e Zenilda. Amei conhecer e conviver com todos, vocês fazem parte da minha família. Foram muitos dias de trabalho em equipe, de Café no Becker, confraternizações, bolinho de aniversário e muita alga! Obrigada de coração por todos esses momentos. Aprendi muito com vocês, não tenho como agradecer toda a ajuda que tive. Sentirei saudades!

À minha querida amiga, Cássia que SEMPRE está ao meu lado, me aconselhando, escutando meus desabafos e me fazendo sorrir. TE AMO MUITO! Obrigada pelo apoio, pela amizade! Sem você tudo teria sido mais difícil.

Ao professor Paulo Horta por disponibilizar a estrutura do LAFIC para as minhas análises de água.

Ao professor Roberto Bianchini que possibilitou a realização do meu estágio de docência na disciplina de cultivo de macroalgas, pelo apoio e ajuda para enriquecer o meu trabalho!

À equipe LAFIC, aos estagiários, mestrandos e todos aqueles que colaboraram de alguma forma com o meu trabalho; Débora, Fernanda, Cecília, Eduardo, Fernando. Sentirei saudades das nossas tardes intermináveis fazendo análises e dando boas risadas.

À Dr.^a Alessandra Fonseca, por ter me ensinado todos os métodos para a análise de água, dicas de rotinas no laboratório e pelo grande apoio na estatística e nas revisões dos textos.

À equipe do CEDAP/EPAGRI envolvida no projeto *Kappaphycus*, Alex Alves e Vicente. Pela ajuda nas coletas, manejos semanais e obtenção de dados.

À Vera Lúcia da Silva Ranghetti da Epagri/Ciram pelo fornecimento dos dados meteorológicos, que muito contribuíram para este trabalho.

A todos aqueles que participaram desse projeto, muito obrigada pelo apoio, amizade e força! Por terem feito parte da minha vida e da minha história! Muito obrigada a todos!

Resumo

As macroalgas marinhas são os organismos mais cultivados no mundo. Apresentam diversos produtos economicamente importantes e possuem grande papel na ciclagem de nutrientes em cultivos integrados. Com a grande demanda por mais matéria prima e com a rápida expansão dos mercados há necessidade de implantar mais cultivos para suprir a demanda. A espécie exótica de macroalga vermelha *Kappaphycus alvarezii* apresenta facilidade de cultivo e produção sustentada ao longo do ano, sendo a espécie de alga mais cultivada no mundo. Devido ao grande interesse de empresários para introdução da espécie no Brasil, para suprir a necessidade do mercado interno sem precisar importar matéria prima e os subprodutos da mesma, surgiu a preocupação sobre o impacto ambiental que ocorreria. A introdução intencional da espécie no Brasil tem sido monitorada e regulamentada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/MMA). O presente trabalho faz parte de uma exigência da Instrução Normativa 185 do IBAMA, sobre a introdução desta espécie de alga no litoral catarinense. No capítulo 1 são apresentados os resultados do monitoramento ambiental dos parâmetros físico-químicos da Praia de Sambaqui, Florianópolis/SC (27°29'18,65''S e 48°32'17,96''W), onde *Kappaphycus alvarezii* foi introduzida visando determinar a viabilidade técnica da espécie na região sul do País, uma vez que Santa Catarina possui tradição em maricultura e já possui uma estrutura que facilita a implantação de novos cultivos. Em 18 meses de monitoramento, não foram encontradas diferenças significativas na maioria dos parâmetros analisados nos 7 pontos amostrais. A concentração de N- amoniacal, nitrato e nitrito (NID – nitrogênio inorgânico dissolvido = $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) foi maior no inverno e no ponto mais próximo à costa. No capítulo 2, é abordado o monitoramento da dispersão da espécie na região de cultivo e áreas circunvizinhas. Em 18 meses de vistorias e em quatro coletas de material biológico, não foram encontrados indícios de estabelecimento da espécie na região e não foram encontradas estruturas reprodutivas nos talos selecionados. O cultivo da espécie em Sambaqui foi considerado tecnicamente viável por apresentar taxas de crescimentos dentro do padrão comercial, pela ausência de esporos algas cultivadas e pelo não estabelecimento da espécie nos cultivos estruturas de cultivo ou na praia. Com essas características pode-se concluir que a espécie não apresenta potencial invasivo na região estudada. Mesmo assim, pelo principio da precaução, é importante dar continuidade ao monitoramento para evitar problemas futuros.

Palavras-Chave: cultivo; *Kappaphycus alvarezii*; macroalga marinha vermelha; monitoramento ambiental.

Monitoring of the environment of experimental seaweed cultivation
Kappaphycus alvarezii at Sambaqui beach, Florianópolis/SC

Abstract

The seaweeds are the most cultivated organisms in the world and they have an important role on nutrients' cycling on integrated culture. The great need for more raw material and the rapid market expansion, make it necessary to introduce more culture to supply the demand. The exotic species of red seaweed, *Kappaphycus alvarezii* is easy to cultivate and has sustainable production over the year, being largely cultured around the world. Due to the great interest for its production in Brazil, there is a concern about environmental impact; this is why the introduction of this species in Brazil has been controlled by IBAMA/MMA. This paperwork is part of IBAMA's 185 Normative Instruction for the seaweed on the coast of Santa Catarina. The first chapter presents the results of the environmental monitoring of the physico chemical parameters in Sambaqui Beach, Florianópolis/SC (27°29'18,65''S e 48°32'17,96''W), where *Kappaphycus alvarezii* was introduced in order to verify technical viability to this species in the South of Brazil, since sea culture is highly considered in the state of Santa Catarina. During the 18 month monitoring, there were not found meaningful differences for the analyzed parameters on the 7 sites. The concentration of N ammoniacal, nitrate and nitrite (NID) was stronger during winter and at the nearest site of the cost. On chapter 2, it is presented the regional and surrounding areas species dispersion monitoring. During the 18 months of inspection and in four sample collections of biological material there was no evidence of this species around the region and neither reproductive structures on the selected branches. The cultivation of the species in Sambaqui was considered technically viable because it showed standard commercial growing rates, absence of spores in the cultivated seaweed and also because of its absence on the rocky structures and by the beach. It is possible to conclude that this species do not show hostile potential for the studied region. However, continuous monitoring is important to avoid future problems.

Keywords: Algae culture; Environmental monitoring; *Kappaphycus alvarezii*; Red seaweed.

Lista de figuras

Introdução geral

Figura 1 - Produção aquícola mundial. Fonte: FAO (2009). 21

Figura 2 – Balsa de cultivo de *Kappaphycus alvarezii*. Sistema de espinhéis instalado na Praia de Sambaqui, Florianópolis/SC. 26

Capítulo 1

Figura 1 - Localização da Praia de Sambaqui (seta) na Baía Norte, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil (27°29'18,65''S e 48°32'17,96''W) (Torres et al., 2009, modificado a partir de). 37

Figura 2 – Pontos das coletas de água – Praia de Sambaqui – Baía Norte da Ilha de Santa Catarina (1 - próximo à praia, 2 - depois do cultivo de moluscos, 3 - no meio do cultivo de moluscos, 4 - entre o cultivo de moluscos e do módulo de cultivo de *K. alvarezii*, 5 - no meio do cultivo de *K. alvarezii*, 6 - no final do cultivo de *K. alvarezii* e 7 - distante da praia e dos cultivos). As linhas pontilhadas em branco representam os espinhéis de cultivo de mexilhões e ostras e a linha pontilhada verde representam a balsa de cultivo de algas. Imagem obtida através do software Google Earth (GeoEye Julho/2009). 39

Figura 3 – Temperatura x salinidade das 12 coletas, evidenciando a distribuição dos dados em três grupos: verão, intermediário e inverno. 43

Figura 4 – Correlação da salinidade e maré incluindo as 12 coletas, evidenciando a alta relação entre os dois parâmetros. 44

Figura 5 – Concentração (μM) média, média \pm erro padrão e média \pm desvio padrão de NID (nitrogênio inorgânico dissolvido), de todos os pontos ao longo das 12 coletas feitas na Praia de Sambaqui. 45

Figura 6 – Concentração (μM) de N-amoniaco (NH_4^+) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo do verão. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 50

Figura 7 – Quantidade (mg L^{-1}) de material particulado em suspensão (MPS) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo do verão. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 50

Figura 8 – Concentração (μM) de N-amoniaco (NH_4^+) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo intermediário. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 51

Figura 9 – Concentração (μM) de nitrato e nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo intermediário. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 51

Figura 10 – Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$) de Feofitina *a* em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo do inverno. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 52

Figura 11 – Concentração de NID (μM) e Feofitina *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) em amostras de água coletada em 3 pontos na Praia de Sambaqui (3: cultivo de mexilhões, 5: cultivo de algas, 7: controle). Valores apresentados em médias anuais; as barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 54

Capítulo 2

Figura 1 – Ciclo de vida da *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) com três fases: esporofítica, gametofítica e carposporofítica. Fonte: Neish (2006). 71

Figura 2 – Praia de Sambaqui (Florianópolis/SC). Identificação da área visitada para a verificação da dispersão de propágulos

desprendidos de *Kappaphycus alvarezii* provenientes do cultivo experimental instalado na praia (1 – área da praia de Sambaqui e 2 – área da Ponta de Sambaqui). As demarcações representadas por estrelas representam os pontos vistoriados e a área 3 indica o posicionamento da balsa de cultivo das algas. Imagem obtida através do software Google Earth (GeoEye Julho/2009).

76

Figura 3 – Secções transversais das quatro variantes de *Kappaphycus alvarezii* (A – Feminina, B – Vermelha, C – Marrom e D - Verde) cultivadas em Sambaqui, Florianópolis/SC. Detalhe das secções transversais coradas com azul de toluidina (AT-O). As paredes celulares das células corticais (CC) (setas), das células subcorticais (CS) e das células medulares (CM) apresentaram reação metacromática. Os citoplasmas apresentam reação ortocromática (ponta de setas). Escala 50µm.

81

Figura 4 – Secções transversais das quatro variantes de *Kappaphycus alvarezii* (A – Feminina, B – Vermelha, C – Marrom e D - Verde) cultivadas em Sambaqui, Florianópolis/SC. Detalhe das secções transversais coradas com Ácido Periódico de Schiff (PAS). As paredes celulares apresentaram reação positiva ao PAS evidenciando a presença de celulose (ponta de setas) e grãos de amido de florídeas (setas). Escala 50µm.

82

Figura 5 – Secções transversais das quatro variantes de *Kappaphycus alvarezii* (A – Feminina, B – Vermelha, C – Marrom e D - Verde) cultivadas em Sambaqui, Florianópolis/SC. Detalhe das secções transversais coradas com Azul brilhante de Coomassie, CBB. Os núcleos das células (setas) apresentam forte reação ao corante. As ligações intercelulares estão indicadas nas pontas de setas. Escala 50µm.

83

Lista de tabelas

Capítulo 1

Tabela 1 – Médias de temperatura (°C) e salinidade (‰) da água de Sambaqui nas 12 amostragens realizadas, sendo que cada coleta foi representada por um respectivo símbolos. A distribuição dos pontos amostrais em cada coleta pode ser observada na Figura 3. 42

Tabela 2 – Concentração de oxigênio dissolvido (OD - mg L⁻¹), N-amoniacal (NH₄⁺ - μM), nitrato (NO₃⁻ - μM) e nitrito (NO₂⁻ - μM), fosfato inorgânico dissolvido - PID (PO₄³⁻ - μM), e a quantidade de material particulado em suspensão (MPS - mg L⁻¹) de água do mar coletada em 5 diferentes pontos da Praia do Sambaqui. Valores apresentados em médias ± desvio padrão). As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 46

Tabela 3 – Concentração de N-amoniacal (NH₄⁺ μM), nitrato (NO₃⁻ - μM) e nitrito (NO₂⁻ - μM), PID (μM), Clorofila *a* (μg L⁻¹), Feofitina *a* (μg L⁻¹), oxigênio dissolvido (mg mL⁻¹), Temperatura (°C), quantidade de material particulado em suspensão - MPS (mg L⁻¹) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 7 diferentes pontos da Praia de Sambaqui analisados em três grupos: Verão (V), Outono-Primavera (INT) e Inverno (IN). Valores apresentados em médias ± desvio padrão. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 45

Tabela 4 – Concentração de N-amoniacal (NH₄⁺ μM), (NO₃⁻ - μM) e nitrito (NO₂⁻ - μM), PID (μM), clorofila *a* (μg L⁻¹), feofitina *a* (μg L⁻¹), oxigênio dissolvido (mg mL⁻¹), Temperatura (°C), quantidade de material particulado em suspensão - MPS (mg L⁻¹) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 11 amostragens na Praia de Sambaqui analisados em três grupos: Verão (V), Outono-Primavera (INT) e Inverno (IN). Valores apresentados em médias ± desvio padrão. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey. 53

Capítulo 2

Tabela 1 – Concentração de Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID = NH₄+NO₃⁻ + NO₂⁻ - μM), Fosfato inorgânico dissolvido (PID = PO₄³⁻ - μM), temperatura (°C) e salinidade (ups) da água do mar coletada em 7 diferentes pontos da Praia do Sambaqui. Valores apresentados em media, máxima e mínima. 84

Sumário

1	Introdução geral	19
1.1	Importância comercial das macroalgas marinhas	19
1.2	Potencial econômico das macroalgas marinhas	20
1.3	Maricultura das espécies nativas.....	22
1.4	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	22
1.5	A questão da introdução de uma espécie exótica.....	23
1.6	Introdução da <i>Kappaphycus alvarezii</i> no Brasil	24
1.7	A malacocultura marinha em Santa Catarina.....	27
2	Objetivos.....	28
2.1	Objetivo geral	28
2.2	Objetivos específicos	28
Capítulo 1		29
1	Introdução.....	35
2	Material e métodos.....	37
2.1	Área de estudos.....	37
2.2	Desenho amostral.....	38
2.3	Procedimento em campo.....	39
2.4	Análise em laboratório.....	40
2.4.1	Processamento da amostra	40
2.5	Dados meteorológicos.....	40
2.6	Análise estatística	40
3	Resultados.....	42
3.1	Análise das variáveis ambientais durante o período experimental	42
3.2	Análise das variáveis ambientais antes da implantação do cultivo	45
3.3	Análise das variáveis ambientais após a implantação do cultivo	46

3.4	Análise dos pontos críticos	53
4	Discussão.....	55
4.1	Análise das variáveis ambientais durante o período experimental	55
4.2	Análise das variáveis ambientais antes da implantação do cultivo.....	56
4.3	Análise das variáveis ambientais após a implantação do cultivo.....	56
4.4	Análise dos pontos críticos	58
	Referências.....	60
	Capítulo 2.....	65
1	Introdução.....	71
2	Material e métodos	75
2.1	Área de estudo	75
2.2	Verificação da dispersão dos propágulos em costões circunvizinhos ao cultivo experimental	75
2.3	Verificação de esporos.....	766
2.4	Microscopia óptica	77
2.5	Técnicas de Histoquímica.....	77
3	Resultados.....	79
3.1	Verificação da dispersão dos propágulos em costões circunvizinhos ao cultivo experimental	79
3.2	Verificação da formação de esporos.....	79
3.3	Microscopia de luz	79
4	Discussão.....	84
5	Referências	88
	Considerações finais	95
	Referências bibliográficas da Introdução.....	97

1 Introdução geral

1.1 Importância comercial das macroalgas marinhas

Registros arqueológicos datam a utilização das algas pelo homem há mais de 15.000 anos e seu uso medicinal por mais de 4 500 anos (CÓLLEN, 2006). Povos orientais como japoneses, chineses e coreanos utilizam as algas marinhas como alimento desde o século IV, sendo até hoje seus maiores consumidores e produtores (McHUGH, 2003). O consumo de algas não está restrito somente a esses povos. Através da disseminação da cultura oriental, migrações e a globalização, esse consumo está presente no mundo inteiro.

As algas comestíveis mais cultivadas e comercializadas no mundo são: *Laminaria japonica* J.E. Areschoug (Divisão Heterokontophyta, Classe Phaeophyceae), conhecida popularmente como “kombu”; *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Divisão Heterokontophyta, Classe Phaeophyceae), denominada “wakame” e *Porphyra* C. Agardh (Divisão Rhodophyta, Classe Bangiophyceae), o popular “nori”. A produção destas algas na China, Japão e República da Coreia ultrapassa 15 milhões de toneladas de massa úmida (FAO, 2009). Essas espécies são vendidas em sua maioria desidratadas, podendo servir de condimento, como acompanhamento de arroz e peixe, no “sushi” ou serem adicionadas em sopas, molhos, chás e saladas.

As algas marinhas possuem significativas quantidades de diversos minerais, como: sódio, potássio, cloro, magnésio, fósforo, ferro, manganês, zinco, cobre, cobalto, enxofre, vanádio, iodo, flúor e cálcio, que exercem importantes funções na nutrição e na saúde humana. Os minerais mais abundantes são sódio, potássio e cálcio, sendo que as algas contêm mais cálcio, magnésio e zinco que os vegetais terrestres e possuem ainda altas concentrações de vitamina A, C e E, e vitaminas do complexo B (NISIZAWA, 2006).

Segundo McHugh (2003), a partir de 1658, uma mudança no consumo das algas foi iniciada com a descoberta das propriedades gelificantes do ágar, da carragenana (século XIX) e do alginato (1930). As algas que eram consumidas frescas ou desidratadas e como acompanhamentos, passaram a ser processadas e utilizadas em uma variedade de produtos. A grande importância das algas marinhas na aquicultura mundial deve-se também à presença desses ficocolóides (colóides extraídos de algas marinhas) na parede celular de algumas espécies. Esses, quando dissolvidos em água, formam uma solução

viscosa, de modo a formar géis de diferentes graus de firmeza, podendo ser utilizados comercialmente para estabilizar certos produtos, como sorvetes e embutidos (inibem a formação de grandes cristais de gelo). A extração da carragenana e do ágar é feita a partir das algas vermelhas (Divisão Rhodophyta). O ágar é extraído principalmente das algas vermelhas dos gêneros *Gelidium* J.V. Lamouroux e *Gracilaria* Greville. É utilizado em gelatinas, sorvetes, iogurtes, carnes processadas e como meio de cultura bacteriana. O alginato é extraído das algas pardas (Divisão Heterokontophyta, Classe Phaeophyceae) e possui propriedades similares ao ágar, podendo ser empregado ainda na indústria têxtil e de papéis e na indústria de biotecnologia. É extraído de algas pardas como *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis, *Laminaria* sp. J.V. Lamouroux, *Macrocystis* sp. C. Agardh, *Sargassum* sp. C. Agardh, *Durvillea* sp. Bory de Saint-Vincent e *Ecklonia* sp. Hornemann (McHUGH, 2003).

A carragenana também possui inúmeras aplicações e tem grande importância econômica, podendo ser utilizada na indústria de laticínios, em estamparias, cosméticos, cervejarias e pasta de dentes, entre outros produtos, dando consistência e agindo como suspensora de produtos abrasivos como no caso de líquidos e ceras (OLIVEIRA *et al.*, 1992). Esse colóide é amplamente empregado na indústria alimentícia e farmacêutica, apresentando alto potencial biotecnológico e despertando interesse mundial devido ao seu elevado valor econômico (DE RUITER e RUDOLPH, 1997). Comercialmente a carragenana é extraída das rodófitas: *Kappaphycus* spp. Doty, *Eucheuma* spp. J. Agardh, *Chondrus crispus* Stackhouse e *Hypnea* spp. J.V. Lamouroux (McHUGH, 2003).

As macroalgas podem ser ainda empregadas como bioestimulante na agropecuária e, na aquicultura, como biofiltro. Possuem também grande potencial para ser uma fonte de biocombustível e compostos bioativos (LEE, 2008).

1.2 Potencial econômico das macroalgas marinhas

Os cultivos de algas têm se expandido rapidamente a cada ano no mundo, à medida que a procura ultrapassou a oferta disponível de recursos naturais (FAO, 2005). De acordo com o relatório da FAO (2007), a produção mundial de algas marinhas em 2004 atingiu o segundo lugar, quando comparada com todos os organismos oriundos da aquicultura marinha, alcançando uma colheita de 13.9 milhões de toneladas de massa seca, rendendo a cifra de US\$ 6.809 bilhões. Em

2006 esse valor passou para 15.1 milhões de toneladas de alga seca, rendendo US\$ 7,2 bilhões e tornou-se o produto mais cultivado no mundo (Figura 1). Dessa produção, 72% é proveniente da China, país que representa 93% do suprimento total mundial de algas. De 1970 a 2006 o cultivo de algas aumentou consideravelmente, com um crescimento de 8% ao ano (FAO, 2009).



Figura 1 - Produção aquícola mundial. Fonte: FAO (2009).

Dados da produção mundial de carragenófitas de 2007 atingem a cifra anual de 1.587.117 toneladas, rendendo aproximadamente US\$175 milhões (FAO FishStat Plus Database, 2009). A produção da indústria de carragenana excedeu 50.000 toneladas entre 2007 e 2008 com um valor superior a US\$ 600 milhões, excluindo a produção da China (GUIRY, 2010). A importação anual de carragenana no Brasil é de aproximadamente 1.200 toneladas (SOUZA, 2009).

Inicialmente a produção mundial de carragenana dependia dos bancos naturais, especialmente de *Chondrus crispus* (McHUGH, 2003). No entanto, desde o início da década de 1970, a indústria expandiu-se rapidamente após a comprovação da viabilidade do cultivo de outras espécies. A maior parte da matéria-prima provém atualmente de duas espécies cultivadas nas Filipinas, Indonésia e Tanzânia: *Kappaphycus alvarezii* Doty (Doty) ex P.C. Silva e a *Eucheuma denticulatum* (N.L. Burman) F.S. Collins e Hervey (FAO, 2005). Estas são comercialmente importantes, respondendo por aproximadamente 88% da matéria-prima mundial processada para produção de carragenana (McHUGH, 2003).

1.3 Maricultura das espécies nativas

A espécie nativa *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux tem um grande potencial para a extração de carragenana e dentre as carragenófitas que ocorrem no litoral brasileiro, é considerada a única alternativa para a produção de carragenana (PAULA *et al.*, 1998). Entretanto, seu estoque natural é limitante para o sucesso da atividade. A espécie apresenta uma ampla distribuição geográfica ao longo do litoral brasileiro (SHENKMAN, 1989), ocorrendo desde o litoral do Rio Grande do Sul até o Maranhão, podendo ser encontrada em regiões do infralitoral e mesolitoral (NUNES, 2005). Segundo Berchez e Oliveira (1989) *H. musciformis* tem um talo tenro e frágil, que não se encaixa nos métodos de cultivos tradicionais feitos com cabos. Apesar de apresentar altas taxas de crescimento, seu cultivo é difícil, sem padronização anual de crescimento (OLIVEIRA e BERCHEZ, 1987; SCHENKMAN, 1989; OLIVEIRA e MIRANDA, 1998; REIS *et al.*, 2006).

A produção brasileira de carragenana a partir de *H. musciformis* explotada de bancos naturais é insuficiente, apresentando estoque limitado e imprevisível (OLIVEIRA, 1997). Em 2004, o consumo de carragenana no Brasil passou para 100 toneladas/mês e a produção para 10 toneladas/mês, a partir de bancos naturais da espécie da região nordeste do País (FURTADO, 2004).

1.4 *Kappaphycus alvarezii*

A macroalga marinha *K. alvarezii* (Divisão Rhodophyta, Classe Florideophyceae, Ordem Gigartinales, Família Areschouggiaceae) é originária do sudeste asiático e ocorre naturalmente em recifes coralinos rasos da Indonésia e das Filipinas (DOTY, 1985). A espécie é bentônica, perene e possui ciclo de vida trifásico característico das algas vermelhas. Habitam águas claras, rasas, com salinidades elevadas e são bem adaptadas a alta irradiação solar (PAULA *et al.*, 1998). Foi introduzida em mais de 20 países com propósito de maricultura (ARECES, 1995; PAULA e PEREIRA, 1998; PAULA *et al.*, 1998; PAULA, 2001).

A maricultura da *K. alvarezii* pode se transformar em uma alternativa de renda para o setor pesqueiro brasileiro e livrar o país da necessidade de importar a matéria-prima ou a carragenana processada. A espécie supera as similares nacionais na facilidade de cultivo e na produção sustentada ao longo do ano (PAULA *et al.*, 1998). Atualmente, é uma das espécies mais cultivadas do mundo, devido à crescente

demanda, principalmente pelo aumento de novos mercados (ASK e AZANZA, 2002), tornando o cenário bastante atrativo para cultivos no litoral brasileiro. Pode ainda melhorar a qualidade da água pela retirada de nutrientes, oferecer abrigo a diversas espécies de peixes (berçário), crustáceos e demais organismos aquáticos (PAULA *et al.*, 1998, HAYASHI *et al.*, 2008).

1.5 A questão da introdução de uma espécie exótica

Do ponto de vista ecológico, a introdução descuidada de espécies exóticas pode causar consequências imprevisíveis. Na introdução de uma espécie de interesse comercial, pode ocorrer a introdução simultânea de diversos outros organismos como vírus, bactérias, protozoários, metazoários e epífitas. Assim, todas as ações devem ser bem planejadas, respeitando os protocolos de quarentena em laboratório, como o estabelecimento de cultivos unialgáceos, antes da introdução no ambiente.

Muitos exemplos podem ser citados no que diz respeito às introduções com propósitos de maricultura e suas consequências ambientais, principalmente com a espécie em questão. A introdução da *Kappaphycus alvarezii* foi feita em mais de 20 países e em dois casos apresentam sérios problemas ambientais causados pela invasão da espécie, principalmente em recifes de corais. Em meados da década de 1970, projetos de maricultura de *Euचेuma/Kappaphycus* foram implantados no Havaí. Apesar do aparente sucesso, problemas ambientais começaram a ser relatados a partir de 1996; as algas começaram a se estabelecer nos recifes de corais, provavelmente causando-lhes morte por sombreamento (RODGERS e COX, 1999). Conklin e Smith (2005) relataram recentemente no Havaí coberturas de até 80% desta espécie sobre recifes de corais em 2002, e em 2006 foram observadas estruturas reprodutivas, pela primeira vez desde sua introdução (UNIVERSITY OF HAWAI, 2010). Estudos de biologia molecular indicam que as plantas introduzidas no Havaí são diferentes das variedades cultivadas ao redor do mundo, o que pode explicar a natureza invasiva na região (ZUCCARELLO *et al.*, 2006).

No Sudoeste da Índia foi relatada a bioinvasão pela espécie *K. alvarezii* na reserva marinha da Baía de Bengal, ilha de Kurusadai (CHANDRASEKARAN *et al.*, 2008), proveniente dos cultivos comerciais de Pamban Pass, Mandabam, Sul da Índia. A espécie se estabeleceu em corais vivos e até mesmo em corais mortos. Em ambos os casos, a

espécie conseguiu se dispersar mesmo com a retirada das algas do mar, através da sobrevivência de pequenos fragmentos de talos que conseguiram se estabelecer no ambiente. Aliadas à dispersão dos fragmentos, estão as características das regiões atingidas, muito próximas ao ambiente de distribuição natural da espécie (recifes coralíneos, águas quentes e alta transparência da água).

Em Cuba, o cultivo de *K. alvarezii* foi interrompido porque a espécie também se estabeleceu sobre os recifes de corais e, na Venezuela e Colômbia os cultivos foram embargados pelos órgãos ambientais responsáveis. Estes casos foram solucionados retirando os ramos do mar, acabando com a dispersão da espécie (OLIVEIRA, 2005).

1.6 Introdução da *Kappaphycus alvarezii* no Brasil

Nos primeiros anos de introdução legal, aprovado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), da *K. alvarezii* no Brasil (a partir de 1995), mais precisamente em Ubatuba, litoral do Estado de São Paulo, diversos estudos sobre sua fisiologia e aspectos reprodutivos foram realizados simultaneamente ao cultivo no mar, com o objetivo de avaliar a adaptação da mesma às condições tropicais do Brasil e verificar seu potencial de propagação (PAULA *et al.*, 1999; PAULA *et al.*, 2001; PAULA e OLIVEIRA, 2004). A introdução da espécie em águas brasileiras foi feita para avaliar o potencial de cultivo da espécie e os possíveis impactos ambientais (PAULA e PEREIRA, 1998; PAULA *et al.*, 1998, 1999; HAYASHI, 2001), impulsionada pela alta demanda brasileira de matéria-prima para a produção de carragenana e pela falta de uma espécie nativa com potencial de cultivo comercial. Os ramos utilizados na introdução da espécie no Brasil foram trazidos do cultivo experimental da Usa Marine Institute, pertencente à Universidade de Kochi, Japão. As mudas passaram por um processo de quarentena de 10 meses no Laboratório de Algas Marinhas “Edison José de Paula” da Universidade de São Paulo, antes da introdução no mar, em Ubatuba, litoral norte do estado de São Paulo (PAULA e PEREIRA, 1998; PAULA *et al.*, 1998; OLIVEIRA, 2005).

Diversos estudos foram realizados, como: fatores que influenciam a taxa de crescimento, teor e propriedades de carragenanas, cultivo *in vitro* e taxas fotossintéticas, aspectos reprodutivos e biológicos, introdução no mar e maricultura, cultivo integrado com camarões, mexilhões e peixes, seleção de linhagens e cultura de tecidos (HAYASHI *et al.*, 2008).

Segundo Paula *et al.* (1998) o cultivo da espécie no mar em áreas que compreendem a região de Ubatuba e Caraguatatuba (SP) apresentam riscos ambientais muito reduzidos, as razões dessa previsão de baixo risco se baseiam no fato da região apresentar condições hidrológicas e climáticas limitantes para o crescimento e estabelecimento da espécie sem controle (PAULA *et al.*, 1998). Aliado a essas características, a região encontra-se fora do limite sul da distribuição latitudinal da espécie, apresentando alta turbidez e temperaturas baixas durante o inverno, nebulosidade e pluviosidade intensa (BULBOA e PAULA, 2005). Além disso, de acordo com Paula e Oliveira (2004), os ramos desprendidos não formam apressórios, limitando o estabelecimento da espécie. Desde a sua introdução no mar, não foram observados exemplares de *K. alvarezii* crescendo fora das estruturas de cultivo em costões rochosos ou em outro substrato (PAULA *et al.*, 1998; PAULA e PEREIRA, 1998; OLIVEIRA e PAULA, 2001; PAULA *et al.*, 2002; PAULA e OLIVEIRA, 2004).

Em 1998 *Kappaphycus alvarezii* foi introduzida no Rio de Janeiro/Baía da Ilha Grande e em 2004 teve início o cultivo comercial na Baía de Sepetiba/RJ. Primeiramente essas atividades foram realizadas sem licença ambiental. Somente em 2007, através de um termo de ajuste de conduta (TAC), o cultivo foi permitido com a assinatura de um termo de compromisso dos produtores de acordo com a Instrução Normativa 165 de 17 de julho de 2007 (IBAMA/MMA). Desde a introdução da espécie diversos estudos foram realizados como: presença de epibiontes nas estruturas de cultivo de *Kappaphycus alvarezii* (MARROIG, 2007), monitoramento ambiental do cultivo de *K. alvarezii* em escala industrial (REIS *et al.*, 2007) e estudos para avaliar o potencial invasivo da *K. alvarezii* em cultivo comercial (CASTELAR *et al.*, 2009). Após diversos estudos, Reis (2009) e Castelar *et al.* (2009) chegaram à conclusão que *Kappaphycus alvarezii* não apresenta potencial invasivo no litoral sul do Rio de Janeiro.

Em Santa Catarina, a espécie foi introduzida experimentalmente no mar em fevereiro de 2008, com autorização do IBAMA. Os ramos introduzidos no mar catarinense foram provenientes do banco de linhagens do Laboratório de Algas Marinhas “Édison José de Paula” da Universidade de São Paulo e passaram por um período de quarentena de um ano em laboratório e em tanques, no Laboratório de Algas Marinhas (LAMAR) no Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Desde então, foram realizados dois projetos através de uma parceria da UFSC com a Empresa de Pesquisa

Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Um dos projetos intitulou-se “Cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii*, alga vermelha produtora de carragenana, no litoral de Santa Catarina”, e contou com o financiamento da FAPESC. O outro projeto, intitulado “Ciclo produtivo da alga vermelha produtora de carragenana *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivada experimentalmente em Florianópolis, SC”, obteve financiamento do CNPQ/SEAP. Através desses projetos foram desenvolvidos os seguintes trabalhos: cultivo *in vitro* de 5 linhagens; efeitos de diferentes fontes de nutrientes comerciais; estabelecimento de cultivo em tanques; efeitos de diferentes fontes de nutrientes para a manutenção das algas; cultivo experimental no mar; extração de carragenanas (BOUZON *et al.*, 2009) e efeitos da radiação ultravioleta-B na morfofisiologia da espécie (SCHMIDT, 2009).

O sistema de cultivo utilizado no Brasil é o de balsas flutuantes em sistema de espinhel, que utiliza tubos de PVC como flutuadores, constituindo quadras. A estrutura de cultivo montada em Florianópolis é composta por quadras de 3 x 4 m, onde são presas redes tubulares (com 4 cm de abertura de malha) com as algas (Figura 2). Abaixo da balsa existe colocada uma rede de proteção que se estende por toda a estrutura, para a proteção dos ramos contra a predação e possíveis perdas.



Figura 2 – Balsa de cultivo de *Kappaphycus alvarezii*. Sistema de espinhéis instalado na Praia de Sambaqui, Florianópolis/SC.

1.7 A malacocultura marinha em Santa Catarina

O cultivo comercial de moluscos marinhos em Santa Catarina foi iniciado em 1983 pela UFSC, com o cultivo de ostras e, posteriormente, de mexilhões (FERREIRA e OLIVEIRA, 2007). Em 1988 a UFSC, a ACARPESC (atualmente EPAGRI) e pescadores artesanais implantaram cultivos de mexilhões para produção artesanal (FERREIRA e MAGALHÃES, 2004) e desde então, o Estado vem se destacando nessa atividade. Em 2008, Santa Catarina foi responsável por 93% da produção brasileira de moluscos marinhos, com o cultivo de mexilhões *Perna perna* (Linnaeus, 1758), ostras *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) e vieiras *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) (SUPLICY, 2008), sendo considerado o maior produtor de moluscos do Brasil (BOSCARDIN, 2008). Atualmente, a maricultura da região da Grande Florianópolis é baseada nessas três espécies de moluscos (EPAGRI/CEPA, 2008).

Toda essa experiência com a malacocultura no Estado fortalece a proposta de implantar um cultivo integrado de moluscos e algas, disponibilizando ao produtor uma fonte de renda alternativa. O uso de moluscos integrados com as algas pode além de remover o excesso de nutrientes, reduzir o risco de eutrofização da água e seus efeitos negativos (FAO, 2007).

A aquicultura multitrófica integrada (“IMTA”) possui como principal objetivo incorporar espécies de diferentes níveis tróficos no mesmo sistema. Nos últimos anos, essa atividade está em ascensão, promovendo a sustentabilidade econômica e ambiental, convertendo nutrientes sólidos e dissolvidos da alimentação dos organismos cultivados em alimento para outros cultivos e ajudando a reduzir o potencial de eutrofização (FAO, 2009). O cultivo integrado é considerado uma alternativa sustentável para minimizar os impactos da aquicultura e aumentar a rentabilidade dos organismos envolvidos (CHOPIN *et al.*, 2001).

O cultivo integrado de alga em particular, com outros organismos, é importante para manter baías, enseadas e diversas áreas de cultivo saudáveis, diminuindo a sobrecarga do sistema, ciclando nutrientes e gerando diversos produtos na mesma área. A biorremediação torna o sistema de produção mais eficiente e cria diversificação, gerando produtos com valor agregado (CHOPIN *et al.*, 2001). Qian *et al.*, (1996) constatou que o cultivo integrado de *Kappaphycus alvarezii* e a ostra perliífera *Pinctada martensis* (Dunker, 1857) apresentou um incremento no ganho de peso para as duas espécies, de 19% e 12%, respectivamente.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Esse trabalho teve como objetivo colaborar para a implantação do cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii*, na Praia de Sambaqui, Baía Norte/ Florianópolis, através de monitoramento com a análise dos parâmetros físico-químicos da água, relacionados com a pluviosidade semanal acumulada e o monitoramento da dispersão da espécie em regiões circunvizinhas.

2.2 Objetivos específicos

- Monitorar parâmetros ambientais (oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura, nitrato, amônia total, fosfato, material em suspensão, clorofila *a* e feofitina *a*) no cultivo e em regiões circunvizinhas;
- Verificar eventuais liberações e sobrevivência de propágulos na comunidade do mesolitoral e infralitoral de costões circunvizinhos ao cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii*;
- Verificar a presença de plantas férteis da espécie no cultivo experimental e caracterizar as diferenças morfológicas das linhagens.

Capítulo 1

Monitoramento do ambiente no cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougiaceae) na Praia de Sambaqui, Florianópolis/sul do Brasil

Beatriz Gomes Nunes^{1*}, Leila Hayashi², Alessandra Fonseca³, Aimê Rachel Magenta Magalhães¹

¹ Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil.

² Departamento de Biologia Celular, Embriologia e Genética, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

³ Departamento de Geociências, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

*Correspondência: beatrizgomesnunes@gmail.com

Artigo segundo as normas da revista “Aquaculture”

Resumo

O potencial econômico da espécie de alga exótica *Kappaphycus alvarezii* despertou interesse em realizar cultivo no litoral brasileiro, com a necessária segurança ambiental. Por falta de estudos pretéritos, os cuidados para a introdução da espécie no Brasil foram redobrados. Conhecer as características ambientais ideais para o desenvolvimento da espécie, como salinidade, temperatura, nutrientes e transparência, permite um maior controle na região escolhida para uma implantação econômica e ambientalmente viável de cultivos comerciais. De acordo com a Instrução normativa n.º 185 do Ministério do Meio Ambiente, o monitoramento ambiental torna-se uma exigência permanente do governo para instalação e operação de empreendimentos de cultivo comerciais de *K. alvarezii*. Este trabalho tem como objetivo analisar as variáveis físicas, físico-químicas, químicas e biológicas da água do mar: salinidade, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido-OD, nitrogênio inorgânico dissolvido ($\text{NID} = \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), fosfato- PO_4^{3-} , material particulado em suspensão-MPS, clorofila *a* e feofitina *a*, na área do cultivo experimental de *K. alvarezii*, para determinar os possíveis impactos do cultivo na região e verificar se o ambiente é propício para o desenvolvimento da espécie. As coletas de água foram realizadas na Praia de Sambaqui, Baía Norte de Florianópolis, em 7 pontos pré-estabelecidos. A primeira coleta foi realizada antes da implantação do cultivo; as 3 coletas seguintes foram sazonais e as 8 coletas restantes foram mensais, entre fevereiro de 2008 e julho de 2009. As águas dos diferentes pontos amostrais apresentaram as mesmas características físicas e verificou-se uma variação sazonal entre os dados, podendo agrupá-los em três grupos: verão, intermediário e inverno. A concentração de NID apresentou uma tendência anual com maiores valores no inverno e uma queda nos meses mais quentes. Considerando que a concentração de NID no ponto do cultivo das algas foi menor do que dos demais pontos amostrais, sugere-se que a espécie pode estar assimilando os compostos nitrogenados. Pela homogeneidade dos parâmetros analisados entre os pontos amostrais, foi possível concluir que o cultivo experimental não causou impacto na região de Sambaqui, uma vez que a estação amostral, onde as algas estavam sendo cultivadas, apresentou concentrações menores de NID que a estação controle. Mesmo apresentando uma razão N:P abaixo do exigido, *K. alvarezii* apresentou taxas de crescimento dentro do padrão de cultivos comerciais, mostrando que o cultivo na região é tecnicamente viável e propício para o desenvolvimento da espécie.

Palavras-chave: *Kappaphycus alvarezii*, Macroalga marinha vermelha, Monitoramento ambiental

Monitoring the environment in *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougaceae) experimental cultivation at Sambaqui Beach, Florianópolis/ South of Brazil

Abstract

The economic potential of the exotic seaweed species, *Kappaphycus alvarezii*, provoked interest in the establishment of a culture at the Brazilian coast by identifying environmental requirements. Since no previous studies exist, the introduction of this species in Brazil had to be made very cautiously leading to the importance of the understanding of environmental characteristics as salinity, temperature, nutrients and transparency. These elements permit an appropriate control of the choice of the region in order to obtain an economically and environmentally viable implementation of commercial cultivation. According to the 185 Normative Instruction from the Ministério do Meio Ambiente, environmental monitoring is a permanent governmental requirement for installation and operation of *K. alvarezii* commercial cultivation. This work aims to analyze physical, physico chemical, chemical and biological variables of the sea water related to salinity, temperature, dissolved-OD oxygen concentration, inorganic dissolved nitrogen ($\text{NID-NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), fosfato- PO_4^{3-} , suspended material particles-SMP, chlorophyll *a* and pheophytin *a*, on experimental *K. alvarezii* cultivation area, to determinate culture possible impacts and verify if the environment is appropriate for the development of this species. The samples of water were collected at Sambaqui Beach, North Bay of Santa Catarina Island. There were 7 pre-selected sites. The first collection was done before the culture implantation; the next 3 were seasonal and the 8 last ones were done monthly between February/2008 and July/2009. Samples from different sites showed the same physical characteristics and it was verified a seasonal difference among data determining three groups: summer, medium and winter. The concentration of NID showed an annual propensity for bigger numbers during winter and a decrease during hot months. Considering that the NID concentration at seaweeds collecting point was smaller than other points, we suggest that the species can be assimilating nitrogen compounds. Based on the homogeneity of the analyzed parameters among the sample points, it was possible to conclude that the experimental culture had no negative impact at the region of Sambaqui, since the area, where the seaweeds were being cultivated, showed less concentration of NID that the control area. Even with N:P rate lower than required, *K. alvarezii* presented increasing rates for the commercial culture standard, indicating that the culture on this place is technically viable and favorable to the development of this species.

Keywords: *Kappaphycus alvarezii*, Red seaweed, Environmental monitoring

1 Introdução

A divulgação dos estudos sobre a introdução e o potencial da espécie *Kappaphycus alvarezii* Doty (Doty) ex P.C. Silva (Rhodophyta, Areschougaceae) no Brasil estimulou empreendedores a promover o cultivo dessa alga em escala comercial. Desde então, surgiram questionamentos por parte de órgãos ambientais brasileiros e pesquisadores da comunidade acadêmica, principalmente ligados à Sociedade Brasileira de Ficologia, sobre a falta de estudos e a possibilidade dessa espécie trazer problemas ambientais.

Estudos prévios como monitoramento ambiental devem ser realizados visando estabelecer subsídios ao ordenamento da atividade, evitando danos ambientais causados pelos cultivos marinhos (Oliveira, 2005). No caso de *K. alvarezii*, Paula et al. (1998) consideraram de extrema importância a realização de investigações sobre a dispersão de algas desprendidas dos cultivos e a ocorrência e viabilidade de esporos das mudas cultivadas. Por ser uma espécie exótica, estudos de monitoramento ambiental que contemplem o potencial de dispersão para fora da estrutura de cultivo e a influência de parâmetros ambientais como concentração de nutrientes, temperatura e salinidade no desenvolvimento dos propágulos, se tornam primordiais para o desenvolvimento sustentável da atividade.

Conhecer as características da espécie estudada é fundamental para saber como controlar seu crescimento e dispersão, uma vez que, por possuir propagação vegetativa, a dispersão da espécie pode ser facilitada. Fatores ambientais como a temperatura, horas de luz, transparência e salinidade podem afetar o desenvolvimento da espécie. Essa espécie requer fotoperíodo de 8-9h luz/dia, temperaturas ente 20-32°C (ótimo 25-30°C) e salinidades superiores a 30 ‰ (ótimo: 35‰) (Doty, 1986; Areces, 1995). *Kappaphycus alvarezii* é capaz de suportar um certo grau de turbidez da água (Mshigeni, 1979; Doty, 1986; Trono, 1993), desde que não seja prolongada ou frequente (Areces, 1995).

Segundo Ferreira e Oliveira (2007) Santa Catarina possui um litoral caracterizado por regiões de baixa profundidade (3 a 8 m). A temperatura varia de 16 a 30°C, a salinidade de 30 a 36‰, a clorofila *a* de 1 a 7 µg L⁻¹ e o material particulado em suspensão pode atingir níveis de 30 a 40 mg L⁻¹.

Os elementos mais importantes para o metabolismo das algas em águas costeiras são o nitrogênio e o fósforo, por serem geralmente limitantes para o seu crescimento (Birch et al., 1981; Fong et al., 1993;

Larned, 1998; Glenn et al., 1999; Sanderson et al., 2008). A maioria das macroalgas tem preferência pela absorção da amônia do que pelo nitrato e nitrito (Harrison e Hurd, 2001; Qian et al., 1996; Cohen e Fong, 2004). Os requerimentos de nitrogênio e fósforo da *Kappaphycus alvarezii* são baixos (Wakibia et al., 2006), apresentando desenvolvimento ótimo em águas com concentrações entre 1,0 a 2,0 μM e 0,5 a 1,0 μM , respectivamente (Glenn e Doty, 1990).

Kappaphycus alvarezii é capaz de assimilar nitrogênio, particularmente na forma de amônia (Qian et al., 1996), o principal produto excretado nos sistemas de aquicultura intensiva (Buschmann et al., 1996; Troell et al., 1999). Em cultivos integrados, essa alga pode apresentar altas taxas de crescimento (Li et al., 1990). A aquicultura multitrófica integrada (IMTA) é uma boa perspectiva para o futuro da atividade, integrando o cultivo de peixes, moluscos e algas, criando um sistema balanceado para alcançar a sustentabilidade ambiental, estabilidade econômica e aceitabilidade social (FAO, 2009). Por remover compostos nitrogenados (Hayashi et al., 2008) e possuir a carragenana, um polissacarídeo com alto valor comercial (McHugh, 2003), a espécie possui potencial para ser utilizada na aquicultura multitrófica integrada.

Segundo a instrução Normativa nº. 185 de 23 de Julho de 2008 do Ministério do Meio Ambiente, o monitoramento ambiental tornou-se uma exigência permanente do governo brasileiro (IBAMA/MMA) para instalação e operação de empreendimentos de cultivo comerciais de *K. alvarezii*. De acordo com a IN, ficam autorizados os cultivos de *Kappaphycus alvarezii* no litoral dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, exclusivamente, na área compreendida entre a Baía de Sepetiba (RJ) e a Ilhabela (SP). A liberação do cultivo da alga fora da área estabelecida só será permitida após estudos e avaliação ambiental da região, para a comprovação da sua viabilidade ambiental. Em Santa Catarina, região sul do Brasil, a licença concedida pelo governo federal libera a implantação de um cultivo experimental da *K. alvarezii* apenas na praia do Sambaqui para fins científicos.

O objetivo do presente estudo foi analisar a água sob influência da área de cultivo de *K. alvarezii* de acordo com a salinidade, temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio inorgânico dissolvido ($\text{NID}=\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), fósforo inorgânico dissolvido ($\text{PID}/\text{PO}_4^{3-}$), material particulado em suspensão (MPS), e pigmentos fitoplanctônicos (clorofila *a* e feofitina *a*), para determinar

os possíveis impactos do cultivo na região e a potencialidade para o cultivo comercial da espécie.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudos

O cultivo experimental da *Kappaphycus alvarezii* foi implantado em uma área da Fazenda Experimental de Cultivo de Moluscos Marinhos (LMM), do Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina na praia de Sambaqui, localizada na Baía Norte de Florianópolis, sul do Brasil ($27^{\circ}29'18,65''\text{S}$ e $48^{\circ}32'17,96''\text{W}$) (Figura 1). A área utilizada para a produção das algas é de 48m^2 , composta por 4 módulos de 3×4 m. O plantio é feito com $3\text{Kg}/\text{m}^2$ e a colheita realizada a cada 60 dias, o ciclo mais produtivo de 2008-2009 rendeu $13\text{Kg}/\text{m}^2$ e o menos produtivo $4,22\text{Kg}/\text{m}^2$.

A praia possui $14,17$ ha e um volume de água de 425.100m^3 , apresentando uma circulação intermediária, com vento norte predominante, sedimento areno-lodoso e uma profundidade de $2,5$ a $3,5$ metros (Besen, 2005). A profundidade média na área do cultivo é de 5 metros.

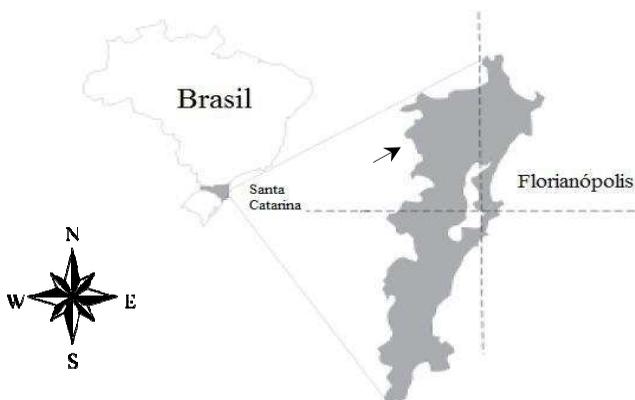


Figura 1 - Localização da Praia de Sambaqui (seta) na Baía Norte, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil ($27^{\circ}29'18,65''\text{S}$ e $48^{\circ}32'17,96''\text{W}$) (modificado a partir de Torres et al., 2009).

2.2 *Desenho amostral*

A Praia de Sambaqui foi diferenciada em sete pontos amostrais: 1 - próximo à praia; 2 - depois dos cultivos de moluscos (ostras, mexilhões, vieiras e ostras perlíferas); 3 - no meio do cultivo de moluscos; 4 - entre o cultivo de moluscos e do módulo de cultivo de *K. alvarezii*; 5 - no meio do cultivo de *K. alvarezii*; 6 - no final do cultivo de *K. alvarezii* e 7 - distante da praia e dos cultivos (Figura 2).

As amostragens foram divididas em duas etapas. A primeira foi constituída por quatro coletas sazonais para um levantamento prévio das características físicas, físico-químicas, químicas e biológicas da água da praia de Sambaqui, sendo que a primeira foi realizada antes da introdução do cultivo de *K. alvarezii* (fev./08) nos pontos 1, 2, 3, 4 e 7. As demais amostragens sazonais (abr/08, ago/08 e nov/08) ocorreram em todos os pontos amostrais (1 ao 7). Na segunda etapa, foram realizadas amostragens mensais, de dezembro de 2008 a julho de 2009, do ponto 1 ao 7.



Figura 2 – Pontos das coletas de água – Praia de Sambaqui – Baía Norte de Florianópolis (1 - próximo à praia, 2 - depois do cultivo de moluscos, 3 - no meio do cultivo de moluscos, 4 - entre o cultivo de moluscos e do módulo de cultivo de *K. alvarezii*, 5 - no meio do cultivo de *K. alvarezii*, 6 - no final do cultivo de *K. alvarezii* e 7 - distante da praia e dos cultivos). As linhas pontilhadas em branco representam os espinhéis de cultivo de mexilhões e ostras e a linha pontilhada verde representam a balsa de cultivo de algas. Imagem obtida através do software Goggle Earth (GeoEye Julho/2009).

2.3 Procedimento em campo

Em cada ponto amostral, a água de superfície foi coletada em triplicata diretamente em frascos de polipropileno de 1 L devidamente lavado, onde foi armazenada. Os frascos foram mantidos em caixa térmica sob baixa temperatura e ao abrigo da luz até a chegada no Laboratório de Algas Marinhas (LAMAR/CCB/UFSC).

O oxigênio, salinidade e temperatura da água foram medidos com auxílio de um multiparâmetros (YSI, modelo 556) e a transparência da

água foi medida com o Disco de Secchi. Essas medidas foram feitas *in loco* e em triplicata.

2.4 *Análise em laboratório*

2.4.1 *Processamento da amostra*

Imediatamente após a coleta, a amostra de água foi filtrada com membrana de fibra de vidro de 0,45 μm de porosidade (filtro GF-52C Scheicher e Schull). De cada amostra foram filtradas 2 alíquotas sendo que uma foi utilizada para estimar o material particulado em suspensão (MPS) e, a outra para estimar a concentração de clorofila *a* e feofitina *a*. As filtrações, preservação, análise e cálculo da concentração dessas variáveis seguiram a metodologia descrita em Strickland e Parsons (1972). O filtrado foi utilizado para analisar a concentração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, fósforo (PID), N-amoniaco (N-NH₄), nitrato e nitrito (N-NO₃+ N-NO₂). A preservação, análise e cálculo das concentrações destes nutrientes seguiu a metodologia colorimétrica descrita em Grasshoff et al. (1983). A absorbância das amostras foi lida em espectrofotômetro digital (Bauch e Lomb, modelo Genesis 2) utilizando-se de cubetas de 5 cm de passo óptico.

2.5 *Dados meteorológicos*

Os dados de precipitação acumulada de fevereiro de 2008 a julho de 2009 foram fornecidos pelo CIRAM - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. A previsão do tempo e os dados de maré foram obtidos através do site do Ministério da Ciência e Tecnologia (<http://www.ondas.cptec.inpe.br/>).

2.6 *Análise estatística*

Para identificar a variação sazonal e espacial dos parâmetros analisados foi utilizada a análise de variância unifatorial (ANOVA), considerando $p < 0,05$. Para verificar a influência do cultivo de algas na Praia de Sambaqui, o possível impacto na região e a potencialidade para o cultivo, foi feita a ANOVA utilizando três pontos, 3 X 5 X 7 (mexilhão x algas x controle) sendo que para essa verificação a primeira coleta foi descartada.

Os resultados que apresentaram diferença significativa foram submetidos ao teste *a posteriori* de Tukey (unifatorial). A análise de

correlação simples de Pearson foi gerada para averiguar a correlação entre as variáveis. A temperatura foi comparada à salinidade, para identificar as características das massas de águas entre os pontos amostrais. Estas análises foram realizadas no Programa Statistica (versão 7.0).

3 Resultados

3.1 Análise das variáveis ambientais durante o período experimental

De acordo com o gráfico de temperatura e salinidade (T x S), as águas dos diferentes pontos amostrais apresentaram as mesmas características físicas (Figura 3). Contudo, verificou-se uma variação sazonal entre os dados, podendo distinguí-los em três grupos: verão (salinidade de 28-33‰ e temperatura de 23-26°C), intermediário (outono-primavera, salinidade de 31-34‰ e temperaturas de 21-23°C) e inverno (salinidade de 34-36‰ e temperaturas de 18-19°C). A salinidade mais baixa (31,20 ‰) ocorreu em dezembro de 2008 e, as mais altas, em junho (34,73‰) e julho (35‰) de 2009. A distribuição dos resultados de salinidade e temperatura da água em cada coleta pode ser observada na Figura 3.

Tabela 1 – Médias de temperatura (°C) e salinidade (‰) da água de Sambaqui nas 12 amostragens realizadas, sendo que cada coleta foi representada por um respectivo símbolo.

Coletas	Salinidade (‰)	Temperatura (°C)	Símbolo
Fev/08	34,00	26,68	□
Mai/08	34,00	21,55	⬡
Ago/08	35,00	18,50	▽
Nov/08	33,92	22,39	⊗
Dez/08	27,87	23,75	△
Jan/09	31,57	25,93	○
Fev/09	31,34	26,30	□
Mar/09	31,57	25,93	◇
Abr/09	33,20	21,70	⬠
Mai/09	34,19	23,32	➡
Jun/09	35,91	18,15	⊕
Jul/09	34,66	19,03	◇

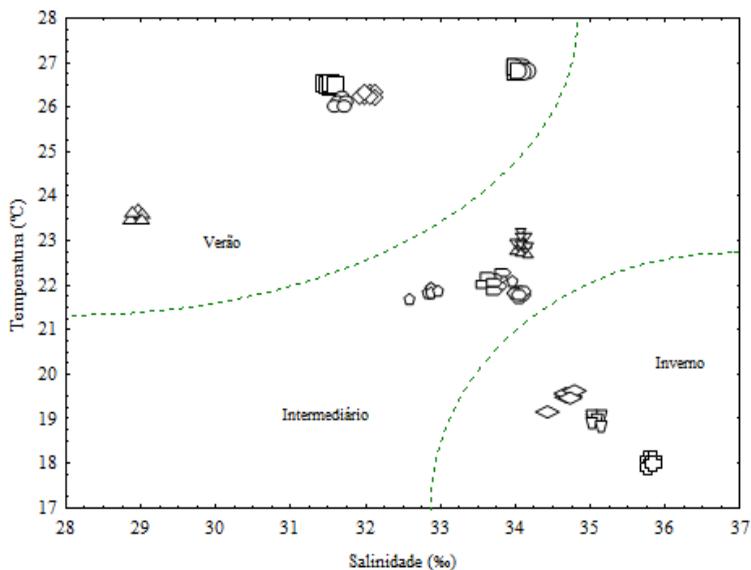


Figura 3 – Temperatura x salinidade das 12 coletas, evidenciando a distribuição dos dados em três grupos: verão, intermediário e inverno.

A salinidade apresentou uma baixa correlação com a precipitação acumulada na semana da amostragem ($r = 0,33$). Porém, quando relacionada com a maré, a correlação foi significativa ($r = 0,67$), indicando que as características físicas da Praia de Sambaqui estão mais influenciadas pelas trocas com a água do mar adjacente, movida pela maré, do que com a água proveniente da drenagem continental ou pluviosidade (Figura 4).

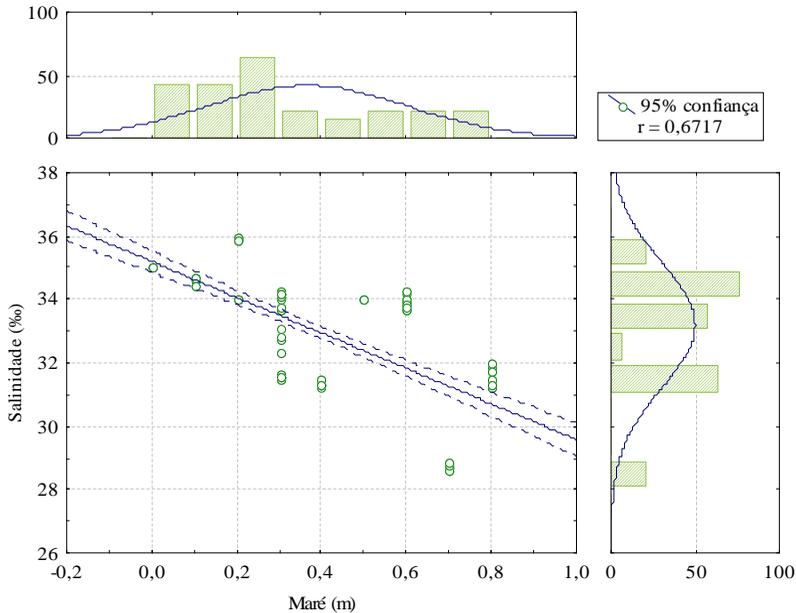


Figura 4 – Correlação da salinidade e maré incluindo as 12 coletas, evidenciando a alta relação entre os dois parâmetros.

Apesar do verão ser mais chuvoso do que o inverno, a precipitação semanal acumulada (mm) apresentou o valor máximo em maio de 2008, de 131,00 mm e, mínima, em fevereiro de 2009, de 3,5 mm.

A maior transparência da água ocorreu em junho de 2009 (1,40 m) e a menor ocorreu em abril de 2009 (0,40 m), apresentando uma média de $0,95 \pm 0,27$ m.

A concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) segue uma tendência sazonal (Figura 5), sendo maior a concentração no outono e inverno e menor no verão e primavera ($p < 0,05$), variando de $2,13 \pm 0,75 \mu\text{M}$ a $2,92 \pm 1,16 \mu\text{M}$. Entre as estações amostrais só foram observadas diferenças significativas no verão e outono-primavera.

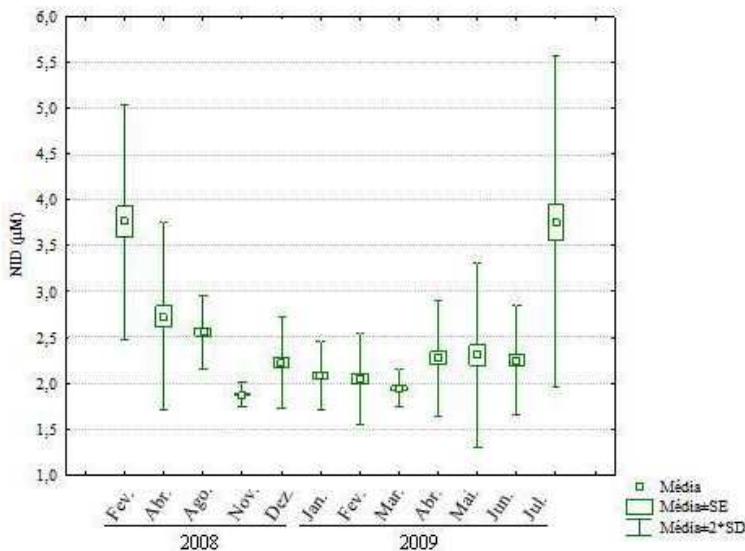


Figura 5 – Concentração (μM) média, média \pm erro padrão e média \pm desvio padrão de NID (nitrogênio inorgânico dissolvido), de todos os pontos ao longo das 12 coletas feitas na Praia de Sambaqui.

A razão N:P apresentou uma média geral de $5,73 \pm 1,39 \mu\text{M}$ (5,7N:1P). A média no verão foi $5,34 \pm 0,93 \mu\text{M}$ (5,3N:1P) e, no inverno, $6,58 \pm 1,52 \mu\text{M}$ (6,6N:1P).

3.2 Análise das variáveis ambientais antes da implantação do cultivo

Nas amostras de água coletadas nos 5 pontos, antes da instalação do cultivo, não foi possível realizar análises de oxigênio dissolvido em triplicatas devido a problemas técnicos.

Na primeira amostragem realizada, antes da implantação do cultivo de *Kappaphycus alvarezii*, não foram observadas diferenças significativas entre as 5 estações amostrais para a concentração de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (Tabela 2). O oxigênio dissolvido foi desconsiderado para comparação. As concentrações de PID (fosfato inorgânico dissolvido) e NH_4^+ foram significativamente maiores ($p < 0,05$) na estação 2.

A quantidade de material particulado em suspensão (MPS) foi significativamente maior nas estações 2 e 7, em relação aos pontos 1 e 4 (Tabela 2).

A concentração de clorofila *a* e a feofitina *a* apresentaram variação entre as estações amostrais, tendo suas maiores concentrações nos pontos 1, 2 e 7.

Tabela 2 – Concentração de oxigênio dissolvido (OD - mg L⁻¹), N-amoniaco (NH₄⁺ - μM), nitrato (NO₃⁻ - μM) e nitrito (NO₂⁻ - μM), fosfato inorgânico dissolvido - PID (PO₄³⁻ - μM), e a quantidade de material particulado em suspensão (MPS - mg L⁻¹) de água do mar coletada em 5 diferentes pontos da Praia do Sambaqui. Valores apresentados em médias ± desvio padrão). As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

Pontos	1	2	3	4	7
NH₄⁺ (μM)	0,31± 0,01 ^a	0,51± 0,01 ^b	0,24± 0,01 ^a	0,31± 0,01 ^a	0,23± 0,01 ^a
NO₃⁻+NO₂⁻ (μM)	3,37± 0,35	3,66± 0,89	3,94± 0,67	2,93± 0,12	3,29± 0,64
PID (μM)	0,67± 0,01 ^a	0,90± 0,06 ^b	0,77± 0,05 ^a	0,73± 0,04 ^a	0,70± 0,04 ^a
Clorofila <i>a</i> (μg L ⁻¹)	4,07± 0,79 ^{ac}	6,59± 0,15 ^a	4,85± 1,40 ^{abc}	1,92± 1,38 ^c	5,98± 1,80 ^{ab}
Feofitina <i>a</i> (μg L ⁻¹)	2,43± 0,95 ^{ab}	3,22± 1,19 ^a	1,11± 0,23 ^b	0,62± 0,75 ^b	1,43± 0,37 ^{ab}
OD (mg L ⁻¹)	5,68	6,44	6,00	6,19	6,04
MPS (mg L ⁻¹)	62,70± 0,44 ^a	115,00± 20,95 ^{bc}	83,82± 6,11 ^{ac}	61,5± 2,63 ^a	104,67± 19,19 ^c

3.3 Análise das variáveis ambientais após a implantação do cultivo

A concentração de N-amoniaco (Figura 6) e a quantidade de material particulado em suspensão (Figura 7) apresentaram diferenças significativas entre as estações amostrais no verão. No grupo intermediário essa diferença foi observada para a concentração de NH₄⁺ (Figura 8), NO₃⁻ e NO₂⁻ (Figura 9) e, no grupo do inverno, a diferença foi somente para a concentração de Feofitina *a* (Figura 10). As médias, desvio padrão e as diferenças dos parâmetros analisados entre as estações amostrais estão resumidas na tabela 3.

Tabela 3 – Concentração de N-amoniaco (NH_4^+ - μM), nitrato (NO_3^- - μM) e nitrito (NO_2^- - μM), PID (μM), Clorofila *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), Feofitina *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg mL^{-1}), Temperatura ($^\circ\text{C}$), quantidade de material particulado em suspensão - MPS (mg L^{-1}) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 7 diferentes pontos da Praia de Sambaqui analisados em três grupos: Verão (V), Outono-Primavera (INT) e Inverno (IN). Valores apresentados em médias \pm desvio padrão. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

Grupos	Parâmetros/ Pontos	1	2	3	4	5	6	7
V	N-amoniaco (NH_4^+ - μM)	0,52 \pm 0,19 ^{ac}	0,45 \pm 0,06 ^{ab}	0,33 \pm 0,08 ^b	0,35 \pm 0,04 ^{bc}	0,29 \pm 0,04 ^{bc}	0,44 \pm 0,01 ^{ac}	0,65 \pm 0,21 ^d
INT		1,07 \pm 0,11 ^a	1,23 \pm 0,43 ^a	1,04 \pm 0,17 ^{ab}	0,81 \pm 0,18 ^{bc}	0,61 \pm 0,05 ^c	0,58 \pm 0,11 ^c	0,61 \pm 0,06 ^c
IN		1,52 \pm 1,38	1,31 \pm 1,02	0,81 \pm 0,36	0,81 \pm 0,49	0,76 \pm 0,44	0,85 \pm 0,67	0,72 \pm 0,47
V	Nitrato e nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ - μM)	2,04 \pm 0,81	2,11 \pm 1,01	2,18 \pm 1,10	1,91 \pm 0,62	2,01 \pm 0,82	1,56 \pm 0,05	1,56 \pm 0,07
INT		1,71 \pm 0,26 ^a	1,54 \pm 0,14 ^{ab}	1,51 \pm 0,15 ^{ac}	1,40 \pm 0,23 ^{bc}	1,49 \pm 0,20 ^c	1,43 \pm 0,20 ^{bc}	1,34 \pm 0,01 ^{bc}
IN		1,69 \pm 0,14	1,54 \pm 0,12	1,60 \pm 0,06	1,66 \pm 0,11	1,59 \pm 0,08	1,63 \pm 0,08	1,72 \pm 0,27
V	PID (PO_4^{3-} - μM)	0,42 \pm 0,16	0,50 \pm 0,24	0,49 \pm 0,17	0,47 \pm 0,16	0,46 \pm 0,14	0,40 \pm 0,02	0,40 \pm 0,02
INT		0,52 \pm 0,11	0,49 \pm 0,08	0,50 \pm 0,12	0,44 \pm 0,06	0,47 \pm 0,10	0,43 \pm 0,09	0,43 \pm 0,07
IN		0,46 \pm 0,12	0,40 \pm 0,13	0,43 \pm 0,11	0,41 \pm 0,13	0,40 \pm 0,13	0,40 \pm 0,15	0,39 \pm 0,15

Tabela 3 – Concentração de N-amoniacoal (NH_4^+ μM), nitrato (NO_3^- - μM) e nitrito (NO_2^- - μM), PID (μM), Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), Feofitina a ($\mu\text{g L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg mL^{-1}), Temperatura ($^\circ\text{C}$), quantidade de material particulado em suspensão - MPS (mg L^{-1}) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 7 diferentes pontos da Praia de Sambaqui analisados em três grupos: Verão (V), Outono-Primavera (INT) e Inverno (IN). Valores apresentados em médias \pm desvio padrão. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

Grupos	Parâmetros/ Pontos	1	2	3	4	5	6	7
V	Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	4,55 \pm	5,19 \pm	5,78 \pm	3,98 \pm	5,98 \pm	4,90 \pm	4,27 \pm
		1,45	1,53	1,88	1,53	1,97	2,93	2,00
INT		5,39 \pm	5,04 \pm	5,22 \pm	4,19 \pm	5,16 \pm	4,86 \pm	4,62 \pm
		1,99	1,21	2,31	1,25	2,35	1,46	0,36
IN		3,92 \pm	4,04 \pm	3,54 \pm	2,76 \pm	3,15 \pm	3,49 \pm	3,04 \pm
		1,46	1,42	0,88	1,46	0,81	1,13	1,41
V	Feofitina a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	2,34 \pm	2,82 \pm	1,52 \pm	2,70 \pm	1,91 \pm	1,42 \pm	1,51 \pm
		0,66	1,86	1,22	2,92	0,90	1,36	0,76
INT		1,51 \pm	1,40 \pm	1,63 \pm	1,29 \pm	1,42 \pm	1,24 \pm	1,01 \pm
		0,74	0,83	1,11	0,36	0,30	0,78	0,72
IN		1,12 \pm	1,66 \pm	1,44 \pm	1,68 \pm	1,06 \pm	1,07 \pm	0,77 \pm
		0,54 ^{ab}	0,39 ^a	0,55 ^{ab}	0,86 ^a	0,42 ^{ab}	0,54 ^{ab}	0,31 ^b
V	Oxigênio (mg L^{-1})	5,19 \pm	5,35 \pm	5,24 \pm	5,37 \pm	5,31 \pm	5,05 \pm	5,11 \pm
		0,41	0,72	0,51	0,57	0,50	0,28	0,27
INT		5,96 \pm	6,00 \pm	6,98 \pm	6,02 \pm	6,00 \pm	5,99 \pm	6,10 \pm
		0,95	0,88	0,86	0,85	0,92	0,85	0,94
IN		6,24 \pm	6,35 \pm	6,33 \pm	6,47 \pm	6,48 \pm	6,46 \pm	6,49 \pm
		0,80	0,83	0,88	1,00	0,92	0,95	0,98

Tabela 3 – Concentração de N-amoniaco (NH_4^+ μM), nitrato (NO_3^- - μM) e nitrito (NO_2^- - μM), PID (μM), Clorofila *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), Feofitina *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg mL^{-1}), Temperatura ($^\circ\text{C}$), quantidade de material particulado em suspensão - MPS (mg L^{-1}) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 7 diferentes pontos da Praia de Sambaqui analisados em três grupos: Verão (V), Outono-Primavera (INT) e Inverno (IN). Valores apresentados em médias \pm desvio padrão. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

Grupos	Parâmetros/ Pontos	1	2	3	4	5	6	7
V	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	26,13 \pm 0,37	26,20 \pm 0,34	26,23 \pm 0,31	26,24 \pm 0,31	26,24 \pm 0,30	26,07 \pm 0,04	26,09 \pm 0,18
INT		21,25 \pm 2,02	21,16 \pm 1,96	21,23 \pm 1,97	21,14 \pm 1,94	21,22 \pm 1,96	21,24 \pm 1,97	21,04 \pm 1,09
IN		20,89 \pm 2,27	20,91 \pm 2,28	20,94 \pm 2,31	20,92 \pm 2,29	20,93 \pm 2,29	20,97 \pm 2,33	20,90 \pm 2,40
V	Material Particulado (mg L^{-1})	76,24 \pm 13,44 ^{ab}	87,37 \pm 19,12 ^b	80,28 \pm 4,96 ^{ab}	70,80 \pm 6,45 ^a	82,55 \pm 15,92 ^{ab}	74,88 \pm 1,90 ^{ab}	68,56 \pm 4,74 ^a
INT		73,27 \pm 23,69	66,21 \pm 6,06	70,58 \pm 17,66	66,53 \pm 11,64	65,43 \pm 11,06	63,13 \pm 8,12	60,03 \pm 4,52
IN		103,19 \pm 60,08	87,88 \pm 36,20	86,78 \pm 40,52	77,67 \pm 32,78	78,48 \pm 32,74	74,79 \pm 26,34	73,40 \pm 18,41
V	Salinidade (‰)	32,24 \pm 1,06	32,22 \pm 1,10	32,17 \pm 1,11	32,07 \pm 1,16	32,02 \pm 1,20	31,45 \pm 0,17	31,39 \pm 0,11
INT		34,50 \pm 0,85	34,25 \pm 1,13	34,54 \pm 0,82	34,15 \pm 1,27	34,45 \pm 0,92	34,50 \pm 0,88	33,91 \pm 1,62
IN		33,17 \pm 2,71	33,03 \pm 2,65	33,04 \pm 2,62	22,08 \pm 2,68	33,07 \pm 2,73	33,13 \pm 2,63	33,04 \pm 2,54

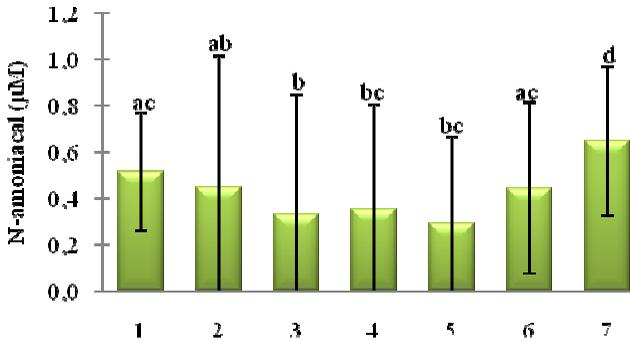


Figura 6 – Concentração (μM) de N-amoniacoal (NH_4^+) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo do verão. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

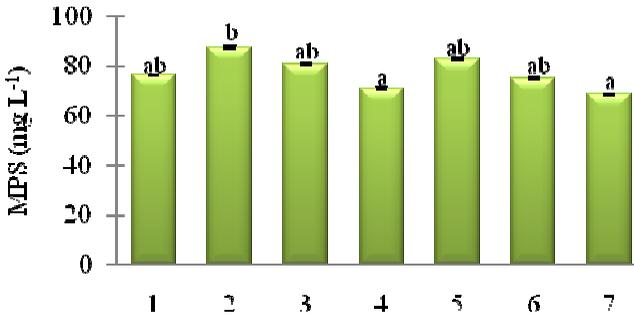


Figura 7 – Quantidade (mg L^{-1}) de material particulado em suspensão (MPS) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo do verão. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

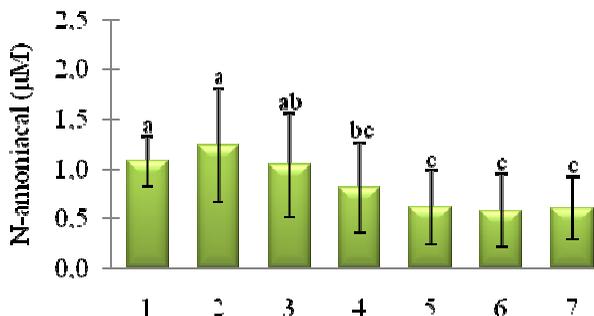


Figura 8 – Concentração (μM) de N-amoniacoal (NH_4^+) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo intermediário. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

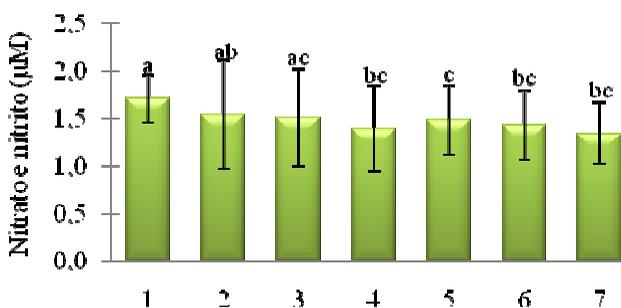


Figura 9 – Concentração (μM) de nitrato e nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo intermediário. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

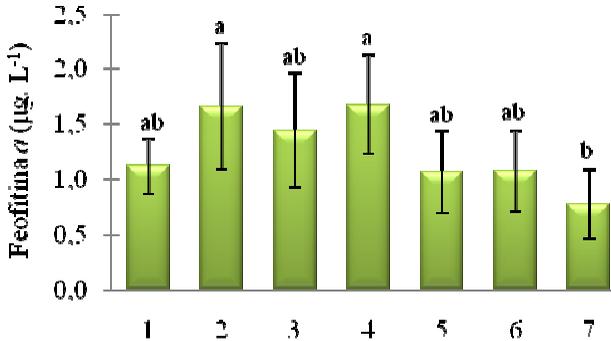


Figura 10 – Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$) de Feofitina *a* em amostras de água coletada em 7 pontos da região de Sambaqui no grupo do inverno. Valores apresentados em médias sazonais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

A maior concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos foi observada no inverno com uma média de $3,01 \pm 0,10 \mu\text{M}$ (NID+PID), seguido pelo período intermediário e pelo verão, com $2,86 \pm 0,60$ e $2,81 \pm 1,00 \mu\text{M}$ respectivamente (Tabela 4). A clorofila *a* e a feofitina *a* apresentaram valores mais elevados nos períodos mais quentes.

Tabela 4 – Concentração de N-amoniacoal (NH_4^+ - μM), (NO_3^- - μM) e nitrito (NO_2^- - μM), PID (μM), clorofila *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), feofitina *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), Temperatura ($^\circ\text{C}$), quantidade de material particulado em suspensão - MPS (mg L^{-1}) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 11 amostragens na Praia de Sambaqui analisados em três grupos: Verão (V), Outono-Primavera (INT) e Inverno (IN). Valores apresentados em médias \pm desvio padrão. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

Parâmetros/ Grupo	Verão	Intermediário	Inverno
N-amoniacoal (NH_4^+ - μM)	0,42 \pm 0,17 ^a	0,85 \pm 0,28 ^b	0,97 \pm 0,13 ^b
Nitrato e nitrito (NO_3^+ + NO_2^- - μM)	1,94 \pm 0,78 ^a	1,54 \pm 0,23 ^b	1,63 \pm 0,14 ^b
PID (PO_4^{3-} - μM)	0,45 \pm 0,15 ^a	0,47 \pm 0,10 ^b	0,41 \pm 0,13 ^b
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	4,96 \pm 1,79 ^a	4,93 \pm 1,68 ^a	3,42 \pm 1,28 ^b
Feofitina <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	2,07 \pm 1,58 ^a	1,36 \pm 0,73 ^b	1,26 \pm 0,61 ^b
Oxigênio (mg L^{-1})	0,87 \pm 0,17 ^a	1,00 \pm 0,28 ^b	0,98 \pm 0,13 ^c
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	26,18 \pm 0,29 ^a	21,18 \pm 1,89 ^b	20,92 \pm 2,23 ^b
Material particulado (mg L^{-1})	77,66 \pm 12,81 ^a	66,45 \pm 13,53 ^b	83,17 \pm 37,22 ^a
Salinidade (‰)	31,98 \pm 1,00 ^a	34,33 \pm 1,08 ^b	33,08 \pm 2,55 ^c

3.4 Análise dos pontos criticos

As concentrações de feofitina *a* e NID apresentaram diferenças significativas entre as estações amostrais consideradas mais críticas nos pontos 3, 5 e 7 (Figura 11). No ponto 3 a feofitina *a* apresentou a maior concentração (1,57 \pm 10,1 $\mu\text{g L}^{-1}$), onde localiza-se o cultivo de mexilhões, seguido do ponto 5, no cultivo de algas (1,47 \pm 0,70 $\mu\text{g L}^{-1}$) e o ponto 7 (1,06 \pm 0,66 $\mu\text{g L}^{-1}$), ponto controle. O ponto 5 apresentou uma concentração menor de NID (2,10 \pm 0,37 μM) quando comparado ao ponto 3 e 7 (2,36 \pm 0,39 μM e 2,22 \pm 0,44 μM , respectivamente).

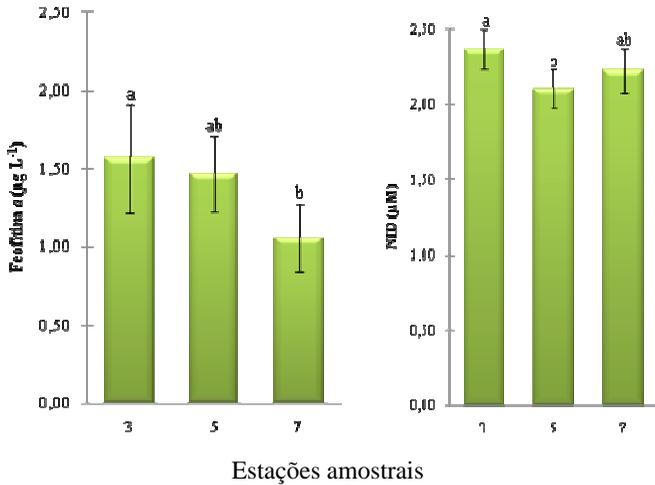


Figura 11 – Concentração de NID (μM) e Feofitina a ($\mu\text{g L}^{-1}$) a em amostras de água coletada em 3 pontos na Praia de Sambaqui (3: cultivo de mexilhões, 5: cultivo de algas, 7: controle). Valores apresentados em médias anuais. As barras verticais apresentam o intervalo de confiança, considerando $p < 0,05$. As letras representam as diferenças significativas de acordo com teste *a posteriori* de Tukey.

4 Discussão

4.1 Análise das variáveis ambientais durante o período experimental

A salinidade e a temperatura não variaram significativamente ao longo dos pontos de amostragem nos três grupos analisados (verão, intermediário e inverno). Esse resultado corrobora o trabalho de Fonseca et al. (2009) que não identificaram diferença significativa entre pontos de amostragem na Baía Norte. Os valores encontrados estão dentro do padrão da região, também confirmados por Maccacchero et al. (2007).

O fator que influenciou os resultados físicos foi a oscilação da maré, confirmada pela correlação com a salinidade ($r = 0,67$). Este fato foi observado por Fonseca et al. (2009) para toda a Baía Norte da Ilha de SC, incluindo suas regiões mais rasas. Ainda de acordo com a autora, o tempo de residência da água na Baía Norte é de 1,9 dias, fator que também pode ter influenciado os resultados. Era esperada que a precipitação acumulada influenciasse na concentração dos parâmetros analisados. Porém, em uma das amostragens o volume chegou a 131,00 mm e mesmo assim não ocorreram variações significativas.

A transparência média na região do cultivo das algas foi 0,95 m onde a zona fótica engloba cerca de 20% da coluna da água. A baixa transparência é resultado da alta movimentação de água, somada ao tipo de sedimento areno-lodoso. Essa agitação aumenta a turbidez da água, com o levantamento do material particulado, podendo prejudicar a absorção de nutrientes pelas algas e diminuir a sua disponibilidade (Lobban e Harrison, 1997). As taxas de crescimento da *Kappaphycus alvarezii* na região de Sambaqui (Bouzon et al., 2009) comprovam que essa restrição luminosa não está afetando a sua produtividade. Como o cultivo de algas é realizado na superfície, a luminosidade é suficiente para o bom desenvolvimento da espécie.

Estudos realizados por Fonseca et al. (2009) na Baía Sul de Florianópolis, demonstraram que na região a zona fótica chega a englobar toda a coluna da água. Assim, as condições para o desenvolvimento de cultivo de algas na região podem ser mais favoráveis do que as encontradas na Baía Norte. A Baía Sul apresenta maiores concentrações de biomassa microalgal, NID e PID, quando comparada à Baía Norte, mostrando-se também uma região potencial para a produção de macroalgas. Porém, a temperatura da água é considerada limitante, com valores inferiores aos encontrados na Baía Norte.

A oscilação sazonal do NID foi observada através da queda e aumento das concentrações no verão e inverno, respectivamente. A diminuição dos níveis de NID no verão ocorre pelo aumento do consumo de compostos nitrogenados pelos organismos fotoautotróficos, cultivados e presentes na Praia de Sambaqui, principalmente microalgas e macroalgas. No inverno ocorre o oposto, devido à diminuição da absorção e a regeneração dos nutrientes (Odebrecht e Gomes, 1987; Fonseca e Braga, 2006).

A razão N:P durante o período de estudos esteve próxima do ideal para a *K. alvarezii*, 7:1, apontado por Larned (1998), sendo os valores encontrados entre 5,6-6,7N:1P. A espécie apresentou taxas de crescimento com valores dentro do padrão de cultivos comerciais (Hayashi, comunicação pessoal), confirmando que a razão N:P da região está próxima do ideal e assim evidenciando que a região possui potencialidade para o cultivo.

Os bons resultados do cultivo experimental da espécie na região sugerem também que a coluna da água pode não ser a única fonte de nutrientes. Segundo Larned (1998), a excreção da macrofauna, escoamentos subterrâneos, matéria orgânica remineralizada e o sedimento podem estar contribuindo com o aporte de nutrientes. Para Huang e Newell (2002), o cultivo de moluscos causa impacto na estrutura geoquímica do bentos e no ciclo do nitrogênio, podendo liberar grandes quantidades de amônia. O nitrogênio liberado para o bentos posteriormente reciclado pode contribuir substancialmente com os requerimentos de nitrogênio do fitoplâncton (Minjeaud et al., em publicação).

4.2 *Análise das variáveis ambientais antes da implantação do cultivo*

Nas amostras de água coletadas nos 5 pontos antes da instalação do cultivo, apenas o ponto 2 apresentou diferença significativa, com maiores concentrações de PID e MPS, sendo que essa diferença pode estar relacionada com a proximidade do ponto com a costa e por estar entre duas pequenas baías, rodeadas por cultivo de moluscos.

4.3 *Análise das variáveis ambientais após a implantação do cultivo*

A concentração dos nutrientes sofreu variação sazonal. No verão o N-amoniaco apresentou diferença significativa entre os pontos amostrais, sendo que os dois pontos mais próximos da costa (1 e 2) e os

pontos mais afastados (6 e 7) apresentaram concentrações maiores. No ponto 5 onde está localizado o cultivo a concentração de NH_4^+ foi menor, porém sem diferença significativa quando comparado aos pontos 3 e 4. Na quantidade de MPS foi observada diferença significativa entre os pontos 2, 4 e 7, confirmando os resultados da primeira coleta, com as maiores concentrações no ponto 2, devido à proximidade com a costa e, no ponto 7, as menores, provavelmente por ser o mais afastado.

No grupo intermediário as concentrações de NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^- apresentaram diferenças significativas entre os pontos amostrais e nos pontos mais próximos da costa (1, 2 e 3) foram observados concentrações maiores desses compostos.

No inverno, a feofitina *a* foi significativamente maior nos pontos 2 e 4, que estão localizados ao entorno dos cultivos de mexilhão da região, justificando a elevada concentração do parâmetro, uma vez que a Feofitina é o produto da degradação da clorofila, que pode ter sido consumida ou apenas entrado em senescência. Assim, a biomassa fitoplanctônica deixa de assimilar para perder nutrientes.

A maior concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos observada no inverno corrobora os resultados obtidos por Fonseca e Braga (2006), que concluíram que o inverno é caracterizado pelo processo de regeneração que restabelece os níveis das formas inorgânicas no sistema. Nutrientes são mais abundantes durante o inverno e ocorre gradualmente o empobrecimento das águas superficiais à medida que se aproxima as estações mais quentes (Mente et al., 2006). A maior disponibilidade de clorofila *a* e feofitina *a* no verão e no período intermediário no presente trabalho pode estar relacionada com a maior incidência luminosa e com a temperatura do período, condições que permitem a proliferação de organismos fotossintetizantes. O padrão sazonal observado nas concentrações de clorofila *a* foi semelhante aos dados obtidos por Rafael Alves (2009, comunicação pessoal) na mesma região, com concentrações mais elevadas no verão e menores no inverno.

A homogeneidade entre os parâmetros analisados responde a pergunta principal do monitoramento ambiental, ou seja, o cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii* não está afetando a qualidade da água, uma vez que o ponto 5, onde as algas se localizam, apresenta características semelhantes aos pontos 4, 6 e 7.

4.4 Análise dos pontos críticos

Nos pontos mais críticos do monitoramento (3, 5 e 7) observou-se influência do cultivo de moluscos, localizados no ponto 3, apresentando uma diferença significativa na concentração de feofitina *a* e NID quando comparado ao pontos 7 (controle). Esse resultado pode sugerir que o cultivo de algas está assimilando os compostos nitrogenados, pois no ponto 5 há uma redução significativa na concentração desses compostos.

Com os resultados obtidos durante os meses de monitoramento, pode-se concluir que o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* não está causando impacto na qualidade da água, uma vez que as características da região em torno do cultivo não apresentam diferenças significativas entre a maioria dos parâmetros. Por essa espécie apresentar taxas de crescimento diário de 3 a 5% e a carragenana apresentar rendimento dentro dos parâmetros comerciais (37 a 41%) (Hayashi, comunicação pessoal) a Praia de Sambaqui é propícia para o desenvolvimento da espécie.

Existe a possibilidade da alga estar melhorando a qualidade da água do local, uma vez que a espécie possui um potencial como biofiltro (Qian et al., 1996; Yarish et al., 2001; Rodriguez e Montañó, 2007; Hayashi et al., 2008). Segundo Neori (1996), as algas podem remover até 90% dos nutrientes descarregados das fazendas marinhas de cultivo integrado de peixes. Qian et al. (1996) constatou que o cultivo integrado de *Kappaphycus alvarezii* e ostra perliífera *Pinctada martensis* (Dunker 1857) apresentou um incremento no ganho de peso para as duas espécies de 19% e 12%, respectivamente quando cultivados em sistema fechado.

Sugere-se que em trabalhos futuros, a composição do sedimento e a disponibilidade de seus nutrientes ao longo da coluna da água sejam analisados, assim como a disponibilidade de nutrientes provenientes do cultivo de moluscos e do sedimento. Sabendo a quantidade real de nutrientes disponíveis fica mais fácil quantificar a biomassa ideal de algas a ser cultivada e assim potencializar a produtividade de cada região. Em ambientes mais eutrofizados os cultivos podem ser utilizados para melhorar a qualidade de água, podendo ser uma alternativa para minimizar as florações de algas nocivas. Outra sugestão seria implantar um cultivo experimental na região central da Baía Sul, uma vez que essa área apresenta maiores concentrações de compostos nitrogenados, maior profundidade da zona fótica, condições que podem promover um melhor crescimento da alga para fins comerciais e resultados melhores que os

obtidos na Baía Norte. Essa área poderia ser utilizada para cultivos sazonais, pois a temperatura da Baía Sul é mais baixa que a encontrada na Baía Norte.

Assim como em Ubatuba/SP (Paula et al., 2002, Hayashi et al., 2007), o cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* em Sambaqui é tecnicamente viável, por apresentar boas taxas de crescimento e não ter causado impacto ecológico detectável, dentro do período estudado e nas condições atuais de cultivo.

Referências

- Areces, A. J., 1995. Cultivo comercial de carragenofitas del genero *Kappaphycus* Doty. In: Alveal, K., Ferrario, E., Oliveira, E.C., Sar, E. (Eds.), Manual de métodos ficológicos. Universidad de Concepción, Concepción, pp. 529-550.
- Besen, K. Avaliação comparada de variações temporais de características físico-químicas da água do mar em áreas de produção de moluscos de Santa Catarina – Brasil. 2005. 45f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- Birch, P., Gordon, D., McComb, A., 1981. Nitrogen and phosphorous nutrition in *Cladophora* in the Peel–Harvey estuarine system Western Australia. *Botanica Marina* 24, 381–387.
- Bouzon, Z. L., Hayahsi, L., Santos, A. A., Oliveira, E. C., Pereira, R. T. L., Faria, G. S. M., Nunes, B. G. Cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii* no litoral (Rhodophyta, Areschougiaceae) no litoral de Santa Catarina. Relatório Técnico enviando ao IBAMA, 2009, 40p.
- Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, L. 1996. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria tikvahiae* growth in different nitrogen enrichment conditions. *Bot Mar* 24, 441-444.
- Cohen, R.A., Fong, P., 2004. Nitrogen uptake and assimilation in *Enteromorpha intestinales* (L.) Link (Chlorophyta): using ¹⁵N to determine preference during simultaneous pulses of nitrate and ammonium. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 309, 67—77.
- Doty, M. S., 1986. The production and use of *Eucheuma*. In: Doty, M. S., Caddy, J. F., Santelices, B. (Eds.), Case studies of seven commercial seaweed resources. FAO Fisheries Technical Paper, v. 281, pp. 123-161.
- FAO. 2009. Integrated mariculture – A global review. Food and Agricultural Organization, Rome. 194 pp.

- Ferreira, J. F., Oliveira, F. M., 2007. Cultivo de moluscos em Santa Catarina. *In: Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos.* Barroso, G. F., Poersch, L. H. S., Cavalli, R. O. (organizadores), Museu Nacional. Rio de Janeiro, p.87-95.
- Fong, P., Zedler, J., Donohoe, R., 1993. Nitrogen vs. phosphorous limitation of algal biomass in shallow coastal lagoons. *Limnology and Oceanography* 38, 906–923.
- Fonseca, A., Braga, E. S., 2006. Temporal dynamic of the dissolved nutrients and the eutrophization process in a southern Brazilian coastal lagoon, Conceição Lagoon. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 39, 1229-1233.
- Fonseca, A., De Barros, G., Teixeira, P. B., Manzini, A. C., Marcelino, A. C., De Almeida, S. C. A., Cabral, D., 2009. Uma estimativa do balanço de fósforo e nitrogênio na Baía de Florianópolis e suas implicações no metabolismo e no processo de eutrofização do ecossistema. *In: Congresso Latinoamericano de Ecologia, São Lourenço. Anais III CLAE ecologia e o futuro da biosfera.* São Lourenço: Wellington Delitti, 2009.
- Glenn, E. P., Doty, M. S., 1990. Growth of the seaweed *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatum* and *Eucheuma denticulatum* as effected by environment in Hawaii. *Aquaculture* 84, 245-255.
- Glenn, E. P., Moore, D., Akutagawa, M., Himler, A., Walsh, T., Nelson, S. G., 1999. Correlation between *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) biomass production and water quality factors on a tropical reef in Hawaii. *Aquaculture* 178, 323-331.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K., 1983. *Methods of seawater analysis.* 2. ed. Verlag Chemie, Weinheim, 419 pp.
- Harrison, P.J., Hurd, C.L., 2001. Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. *Cahir Biologie Marine* 42, 71-82.

- Hayashi, L.; Paula, E. J. & Chow, F. 2007. Growth rates and carrageenan analysis of four strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) farmed in the subtropical Waters of São Paulo State, Brazil. *Journal of Applied Phycology* 19, 393-399.
- Hayashi, L., Yakoya, N. S., Ostini, S., Pereira, R. T. L., Braga, E. S., Oliveira, E. C., 2008. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. *Aquaculture (Amsterdam)*, 277, 185-191.
- Huang, S. C., Newell, R. I. E. 2002. Seasonal variations in the rates of aquatic and aerial respiration and ammonium excretion of the ribbed mussel, *Geukensia demissa* (Dillwyn). *J Exp Marine Biol Ecol* 270, 241-255.
- Larned, S. T., 1998. Nitrogen -versus phosphorus-limited growth and sources of nutrients for coral reef macroalgae. *Marine Biology* 132, 409-421.
- Li, R., Li, J., Wu, C. Y., 1990. Effects of ammonium on growth and carrageenan content in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 204/205, 499-503.
- Lobban, C. S., Harrison, P. J., 1997. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, 376 pp.
- Maccacchero, G., B., Ferrerira, J. F., Guzenski, J., 2007. Influence of stocking density and culture management on growth and mortality of the mangrove native oyster *Crassostrea* sp. in southern Brazil. *Biotemas*, 20, 47-53.
- McHugh, D. J., 2003. *A guide to the seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper. 105pp.
- Mente, E., Pierce, G. J., Santos, M. B., Neofitou, C., 2006. Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquaculture Int.* 14, 499-522.

- Minjeaud, L., Michotey, V. D., Garcia, N., Bonin, P. C. (in press). Seasonal variation in di-nitrogen fluxes and associated process (denitrification, anammox and nitrogen fixation) in sediment subject to shellfish farming influences. *Aquatic Sciences*. DOI: 10.1007/s00027-009-0100-8.
- Mshigeni, K. E., 1979. The economic algal *Euclidean* (Rhodophyta, Gigartinales): Observation on the morphology and distribution ecology of Tanzanian species. *Botanica Marina* 22, 437- 445.
- Neori, A., Krom, M. D., Ellner, S. P., Boyd, C. E., Popper, D., Rabinovich, A., 1996. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. *Aquaculture* 141, 183-199.
- Odebrecht, C., Gomes, Jr., C., 1987. Hidrografia e matéria particulada em suspensão na Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Revista Atlântica* 9, 83-104.
- Oliveira, E. C., 2005. Considerações sobre o impacto ambiental do cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* na costa sudeste do Brasil. *Boletim Ficocológico* 24, 2005.
- Paula, E. J., Pereira, R. T. L., Ostini, S., 1998. Introdução de espécies exóticas de *Euclidean* e *Kappaphycus* (Gigartinales, Rhodophyta) para fins de maricultura no litoral brasileiro: abordagem teórica e experimental. In: Paula, E. J., Cordeiro-Marinho, M., Santos, D. P., Fujii, M., Plastino, E. M., Yokoya, N. (Eds.), *Anais do IV Congresso Latino-Americano de Ficologia, II Reunião Ibero-Americana de Ficologia e VII Reunião Brasileira de Ficologia*. Caxambú, MG. pp. 340-357.
- Paula, E.J., Pereira, R. T. L., Ohno, M., 2002. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *Phycological Research* 50, 1-9.
- Qian, P-Y., Wu, C. Y., Wu, m., Xie, Y. K., 1996. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensii*. *Aquaculture* 147, 21-35.

- Rodrigueza, M. R. C., Montaña, M. N., 2007. Bioremediation potential of three carrageenophytes cultivated in tanks with seawater from fish farms. *Journal of Applied Phycology* 19, 755-762.
- Sanderson, J. C., Cromey, C. J., Dring, M. J., Kelly, M. S., 2008. Distribution of nutrients for seaweed cultivation around salmon cages at farm sites in north-west Scotland. *Aquaculture* 278, 60-68.
- Strickland, J. D., Parsons, T. R., 1972, A practical handbook of seawater. Fisheries Research Board Canada, Bull, v. 167, 311 pp.
- Torres, M. B., Horta, P. H., Salles, A., Ouriques, L., Fujii, M, T., Bouzon, Z., 2009. Morfologia e reprodução de *Chondria curvilineata* F.S. Collins & Hervey (Rhodomelaceae, Rhodophyta), uma adição à flora brasileira. *Acta bot. bras.* 23 (1), 73-78.
- Troell, M., Rönnback, P., Halling, C., Kautsky, N., Buschmann, A. H., 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweed for removing nutrients from intensive maricultura. *Journal of Applied Phycology* 11, 89-97.
- Trono, G. C., 1993. *Euclidean* and *Kappaphycus*: Taxonomy and Cultivation. In: Ohno, M., Chritchley, A. T. (Eds.), *Seaweed cultivation and marine ranching*. Yokosuka, Japan International Cooperation Agency (JICA), pp. 75-88.
- Yarish, C., Rawson Jr., M.V., Chopin, T., Wang, D.R., Chen, C., Carmona, R., Chen, C., Wang, L., Ji, R., Sullivan, J., 2001. Ecosystem modeling: a tool to understand the interactions between extractive and feed aquaculture. *J. Phycol.* 37 (3), 56.
- Wakibia, J.G., Bolton, J. J., Keats, D. W., Raitt, L.M., 2006. Factors influencing the growth rates of three commercial euclideanoids at coastal sites in southern Kenya. *Journal of Applied Phycology* 18, 565-573.

Capítulo 2

Monitoramento da dispersão e morfologia das variantes de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougiaceae) na Praia de Sambaqui, Florianópolis/SC

Beatriz Gomes Nunes^{1*}, Leila Hayashi², Aimê Rachel Magenta Magalhães¹

¹ Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil.

² Departamento de Biologia Celular, Embriologia e Genética, Centro de Ciências Biológicas, Universidade

*Correspondência: beatrizgomesnunes@gmail.com

Artigo segundo as normas da Revista “Aquaculture”

Resumo

A macroalga *Kappaphycus alvarezii*, espécie natural do Indo-Pacífico, é a principal fonte mundial de carragenana, um colóide de grande importância comercial, amplamente utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos, o que determinou sua introdução em mais de 20 países com o propósito de maricultura. No Brasil, a espécie foi introduzida no litoral de São Paulo e do Rio de Janeiro e, atualmente, está sendo realizado o cultivo experimental da espécie em Florianópolis para verificar a viabilidade comercial e assim estabelecer novos tipos de cultura e mais uma fonte de renda e atividade na região.

Com o intuito de evitar danos ambientais causados pela introdução de espécies exóticas, estudos de monitoramento ambiental devem ser realizados visando estabelecer subsídios ao ordenamento da atividade. Casos de bioinvasão da espécie foram relatados ao redor do mundo. Sendo assim, existe a necessidade de um maior controle sobre novos cultivos e os já estabelecidos. O monitoramento da dispersão dos propágulos de *K. alvarezii* no cultivo experimental de Sambaqui (Florianópolis/SC) foi realizado de fevereiro de 2008 a julho de 2009, e a verificação da dispersão dos esporos foi feita de fevereiro a julho de 2009. Durante o período de monitoramento, não foi encontrado nenhum indício de estabelecimento da espécie no ambiente por propagação vegetativa ou por esporos, seja nas estruturas de cultivo, praias adjacentes ou costões. Foram feitas 4 coletas de amostras de cada linhagem cultivada e 120 lâminas para a verificação da presença de esporos e da morfologia das diferentes variantes de *K. alvarezii*. A análise das lâminas através de técnicas de histoquímica confirmou a ausência de esporos e mostrou a similaridade da morfologia das diferentes linhagens das algas cultivadas em Sambaqui. De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, foi possível concluir que a espécie não apresenta potencial invasivo na Praia de Sambaqui. Apesar disso, o monitoramento ambiental deve ser considerado uma prática rotineira, para evitar danos ecológicos e cumprir as exigências da IN 185 relacionada ao cultivo comercial de *Kappaphycus alvarezii*.

Palavras-chave: *Kappaphycus alvarezii*, Macroalga, Monitoramento ambiental.

Monitoring of *Kappaphycus alvarezii* spreading (Rhodophyta, Areschougiaceae) at Sambaqui beach (Florianópolis, SC)

Abstract

The macroalgae *Kappaphycus alvarezii* is a natural species from the Indo-Pacific, and it is the main world source of carrageenan, with great commercial importance, widely used in food industry, pharmaceutical and cosmetic industry, which determined the insertion in more than 20 countries with the purpose of mariculture. In Brazil, the species was introduced at São Paulo and Rio de Janeiro coast and at Florianópolis, where an experimental cultivation is being carried out to determine their commercial viability and to establish new kinds of culture and an alternative source of income in the region. In order to avoid environmental damages caused by the introduction of exotic species, studies and monitoring should be performed to set up subsidies for the planning activity. Cases of the species bio-invasion have been reported around the world, and this is why a great control over new crops and those already established is necessary. The monitoring of the seedlings dispersal of *K. alvarezii* for the experimental cultivation in Sambaqui (Florianópolis / SC) was conducted from February/2008 to July/2009 and the measurement of the spores spread was made from February to July/ 2009. During the monitoring, no evidence of the of the species establishment was found in the environment through vegetative spread or spores in the culture structures, adjacent beaches or coasts. 4 collections were made of samples from each strain grown to 120 slides to verify the presence of spores and the morphology of different variants of *K. alvarezii*. The analysis of slides by histochemical techniques confirmed the absence of spores and showed the similarity of the morphology of different strains of algae grown in Sambaqui. According to the results obtained in this study, we concluded that the species does not present invasive potential for the region of Sambaqui. Nevertheless, the environmental monitoring should be considered a routine practice to fulfill the 185 IN requirements related to commercial cultivation of *Kappaphycus alvarezii*.

Keywords: Exotic macroalgae; *Kappaphycus alvarezii*; Environmental monitoring.

1 Introdução

Kappaphycus alvarezii (Divisão Rhodophyta, Classe Florideophyceae, Ordem Gigartinales, Família Areschougiaceae) (Doty) Doty ex P. C. Silva é uma macroalga vermelha que apresenta diferentes variantes de coloração com gradações entre vermelho, marrom, amarelo e verde (Areces, 1995). A espécie é nativa de ambientes recifais do Indo-Pacífico, China, Japão, ilhas do sudeste da Ásia e do Oriente, sendo distribuída do oeste da África até Guam/Ilha da Micronésia/Pacífico Ocidental (Doty, 1986; Paula e Pereira, 1998). É perene, com alternância de gerações no seu histórico de vida característico de algas vermelhas da Classe Florideophyceae, apresentando três fases: esporofítica, gametofítica e carposporofítica (Figura 1), sendo que as duas primeiras são isomórficas e a última é parasita do gametófito feminino (Neish, 2006).

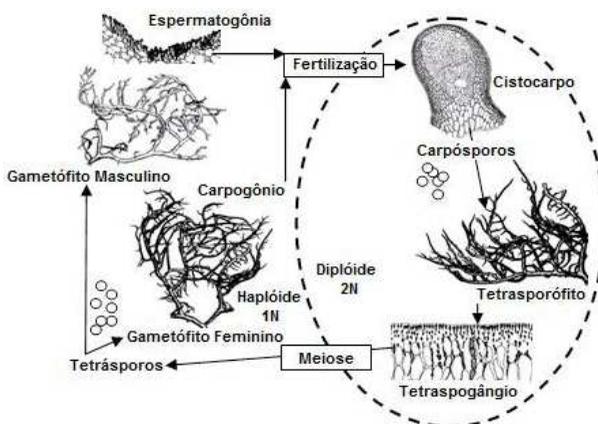


Figura 1 – Ciclo de vida de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) com três fases: esporofítica, gametofítica e carposporofítica. Fonte: Neish (2006).

O gênero é caracterizado por apresentar um talo multiaxial e parenquimatoso, formado por células corticais pequenas, que aumentam de tamanho em direção à medula. Os cistocarpos são hemisféricos e inseridos diretamente no eixo principal do talo. As estruturas masculinas são difíceis de serem reconhecidas no meio ambiente e quando encontradas são geralmente estéreis (Areces, 1995). Os tetrásporos estão localizados na parte interna do córtex, sendo quatro meiosporos paralelos com arranjo zonado (Van Den Hoek et al., 1995).

A espécie *K. alvarezii* é atualmente a principal fonte de carragenana *kappa*, colóide utilizado amplamente pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e de cosméticos como agente espessante e estabilizante (McHugh, 2003). Por essa razão, foi introduzida em mais de 20 países com propósito de maricultura (Areces, 1995; Paula e Pereira, 1998; Paula et al., 1998).

A descoberta mais significativa durante o desenvolvimento dos cultivos comerciais de *Kappaphycus* foi a propagação das variantes sem a necessidade do ciclo sexual da planta ou a produção de esporos. A propagação vegetativa mantém o crescimento “indefinidamente” e algumas variedades tem se mantido nessas condições por mais de 30 anos (Neish, 2006). A reprodução assexuada é considerada ainda fisiologicamente mais econômica para o crescimento de uma população, uma vez que o gasto energético para a reprodução sexuada é muito alto (Russel, 1983). Os fatores ambientais que podem afetar os estádios reprodutivos e o desenvolvimento das algas são: luz, temperatura, salinidade, movimentação da água e concentração de nutrientes (Doty, 1986; Lobban e Harrison, 1997), além de parâmetros bióticos como epífitas, herbivoria e presença de animais sésseis (Wakibia et al., 2006).

Do ponto de vista ecológico, a introdução descuidada de espécies exóticas pode causar consequências imprevisíveis (Paula et al., 2002). Alguns exemplos podem ser citados no que diz respeito às introduções da espécie com propósitos de maricultura e suas consequências ambientais.

A introdução da *Kappaphycus* spp. (*K. striatum*, F. Schmitz, *K. alvarezii*) no Havaí é o caso de bioinvasão do gênero mais estudado no mundo, onde as algas se estabeleceram nos recifes de corais causando a morte destes por sombreamento (Rodgers e Cox, 1999). Em 2002 foram registradas coberturas de até 80% dos recifes de corais (Russel, 1983; Rodgers e Cox, 1999; Conklin e Smith, 2005) e em 2006 foram observadas estruturas reprodutivas pela primeira vez desde sua introdução (University of Hawaii, 2006). A dispersão da espécie continua na região e se agrava a cada dia (Rodgers e Cox, 1999; Woo, 2000; Smith et al., 2002). Segundo Zucarrello et al. (2006), a variante introduzida no Havaí faz parte de um grupo evolutivo distinto das variedades cultivadas ao redor do mundo, fato esse que poderia explicar o seu potencial invasivo na região (Conklin e Smith, 2005).

No Sudoeste da Índia foi relatada a bioinvasão na reserva marinha da Baía de Bengal, ilha de Kurusadai, proveniente dos cultivos comerciais de Pamban Pass, Mandabam, Sul da Índia. Ocorreu uma mudança morfológica das algas, devido a sua plasticidade fenotípica,

permitindo o seu estabelecimento sobre corais vivos e até mesmo em corais mortos, disseminando os recifes por sufocamento e sombreamento (Chandrasekaran et al., 2008). Segundo Venkataraman (2000) restam apenas 25% da cobertura original de recifes de corais em toda a reserva da ilha de Kurusadai.

Em ambos os casos, a espécie conseguiu se dispersar mesmo após a retirada das algas do mar, através da sobrevivência de pequenos fragmentos de talos que conseguiram se estabelecer no ambiente (Chandrasekaran et al., 2008).

Em Cuba, o cultivo de *K. alvarezii* foi interrompido pois a espécie também se estabeleceu sobre os recifes de corais. Na Venezuela e Colômbia, os cultivos foram embargados pelos órgãos ambientais responsáveis. Estes três casos foram solucionados retirando os ramos do mar, acabando com a dispersão (Oliveira, 2005).

Para evitar ou pelo menos minimizar os danos ambientais causados pelos cultivos marinhos, estudos prévios devem ser realizados visando estabelecer subsídios ao ordenamento da atividade. No caso de *K. alvarezii* introduzida, é fundamental cumprir os procedimentos de quarentena e protocolos de monitoramento ambiental antes e durante o estabelecimento do cultivo, além de conhecer a procedência da alga que será cultivada (Oliveira, 2005; Castelar et al., 2009). Investigações sobre a dispersão de algas desprendidas dos cultivos e a ocorrência e viabilidade de esporos das mudas devem ser ainda realizadas (Castelar et al., 2009). Os aspectos reprodutivos da espécie devem ser bem estudados, para evitar danos ao ambiente introduzindo um material genético diferente, prejudicando as espécies nativas por competição de nutrientes e espaço ou até mesmo causando problemas sócio-econômicos (Bulboa et al., 2008).

Os procedimentos de quarentena são importantes também para minimizar os riscos de introduções involuntárias de organismos associados. Qualquer espécie de alga a ser introduzida em uma nova área pode conter diversos outros organismos associados, como copépodos, anfípodos, isópodos, poliquetas, epífitas, epibiota microscópica, dinoflagelados, protozoários e diatomáceas (Sulu et al., 2004), ou patógenos e tecido doente da própria planta a ser introduzida (Inderjit et al., 2006). A introdução acidental de espécies com alto poder invasivo pode causar redução de biodiversidade, impactando bancos naturais e todo o ecossistema associado. Um exemplo a ser considerado é o caso da introdução acidental da Chlorophyta *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh no Mediterrâneo e na Califórnia, onde a espécie

dominou os ambientes, resultando na eliminação de muitas espécies nativas. O impacto nas regiões afetadas foi acentuado pela falta de predadores (Meinesz et al., 1995).

A introdução involuntária de epífitas nos cultivos comerciais também é um grande problema, podendo reduzir a produtividade e causar o declínio na qualidade da carragenana (Vairappan et al., 2007). Na Malásia, o descaso com monitoramento ambiental e com procedimentos de quarentena introduziram a epífita *Neosiphonia apiculata* (Hollenberg), causando grandes prejuízos na produção (Vairappan et al., 2008). Essa espécie de alga vermelha filamentosa, juntamente com a *N. savareti* (Hariot), são responsáveis pelas oscilações de produção dos quatro maiores produtores mundiais de *Kappaphycus* spp (Tanzânia, Malásia, Filipinas e Indonésia) (Vairappan et al., 2008).

Segundo a Instrução Normativa n.º 185 de 23 de Julho de 2008, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/MMA), o monitoramento ambiental torna-se uma exigência permanente para instalação e operação de empreendimentos de cultivo de *Kappaphycus alvarezii*. Segundo essa IN, ficam autorizados os cultivos de *K. alvarezii* no litoral dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, exclusivamente, na área compreendida entre a Baía de Sepetiba/RJ e a Ilhabela/SP. A liberação de cultivos fora dessas áreas só será permitida após estudos que comprovem a inexistência de risco de dispersão e fixação da espécie no meio ambiente, atestando a viabilidade ambiental na região de estudo. Em Santa Catarina foi iniciado em fevereiro de 2008 um projeto para o desenvolvimento do cultivo experimental da espécie, tendo como objetivo verificar a viabilidade comercial do cultivo dessa macroalga na praia de Sambaqui/ Florianópolis/SC. O projeto está sendo executado através de uma parceira da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) com a EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S/A), com licença ambiental concedida pelo IBAMA. O presente trabalho faz parte do atendimento das exigências da IN 185.

O objetivo deste estudo foi monitorar eventuais liberações e sobrevivência de propágulos de *K. alvarezii* nos costões circunvizinhos ao cultivo experimental, verificar a presença de estruturas reprodutivas nas algas cultivadas na praia de Sambaqui e caracterizar morfológicamente as variantes.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na Praia de Sambaqui, Baía Norte de Florianópolis (27°29'18,8"S e 48°32'12,9"W), no cultivo experimental da macroalga *Kappaphycus alvarezii*.

A área utilizada para a produção das algas é de 48m², composta por 4 módulos de 3 x 4 m. O plantio é feito com 3 Kg/ m² e a colheita realizada a cada 60 dias. O ciclo mais produtivo de 2008-2009 rendeu 13Kg/ m² e o menos produtivo 4,22Kg/ m².

2.2 Verificação da dispersão dos propágulos em costões circunvizinhos ao cultivo experimental

O monitoramento visual da comunidade mesolitoral (região que fica exposta na maré baixa) e supralitoral (região raramente submersa) foi realizado quinzenalmente nos costões circunvizinhos ao cultivo experimental de *K. alvarezii* (Figura 2), para verificar se ocorreu desprendimento e dispersão das plantas do módulo de cultivo. Estas vistorias foram realizadas entre fevereiro de 2008 (momento em que o cultivo experimental foi implantado na Praia de Sambaqui) e julho de 2009.



Figura 2 – Praia de Sambaqui (Florianópolis/SC). Identificação da área vistoriada para a verificação da dispersão de propágulos desprendidos de *Kappaphycus alvarezii* provenientes do cultivo experimental instalado na praia (1 – área da praia de Sambaqui e 2 – área da Ponta de Sambaqui). As demarcações representadas por estrelas representam os pontos vistoriados e a área 3 indica o posicionamento da balsa de cultivo das algas. Imagem obtida através do software Google Earth (GeoEye Julho/2009).

2.3 Verificação de esporos

Amostras de cada uma das variantes cultivadas na Praia de Sambaqui (Tetrasporófitos Marrom - MR, Verde - VD, Vermelho - VM, e Gametófito Feminino - FM) foram selecionadas aleatoriamente (n=10). As 4 linhagens utilizadas na região são gerações espontâneas do tetrasporófito marrom. Este foi obtido do USA Marine Institute, no Japão, pelo Núcleo de Pesquisa do Litoral Norte/Ubatuba/SP. As variantes são diferentes colorações dessa mesma espécie.

Foram realizadas 4 coletas, simultaneamente às colheitas, de fevereiro a julho de 2009, compreendendo os meses mais propícios (Fevereiro e Março) e os meses mais prejudiciais para o desenvolvimento da espécie (Junho e Julho). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transferidas para o laboratório, onde foram lavadas em água salgada para retirar epífitas e outros

organismos incrustantes. Posteriormente, foram colocadas em recipientes de 5L contendo água do mar esterilizada e mantidas em cultivo sob condições controladas: fotoperíodo de 12 horas, temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, fluxo fotônico de $100\pm 10 \mu\text{mol fotons/m}^2/\text{s}$ e aeração constante até o início das análises, realizadas em até 5 dias após a coleta do material. Os talos das plantas foram observados em lupa (Olympus, modelo SZ-ST) e segmentos do talo principal foram selecionados e seccionados para montagem das lâminas. Foram feitas 10 lâminas de cada variante, que foram observadas em microscópio óptico.

2.4 *Microscopia óptica*

Fragmentos das quatro variantes coletadas para a verificação de formação de esporos e estruturas reprodutivas em laboratório foram processadas e submetidas às técnicas de histoquímica para descrição morfológica das variantes. As amostras foram fixadas em solução de paraformaldeído 2,5% em tampão fosfato 0,2M, pH 7.2, de 6 a 8 h, à temperatura de 4°C . Após a fixação à temperatura ambiente, o material foi lavado em tampão fosfato, duas vezes, por 10 minutos em cada troca, seguido de desidratação em uma série de soluções aquosas de etanol em concentrações crescentes, com duas trocas de 15 minutos em cada concentração. A pré-infiltração das amostras foi realizada com uma mistura de 1:1 de etanol a 100% e historesina glicolmetacrilato (GMA), durante 4 h. Posteriormente o material foi infiltrado em resina pura por 24 h. A inclusão foi realizada na mesma resina em cápsulas de gelatina com adição de polimerizador, à temperatura ambiente, por 2 a 3 horas (Arnold et al., 1975, modificado). As amostras foram seccionadas em micrótomo manual de parafina, com navalhas de tungstênio e de aço. As secções com espessura de $5 \mu\text{m}$ foram coletadas com lâminas de vidro, sobre gotas de água destilada e secas em estufa a 37°C por 30 minutos (Bouzon, 1993).

2.5 *Técnicas de Histoquímica*

O material processado foi submetido a três testes histoquímicos utilizando os seguintes corantes: Azul de toluidina (AT-O), Ácido Periódico de Schiff (PAS) e Azul brilhante de Coomassie (CBB).

Para identificar polissacarídeos ácidos foi utilizado o Azul de toluidina (AT-O) através da reação de metacromasia. As lâminas contendo as secções foram tratadas com solução aquosa de AT-O 0,5%,

acidificada com HCl 1N em pH 3, por 30 segundos a 2 minutos. Após esse período, foram lavadas em água destilada e secas ao ar (McCully, 1970; Gordon e McCandless, 1973).

A identificação de polissacarídeos neutros foi realizada utilizando o Ácido Periódico de Schiff (PAS). As lâminas com as secções foram oxidadas com solução aquosa de ácido periódico a 1% durante 10 minutos, sendo posteriormente lavadas em água corrente e coradas com reativo de Schiff por 20 minutos. Após esse período, as lâminas foram lavadas em água corrente, secas ao ar e montadas com bálsamo do Canadá (Gahan, 1984).

Para identificar a presença de proteínas totais foi utilizado o corante Azul brilhante de Coomassie (CBB). As lâminas contendo as secções foram coradas por 24 h em CBB 0,2 % diluído em solução etanólica acidificada de Clark. Posteriormente, foram lavadas na mesma solução, seguida de água destilada e secas ao ar (Gahan, 1984).

Todos os materiais corados foram analisados e fotografados em microscópio óptico (Leica, DM500) com sistema de captura de imagem.

3 Resultados

3.1 Verificação da dispersão dos propágulos em costões circunvizinhos ao cultivo experimental

Durante as vistorias quinzenais não foram encontrados indícios de estabelecimento da *Kappaphycus alvarezii* na Praia de Sambaqui. Apesar da utilização da rede tubular para os cultivos, foi observado que a rede instalada logo abaixo da balsa de cultivo tem sido essencial para a retenção dos fragmentos desprendidos.

3.2 Verificação da formação de esporos

Um total de 120 lâminas foram feitas com as 4 variantes nas quatro coletas realizadas, sendo que não foram encontradas estruturas reprodutivas da alga durante o período de estudo.

A ausência das estruturas reprodutivas nos talos amostrados tornou desnecessário o recrutamento de esporos em placas de acrílico.

3.3 Microscopia de luz

As variantes de *Kappaphycus alvarezii* apresentaram três principais regiões: uma região composta por uma camada de células pequenas ligeiramente alongadas definida como cortical, outra região constituída por células medianas vacuolizadas e de tamanho crescente em direção ao centro do talo (região subcortical) e uma última porção medular, formada por células grandes e arredondadas (Figura 3).

Quando as secções foram submetidas ao AT-O, a parede celular das células corticais e subcorticais reagiram metacromaticamente, indicando a presença de polissacarídeos ácidos, principalmente carragenana (Figuras 3). O citoplasma não apresentou coloração indicando a ausência de polissacarídeos, em uma reação ortocromática (Figura 3).

Na parede celular das células corticais alongadas voltadas para a superfície externa do talo, visualizou-se um espessamento da parede celular e uma camada de mucilagem, evidenciada pela forte reação metacromática ao AT-O dessas células. As variantes vermelha (Figura 3A) e feminina (Figura 3B) apresentaram uma camada mucilaginosa levemente mais espessa.

Uma leve reação positiva ao PAS também foi observada na parede celular indicando a presença de fibrilas de celulose (Figuras 4). No interior das células corticais e subcorticais foi observada uma reação fortemente positiva ao PAS, indicando a presença de polissacarídeos neutros, como os grãos de amido das Florídeas (Figura 4), substância de reserva das Rhodophytas pertencentes à Classe Florideophyceae.

As células corticais e subcorticais reagiram positivamente ao CBB (Figura 5), indicando uma distribuição uniforme, em todo o citoplasma, dos componentes protéicos das organelas membranosas. Nos núcleos, a reação a este corante foi mais intensa, evidenciando a alta concentração de componentes protéicos. As células medulares reagiram fracamente a este corante por serem mais vacuolizadas. Conexões intercelulares foram observadas entre as células corticais e subcorticais (Figuras 5). Não foram encontradas diferenças morfológicas entre as variantes cultivadas.

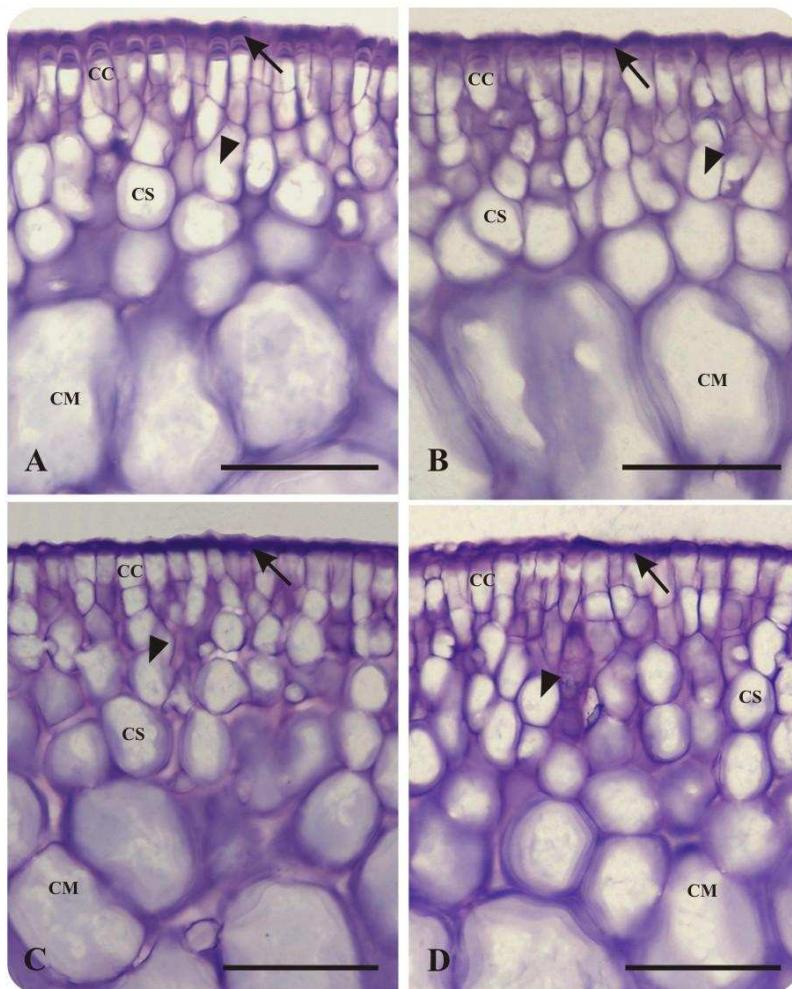


Figura 3 – Secções transversais das quatro variantes de *Kappaphycus alvarezii* (A – Feminina, B – Vermelha, C – Marrom e D - Verde) cultivadas em Sambaqui, Florianópolis/SC. Detalhe das secções transversais coradas com azul de toluidina (AT-O). As paredes celulares das células corticais (CC) (setas), das células subcorticais (CS) e das células medulares (CM) apresentaram reação metacromática. Os citoplasmas apresentam reação ortocromática (ponta de setas). Barra = 50µm.

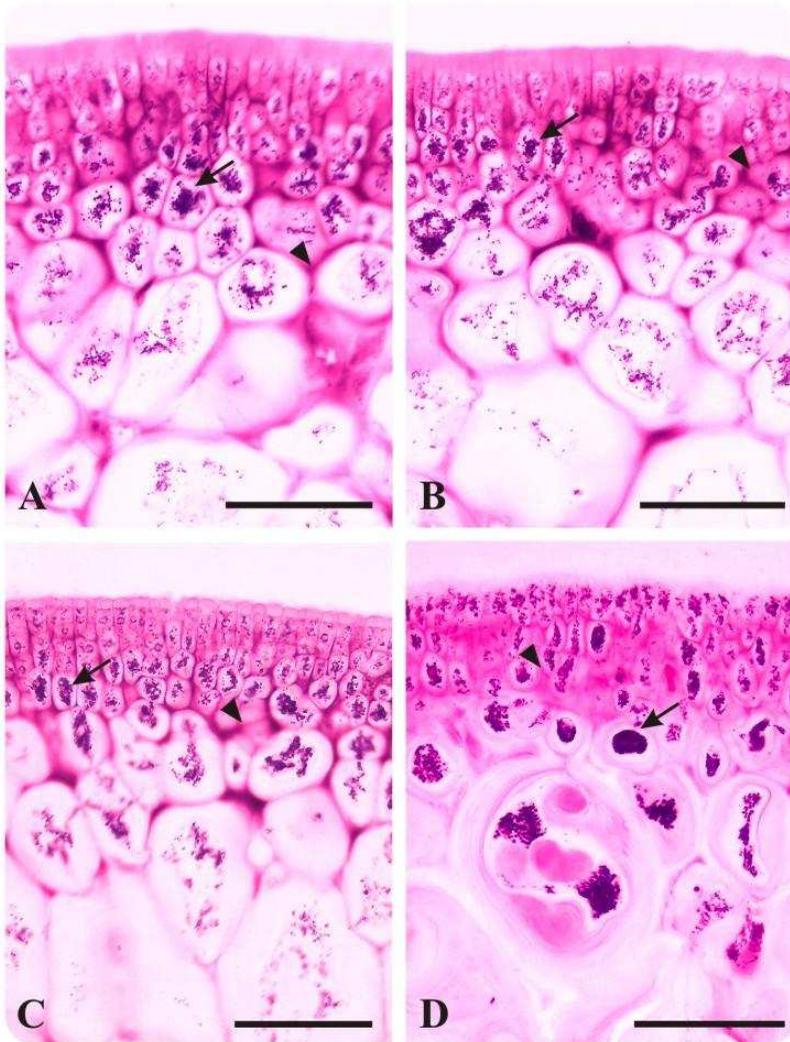


Figura 4 – Secções transversais das quatro variantes de *Kappaphycus alvarezii* (A – Feminina, B – Vermelha, C – Marrom e D - Verde) cultivadas em Sambaqui, Florianópolis/SC. Detalhe das secções transversais coradas com Ácido Periódico de Schiff (PAS). As paredes celulares apresentaram reação positiva ao PAS evidenciando a presença de celulose (ponta de setas) e grãos de amido de florídeas (setas). Barra = 50µm.

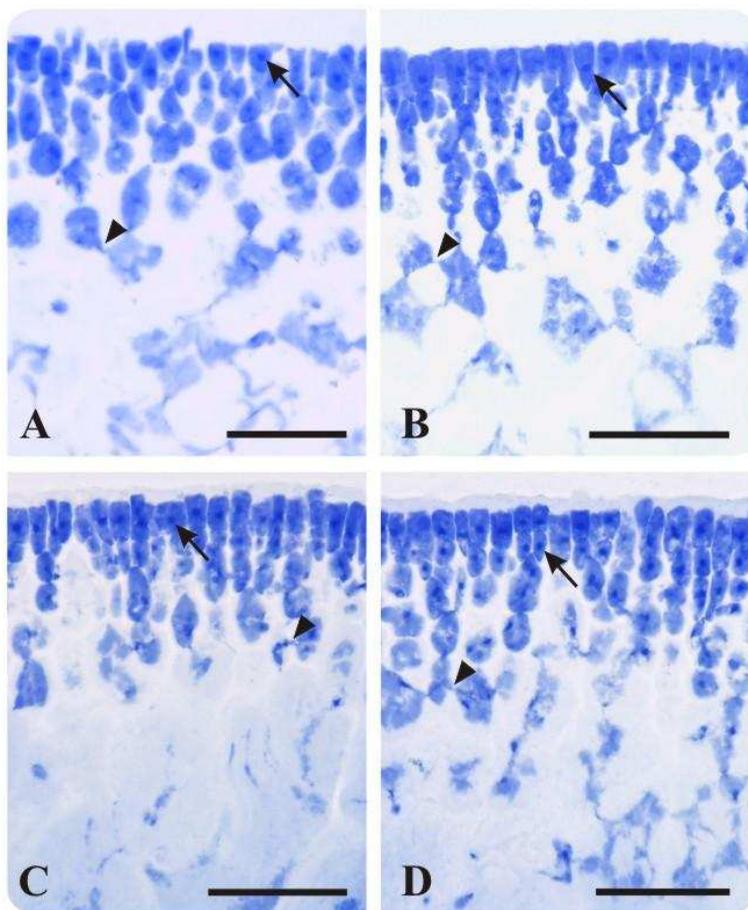


Figura 5 – Secções transversais das quatro variantes de *Kappaphycus alvarezii* (A – Feminina, B – Vermelha, C – Marrom e D - Verde) cultivadas em Sambaqui, Florianópolis/SC. Detalhe das secções transversais coradas com Azul brilhante de Coomassie, CBB. Os núcleos das células (setas) apresentam forte reação ao corante. As ligações intercelulares estão indicadas nas pontas de setas. Barra = 50 μ m.

4 Discussão

Os resultados indicaram que a Baía Norte/ Florianópolis não apresenta as condições ideais para a dispersão e adaptação da espécie no ambiente, fora do cultivo, uma vez que as características físico-químicas e biológicas da água da praia de Sambaqui são em sua maioria limitantes para a reprodução, liberação de gametas e esporos, o que iniciaria o estabelecimento independente dessa macroalga. A média de transparência da água foi de 0,9 metros, com temperaturas que oscilaram de 18,1 a 26,7°C (inverno – verão). A temperatura ideal para a espécie está na faixa de 25-30°C (Doty, 1986; Areces, 1995) tornando o inverno da região limitante para a sobrevivência da espécie, aliada com a alta turbidez da água. Durante o primeiro ciclo anual de cultivo (2008-2009) as algas foram muito prejudicadas durante o inverno, devido à baixa temperatura. Estudos prévios na região (dados observados no capítulo anterior) indicaram um conteúdo de nitrogênio total e de fosfato de aproximadamente 2,46 μM e 0,45 μM , respectivamente. Essas concentrações de nutrientes na região de cultivo estão próximas da faixa ideal para o desenvolvimento da espécie (Tabela 1), não sendo um fator limitante, confirmado pelas taxas de crescimento que apresentaram valores dentro do padrão para cultivos comerciais durante o verão e primavera de 3 a 5% ao dia⁻¹ (Hayashi, 2009, comunicação pessoal).

Tabela 1 – Concentração de Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID = $\text{NH}_4 + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ - μM), Fosfato inorgânico dissolvido (PID = PO_4^{3-} - μM), temperatura (°C) e salinidade (‰) da água do mar coletada em 7 diferentes pontos da Praia do Sambaqui. Valores apresentados em media, máxima e mínima.

	Máxima	Mínima	Média	Ideal
NID (μM)	5,75	1,72	2,46	1,0 a 2,0 (Glenn e Doty, 1990)
PID (μM)	0,95	0,18	0,45	0,5 a 1,0 (Glenn e Doty, 1990)
Temperatura (°C)	26,68	18,07	22,75	25 a 30 (Doty, 1986; Areces, 1995)
Salinidade (‰)	35,96	28,58	33,13	35 (Doty, 1986; Areces, 1995)

Nenhum indício de estabelecimento da espécie foi encontrado na região de Sambaqui, uma vez que a transparência da água é limitante para a sobrevivência e dispersão da espécie. Com a baixa incidência luminosa, provocada pela alta turbidez e o tipo de sedimento lodoso da região, os fragmentos desprendidos do cultivo possuem poucas chances de se estabelecer no ambiente, fatores que impedem a fixação e posterior desenvolvimento das plantas.

De acordo com Castelar et al. (2009) mudas transplantadas do cultivo comercial na Baía da Marambaia/ RJ para o sedimento apresentaram valores negativos de crescimento e acabaram morrendo em até 60 dias, evidenciando que as plantas soltas no ambiente não conseguem se estabelecer no sedimento provavelmente pela baixa incidência luminosa.

As algas não desenvolveram estruturas reprodutivas durante o período de estudo, diminuindo assim o risco de bioinvasão da espécie na região. O presente estudo corrobora os resultados obtidos por Castelar et al. (2009), que não observou a ocorrência de plantas férteis no cultivo comercial de *Kappaphycus alvarezii* na Baía de Sepetiba/RJ.

A utilização de placas para o recrutamento de esporos *in situ* segundo a metodologia de Bulboa et al. (2008) foi descartada. Através de estudos preliminares na estrutura de cultivo foi possível constatar a dificuldade para a realização do experimento, uma vez que existe uma grande força de maré na região que impediu a permanência dos materiais submersos. Castelar et al. (2009) não obteve sucesso com o recrutamento de esporos, ao contrário de Paula et al. (1999) e Bulboa et al. (2008) que encontraram tetrásporos nos substratos de acrílico. O material recrutado não germinou *in situ*, porém *in vitro* os esporos germinaram apresentando baixa viabilidade, sem potencial de estabelecimento no ambiente, uma vez que as plantas sobreviventes das germinações eram extremamente delicadas e com baixa taxa de crescimento. Segundo os autores, esses resultados só foram possíveis devido às condições controladas em laboratório.

Segundo Doty (1986), a ausência de estruturas reprodutivas está relacionada a possíveis variações do ambiente ou às próprias práticas da maricultura. De acordo com Azanza-Corrales et al. (1992), esta espécie geralmente apresenta-se infértil em sistemas de cultivo, ou as fases reprodutivas não ocorrem simultaneamente, sugerindo que o ciclo não se completa nos cultivos. Por outro lado, Bulboa et al. (2008) concluíram que a baixa viabilidade dos esporos da *K. alvarezii* não está relacionada com as condições ambientais mas sim por um processo

meiótico deletério que ocorre no desenvolvimento dos esporos, como resultado da propagação clonal ou sua origem híbrida. Assim, o potencial reprodutivo é reduzido e ocorre a má formação dos esporos (Paula et al., 1999).

Plantas reprodutivas são encontradas em seu habitat natural (Doty, 1985, 1986; Azanza-Corrales, 1990, Azanza-Corrales et al., 1992). Mesmo sendo difícil encontrar plantas férteis em cultivos transplantados, cistocarpos e carpósporos foram detectados em *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty (= *E. striatum*) (Mairh et al., 1986). Em Ubatuba/SP, duas espécies introduzidas *K. alvarezii* e *K. striatum* chegaram a desenvolver tetrásporos *in situ* e ambas foram removidas dos cultivos, mas somente *K. striatum* deixou de ser cultivada e pesquisada no mar por ter apresentado uma grande quantidade de esporos viáveis (Paula et al., 1999; Bulboa e Paula, 2005; Bulboa e Paula, 2007, Bulboa et al., 2008). Por esse motivo o cultivo da espécie *K. striatum* foi proibido no Brasil, de acordo com o artigo 4º da Instrução Normativa nº185.

Segundo Castelar et al. (2009), o potencial invasivo da *K. alvarezii* é considerado remoto na Baía de Sepetiba/RJ, pois a espécie não conseguiu se estabelecer no ambiente, limitado pela herbivoria, transparência da água, temperatura e hidrodinâmica. Mesmo sendo remoto o potencial invasivo, Castelar et al. (2009) aconselham seguir os protocolos de monitoramento para prevenir impactos ambientais principalmente em regiões tropicais.

Conforme observações de Carvalho (2007) a produção mensal do cultivo comercial instalado na Baía de Sepetiba/RJ é de 260 t/alga fresca, dimensões muito superiores as do cultivo experimental de Sambaqui/SC. A colheita mais produtiva chegou a 600 kg/ alga fresca. Mesmo com dimensões diferentes os dois locais não apresentaram problemas ambientais com a introdução da *Kappaphycus alvarezii*.

No Brasil, a região de Ubatuba/SP apresenta características favoráveis para o cultivo da *Kappaphycus alvarezii*, com altas taxas de crescimento e rendimento de carragenana. Em mais de 10 anos de estudos, a herbivoria foi considerada um fator limitante para o crescimento da espécie. Durante esse período não foram observados riscos ambientais da introdução desta espécie na região (Paula e Pereira, 1998, 2003, Paula et al., 1999, Hayashi et al., 2007).

Os resultados obtidos na microscopia óptica corroboram os resultados obtidos por Hayashi (2009) que caracterizam a espessa camada mucilagínosa da *K. alvarezii*, a distribuição de grãos de amido

através das três regiões celulares e a alta concentração de proteínas nas células corticais e subcorticais. A única diferença observada entre as variantes foi a espessura da camada de mucilagem, e uma maior reação ao PAS das variantes vermelha e feminina, indicando uma maior concentração de polissacarídeos na parede celular. O grande valor comercial dessa espécie é devido a presença de polissacarídeos na parede celular. O resultado obtido com a histoquímica evidenciou que as variantes VM e FM são importantes para o cultivo comercial, pois apresentam maior proporção de carragenana que as demais variantes. A realização de seleção de linhagens com maior rendimento de carragenana torna-se uma opção para produzir um produto competitivo e de boa qualidade.

É possível afirmar que a *Kappaphycus alvarezii* não é considerada uma ameaça na região de Sambaqui, uma vez que as condições ambientais da região são desfavoráveis para a sobrevivência da espécie fora do módulo de cultivo e a ausência de estruturas reprodutivas reforça essa idéia. Os fatores considerados limitantes para a espécie foram a turbidez da água, atingindo apenas 20 cm de visibilidade em alguns dias, o sedimento areno-lodoso e as baixas temperaturas no inverno.

Até o final do monitoramento, não foram notadas ações significativas de herbivoria para ser considerada um fator proibitivo para o desenvolvimento do cultivo. Houve apenas indícios de que as algas estão sendo utilizadas como abrigo por algumas espécies animais.

5 Referências

- Areces, A. J. 1995. Cultivo comercial de carragenofitas del genero *Kappaphycus* Doty. In: Manual de métodos ficológicos, orgs. Alveal, K.; Ferrario, E.; Oliveira, E.C., Sar, E. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, p.529-550.
- Arnold, W., Mitrenga, D., Mayresbach, H. 1975. Gefriertro und einbsttung in glycolmethacrylat (GMA) – Ergebnisse Histochemischer Reaktionen. Acta Histochemica, 14: 271-277.
- Azanza-Corrales, R. 1990. The farmed *Euचेuma* species in Danajon Reef, Philippines: Vegetative and reproductive structures. J. Appl. Phycol. 2, 57-62.
- Azanza-Corrales, R., Mamauag, S.S., Alfier, E., Orolfo, M. J. 1992. Reproduction in *Euचेuma denticulatum* (Burman) Collins and Hervey and *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty farmed in Danajon Reef, Philippines. Aquaculture 103, 29-34.
- Bouzon, Z. L., 1993. Ultrastructural aspects the vegetative cells of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta - Gigartinales). Journal Of Phycology, Lawrence - Kansas, 29, 13.
- Bulboa, C. R., Paula, E. J. 2005. Introduction of non-native species of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) in subtropical waters: comparative analysis of growth rates of *Kappaphycus alvarezii* and *Kappaphycus striatum* *in vitro* and in the sea in south-eastern Brazil. Phycological Research: 53, 183-188.
- Bulboa, C. R., Paula, E. J. 2007. Laboratory germination and sea out-planting of tetraspore progeny from *Kappaphycus striatum* (Rhodophyta) in subtropical waters of Brazil. Journal of Applied Phycology 19, 357-363.
- Bulboa, C., Paula, E. J., Chow, F. 2008. Germination and survival of tetraspores of *Kappaphycus alvarezii* var. *alvarezii* (Solieriaceae, Rhodophyta) introduced in subtropical waters of Brazil. Phycological Research 56, 39-45.

- Carvalho, J. F. 2007. *Kappaphycus alvarezii*. Panorama da Aqüicultura 17(99), 37-41.
- Castelar, B., Reis, R. P., Moura, A. L., e Kirk, R. 2009. Invasive potential of *Kappaphycus alvarezii* off the south coast of Rio de Janeiro state, Brazil: a contribution to environmentally secure cultivation in the tropics. *Botanica Marina* 52, 283–289.
- Chandrasekaran, S., Arun, N. N., Pandiaraja, D., Krishnankutty, N., Kamalakannan, B. 2008. Bioinvasion of *Kappaphycus alvarezii* on corals in the Gulf of Mannar, India. *Current Science* 94, n. 9/10.
- Conklin, E. J., Smith, J. E. 2005. Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus* spp., in Kane’ohe Bay, Hawaii and an experimental assessment of management options. *Biological Invasions* 7,1029-1039.
- Doty, M. S. 1985. *Euचेuma alvarezii* sp. Nov. (Gigartinales, Rhodophyta) from Malaysia. In: Taxonomy of economic seaweeds (eds.) Abbot, A. I., Norris, J. N. La Jolla, California Sea Grant College Program. p.37-45.
- Doty, M. S. 1986. The production and use of *Euचेuma*. In: Case studies of seven commercial seaweed resources (eds.) Doty, M. S., Caddy, J. F., Santelices, B. FAO Fisheries Technical Paper 281, 123-161.
- Gahan, P. B. 1984. Plant histochemistry and cytochemistry: an introduction. Academic Press. 301pp.
- Glenn, E. P., Doty, M. S. 1990. Growth of the seaweed *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatum* and *Euचेuma denticulatum* as effected by environment in Hawaii. *Aquaculture* 84, 245-255.
- Gordon, E.M., McCandless, E. L. 1973. Ultrastructure and histochemistry of *Chondrus crispus* Stackhouse. In: *Chondrus crispus* (eds.) Harvey, M. J., McLanchlan, J. Nova Scotian Institute of Science, Halifax. 111-133, 1973.

- Hayashi, L. 2009. Efeito da salinidade no crescimento, rendimento de carragenana e estrutura celular de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales). Trabalho apresentado como parte do Concurso Público para seleção de Professor Adjunto, Área de Ficologia, do Depto. de Botânica do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina. 37p, 2009.
- Hayashi, L., Paula, E. J., Chow, F. 2007. Growth rates and carrageenan analysis of four strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) farmed in the subtropical Waters of São Paulo State, Brazil. *Journal of Applied Phycology* 19, 393-399.
- Inderjit, Chapman, D., Ranelletti, M., Kaushik, S. 2006. Invasive Marine Algae: An Ecological Perspective. *The Botanical Review* 72(2), 153-178.
- Lobban, C. S., Harrison, P. J. 1997. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press, 376 pp.
- Mairth, O. P., Soe- Htsum, U., Ohno, M., 1986. Culture of *Eucheuma striatum* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Sub-tropical waters of Shikoku, Japan. *Botanica Marina* 29, 85-91.
- McCully, M. E. 1970. The histological localization of the structural polysaccharides of seaweeds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 175, 702-711.
- McHugh, D.J. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 105pp.
- Meinesz, A., Benichou, L., Blachier, J., Komatsu, T., Lemeé, R., Molenaar, H., Mari, X. 1995. Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Bot. Mar.* 38, 499-508.
- Neish, I. C. 2006. *Eucheuma* seaplant agronomy, biology and commerce. In: Critchley AT, Ohno M, Largo DB *World Seaweed Resources – An authoritative reference system* ISBN 90 75000 80 4, ETI Information Services, UK. DVD-ROM.

- Oliveira, E. C. 2005. Considerações sobre o impacto ambiental do cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* na costa sudeste do Brasil. Boletim Ficicológico, ano 24 (N005).
- Paula, E. J., Pereira, R. T. L. 1998. Cultivo de algas: da "marinomia" à maricultura da alga exótica, *Kappaphycus alvarezii* para produção de carragenanas no Brasil. Panorama da Aqüicultura 48, 10-15.
- Paula, E. J., Pereira, R. T. L. 2003. Factors affecting growth rates of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva (Rhodophyta, Solieriaceae) in sub-tropical waters of Sao Paulo State, Brazil. In: Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium. Cape Town 2001 (eds.) Chapman, A. R., Anderson, O. R. J., Vreeland, V. J., Davison, I. R. Oxford University Press, p. 381–388.
- Paula, E. J., Pereira, R. T. L., Ostini, S. 1998. Introdução de espécies exóticas de *Euclima* e *Kappaphycus* (Gigartinales, Rhodophyta) para fins de maricultura no litoral brasileiro: abordagem teórica e experimental. In: Anais do IV Congresso Latino-Americano de Ficologia, II Reunião Ibero-Americana de Ficologia e VII Reunião Brasileira de Ficologia, (eds) Paula, E. J., Cordeiro-Marinho, M., Santos, D. P., Fujii, M., Plastino, E. M., Yokoya, N. Caxambú, MG, p. 340-357.
- Paula, E. J., Pereira, R. T. L., Ohno, M. 1999. Strain selection in *Kappaphycus alvarezii* var. *alvarezii* (Solieriaceae, Rhodophyta) using tetraspore progeny. Journal of Applied Phycology 11, 111-121.
- Paula, E. J., Pereira, R. T. L., Ohno, M. 2002. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. Phycological Research 50, 1-9.
- Rodgers, S. K., Cox, E. F. 1999. The distributions of the introduced Rhodophytes *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum* and *Gracilaria salicornia* in relation to various physical and biological

factors in Kane'ohē Bay, O'ahu, Hawai'i. *Pacific Science* 53, 232–241.

Russel, D.J. 1983. Ecology of the red imported seaweed *Kappaphycus striatum* on Coconut Island, Oahu, Hawai'i. *Pacific Science* 37, 87–107.

Smith, J. E., Hunter, C. L., Smith, C. M. 2002. Distribution and reproductive characteristics of nonindigenous and invasive marine algae in the Hawaiian Islands. *Pacific Science* 56, 299–315.

Sulu, R., Kumar, L., Hay, C., Pickering, T. 2004. *Kappaphycus* seaweed in the Pacific : review of introductions and field testing proposed quarantine protocols. Noumea: Secretariat of the Pacific Community. 85 pp. ISSN 1683-7568.

Vairappan, C. S., Chong, S. C., Lhonneur, G. B., Critchley, A. T. 2007. Epiphyte outbreak in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) farms in South East Asia: Impact on the yield and Quality of carrageenan. XIXth International Seaweed Symposium. 26-31 March 2007, Kobe, Japan, 80 pp.

Vairappan, C. S., Chong, S. C., Hurtado, A. Q., Soya, F. E., Lhonneur, G. B., Critchley, A. 2008. Distribution and symptoms of epiphyte infection in major carrageenophyte-producing farms. *J. Appl. Phycol.* 20, 477-483.

Van Den Hoek, D., Mann, D. G., Jahns, H. M. 1995. In: *Algae: An introduction to phycology*. Cambridge University Press, p.48-95.

Venkataraman, K. 2000. Status survey of the Gulf of Mannar coral reefs following the 1998 bleaching event, with implications for reserve management. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Reef Systems*, Bali, Indonesia, p. 1–8.

Wakibia, J.G., Bolton, J. J., Keats, D. W., Raitt, L.M. 2006. Factors influencing the growth rates of three commercial eucheumoids at coastal sites in southern Kenya. *Journal of Applied Phycology* 18, 565-573.

- Woo, M. 2000. Ecological impacts and interactions of the introduced red alga *Kappaphycus striatum* in Kane'ohe Bay, O'ahu. Master's thesis, Department of Botany, University of Hawai'i, Honolulu, HI.
- Zuccarello, G. C., Critchley, A. T., Smith, J. E., Sieber, V., Bleicher-Lhonneur, G., West, J.A. 2006. Systematics and genetic variation in commercial *Kappaphycus* and *Eucheuma* (Solieriaceae, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 18, 643–651.

Considerações finais

O cultivo da *Kappaphycus alvarezii* na Praia de Sambaqui não apresentou indícios de trazer problemas ambientais, desde sua implantação até o presente momento. As estruturas reprodutivas, que são a grande problemática da dispersão da espécie, não foram observadas durante os períodos de amostragens e a dispersão vegetativa também não foi observada.

As características da região, como águas frias no inverno, alta turbidez e sedimento areno-lodoso, são limitantes para o estabelecimento da espécie fora das estruturas de cultivo. Durante os ciclos de inverno e outono as algas ficam muito debilitadas, apresentando baixas taxas de crescimento e redução de pigmentos. Este fator pode ser o regulador para a dispersão e controle da espécie no litoral da Grande Florianópolis. Para a implantação de cultivos comerciais, a baixa temperatura em determinadas épocas do ano pode ser um entrave para os produtores, prejudicando a estabilidade e padronização da produção ao longo do ano. Assim sendo, a atividade poderia ser aplicada como uma alternativa de complemento de renda para os produtores locais.

Apesar dos resultados positivos durante os dois anos de implantação do cultivo experimental em Sambaqui, ainda é cedo para que se fale no desenvolvimento de cultivos em larga escala no cultivo de Santa Catarina. Muitos estudos como a viabilidade comercial em diferentes pontos da Ilha e do Estado, características limitantes de cada região, aporte de água doce e concentração de nutrientes devem ser feitos.

Mesmo que *K. alvarezii* não tenha apresentado um potencial invasivo na região, o monitoramento ambiental deve ser permanente. Casos de bioinvasão como o do Haváí apresentaram grandes conseqüências, como a morte de corais, só depois de três décadas de sua introdução. Por esse fato é de extrema importância que seja dada continuidade ao monitoramento. De acordo com a instrução normativa nº 185 do IBAMA publicada em 22 de julho de 2008, esse monitoramento passará a ser obrigatório e pré-requisito para a obtenção da licença ambiental para a implantação de novos cultivos no Brasil.

Para futuros estudos na região de Sambaqui, sugere-se que sejam analisados os parâmetros físico-químicos da água de fundo, além da água de superfície, conciliando coletas em diferentes marés e condições de vento, para que se saiba o gradiente de nutrientes em diferentes

situações. O conhecimento dessas características de fundo poderia permitir a utilização adequada da área de cultivo, sem prejudicar a biomassa fitoplancônica através da competição por nutrientes. No presente estudo as coletas foram feitas sempre sob a influência da maré baixa ficando a dúvida de como seriam as características em maré alta. Outra questão que deve ser investigada é a disponibilidade de nutrientes no sedimento, e os metabólitos dos moluscos que podem estar ocasionando um incremento de nutrientes no sistema. Isso porque a razão N:P está próxima do limitante e fatores aumentem essa razão permitirão dimensionar os cultivos na região.

Através da microscopia realizada com as algas cultivadas na Praia de Sambaqui, pode-se concluir que as variantes feminina e vermelha apresentam a camada de mucilagem mais espessa que as demais, indicando assim maior concentração de carragenana. Essa característica é de extrema importância para o cultivo comercial na região. A realização de uma seleção de linhagens com alto teor de polissacarídeos é uma opção para oferecer ao mercado um produto competitivo e com boa qualidade.

Referências bibliográficas da Introdução

ARECES, A. J. Cultivo comercial de carragenofitas del genero *Kappaphycus* Doty. In: **Manual de métodos ficológicos**. ALVEAL, K.; FERRARIO, E.; OLIVEIRA, E. C.; Sar, E. (organizadores), Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 1995, p.529-550.

ASK, I. E.; AZANZA, R. V. Advance in cultivation technology of commercial eucheumatoid species: a Review with suggestion for future research. **Aquaculture**, v. 206, p. 257-277, 2002.

BERCHEZ, A. S.; OLIVEIRA, E. C. Maricultural essays with the carrageenophyte *Hypnea musciformis* in S. Paulo, Brazil. **Hidrobiologia**, v. 60-261, p.255-261, 1989.

BOSCARDIN, N. R. A produção aquícola brasileira. In: **Aqüicultura no Brasil: o desafio é crescer**, OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. (organizadores), Brasília, DF: 2008, p.27-72.

BOUZON, Z. L.; HAYASHI, L.; SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, E. C.; PEREIRA, R. T. L.; FARIA, G. S. M.; NUNES, B. G. **Cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii* no litoral (Rhodophyta, Areschougiaceae) no litoral de Santa Catarina**. Relatório Técnico enviando ao IBAMA, 2009, 40p.

BULBOA, C. R., PAULA, E. J. Introduction of non-native species of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) in subtropical waters: comparative analysis of growth rates of *Kappaphycus alvarezii* and *Kappaphycus striatum* *in vitro* and in the sea in south-eastern Brazil. **Phycological Research**, 53, p. 183-188, 2005.

CASTELAR, B. **Monitoramento ambiental das atividades de cultivo da macroalga exótica *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P.C. Silva, no Sul do estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Botânica). Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CASTELAR, B.; REIS, R. P.; MOURA, A. L.; KIRK, R. Invasive potential of *Kappaphycus alvarezii* off the south coast of Rio de Janeiro

state, Brazil: a contribution to environmentally secure cultivation in the tropics. **Botanica Marina**, v. 52, p. 283–289, 2009.

CHANDRASEKARAN, S.; ARUN, N. N.; PANDIARAJA, D.; KRISHNANKUTTY, N.; KAMALAKANNAN, B. Bioinvasion of *Kappaphycus alvarezii* on corals in the Gulf of Mannar, India. **Current Science**, v. 94, n 9,10, 2008.

CHOPIN, T.; BUSCHMANN, A. H.; HALLING, C.; TROELL, M.; KAUTSKY, N.; NEORI, A.; KRAEMER, G. P.; ZERTUCHE-GONZÁLEZ, J. A.; YARISH, C.; NEEFUS, C. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. **Journal of Applied Phycology**, v. 37, p. 975–986, 2001.

CÓLLEN, J. An uncritical view of early uses of seaweed. In: **Critchley AT, Ohno M, Largo DB World Seaweed Resources – An authoritative reference system** ISBN 90 75000 80 4, ETI Information Services, UK, n. 1, 2006. DVD-ROM.

CONKLIN, E. J.; SMITH, J. E. Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus* spp., in Kane’ohe Bay, Hawaii and an experimental assessment of management options. **Biological Invasions**, v. 7, p.1029-1039, 2005.

DE RUITER, G. A.; RUDOLPH, B. Carrageenan biotechnology. **Trends in Food Science, Technology**, v. 8, p. 389-395, 1997.

DOTY, M. S. *Eucheuma alvarezii* sp. nov. (Gigartinales, Rhodophyta) from Malaysia. In: **Taxonomy of economic seaweeds**. ABBOT, A. I.; NORRIS, J. N. (organizers), La Jolla, California Sea Grant College Program. 1985, p.37-45.

EPAGRI/CEPA. Desempenho da Pesca e Aqüicultura 2007-2008. In: **Síntese anual da agricultura em Santa Catarina, 2008**. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S/A e Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. 206-216p. ISSN 1777-5953.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2004. **Food and Agricultural Organization**, Rome. 153 p, 2005.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2006. **Food and Agricultural Organization**, Rome. 180 p, 2007.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. **Food and Agricultural Organization**, Rome. 215 p, 2009.

FERREIRA, J. F.; MAGALHÃES, A. R. M. Cultivo de mexilhões. In: **Aquicultura: experiências brasileiras**. POLI, C.R.; POLI, A. T. B.; ANDREATTA, E.; BELTRAME, E. (organizadores), Florianópolis, SC, 2004, p.221-250.

FERREIRA, J. F.; OLIVEIRA, F. M. Cultivo de moluscos em Santa Catarina. In: **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos**. BARROSO, G. F.; POERSCH, L. H. S.; CAVALLI, R. O. (organizadores), Museu Nacional. Rio de Janeiro, 2007, p.87-95.

FURTADO, M. R. Desequilíbrio climático abre mercado para novos hidrocolóides. **Química e Derivados**, v. 430, p. 1-4, 2004.

HAYASHI, L. **Extração, teor e propriedades de carragenana de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva, em cultivo experimental em Ubatuba, SP**. 2001. 83f. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

HAYASHI, L.; YAKOYA, N. S.; OSTINI, S.; PEREIRA, R. T. L.; BRAGA, E. S.; OLIVEIRA, E. C. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. **Aquaculture (Amsterdam)**, v. 277, p. 185-191, 2008.

LEE, B. Seaweed Potential as a marine vegetable and other opportunities. **Rural Industries Research and Development Corporation (IRDC)**. Publication n°08/009, RIRDC Project n°CO-9A, IBSN 17415159x, 2008.

MARROIG, R. G. **Epibiontes nas estruturas de cultivo de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil**. 2007. 23f. Monografia. Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

McHUGH, D.J. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome. 105p, 2003.

GUIRY, M. **Carrageenans**, <http://seaweed.ucg.ie/uses_general/carrageenans.html>. 2 fev. 2010.

NISIZAWA, K. Seaweeds Kaisei Bountiful Harvest from the Sea. In: **Seaweed Resources of the World**. CRITCHLEY, A. T.; OHNO, M.; LARGO, D. B. (organizers). Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, 2006.

NUNES, J. M. C. Rodofíceas **marinhas bentônicas do estado da Bahia, Brasil**. 2005. 410f. Tese . Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, E. C. Algas marinhas: um recurso ainda pouco explotado pelo Brasil. **Panorama da Aqüicultura**, v. 7, p. 24-26, 1997.

OLIVEIRA, E. C. Considerações sobre o impacto ambiental do cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* na costa sudeste do Brasil. **Boletim Ficológico**, v. 24, 2005.

OLIVEIRA, E. C. & BERCHEZ, F. A. S. Ensayos sobre El cultivo Del alga roja *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) em São Paulo, Brasil. In: **Taller de trabajo sobre Acuicultura en America Latina**. VERRETH, J. A. J.; CARILLO, M.; ZANUY, S.; HUISMAN, E. (organizers), A. Int. Fund. Sci., Pudoc, Wageningen, 1987.

OLIVEIRA, E. C.; MIRANDA, G. E. C. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil.. In: **IV Congresso Latino Americano de Ficologia, II Reunião Ibero-Americana de Ficologia e VII Reunião Brasileira de Ficologia**. PAULA, E. J.; CORDEIRO-MARINO, M.; SANTOS, D. P.; PLASTINO, E. M.; FUJII, M. T.; YOKOYA, N. S. (organizadores), Caxambu. Exata Ed. v.II, p. 147-156, 1998.

OLIVEIRA, E. C., OLIVEIRA, M. C., SAITO, R. M.; GAROFOLO, G. M. C. Carragenanas - algas polivalentes. **Ciência Hoje**, v. 14, p. 73-77, 1992.

OLIVEIRA, E. C.; PAULA, E. J. Exotic seaweeds: friends or foes? In: **XVII International Seaweed Symposium**. CHAPMAN, A. R. O.; ANDERSON, R. J.; VREELAND, V. J.; DAVISON, I. R.. (organizadores), Cape Town, p. 81-93, 2001.

PAULA, E. J. **Marinomia da alga exótica, *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta), para produção de carragenanas no Brasil**. 2001. 163f. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, SP, 2001.

PAULA, E. J.; ERBERT, C.; PEREIRA, R. T. L. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta Gigartinales) *in vitro*. **Phycological Research**, v. 49, p. 155-161, 2001.

PAULA, E. J.; OLIVEIRA, E. C. Macroalgas exóticas no Brasil com ênfase à introdução de espécies visando à maricultura. In: **Água de lastro e bioinvasão**. JULIETA, S. V. S.; ROSA, C. L. S. (organizadores), Interciência, São Paulo, 2004, p. 99-112.

PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L. Cultivo de algas: da "marinomia" à maricultura da alga exótica, *Kappaphycus alvarezii* para produção de carragenanas no Brasil. **Panorama da Aqüicultura**, v. 48, p. 10-15, 1998.

PAULA, E.J.; PEREIRA, R.T.L.; OHNO, M. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. **Phycological Research**, v. 50, p. 1-9, 2002.

PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OSTINI, S. Introdução de espécies exóticas de *Euclima* e *Kappaphycus* (Gigartinales, Rhodophyta) para fins de maricultura no litoral brasileiro: abordagem teórica e experimental. In: **Anais do IV Congresso Latino-Americano de Ficologia, II Reunião Ibero-Americana de Ficologia e VII Reunião Brasileira de Ficologia**. PAULA, E. J.; CORDEIRO-MARINHO, M.; SANTOS, D. P.; FUJII, M.; PLASTINO, E. M.; YOKOYA, N. (editores), Caxambú, MG. p. 340-357, 1998.

PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OHNO, M. Strain selection in *Kappaphycus alvarezii* var. *alvarezii* (Solieriaceae, Rhodophyta) using

tetraspore progeny. **Journal of Applied Phycology**, v. 11, p. 111-121, 1999.

PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OHNO, M. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. **Phycological Research**, v. 50, p. 1-9, 2002.

QIAN, P-Y.; WU, C. Y. & XIE, Y. K. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*. **Aquaculture**, v. 147, p. 21-35, 1996.

REIS, R. P. Caracterização da assembléia fitobentônica da praia do Kutuca, ilha da Marambaia, baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Acta bot. Bras.**, v. 23, n. 2, p. 297-304, 2009.

REIS, R. P.; CALDEIRA, A. Q.; MIRANDA, A. P. S.; BARROS-BARRETO, M. B. Potencial para maricultura da carragenófita *Hypnea musciformis* (Wulfen) J.V. Lamour. (Gigartinales - Rhodophyta) na Ilha da Marambaia, Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, v. 20, n.4, p.763-769, 2006.

REIS, R. P.; BASTOS, M.; GOÉS, H. G. Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro. **Panorama da Aqüicultura**, v. 17, n. 89, p. 42-47, 2007.

RODGERS, S. K.; COX, E. F. The distributions of the introduced Rhodophytes *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum* and *Gracilaria salicornia* in relation to various physical and biological factors in Kane'ohe Bay, O'ahu, Hawai'i. **Pacific Science**, v. 53, p. 232-241 1999.

SCHENKMAN, R. P. F. *Hypnea musciformis* (Rhodophyta): ecological influence on growth. **Journal of Phycology**, v. 25, p. 192-196, 1989.

SCHMIDT, E. C. **Radiação ultravioleta-B: Efeitos morfofisiológicos nas variantes pigmentares verde e vermelha da macroalga vermelha *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva (Gigartinales)**. 2009. 124p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SOUZA, M. S. **Rendimento e qualidade de ficocolóides de cinco espécies de macroalgas com potencial econômico de Santa Catarina.** 43p. 2009. Trabalho de conclusão do Curso de Engenharia de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SUPLICY, F. M. Legal aspects and governmental actions for the development of mollusc farming in Brazil. In: **Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad em América Latina.** (orgs) LOVATELLI, A.; FARÍAS A.; URIARTE, I. Roma: FAO Actas de Pesca y Acuicultura, v. 12, p. 205-208, 2008.

UNIVERSITY OF HAWAII, BOTANY DEPARTMENT. *Kappaphycus alvarezii*.

<http://www.hawaii.edu/reefalgae/invasive_algae/rhodo/kappaphycus_alvarezii.htm>. 2 fev. 2010.

ZUCCARELLO, G. C.; CRITCHLEY, A. T.; SMITH, J. E.; SIEBER, V.; BLEICHER-LHONNEUR, G.; WEST, J.A. Systematics and genetic variation in commercial *Kappaphycus* and *Euचेuma* (Solieriaceae, Rhodophyta). **J Appl Phycol.**, v. 18, p. 643–651, 2006.