



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

NOELE PRIVATO ARANTES

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOBÊNTECA E RESPOSTAS
ECOFISIOLÓGICAS DE *Ulva lactuca* E *Sargassum cymosum* FRENTE A EVENTOS DE
PRECIPITAÇÃO NA ILHA DE SANTA CATARINA, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL.**

Florianópolis 2012

NOELE PRIVATO ARANTES

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOBÊNTECA E RESPOSTAS
ECOFISIOLÓGICAS DE *Ulva lactuca* E *Sargassum cymosum* FRENTE A EVENTOS DE
PRECIPITAÇÃO NA ILHA DE SANTA CATARINA, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Departamento de
Botânica da Universidade Federal de Santa
Catarina, para a obtenção de Título de Mestre
em Biologia Vegetal

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Antunes Horta

Co-orientadores:

Prof. Dr. José Bonomi Barufi
Prof. Dr. Moacir Aluisio Torres

Florianópolis 2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

A662e Arantes, Noele Privato
Estrutura da comunidade fitobântica e respostas
ecofisiológicas de *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum* frente
a eventos de precipitação na ilha de Santa Catarina,
Florianópolis, SC, Brasil [dissertação] / Noele Privato
Arantes ; orientador, Paulo Antunes Horta Júnior. -
Florianópolis, SC, 2012.
95 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-
Graduação em Biologia Vegetal.

Inclui referências

1. Biologia vegetal. 2. Mudanças climáticas. 3.
Precipitação (Meteorologia). 4. Ecofisiologia. I. Horta
Júnior, Paulo Antunes. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.
III. Título.

CDU 574/578

NOELE PRIVATO ARANTES

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOBÊNTECA E RESPOSTAS
ECOFISIOLÓGICAS DE *Ulva lactuca* E *Sargassum cymosum* FRENTE A EVENTOS DE
PRECIPITAÇÃO NA ILHA DE SANTA CATARINA, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL.**

Banca examinadora:

Dr. Paulo Antunes Horta
Orientador - UFSC

Dra. Margareth da Silva Copertino
Examinador Externo - FURG

Dr. Eurico Cabral de Oliveira
Examinador Interno - UFSC

Dr. Leonardo Rorig
Examinador Interno - UFSC

Dra. Zenilda Laurita Bouzon
Suplente - UFSC

*Á minha família, meu amor, meus queridos amigos de trabalho e á todos os pesquisadores
interessados na inovação, conquista e avanço da ciência*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me possibilitou a oportunidade, determinação, saúde, paciência e dedicação em cada etapa deste trabalho. Apenas Ele e eu sabemos a importância desta realização para meu crescimento pessoal e profissional.

Em segundo lugar, como em todos os momentos da minha vida, agradeço o enorme apoio do meu pai, meu irmão, sobretudo minha mãe, que com muito carinho, confiança e paciência esteve sempre comigo nesta caminhada.

Em especial, agradeço enormemente o Digo, meu grande companheiro de todos os momentos, inclusive na realização de coletas com chuva e frio no inverno de Florianópolis às 6:00hs da manhã. É com muita admiração que reconheço as palavras de conforto, a paciência nos momentos mais difíceis e o apoio a minha profissão.

Ao meu orientador Prof. Paulo Horta, que com sua paixão e entusiasmo pela pesquisa me ensinou e me incentivou a seguir sempre em frente, me aconselhando a jamais desistir dos meus sonhos. Além da confiança em mim depositada para a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. José Barufi, que desde que chegou à UFSC, colaborou de maneira intensa e dedicada para que a realização geral desse trabalho fosse possível.

Agradeço também o Prof. Moacir Torres pela ajuda no manuseio do Diving-Pam.

À Cintia Martins, primeiramente pela dedicação durante os primeiros passos de cada etapa, e posteriormente pelas inúmeras amostras de água analisadas.

Ao Simão e ao Tião pela realização das amostras de sedimento e auxílio no processamento das análises de água no Nemar.

Em especial, gostaria de agradecer a minha querida amiga de laboratório Manuela Batista, pela amizade e conversas horas a fio, pela disposição em ajudar, principalmente, nas coletas e permanência no laboratório até tarde da noite.

Ao Eduardo Bastos, pelas conversas, ajuda e socorro com os recursos do Excel e Word.

A Talita Vieira, por sua docilidade e carinho.

Aos meus companheiros de trabalho Paola, David, Rafael, Cintia L., Carol e Marina pelas ajudas, conversas e risadas.

Aos Profs. Margareth Copertino, Eurico Cabral de Oliveira, Leonardo Rorig e Zenilda Bouzon, por gentilmente aceitarem fazer parte da banca.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

RESUMO

Desde décadas recentes, mudanças climáticas globais vêm causando drásticas mudanças biológicas ao longo do planeta, afetando uma ampla gama de organismos com distribuições geográficas diferentes, principalmente no que se diz respeito ao alcance e distribuição de espécies, composição e interação dentro da comunidade, e estrutura e dinâmica dos ecossistemas. Além disso, alterações nas interações tróficas, respostas fisiológicas e distribuição de produtores primários já têm sido possível observar nos últimos anos. Neste contexto, o trabalho em questão realiza uma análise comparativa da estrutura da comunidade fitobêntica, e das respostas ecofisiológicas de *Ulva Lactuca* Linnaeus e *Sargassum cymosum* C. Agardh de costões rochosos entremarés em dias consecutivos secos (DCS), e em momentos com precipitação extrema (EEP) no sul do Brasil. Para a caracterização da estrutura da comunidade foram feitas coletas qualitativas através de raspagem manual, e quantitativas através de fotoquadrats do material ficológico. Para a avaliação das respostas ecofisiológicas, foram feitas medições da fluorescência da clorofila *a* do fotossistema II, através de um fluorímetro de pulso com amplitude modulada (DIVING-PAM). A análise de variância da estrutura da comunidade indicou uma redução na riqueza, abundância e diversidade de Shannon após EEP em relação à DCS. Análises de porcentagem de similaridade também indicaram que macroalgas de morfotipos-funcionais calcárias articuladas, coriáceas e corticadas reduziram suas porcentagens de cobertura após EEP, entretanto, macroalgas foliáceas, representadas principalmente por *Ulva lactuca*, uma alga oportunista, e a porcentagem de costão rochoso com ausência de cobertura de macroalgas apresentaram um aumento após EEP. A análise de variância indicou diferenças significativas nos níveis de irradiação nos momentos avaliados e da irradiação de saturação (I_k) de *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum*. Além disso, os valores da eficiência fotossintética (α) e da taxa de transporte de elétrons (ETR_{max}) dessas espécies apresentaram-se maior após EEP. E, embora as duas espécies tenham respondido de maneira similar frente aos eventos avaliados, de modo geral, *S. cymosum* apresentou taxas fotossintetizantes menores que *U. lactuca*. Portanto, neste estudo, além das considerações feitas relacionadas à fotoproteção, zonação e fotoinibição, também são fornecidos dados que mostram a magnitude da perda da biodiversidade de algas e são discutidas as consequências diretas e indiretas nessas comunidades, devido o aumento na frequência e magnitude de extremos de precipitação, principalmente, ocasionadas pelas mudanças climáticas.

Palavras-chave: Comunidades fitobênticas; mudanças climáticas; precipitação; ecofisiologia; irradiação

ABSTRACT

Since recent decades, global climate change are causing dramatic biological changes over the planet, affecting a wide range of organisms with different geographical distributions, particularly as regards the scope and distribution of species composition and interaction within the community, and structure and dynamics of ecosystems. Furthermore, changes in trophic interactions, physiological responses and distribution of primary producers have already been possible to observe in recent years. In this context, the work in question performs a comparative analysis of phytobenthic community structure and ecophysiological responses of *Ulva Lactuca* Linnaeus and *Sargassum cymosum* C. Agardh from intertidal rocky shores after consecutive dry days (DCS), and after extreme precipitation (EEP) in southern Brazil. To characterize the community structure was collected through qualitative manual scraping, and quantitative means of photo-quadrats of phycological material. For the evaluation of ecophysiological responses, measurements were made of the chlorophyll fluorescence of photosystem II, using a fluorimeter pulse amplitude modulated (DIVING-PAM). The variance analysis of community structure showed a reduction in richness, abundance and diversity of Shannon for EEP in relation to the DCS. Analysis of percentage similarity also indicated that macroalgae-functional morphotypes articulated calcareous, leathery and corticadas reduced their percentage of coverage after EEP, however, foliaceous macroalgae, mainly represented by *Ulva lactuca*, an opportunistic seaweed, and the percentage of rocky shore with no macroalgal cover showed an increase after EEP. Analysis of variance indicated significant differences in the levels of radiation measured in moments and saturation irradiance (I_k) of *Ulva lactuca* and *Sargassum cymosum*. Furthermore, the values of photosynthetic efficiency (α) and the rate of electron transport (ETR_{max}) of these species were higher after EEP. And, although these species have responded similarly front of events evaluated, in general *S. cymosum* photosynthetic rate made smaller than *U. lactuca*. Thus, in this study, in addition to the considerations made related to photoprotection, photoinhibition and zonation, are also provided data the magnitude of the loss of biodiversity of algae and discusses shows the direct and indirect consequences in these communities, because of increasing frequency and magnitude extremes of precipitation, mainly caused by climate change.

Keywords: Phytobenthic communities; climate change; precipitation; ecophysiology; irradiance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação ilustrativa das oito coletas realizadas em EEP (nuvem) e DCS (sol) com os respectivos dados de pluviosidade em milímetros/24horas durante o ano de 2011.	22
Figura 2. Representação ilustrativa do desenho amostral.	23
Figura 3. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros ambientais e as correlações com os descritores sintéticos da comunidade, riqueza, abundância e diversidade no verão e inverno, após EEP e DCS. O autovalor de PCA1 foi (4.3) e PCA2 (3.4). N=72.	25
Figura 4. Médias (\pm EP) dos valores dos descritores sintéticos da comunidade fitobêntica no verão e inverno, após EEP e DCS (valores de F e p: ANOVA fatorial, letras diferentes: diferenças significativas segundo teste <i>a posteriori</i> de Tukey, N=18).	28
Figura 5. Representação ilustrativa da diversidade e porcentagem de cobertura dos morfotipos-funcionais após ambos os eventos, DCS e EEP.	33
Figura 6. Representação ilustrativa das oito coletas realizadas em EEP (nuvem) e DCS (sol) com os respectivos dados de pluviosidade em milímetros/24horas durante o ano de 2011.	50
Figura 7. Representação ilustrativa do desenho amostral.	51
Figura 8. Análise não métrica de escalonamento multidimensional das espécies <i>Ulva lactuca</i> e <i>Sargassum cymosum</i>	55
Figura 9. Médias (\pm EP) dos parâmetros fotossintetizantes de <i>Ulva lactuca</i> (A-D) e <i>Sargassum cymosum</i> (E-H) durante o verão e inverno, e após os eventos* DCS e EEP.	57
Figura 10. Médias (\pm EP) das concentrações de clorofila <i>a</i> de <i>Ulva lactuca</i> (A) e <i>Sargassum cymosum</i> (B) durante o verão e inverno, e após os eventos* DCS e EEP.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista das espécies e os respectivos morfotipos-funcionais encontrados no verão e inverno, após DCS e EEP.	27
Tabela 2. Médias (\pm EP) dos descritores sintéticos da comunidade fitobêntica no verão e inverno, após EEP e DCS. N=18	28
Tabela 3. Dados de similaridade e dissimilaridade e porcentagem de cobertura dos morfotipos-funcionais após DCS e EEP gerados a partir de análises de SIMPER.....	29
Tabela 4. Síntese da bibliografia referente aos distúrbios causados na biodiversidade, tanto de ordem natural, quanto antropogênica.....	30
Tabela 5. Médias (\pm EP) dos parâmetros ambientais nas estações do ano e após DCS e EEP. Os efeitos significativos realizados por meio da ANOVA são apresentados com os valores de F e p em negrito. N=4	54
Tabela 6. Médias (\pm EP) dos parâmetros fotossintetizantes nas estações do ano, e após DCS e EEP. Diferentes letras ao lado de cada valor representam as diferenças significativas observadas através do teste <i>a posteriori</i> de Tukey. N=12.....	56
Tabela 7. Médias (\pm EP) das concentrações de clorofila <i>a</i> nas estações do ano, e após DCS e EEP. Diferentes letras ao lado de cada valor representam as diferenças significativas observadas por meio do teste <i>a posteriori</i> de Tukey. N=12.	57

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO GERAL.....	14
OBJETIVO.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DO EFEITO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A COMUNIDADE DE MACROALGAS MARINHAS DA REGIÃO ENTREMARÉS – UM ESTUDO DE CASO NO ATLÂNTICO SUL SUBTROPICAL.....	15
RESUMO.....	16
ABSTRACT	17
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1 Área de estudo.....	20
2.2 Coleta e identificação do material ficológico.....	21
2.3 Análise dos Parâmetros Ambientais.....	23
2.4 Análises estatísticas.....	24
3. RESULTADOS	24
3.1 Análise dos parâmetros ambientais.....	24
3.2 Análise qualitativa e quantitativa da estrutura das comunidades fitobênticas	25
3.3 Descritores sintéticos das comunidades fitobênticas.....	28
3.4 Descrição da estrutura das comunidades fitobênticas	28

4. DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES.....	34
6. REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 2: RESPOSTAS FOTOSSINTETIZANTES DE <i>Ulva lactuca</i> E <i>Sargassum cymosum</i> FRENTE A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM UMA ILHA DO ATLÂNTICO SUL.	
	43
RESUMO.....	44
ABSTRACT.....	45
1. INTRODUÇÃO.....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1 Área de estudo.....	48
2.2 Coleta e identificação do material ficológico.....	49
2.3 Fotossíntese a partir da fluorescência da Clorofila <i>a</i> do Fotossistema II.....	51
2.4 Determinações da clorofila <i>a</i>	52
2.5 Parâmetros ambientais.....	52
2.6 Análises estatísticas.....	53
3. RESULTADOS	53
3.1 Análise dos parâmetros ambientais	53
3.2. Comparação das respostas fisiológicas entre as espécies avaliadas	54
3.3. Análise dos parâmetros da fluorescência da clorofila <i>a</i> do fotossistema II.....	55
3.3.1 <i>Ulva lactuca</i>	55
3.3.2 <i>Sargassum cymosum</i>	55
3.4 Análise das concentrações da clorofila <i>a</i>	57
4. DISCUSSÃO	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62

6. REFERÊNCIAS	63
----------------------	----

APRESENTAÇÃO GERAL

Desde décadas recentes, mudanças climáticas globais (Hansen *et al.*, 2006) vêm causando drásticas mudanças biológicas ao longo do planeta (Walther *et al.*, 2002; Wernberg *et al.*, 2011). Alterações já estão acontecendo, como o aumento da precipitação, maior ocorrência de precipitações intensas originadas por processos convectivos, maior frequência de cheias e ocorrência de secas mais severas e prolongadas (Houghton *et al.*, 1996; Karl *et al.*, 1996). Especificamente para a região Sul do Brasil, diversos modelos climáticos têm apontado um aumento na ocorrência de tempestades severas, frequentes furacões e ciclones tropicais e extratropicais, como o furacão Catarina no ano de 2004 (Marengo, 2006).

Inserido nesse contexto, é mais provável que as mudanças climáticas globais modifiquem o equilíbrio dos ecossistemas terrestres e marinhos. Segundo Walther *et al.* (2002), nos últimos trinta anos de aquecimento, foi possível evidenciar que as mudanças no clima têm afetado uma ampla gama de organismos com distribuições geográficas diferentes. Nesse contexto, as comunidades fitobênticas típicas de costões rochosos podem ser consideradas boas indicadoras de alterações ambientais, causadas por distúrbios de diferentes naturezas, por serem sésseis e integrarem assim os efeitos de longos períodos de exposição a condições adversas (Gorostiaga & Diez, 1996).

Este trabalho está organizado em dois capítulos: o primeiro irá abordar a composição e a estrutura das comunidades fitobênticas de costões rochosos da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, após momentos de precipitação extrema, e após momentos compostos por dias consecutivos secos. O segundo capítulo, por sua vez, terá como abordagem, a ecofisiologia das espécies de macroalgas *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum* após os mesmos momentos citados acima.

OBJETIVO

Descrever e comparar a composição, a estrutura e as respostas ecofisiológicas das macroalgas submetidas a momentos de precipitação extrema e dias consecutivos secos. Nesse sentido, a presente proposta pretende sistematizar e divulgar as relações entre macroalgas marinhas e precipitação em um cenário de mudanças climáticas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever e comparar os aspectos da composição e estrutura das comunidades fitobênticas da região entremarés de costões rochosos após eventos de precipitação extrema e após eventos com ausência de precipitação;
- b) Caracterizar e avaliar o rendimento fotossintetizante de duas espécies de macroalgas marinhas *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum* da região entremarés de costões rochosos após eventos de precipitação extrema e após eventos com ausência de precipitação.

**Capítulo 1: AVALIAÇÃO DO EFEITO DE EVENTOS EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO SOBRE A COMUNIDADE DE MACROALGAS MARINHAS DA
REGIÃO ENTREMARÉS – UM ESTUDO DE CASO NO ATLÂNTICO SUL
SUBTROPICAL.**

RESUMO

Desde décadas recentes, mudanças climáticas globais vêm causando drásticas mudanças biológicas ao longo do planeta, afetando uma ampla gama de organismos com distribuições geográficas diferentes, principalmente no que se diz respeito à fisiologia, alcance e distribuição de espécies, composição e interação dentro da comunidade, e a estrutura e dinâmica dos ecossistemas. Neste contexto, o trabalho em questão realiza uma análise comparativa da estrutura da comunidade fitobêntica de costões rochosos entremarés após dias consecutivos secos (DCS), e após momentos com precipitação extrema (EEP) no sul do Brasil. Para a caracterização da estrutura da comunidade foram feitas coletas qualitativas através de raspagem manual, e quantitativas através de foto-quadrats do material ficológico. A análise de variância indicou uma redução na riqueza, abundância e diversidade de Shannon após EEP em relação à DCS. Análises de porcentagem de similaridade também indicaram que macroalgas de morfotipos-funcionais calcárias articuladas, coriáceas e corticadas reduziram suas porcentagens de cobertura após EEP, entretanto, macroalgas foliáceas, representadas principalmente por *Ulva lactuca*, uma alga oportunista, e a porcentagem de costão rochoso com ausência de cobertura de macroalgas apresentaram um aumento após EEP. Portanto, é possível concluir que as comunidades algais são capazes de sinalizar variações em pequena escala de tempo. E nesse estudo são fornecidos dados que mostram a magnitude da perda da biodiversidade de algas e são discutidas as conseqüências diretas e indiretas nessas comunidades devido o aumento na frequência e magnitude de extremos de precipitação, inseridas no contexto das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Comunidades fitobênticas; diversidade; mudanças climáticas; precipitação

ABSTRACT

Since recent decades, global climate change are causing dramatic biological changes over the planet, affecting a wide range of organisms with different geographical distributions, especially in regard to physiology, range and distribution of species composition and interaction within the community, the structure and dynamics of ecosystems. In this context, the work in question performs a comparative analysis of community structure of rocky intertidal fitobenthic after consecutive dry days (DCS), and after moments with extreme precipitation (EEP) in southern Brazil. To characterize the community structure was collected through qualitative manual scraping, and quantitative means of photo-quadrats of phicology material. Analysis of variance indicated a reduction in richness, abundance and Shannon diversity after EEP in relation to DCS. Analysis of percentage similarity also indicated that macroalgae-functional morphotypes articulated calcareous, leathery and corticadas reduced their coverage percentages after EEP, however, foliaceous macroalgae, mainly represented by *Ulva lactuca*, an opportunistic seaweed, and the percentage of rocky shore with no macroalgal cover showed an increase after EEP. Therefore, we conclude that the algal communities are able to signal variations in small time scale. And this study data are provided to show the magnitude of loss of biodiversity of algae and discusses the direct and indirect consequences in these communities because of its increasing frequency and magnitude of extreme precipitation, within the context of climate change.

Keywords: Phytobenthic communities; diversity; climate change; precipitation

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, mudanças climáticas globais (Hansen *et al.*, 2006) vêm causando impactos de diferentes naturezas sobre populações e comunidades de diferentes ecossistemas em todas as regiões do planeta (Walther *et al.*, 2002; Wernberg *et al.*, 2011). Mesmo considerando que o clima da Terra já tenha passado por extremos, e que o sistema climático varia naturalmente ao longo de escalas temporais diversas, no que se diz respeito à taxa do aquecimento global, os valores atuais podem ser considerados um dos mais elevados, tanto para o ambiente terrestre, quanto para o ambiente marinho (Evans *et al.*, 2010). A variabilidade natural do clima é refletida nas adaptações evolutivas das espécies e padrões em grande escala da biogeografia (Harley *et al.*, 2006). Porém, assim como sugere o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) a chance das recentes alterações climáticas serem consequências da mediação humana é de mais de 90% (IPCC, 2007), e desse modo, as atividades humanas acabaram se transformando em um componente adicional para o sistema climático (Harley *et al.*, 2006).

Diversas projeções, com diferentes cenários e taxas de emissão de gases pela atividade humana que causam o efeito-estufa têm previsto um aquecimento global na superfície terrestre. Outras alterações previstas nessas simulações são o aumento da precipitação, maior ocorrência de precipitações intensas originadas por processos convectivos, maior frequência de cheias e ocorrência de secas mais severas e mais prolongadas (Houghton *et al.*, 1996; Karl *et al.*, 1996).

Segundo Lucrezi *et al.* (2010), entre as alterações climáticas mais evidentes, está a intensificação e a elevação na frequência de tempestades, as quais quando ocorrem sobre áreas costeiras têm provocado ondas de alta magnitude, capazes de ressuspender quantidades de sedimentos diferentes do que normalmente ocorre resultando em processos erosivos ainda pouco documentados, como ocorrido em 2010, na praia da Armação, Florianópolis, Ilha de Santa Catarina, Brasil, assim como, na região serrana do estado do Rio de Janeiro, Brasil em 2011, considerada uma das maiores catástrofes naturais da história. Como resultados dessas erosões, catastróficas deposições de sedimentos podem ocorrer influenciando profundamente a estrutura e a função das comunidades bênticas (Norkko *et al.*, 2002), além de remover e suprimir organismos ao longo dos costões rochosos e recifes de coral entre outras formações litorâneas (Gaylord *et al.*, 2008).

Além disso, modificações abióticas no ambiente marinho como, por exemplo, temperatura e nível da água do mar, salinidade, alterações nas concentrações de nutrientes, circulação de correntes e o aumento na força e altura das ondas (Harley *et al.*, 2006; IPCC, 2007; Cardoso *et al.*, 2008; MCCIP, 2010) têm sido detectadas como as mais drásticas

consequências afetando principalmente a composição, biodiversidade e produtividade desses ecossistemas.

Na última década alguns autores documentaram mudanças sistemáticas em uma ampla variedade de espécies distribuídas por vários continentes (Stachowicz *et al.* 2002; Dijkstra *et al.* 2010; Faveri *et al.* 2010). Estas variações na distribuição fornecem evidências convincentes de que no século XX as tendências climáticas impactaram os sistemas naturais (Wuethrich, 2000). Segundo Walther *et al.* (2002), nos últimos trinta anos de aquecimento, foi possível evidenciar que as mudanças no clima têm afetado uma ampla gama de organismos com distribuições geográficas diferentes principalmente no que se diz respeito a fenologia e fisiologia, alcance e distribuição de espécies, composição e interação dentro da comunidade, e a estrutura e dinâmica dos ecossistemas.

De acordo com Sousa (1984a; 2001), distúrbios físicos são agentes críticos estruturadores de uma grande variedade de comunidades da região do médio e infralitoral. Nesse contexto, estudos feitos com comunidades de algas, estruturadas pelo gradiente de ondulação e furacões (Dayton, 1975; Ballantine, 1984) respectivamente, demonstraram a influência destes distúrbios na diversidade local e no desenvolvimento e manutenção da estrutura dessas comunidades (Davis & Wilce, 1987).

Com o intuito de compreender melhor as respostas dos organismos frente a essas mudanças ambientais, análises de diversidade, abundância e distribuição têm sido utilizadas como métodos de avaliação para comunidades bióticas. Há tempos atrás, alguns ecólogos já podiam ser referenciados por abordarem fatores como, tempestades Connell & Slatyer (1977); poluição Murray & Littler (1978) e estabilidade do substrato Sousa (1979) trabalhando em diferentes ambientes e fazendo uso de diferentes descritores biológicos destas mudanças.

Entre os mais agravantes efeitos dessas mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos estão as alterações nas taxas e distribuição da produção primária, pois a mesma possui um papel fundamental na estrutura da teia alimentar marinha (Hunt & McKinnell, 2006). Nesse contexto, fortes influências dessas alterações na distribuição e abundância da produção primária dos oceanos já podem ser observadas (Richardson & Schoeman, 2004; Behrenfeld *et al.*, 2006) estando associadas às mudanças nos organismos de topo de cadeia (Richardson & Schoeman, 2004; Beaugrand *et al.*, 2008). Fundamentalmente, as macroalgas, que contribuem de forma majoritária com a produção primária costeira e promovem habitats variados para uma grande variedade de taxóons (Tanaka & Leite, 2003), desempenham um papel ecológico fundamental na manutenção dos ecossistemas (Oliveira *et al.*, 1999). Além disso, ao contrário do fitoplâncton, que fica exposto em gradientes na coluna d'água, as macroalgas são restritas ao local de crescimento, estando mais sujeitas, dessa maneira, a maiores variações ambientais (Schagerl & Möstl, 2011). Por isso, as comunidades fitobênticas típicas de costões rochosos podem ser consideradas boas indicadoras de alterações no ambiente, causadas por distúrbios de diferentes

naturezas, por serem sésseis e integrarem assim os efeitos de longos períodos de exposição à condições adversas (Gorostiaga & Diez, 1996).

Sendo assim, devido a essas alterações, aumentou o interesse pela pesquisa dos impactos causados pelas mudanças climáticas nos sistemas marinhos. Entretanto, a maioria da literatura está direcionada ao efeito da mudança na temperatura, e muitos trabalhos apenas focam em organismos individuais (Harley *et al.*, 2006). Poucos estudos tem se concentrado em impactos de grande escala temporal, tais como inundações sobre o funcionamento das comunidades macrobênticas, realizados por Norkko *et al.*, 2002 e Harmelin-Vivien *et al.*, 2009 confirmando que os extremos nos eventos de precipitação podem ter implicação para o funcionamento dos ecossistemas.

Eventos climáticos extremos são de natureza imprevisível e impedem um projeto experimental rigoroso para testar seus impactos. Entretanto, a compreensão de como o distúrbio desses eventos afeta a ecologia nos litorais é de grande importância, pois os danos resultantes para o ambiente já tem sido bem estudados, porém, pouco se sabe sobre as implicações ecológicas (Harris *et al.*, 2011). Para a maioria dos ecossistemas costeiros brasileiros, volumes temporais e espaciais de dados são escassos, tanto para parâmetros bióticos, quanto para os abióticos. Sendo assim, avaliações científicas e planejamentos futuros sobre o impacto das mudanças climáticas ao longo das zonas costeiras, só alcançarão o desenvolvimento se sistemas de informação forem melhorados, para que dessa maneira, programas de monitoramento sistemático de parâmetros físicos, químicos e biológicos possam ser aplicados (Copertino *et al.*, 2010).

Portanto, este trabalho pretendeu avaliar a hipótese de que as comunidades algais são capazes de sinalizar variações dentro de uma pequena escala de tempo, reduzindo a dominância de espécies formadoras de dossel e elevar a participação de espécies indicadoras. Para isso, este trabalho teve como objetivo principal descrever e comparar a composição e a estrutura das comunidades fitobênticas de costões rochosos entremarés após eventos de precipitação extrema e após dias consecutivos secos. Nesse sentido, este trabalho não só apresenta a magnitude das respostas quali/quantitativa da biodiversidade macroalgal, como também discute a correlação entre tempestades e as comunidades fitobênticas da região entremarés nos cenários atuais de mudanças globais no clima.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As áreas amostradas correspondem a três praias: Lagoinha do Norte (27°23'14"S e 48°25'40"W), Ponta das Canas (27°23'36"S e 48°26'10"W) e Armação (27°44'58"S e 48°30'00"W), todas com costões rochosos com características físicas semelhantes, e voltadas

para a mesma direção, localizadas na região central do Litoral Catarinense, litoral sul do Brasil (Simó & Horn, 2004).

O clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen (1948), e controlado por massas de ar de origem tropical e polar marítima (Hasenack & Ferraro, 1989). Todo o material amostrado encontra-se localizado na região ficogeográfica Temperada Quente (Horta *et al.*, 2001).

Segundo Gaplan (1986), o regime de chuvas na região é determinado por chuvas de verão de curta duração e chuvas de inverno intermitentes por mais de dois dias, essas provocadas por ação direta de frentes polares, que invadem a região em qualquer época do ano, sendo responsável por mudanças bruscas do clima. O índice anual de pluviosidade é de 1600 mm, apresentando uma média de 140 dias de chuva por ano. Entretanto, uma tendência de aumento nessas médias de pluviosidade tem sido identificada, com eventos extremos de chuva mais intensos e/ou frequentes (Marengo *et al.*, 2007; Teixeira & Satyamurty, 2007), assim como furacões e ciclones tropicais e extratropicais, como o furacão Catarina ocorrido na região sul do Brasil no ano de 2004. De acordo com Marengo (2006), por volta de 2010 haveria aumento da precipitação no sul do Brasil, além disso, modelos climáticos feitos na região do estudo comprovam outra tendência positiva no número de ocorrências de eventos extremos de precipitação para o futuro (2070-2100) (Da Silva & Nunes, 2011)

2.2 Coleta e identificação do material ficológico

Zin *et al.* (2010) definiu que “eventos extremos de precipitação incluem chuvas extremas e longos períodos de dias consecutivos secos”. A escolha dos dias das coletas foi baseada nas previsões de grandes volumes de chuva, embora tenha sido observado, que alguns eventos de precipitação tenham sido acompanhados de ventos fortes, altas ondulações e descargas elétricas. Entretanto, para efeitos comparativos do presente estudo, serão considerados eventos extremos de precipitação (EEP), onde foram realizadas coletas um dia após precipitação entre 20 e 120 mm por no máximo 24 horas, ou períodos com acumulativos entre 20 e 120 mm durante três dias consecutivos. Dias consecutivos secos (DCS), foram considerados quando foram realizadas coletas um dia após um período de dez dias com ausência de precipitação.

Como base de consulta para previsão do clima foi utilizado o órgão de climatologia do Estado de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM, 2011).

Foram realizadas oito coletas, sendo quatro no verão e início de outono, e quatro no inverno. Durante o verão, as coletas foram realizadas em janeiro, março e abril, e no inverno, as coletas foram feitas em junho, julho e setembro de 2011. No verão e início do outono os dias se caracterizavam como quentes e longos, com médias de 25°C e fotoperíodo de 14 horas, e durante o inverno, temperaturas amenas médias de 19°C com fotoperíodo de 10 horas

(EPAGRI/CIRAM, 2011). Tanto no verão, quanto no inverno, duas coletas foram realizadas durante EEP e duas coletas durante DCS (Figura 1). Todas as coletas foram feitas durante a maré baixa (0.0-0.3) para possibilitar a amostragem de toda a comunidade fitobêntica.

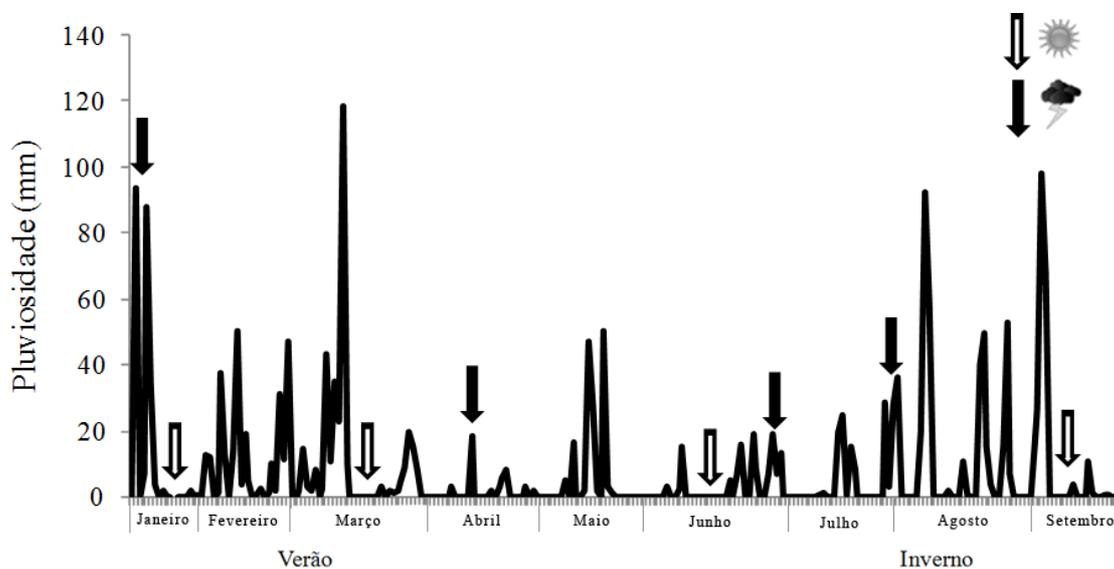


Figura 1. Representação ilustrativa das oito coletas realizadas em EEP (nuvem) e DCS (sol) com os respectivos dados de pluviosidade em milímetros/24horas durante o ano de 2011.

Para as coletas qualitativas e quantitativas do material ficológico, foram selecionadas três subáreas (subdivisão de costões) em cada uma das três praias citadas acima (Figura 2). Todas as coletas foram feitas no infra, no médio e no supralitoral. Para a análise qualitativa, as macroalgas foram coletadas através do método manual de raspagem com auxílio de espátulas. Posteriormente às coletas, o material ficológico foi fixado em solução de formol 4% em água do mar para posterior identificação em lâminas semipermanentes, as quais foram observadas através de microscópio estereoscópio (Zeiss, GSZ) e microscópio óptico (Olympus, CX21FS1). Após a identificação através de literaturas específicas para o estado de Santa Catarina (Cordeiro-Marino, 1978; Pupo *et al.*, 2011), o material foi herborizado e depositado no herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Santa Catarina (FLOR), Brasil. A nomenclatura de espécies foi atualizada de acordo com Guiry & Guiry (2011), e para as análises de porcentagem de cobertura dos costões, as macroalgas foram classificadas em morfotipos-funcionais de acordo com Littler & Littler (1984) e Steneck & Dethier (1994). As macroalgas crostosas não foram consideradas nas análises.

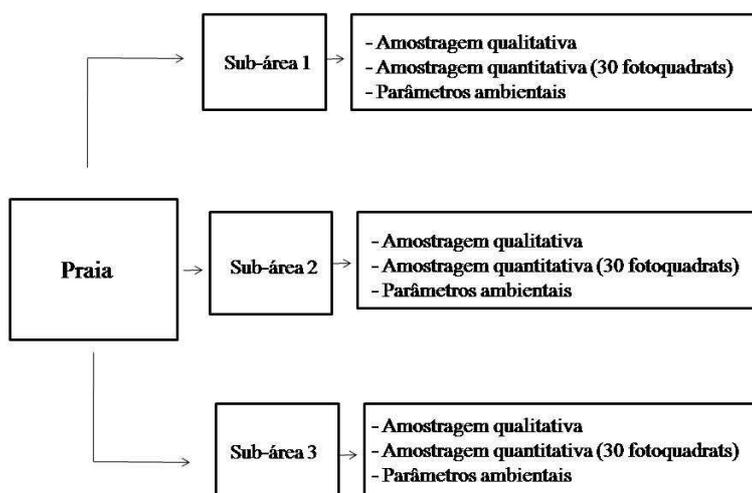


Figura 2. Representação ilustrativa do desenho amostral.

A comunidade fitobêntica de cada costão selecionado foi caracterizada quantitativamente em 30 foto-quadrats (25 x 25 cm), cuja cobertura relativa foi posteriormente analisada em 30 pontos randômicamente posicionados através do software Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe) (Kohler & Gill, 2006). Para a determinação da composição específica de cada elemento amostral foi considerada a análise qualitativa realizada inicialmente.

2.3 Análise dos Parâmetros Ambientais

Foram feitas triplicatas para todos os parâmetros em cada subárea nas três praias onde o material biológico foi amostrado. Medidas de turbidez por meio do equipamento de campo (Turbidímetro Plus) que gera dados com unidades em NTU (Unidades de Turbidez Nefelométricas), foram realizadas. Para as análises de salinidade utilizou-se o Refratômetro Analógico Portátil (RTS 101-ATC). Dados de temperatura foram obtidos a partir de termômetro de coluna de mercúrio tradicional em graus Celsius. Além disso, porções de sedimento foram coletadas e analisadas para obtenção das concentrações de matéria orgânica (M.O.) (%), segundo metodologia proposta por Gross (1971).

Amostras de água foram coletadas e filtradas com filtros GF/F Whatman com malha de 0,45 μm . Os filtros utilizados para determinação do material particulado em suspensão (M.P.S.) (mg l^{-1}) foram preparados de acordo com Strickland & Parsons (1972). Para as análises das concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e fosfato (PO_4^{3-}), utilizou-se a metodologia proposta por Grasshoff *et al.* (1983). As concentrações de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) foram determinadas seguindo os métodos descritos por Tréguer e Le Corre (1976).

2.4 Análises estatísticas

As análises de correlação dos parâmetros ambientais, com EEP e DCS, foram feitas através da ferramenta multivariada de análise de componentes principais (PCA), a partir do software MVSP 3.2 (Kovach, 2000). Foi formado um conjunto de dados com 16 variáveis e 72 amostras, o que forneceu um total de 1152 observações. Foram utilizados os dados ambientais de salinidade, temperatura, turbidez, material particulado em suspensão, matéria orgânicas e nutrientes inorgânicos dissolvidos para correlação com os descritores bióticos da comunidade, riqueza, abundância e diversidade de Shannon, com as estações do ano, verão e inverno, e EEP e DCS. A plotagem do gráfico foi feita baseada na biplotagem Euclidiana.

Para verificar a importância das espécies representantes de cada grupo dos morfotipos-funcionais na determinação dos padrões de similaridade entre EEP e DCS, assim como a porcentagem de cobertura desses grupos foi aplicada a análise porcentagem de similaridade (SIMPER). Nessa análise, também foi levado em consideração a porcentagem de costão rochoso exposto, ou coberto pela comunidade. Adicionalmente, testes de significância da porcentagem de cobertura dos morfotipos-funcionais entre os dois eventos, através da análise de similaridade (ANOSIM) foram realizados, onde os dados foram logaritimizadas e aninhadas. Todas as análises citadas acima foram feitas através do software PRIMER 6.0 (Clarke & Warwick, 2001).

Adicionalmente, a partir do software PRIMER 6.0 foram gerados descritores sintéticos, como abundância (cobertura de macroalgas) (S), riqueza (N), diversidade de Shannon (H') e Equitabilidade de Pielou, seguindo as recomendações propostas por Clarke & Warwick (2001). A partir desses descritores sintéticos, foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA) fatorial por meio do software STATISTICA 7.0 (StatSoft, Inc. 2004) para verificar a existência de eventuais diferenças entre os descritores das comunidades nos eventos determinados.

Para todas as análises, o número amostral foi N=18, onde as sub-áreas foram consideradas réplicas, e os dois eventos EEP e DCS amostrados tanto no verão, quanto no inverno foram tratados como uma amostragem única, independente da taxa de precipitação. Para o tratamento dos dados através da ANOVA, estes foram normalizados e a homogeneidade das variâncias testadas através do Teste de Levene, enquanto que, análises *a posteriori* de comparação múltipla foram feitas quando diferenças significativas foram detectadas ($p < 0.05$) por meio do Teste de Tukey (Sokal & Rohlf, 1997).

3. RESULTADOS

3.1 Análise dos parâmetros ambientais

A PCA indicou que 70.0% da variância total dos dados são explicados por quatro componentes principais. A PCA1 (eixo 1) e a PCA2 (eixo 2) representaram 48.7% da variância

total. O primeiro eixo explicativo, com 27.3% da explicação da variabilidade evidencia a importância marcante das variações sazonais na determinação das fisionomias. O segundo eixo explicativo, com 21.4% da explicação da variabilidade total evidencia a importância dos eventos, reforçando a correlação destes com os nutrientes inorgânicos dissolvidos (Figura 3). Embora as análises dos parâmetros ambientais, PCA, tenham apresentado os dados agrupados entre as estações do ano, o mesmo não ocorreu para os descritores da comunidade analisados nos testes significativos. Dessa maneira, foi considerada apenas a relação desses parâmetros com os eventos EEP e DCS.

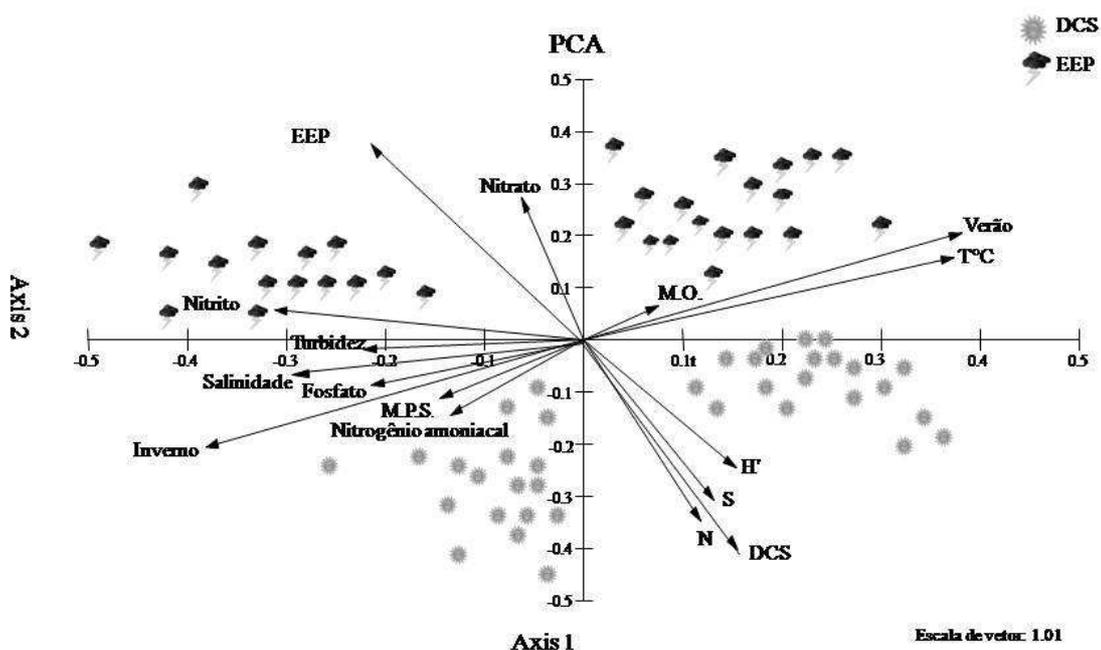


Figura 3. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros ambientais e as correlações com os descritores sintéticos da comunidade, riqueza, abundância e diversidade no verão e inverno, após EEP e DCS. O autovalor de PCA1 foi (4.3) e PCA2 (3.4). N=72.

3.2 Análise qualitativa e quantitativa da estrutura das comunidades fitobênticas

Foram identificados 67 taxóons infragenéricos, totalizando 38 do filo Rhodophyta, 17 do filo Chlorophyta e 12 da classe Phaeophyceae (Heterokontophyta). A caracterização dos grupos morfotipos-funcionais permitiu as seguintes considerações: 4 espécies para coriáceas, 21 para corticadas, 5 foliáceas, 7 corticadas-foliáceas, 26 filamentosas e 4 espécies de calcária articulada (Tabela 1). Os eventos DCS apresentaram maior número de taxóons infragenéricos identificados

(61), sendo que a presença das espécies *Gracilariopsis andersonii*, *Gelidium crinale*, *Laurencia catarinensis* e *Ulva flexuosa* deram-se apenas nestes eventos. Quando comparados aos eventos DCS, EEP foram caracterizados por um número menor de táxons (58), sendo que *Champia parvula* e *Ulva clathrata* apareceram exclusivamente nesses eventos (Tabela 1).

Tabela 1. Lista das espécies e os respectivos morfotipos-funcionais encontrados no verão e inverno, após DCS e EEP.

	Verão		Inverno	
	DSC	EEP	DSC	EEP
Coriácea				
<i>Laurencia catarinensis</i> Cordeiro-Marino & Fujii	x		x	
<i>Laurencia majuscula</i> (Harvey) A.H.S. Lucas	x		x	x
<i>Sargassum cymosum</i> C. Agardh	x	x	x	x
<i>Sargassum cymosum var. nanum</i> E.de Paula & E.C.Oliveira	x	x	x	x
Corticada				
<i>Champia parvula</i> (C.Agardh) Harvey		x		x
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq in Hommersand, Guiry, Fredericq and Leister	x	x		x
<i>Chondracanthus teedei</i> (Mertens ex Roth) Kützing	x	x	x	x
<i>Codium decortcatum</i> (Woodward) M.A.Howe	x	x	x	x
<i>Codium intertextum</i> Collins & Hervey	x	x	x	x
<i>Codium isthmocladum</i> Vickers	x	x	x	x
<i>Codium taylorii</i> P.C.Silva	x	x	x	x
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès and Solie	x	x	x	x
<i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner) Gaillon	x		x	
<i>Gelidium floridanum</i> W.R. Taylor	x	x	x	x
<i>Gracilaria cervicornis</i> (Turner) J. Agardh	x		x	x
<i>Gracilaria domingensis</i> (Kützing) Sonder ex Dickie		x	x	x
<i>Gracilaria tepocensis</i> (E.Y. Dawson) E.Y. Dawson	x	x		x
<i>Gracilariopsis andersonii</i> (Grunow) E.Y.Dawson	x		x	
<i>Grateloupia cuneifolia</i> J. Agardh	x	x	x	x
<i>Gymnogongrus griffithsiae</i> (Turner) Martius	x	x	x	x
<i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) J.V. Lamouroux	x	x	x	x
<i>Hypnea nigrescens</i> Greville ex J. Agardh	x	x	x	x
<i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) Kützing		x	x	x
<i>Plocamium brasiliense</i> (Greville) M.A. Howe and W.R. Taylor		x		
<i>Pterocladia capillacea</i> (S.G. Gmelin) Santelices and Hommersand	x	x	x	x
Foliácea				
<i>Cryptopleura ramosa</i> (Hudson) L. Newton	x	x	x	x
<i>Pyropia acanthophora</i> (E.C.Oliveira & Coll) M.C.Oliveira, D.Milstein & E.C.Oliveira			x	x
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus	x	x	x	x
<i>Ulva flexuosa</i> Wulfen	x		x	
<i>Ulva clathrata</i> (Roth) C.Agardh		x		x
Corticada-Foliácea				
<i>Bryothamnion seaforthii</i> (Turner) Kützing			x	
<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützing) De Paula & De Clerck	x	x	x	
<i>Dictyopteris delicatula</i> J.V. Lamouroux	x		x	x
<i>Halymenia sp.</i> C.Agardh	x	x		
<i>Padina gymnospora</i> (Kützing) Sonder	x	x	x	x
<i>Petalonia fascia</i> (O.F.Müller) Kuntze			x	x
<i>Rhodomenia pseudopalmeta</i> (J.V. Lamouroux) P.C. Silva			x	x
Filamentosa				
<i>Aglaothamnion felipponei</i> (M.A. Howe) Aponte, D.L. Ballantine and J.N. Norris	x	x	x	x
<i>Aglaothamnion uruguayense</i> (W.R. Taylor) N.E. Aponte, D.L. Ballantine and J.N. Norris	x	x	x	x
<i>Asteronema breviararticulatum</i> (J. Agardh) Ouriques and Bouzon	x	x	x	x
<i>Bostrychia radicans</i> (Montagne) Montagne	x	x	x	x
<i>Bostrychia tenella</i> (J.V.Lamouroux) J.Agardh				x
<i>Bryocladia thyrsgera</i> (J.Agardh) F. Schmitz			x	x
<i>Bryopsis hypnoides</i> J.V.Lamouroux		x		
<i>Bryopsis pennata</i> J.V.Lamouroux		x	x	x
<i>Bryopsis plumosa</i> (Hudson) C.Agardh			x	x
<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne	x	x	x	x
<i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory de Saint-Vincent) Kützing	x	x	x	x
<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kützing	x	x		
<i>Cladophora echinus</i> (Biaioletto) Kützing		x		
<i>Cladophora flexuosa</i> (O.F. Müller) Kützing	x			
<i>Cladophora glomerata var. crassior</i> (C.Agardh) van den Hoek	x			
<i>Cladophora vagabunda</i> (Linnaeus) Hoek	x	x	x	x
<i>Cladophoropsis membranacea</i> (Hofman Bang ex C. Agardh) Børgesen	x	x	x	x
<i>Dasya rigidula</i> (Kützing) Ardissonne		x	x	x
<i>Feldmannia irregularis</i> (Kützing) G. Hamel	x	x	x	x
<i>Herposiphonia secunda f. tenella</i> (C.Agardh) M.J.Wynne			x	
<i>Hincksia mitchelliae</i> (Harvey) P.C. Silva	x	x	x	x
<i>Levringia brasiliensis</i> (Montagne) A.B. Joly	x	x	x	x
<i>Neosiphonia howei</i> (Hollenberg) Skelton and G.R. South	x	x	x	x
<i>Pterosiphonia parasitica var. australis</i> A.B.Joly & Cordeiro- Marino	x	x	x	x
<i>Pterosiphonia pennata</i> (C. Agardh) Sauvageau	x		x	x
<i>Sphacelaria brachygonia</i> Montagne	x	x	x	x
Calcária articulada				
<i>Jania capillacea</i> Harvey	x	x	x	x
<i>Jania adhaerens</i> J.V. Lamouroux	x	x	x	
<i>Arthrocardia flabellata</i> (Kützing) Manza	x	x	x	x
<i>Amphiroa fragilissima</i> (Linnaeus) J.V.Lamouroux	x	x	x	
Total	50	49	55	51

3.3 Descritores sintéticos das comunidades fitobênticas

As análises dos descritores sintéticos das comunidades não demonstraram diferenças significativas entre as estações do ano (riqueza ($p=0.929$), abundância ($p=0.509$), diversidade de Shannon ($p=0.540$) e Equitabilidade de Pielou ($p=0.881$)). Entretanto, os testes de significância indicaram que, a riqueza de espécies, abundância e a diversidade de Shannon foram superiores após os eventos DCS quando comparadas à EEP, enquanto que a Equitabilidade de Pielou não apresentou diferenças significativas entre os dois eventos (Tabela 2) (Figura 4).

Tabela 2. Médias (\pm EP) dos descritores sintéticos da comunidade fitobêntica no verão e inverno, após EEP e DCS. N=18

Descritores Sintéticos	Verão		Inverno	
	DCS	EEP	DCS	EEP
Riqueza	4.201 \pm 0.162	3.407 \pm 0.116	4.075 \pm 0.204	3.505 \pm 0.145
Abundância	93.272 \pm 1.636	84.512 \pm 1.421	97.120 \pm 1.567	83.216 \pm 2.769
Diversidade	646.778 \pm 43.011	511.007 \pm 35.573	614.565 \pm 58.368	483.934 \pm 52.553
Equitabilidade	0.753 \pm 0.007	0.757 \pm 0.008	0.751 \pm 0.011	0.761 \pm 0.010

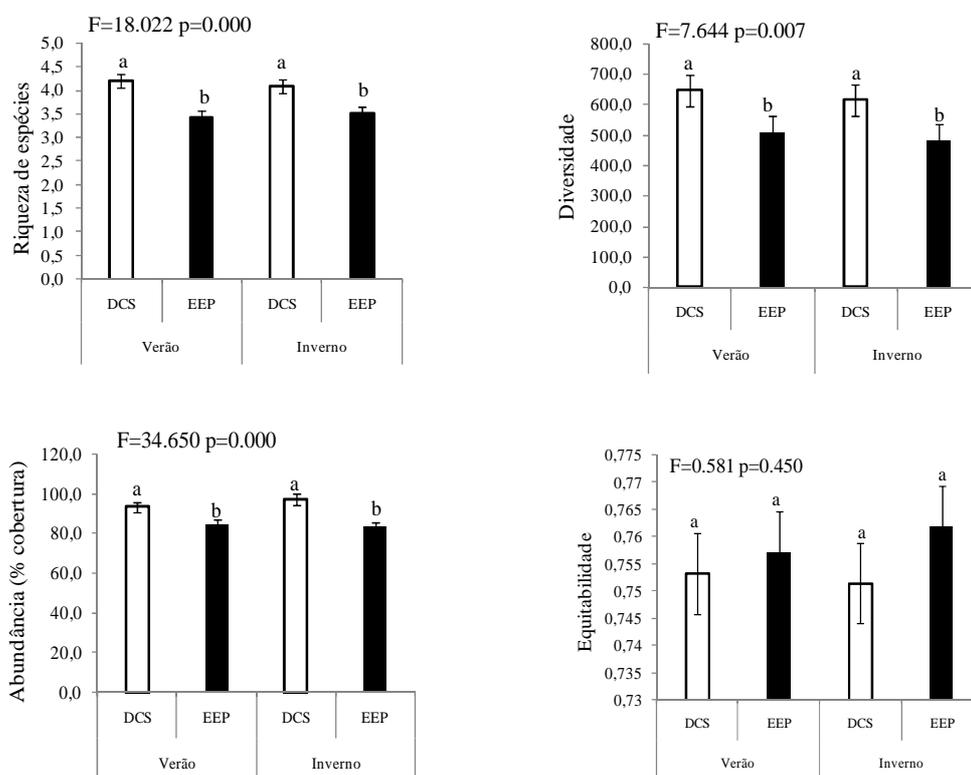


Figura 4. Médias (\pm EP) dos valores dos descritores sintéticos da comunidade fitobêntica no verão e inverno, após EEP e DCS (valores de F e p: ANOVA fatorial, letras diferentes: diferenças significativas segundo teste *a posteriori* de Tukey, N=18).

3.4 Descrição da estrutura das comunidades fitobênticas

De acordo com os resultados obtidos pela ANOSIM pra os grupos funcionais não houve diferenças significativas ($p=0.07$) entre as estações do ano. Entretanto, entre DCS e EEP as

diferenças se mostraram significativas ($p=0.01$). Baseado nesses resultados, as análises no SIMPER não foram feitas considerando as estações verão e inverno como um fator.

A similaridade entre DCS foi de 29.19%, e entre EEP foi de 34.48%. Por outro lado, a dissimilaridade entre os dois eventos foi de 72.64% (Tabela 3).

Os grupos funcionais e as espécies representativas correspondentes aos maiores percentuais de cobertura nos costões após DCS foram: calcárias articuladas (*Arthrocardia flabellata*), corticadas (*Hypnea nigrescens*), e coriáceas (*Sargassum cymosum*). Os dados após EEP, por sua vez, indicaram maior ocorrência de costão exposto e macroalgas foliáceas, representadas pelo gênero *Ulva lactuca*, que apresentou maior porcentagem de cobertura tanto em DCS (11.48%), quanto em EEP (17.09%). As macroalgas filamentosas, representadas principalmente pelo gênero *Centroceras clavulatum*, não apresentaram mudanças consideráveis em relação à porcentagem de cobertura entre os dois eventos. As macroalgas classificadas como corticadas-foliáceas, representadas principalmente pela macroalga *Padina gymnospora*, não foram consideradas pelo SIMPER devido à baixa contribuição na porcentagem de cobertura (Tabela 3).

Tabela 3. Dados de similaridade e dissimilaridade e porcentagem de cobertura dos morfotipos-funcionais após DCS e EEP gerados a partir de análises de SIMPER.

Grupos	Dissimilaridade	Similaridade	Calcária articulada	Corticada	Coriácea	Foliácea	Filamentosa	Costão
Eventos								
DCS	72.64%	29.19%	22.48%	16.02%	14.35%	13.78%	19.32%	8.58%
EEP		34.48%	14.35%	10.65%	7.10%	18.17%	19.29%	26.15%

4. DISCUSSÃO

As mudanças climáticas que já são evidentes nos últimos anos estão gerando perturbações na biodiversidade em todo o planeta. Trabalhos recentes evidenciam mudanças sistemáticas em uma ampla variedade de espécies distribuídas por muitos continentes, fornecendo evidências de que entre o século XX e início do século XXI estas mudanças climáticas impactaram sistemas naturais, assim como é possível evidenciar, de forma sintetizada na Tabela 4. Os referidos impactos comprometem a manutenção das comunidades bênticas nos ambientes costeiros marinhos, além de diminuírem sua diversidade, o que afeta conseqüentemente o equilíbrio e a resiliência desses ecossistemas.

Tabela 4. Síntese da bibliografia referente aos distúrbios causados na biodiversidade, tanto de ordem natural, quanto antropogênica.

Evento	País	Variáveis	Mudanças observadas	Autor(es)	Ano
Frentes frias	Brasil	EC	↓ abundância e riqueza	Gallucci & Netto	2004
Tempestades	África do Sul	EC	↓ abundância	Harris <i>et al.</i>	2011
El Niño	México	EP	↓ biomassa	Pacheco-Ruiz <i>et al.</i>	2003
El Niño	Estados Unidos	EP	↓ abundância	Edwards	2004
Hidrodinamismo	Estados Unidos	IF	↑ fratura e fadiga	Mach <i>et al.</i>	2007
Hidrodinamismo	Estados Unidos	DO	↑ n° deslocamento	Gaylord <i>et al.</i>	2008
Escoamento de chuva	Austrália	EP	↑ bioerosão	Hutchings <i>et al.</i>	2005
Escoamento de chuva	França	EC	↓ diversidade	Harmelin-Vivien <i>et al.</i>	2009
CO ₂ /Nutrientes	Austrália	R e AF	↓ abundância relativa e do Φ_{PSII}	Russell <i>et al.</i>	2009
CO ₂	Austrália	EP	↑ mortalidade	Diaz-Pulido <i>et al.</i>	2011
Furacão	México	EC	↓ significante porcentagem de cobertura	Castillo-Cárdenas <i>et al.</i>	2008
Eventos extremos	Portugal	DP e B	↓ densidade e lacuna na distribuição dos organismo:	Wethey <i>et al.</i>	2011
Precipitação	Austrália	EP	↓ abundância	Roberts <i>et al.</i>	2007
Seca/Chuva	Portugal/França/Inglaterra	AF	↓ significante do Φ_{PSII} e ↓ 50% F_v/F_m	Schagerl & Möstl	2011
Inundação/Eutrofização	Portugal	EC	↓ biomassa e riqueza	Cardoso <i>et al.</i>	2008
Urbanização	Brasil	EC	↓ diversidade e riqueza	Martins <i>et al.</i>	2012

EC= Estrutura de comunidade; EP= Estrutura de população; IF= Impacto físico; DO=Deslocamento de organismo; R=Recrutamento; AF=Atividade fotossintética; DB=Dinâmica de população; B=Biogeografia

A variabilidade dos ambientes de costões rochosos exige uma análise que leve em consideração abordagens quantitativas, com a eventual utilização de índices e descritores ecológicos sintéticos da comunidade, para que seja possível a constatação de padrões informativos do seu histórico evolutivo, embasada em análises estatísticas (Martins *et al.*, 2012).

Nesse contexto, a diversidade de espécies é um dos mais importantes descritores de uma comunidade, uma vez que está relacionada à sua produtividade e estabilidade (Hooper *et al.*, 2005; Worm *et al.*, 2006). A diversidade depende de duas medidas da estrutura de uma comunidade: a riqueza, a qual é definida pelo número de espécies, e a equitabilidade (Krebs, 1999).

Assim como mostrado na Figura 3, tanto a riqueza, quanto a abundância e a diversidade foram significativamente diferentes entre DCS e EEP, sendo que os três descritores apresentaram taxas menores após EEP (Tabela 2). Da mesma maneira, a PCA mostra claramente a relação entre os três descritores e DCS (Figura 3). Segundo Adams (2005), essas alterações são resultados integrados de processos diretos e indiretos de estressores ambientais que podem se manifestar como alterações na diversidade, abundância e aptidão de organismos, populações e comunidades. Poluentes entre outros estressores ambientais, incluindo excesso de nutrientes, regimes hidrológicos, bem como secas e inundações podem impactar estes recursos isoladamente, ou muito freqüentemente através de processos sinérgicos, reduzindo a estabilidade global do sistema (Vinebrooke *et al.*, 2004; Adams, 2005; Dolbeth *et al.*, 2007).

Corroborando com o presente estudo, Cardoso *et al.* (2008) e Martins *et al.* (2012) demonstraram que comunidades fitobênticas apresentaram uma redução na riqueza e diversidade em locais eutrofizados quando comparados a locais sem eutrofização, ou não urbanizados. Também como evidenciado por Lucrezi *et al.* (2010), áreas costeiras mais urbanizadas tendem a maximizar os impactos de tempestades, e se recuperar muito mais lentamente quando comparados com áreas não urbanizadas. Provavelmente, após a ocorrência de extremos de precipitação consideradas neste estudo, o escoamento de água das chuvas para as áreas costeiras tenha aumentado, e conseqüentemente, maior aporte de nutrientes orgânicos

foram despejados sobre essas comunidades fitobênticas, uma vez que, as concentrações analisadas de nitrito, nitrato, fosfato e nitrogênio amoniacal foram correlacionados pelo PCA de forma mais estreita com EEP, quando comparado a DCS (Figura 3), embora os valores obtidos para esses nutrientes não sejam considerados pelo CONAMA (2005) quantidades insuficientes para caracterização de eutrofização ambiental. Também representado pela PCA a turbidez, salinidade e material particulado em suspensão apresentaram-se correlacionados entre si e com a ocorrência de EEP (Figura 3). De acordo com Nohara *et al.* (2006), salinidade, sedimentação e concentrações de nutrientes são controladas principalmente por precipitação e condições climáticas. Eventos episódicos como os extremos de chuva e inundações podem resultar na deposição catastrófica de sedimentos finos, com influências profundas sobre a estrutura e função de comunidades macrobênticas (Norkko *et al.*, 2002). Da mesma maneira, Caddy (2000) e Cartes *et al.* (2007), sugerem que sedimentos continentais despejados no mar desempenham um papel importante nos ecossistemas marinhos, podendo representar uma perturbação, tanto devido a altas taxas de sedimentação, quanto uma fonte de recurso na forma de material particulado em suspensão (Cloern, 2001). Outra maneira de elucidar as consequências do aumento da turbidez e suspensão do sedimento é a implicação de que com o aumento desses dois fatores, ocorre uma redução na disponibilidade de luz (Airolidi, 2003), acarretando consequências diretas no desempenho fotossintetizante desses organismos.

Embora avaliações na concentração de matéria orgânica do sedimento tenham sido realizadas, não foi possível observar uma correlação desse componente com EEP (Figura 3). Entretanto, é possível que devido à ocorrência desses extremos climáticos, maiores aportes de sedimento tenham sido acumuladas nas comunidades fitobênticas. De acordo com Gómez-Pujol *et al.* (2011), o impacto de grandes tempestades, que causam ondas poderosas capazes de perturbar profundidades de sedimentos maiores que o normal tem sido bem estudado. Além disso, Armonies (2000) referencia que o transporte de sedimentos induzido pelo vento e/ou ondulações tem sido relatado como um determinante provável para variações temporais de curto prazo na composição de comunidades locais.

Adicionalmente, a equitabilidade ou uniformidade de distribuição das espécies (Pielou, 1975), outro importante componente da diversidade, é capaz de explicar as mudanças na composição da estrutura de uma comunidade, mesmo quando não há mudanças na riqueza absoluta (Johnston & Roberts, 2009). É relatado que sob alto nível de estresse, a equitabilidade tende a ser baixa, pois apenas uma pequena fração dentre todas as espécies presentes seria capaz de sobreviver, tornando as outras espécies escassas (Scrosati & Heaven, 2007). De acordo com as análises realizadas neste trabalho, a equitabilidade de Pielou não apresentou diferenças significativas (Figura 4), embora os maiores valores tenham ocorrido após EEP (Tabela 2).

Considerando os resultados obtidos pela análise de variância (ANOVA), a abundância também apresentou diferenças significativas entre DCS e EEP (Figura 4), onde foi possível

observar uma redução na porcentagem de cobertura da comunidade fitobêntica avaliada após os extremos de precipitação (Figura 5), corroborando com estudos previamente realizados com extremos climáticos, como frentes frias e tempestades (Gallucci & Netto, 2004; Harris *et al.*, 2011) respectivamente, onde a redução da abundância de organismos devido a essas perturbações também ocorreu. Da mesma maneira, reduções significativas na porcentagem de cobertura de macroalgas após a passagem de furacões, na Ilha de Cozumel, México, também foi evidenciado por Castillo-Cárdenas *et al.* (2008).

Claramente, uma abordagem relativa às diversas características morfológicas de algas com as interações ecológicas, como por exemplo, sucessão, competição, predação e funções fisiológicas (produção primária e respiração) é necessária para avaliar importantes estratégias adaptativas (Littler & Littler, 1980). Segundo Steneck & Dethier (1994), a importância da abordagem de estudos ecológicos em nível de espécies não é descartado, entretanto, é concluído que é útil examinar questões em nível de comunidades em relação a processos de estruturação, diversidade, dominância, abundância relativa, e estabilidade no nível de grupos funcionais.

A morfologia de algas e anatomia das mesmas corresponde às propriedades intrínsecas, tais como massa específica e produtividade primária. Se os níveis de potencial de produtividade e perturbação não mudam, em seguida, a estrutura da comunidade de algas (abundância relativa, dominância e diversidade funcional do grupo) não deve alterar, embora mudanças de espécies possam ocorrer. Assim, ainda que uma comunidade tenha uma perturbação de alto potencial (em termos de biomassa sendo removido e, talvez, de espécies conduzidas para extinção local), esse nível de perturbação pode não alterar a estrutura do conjunto de algas, permanecendo estável no nível do grupo funcional (Steneck & Dethier, 1994). Entretanto, os resultados obtidos neste estudo permitem constatar que o impacto dos extremos climáticos, como grandes volumes de precipitação nas comunidades fitobênticas fica evidenciado frente a essa teoria como perturbações naturais, em que as espécies estão adaptadas, e se recuperam naturalmente.

A redução da porcentagem de cobertura de morfotipos-funcionais como calcárias articuladas, corticadas e coriáceas e, por outro lado, o aumento da cobertura por macroalgas foliáceas após EEP (Tabela 3) (Figura 5), pode ser explicado pela sucessão de espécies oportunistas. Segundo Littler & Littler (1980), espécies oportunistas possuem produtividade líquida mais alta, e presumivelmente crescimento mais rápido em ambientes perturbados, enquanto que espécies com formas mais complexas são capazes de persistirem em ambientes menos estressantes. Da mesma maneira, foi referenciado que eventos estocásticos como frentes frias (Precht & Miller, 2007) e tempestades tropicais (Done, 1992) eliminam seletivamente os organismos de vida mais longa em favor do crescimento de algas oportunistas, favorecendo a sucessão imediata (Birkeland, 1977). Nesse contexto, a redução de algas coriáceas representadas principalmente por *Sargassum cymosum* C. Agardh e pelo aumento das macroalgas foliáceas representadas por *Ulva lactuca* Linnaeus corroboram com a teoria que, ambientes complexos

dominados por gêneros sensíveis como *Sargassum* são substituídos por ambientes menos complexos dominados por gêneros tolerantes como *Ulva* (Wilkinson *et al.*, 2007), pois espécies oportunistas como macroalgas do gênero *Ulva*, foram caracterizadas como sendo um gênero representativo de estágios pioneiros e incluídas em um grupo de macroalgas com uma rápida taxa de crescimento, alta produtividade e talo de estrutura simples, com uma larga área de superfície (Littler & Murray, 1975).

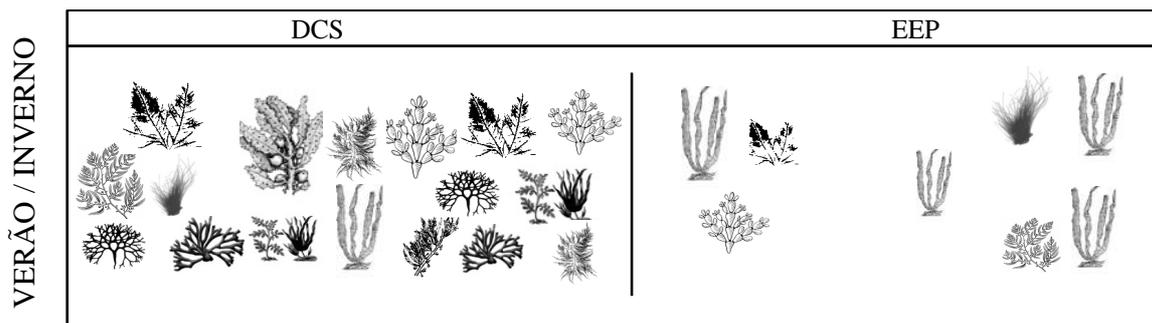


Figura 5. Representação ilustrativa da diversidade e percentagem de cobertura dos morfotipos-funcionais após ambos os eventos, DCS e EEP.

Com relação à percentagem de cobertura das macroalgas filamentosas, essas não apresentaram mudanças substanciais entre os dois eventos (Tabela 3) (Figura 5), o que pode ser explicado por Littler & Littler (1980) e Adey & Goertemiller (1987), que apontam que algas filamentosas possuem ciclos de vida de curta duração, entretanto colonizam e crescem rapidamente.

Neste estudo, também foi considerado como descritor de percentagem de cobertura frente a perturbações, como as tempestades aqui avaliadas, o nível de exposição do costão rochoso, ou seja, o substrato de fixação da comunidade fitobêntica. Todas as vezes que porções de costão rochoso apareciam na análise quantitativa das porcentagens de cobertura, esse era pontuado, e através das análises geradas pela SIMPER, foi possível observar que, quando comparado com as variações dos morfotipos-funcionais, a percentagem de costão rochoso exposto após EEP aumentou drasticamente comparada à DCS (Tabela 3) (Figura 5).

Outra abordagem possível de ser feita em relação aos impactos causados por alterações climáticas, é a possibilidade de que as alterações ocorridas nos descritores sintéticos da comunidade e morfotipos-funcionais, assim como, a possível remoção dos organismos dos costões, tenha ocorrido devido a impactos físicos no ambiente, uma vez que, de acordo com Sousa (2001), distúrbios físicos são agentes estruturadores críticos de ambientes da região do meso e infralitoral.

Segundo Gaylord *et al.* (2008), forças hidrodinâmicas são capazes de desalojar e eliminar grande número de organismos em habitats ao longo dos costões rochosos. Durante tempestades, a distribuição e abundância de macroalgas podem ser limitadas através da força

exercida pela ondulação (Shaughnessy *et al.*, 1996). Segundo Gaylord *et al.* (1994) e Mach *et al* (2007), o arrasto, e a quebra desses organismos pela intensidade e incessante ondulação sejam as consequências mais importantes do hidrodinamismo. Além disso, Airol di (2003) cita que a abrasão pela movimentação de sedimentos podem tanto danificar, quanto remover todo o organismo dos costões onde estão inseridos. Além disso, considerando a possibilidade da ocorrência de ventanias associadas a grandes cargas d'água, resultados propostos por Gallucci & Neto (2004) afirmam que, a passagem de frentes frias associadas a ventos intensos são capazes de promoverem mudanças em curto prazo de componentes tanto bióticos quanto abióticos, acarretando muitas vezes em prejuízos consideravelmente danosos aos ecossistemas nos quais estão inseridos.

5. CONCLUSÕES

Nesse contexto, as alterações discutidas acerca da composição e estrutura das comunidades algais, e a perda de diversidade observada devido à ocorrência de extremos de precipitação, colocam as mudanças climáticas como uma das principais forças evolutivas da era contemporânea. Tais atividades demonstram ter potencial em representar pressões seletivas importantes, as quais privilegiam espécies oportunistas, fazendo-se importante o recrutamento de espécies adultas móveis predativas dessas macroalgas, para que novamente outras espécies mais complexas possam coexistir.

6. REFERÊNCIAS

- ADAMS, S.M., 2005. Assessing cause and effect of multiple stressors on marine systems. *Marine Pollution Bulletin* 51, 649-657.
- ADEY, W.H., GOERTEMILLER, T., 1987. Coral reef algal turfs: master producers in nutrient poor seas. *Phycologia* 26, 374-386.
- AIROLDI, L., 2003. The effects of sedimentation on rocky coast assemblages. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 41, 161-236.
- ARMONIES, W., 2000. On the spatial scale needed for benthos community monitoring in the coastal North Sea. *Journal of Sea Research* 43, 121-133.
- BALLANTINE, D.L., 1984. Hurricane-induced mass mortalities to a tropical subtidal algal community and subsequent recoveries. *Marine Ecology Progress Series* 20, 75-83.
- BEAUGRAND, G., EDWARDS, M., BRANDER, K.M., LUCZAK, C., IBÁÑEZ, F., 2008. Causes and projections of abrupt climate-driven ecosystem shifts in the North Atlantic. *Ecology Letters* 11, 1157-1168.
- BEHRENFELD, M.J., O'MALLEY, R.T., SIEGEL, D.A., MCCLAIN, C.R., SARMIENTO, J.L., FELDMAN, G.C., MILLIGAN, A.J., FALKOWSKI, P.G., LETELIER, R.M., BOSS, E.S., 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444, 752-755.

- BIRKELAND, C., 1977. The Importance of Rate of Biomass Accumulation in Early Successional Stages of Benthic Communities to the Survival of Coral Recruits. *Proceedings of the Third International Coral Reef Symposium* 1, 15-21.
- CADDY, J.F., 2000. Marine catchment basin effects versus impacts of fisheries on semi-enclosed seas. *ICES Journal of Marine Science* 57, 628-640.
- CARDOSO, P.G., RAFFAELLI, D., LILLEBO, A.I., VERDELHOS, T., PARDAL, M.A., 2008. The impact of extreme flooding events and anthropogenic stressors on the macrobenthic communities' dynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76, 553-565.
- CARTES, J.E., PAPIOL, V., PALANQUES, A., GUILLÉN, J., DEMESTRE, M., 2007. Dynamics of suprabenthos off the Ebro Delta (Catalan Sea: western Mediterranean): Spatial and temporal patterns and relationships with environmental factors. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 75, 501-515.
- CASTILLO-CÁRDENAS, P.A.A., REYES-BONILLA, H., ÁLVAREZ-FILIP, L., MILLET-ENCALADA, M., ESCOBOSA-GONZÁLEZ, L.E., 2008. Cozumel Island, México: A disturbance history. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, Ft. Lauderdale, Florida. Session number 18.
- CLARKE, K.R., WARWICK, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2 edição. PRIMER-E, Plymouth 172p.
- CLOERN, J.E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210, 223-253.
- CONAMA, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- CONNELL, J.H., SLATYER, R.O., 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111, 1119-1144.
- COPERTINO, M.S., GARCIA, A.M., MUELBERT, J.H., GARCIA, C.A.E., 2010. Introduction to the Special Issue on Climate Change and Brazilian Coastal Zone. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5, 1-8.
- CORDEIRO-MARINO, M., 1978. Rodófitas Marinhas Bentônicas de Santa Catarina. Instituto de Botânica São Paulo. *Rickia* 7, 1-243.
- DA SILVA, G.C., NUNES, A.B., 2011. Análise quantitativa de eventos extremos de precipitação na cidade de Florianópolis - Parte 2: clima futuro (2070-2100). In: IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia, Pelotas-RS. Anais do IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia.
- DAVIS, A.N., WILCE, R.T., 1987. Algal diversity in a relation to physical disturbance: a mosaic of successional stages in a subtidal cobble habitat. *Marine Ecology Progress Series* 37, 229-237.
- DAYTON, P.K., 1975. Experimental evaluation of ecological dominance in a rocky intertidal algal community. *Ecology Monographs* 45, 137-159.

- DÍAZ-PULIDO, G., GOUEZO, M., TILBROOK, B., DOVE, S., ANTHONY, K.R.N., 2011. High CO₂ enhances the competitive strength of seaweeds over corals. *Ecology Letters* 14, 156-162.
- DIJKSTRA, J., WESTERMAN, E., HARRIS, L., 2010. The effects of climate change on species composition, succession and phenology: a case study. *Global Change Biology* 17, 2360-2369.
- DOLBETH, M., CARDOSO, P.G., FERREIRA, S.M., VERDELHOS, T., RAFFAELLI, D., PARDAL, M.A., 2007. Anthropogenic and natural disturbance effects on a macrobenthic estuarine community over a 10-year period. *Marine Pollution Bulletin* 54, 576-585.
- DONE, T.J., 1992. Effects of Tropical Cyclone Waves on Ecological and Geomorphological Structures on the Great Barrier Reef. *Continental Shelf Research* 12, 859-872.
- EDWARDS, M.S., 2004. Estimating scale-dependency in disturbance impacts: El Niños and giant kelp forests in the northeast Pacific. *Oecologia* 138, 436-447.
- EPAGRI/CIRAM, 2011. Centro de informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em <http://www.ciram.epagri.sc.gov.br/>.
- EVANS, P.G.H., PIERCE, G.J., PANIGADA, S., 2010. Climate change and marine mammals. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90, 1483-1487.
- FAVERI, C., SCHERNER, F., FARIAS, J., OLIVEIRA, E.C., HORTA, P.A., 2010. Temporal changes in the seaweed flora in Southern Brazil and its potential causes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5, 350-357.
- GALLUCCI, F., NETTO, S., 2004. Effects of the passage of cold fronts over a coastal site: an ecosystem approach. *Marine Ecology Progress Series* 281, 79-92.
- GAPLAN, 1986. Atlas de Santa Catarina. Aerofoto Cruzeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 173p.
- GAYLORD, B., BLANCHETTE, C.A., DENNY, M.W., 1994. Mechanical consequences of size in wave-swept algae. *Ecology Monographs* 64, 287-313.
- GAYLORD, B., DENNY, M.W., KOEHL, M.A.R., 2008. Flow Forces on Seaweeds: Field Evidence for Roles of Wave Impingement and Organism Inertia. *Biology Bulletin* 215, 295-308.
- GÓMEZ-PUJOL, L., JACKSON, D.W.T., COOPER, J.A.G., MÁLVAREZ, G., NAVAS, F., LOUREIRO, C., SMITH, T.A., 2011. Spatial and temporal patterns of sediment activation depth on a high-energy microtidal beach. *Journal of Coastal Research* 64, 85-89.
- GOROSTIAGA, J.M., DÍEZ, I., 1996. Changes in the sublittoral benthic marine macroalgae in the polluted area of Abra de Bilbao and proximal coast (northern Spain). *Marine Ecology Progress Series* 130, 157-167.
- GRASSHOFF K., EHRHARDT M., KREMLING K., 1983. Methods of seawater analysis. 2 edição Verlag Chemie, Weinheim 419p.

- GROSS, M.G., 1971. Carbon determination. CARVER, R.E. (Eds) Procedure in sedimentary petrology. New York: Wiley-Interscience, 573-596.
- GUIRY, M.D., GUIRY, G.M., 2011. Algaebase. Word-wide eletronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <http://www.algaebase.org>.
- HANSEN, J., SATO, M., RUEDY, R., LO, K., LEA, D.W., MEDINA-ELIZADE, M., 2006. Global temperature change. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 103, 14288-14293.
- HARLEY, C.D.G., RANDALL HUGHES, A., HULTGREN, K.M., MINER, B.G., SORTE, C.J.B., THORNER, C.S., RODRIGUEZ, L.F., TOMANEK, L., WILLIAMS, S.L., 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. Ecology Letters 9, 228-241.
- HARMELIN-VIVIEN, M.L., BĂNARU, D., DIERKING, J., HERMAND, R., LETOURNEUR, Y., SALEN-PICARD, C., 2009. Linking benthic biodiversity to the functioning of coastal ecosystems subjected to river runoff (NW Mediterranean). Animal Biodiversity and Conservation 32, 135-145.
- HARRIS, L., NEL, H., SMALE, M., SCHOEMAN, D., 2011. Swashed away? Storm impacts on sandy beach macrofaunal communities. Estuarine, Coastal and Shelf Science 94, 210-221.
- HASENACK, H., FERRARO, L.W., 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. Pesquisas 22, 53-70.
- HOOPER, D.U., CHAPIN, F.S., EWEL, J.J., HECTOR, A., INCHAUSTI, P., LAVOREL, S., LAWTON, J.H., LODGE, D.M., LOREAU, M., NAEEM, S., SCHMID, B., SETÄLÄ, H., SYMSTAD, A.J., VANDERMEER, J., WARDLE, D.A., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological Monographs 75, 3-35.
- HORTA, P.A., AMANCIO, E., COIMBRA, C.S., OLIVEIRA, E.C., 2001. Considerações sobre a distribuição e origem da flora de macroalgas marinhas brasileiras. Hoehnea 28, 243-265.
- HOUGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.C., CALLANDER, B.A., HARRIS, N., KATTERBERG, A., MASKELL, K., 1996. (Eds). Climate change 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Inglaterra: Cambridge University Press, 584p.
- HUNT, G.L., MCKINNELL, S., 2006. Interplay between top-down, bottom-up, and wasp-waist control in marine ecosystems. Progress in Oceanography 68, 115-124.
- HUTCHINGS, P., PEYROT-CLAUSADE, M., OSNORNO, A., 2005. Influence of land runoff on rates and agents of bioerosion of coral substrates. Marine Pollution Bulletin 51, 438-447.
- IPCC, 2007. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, volume 1. Intergovernmental panel on climate change, Geneva, Switzerland.

- JOHNSTON, E.L., ROBERTS, D.A., 2009. Contaminants reduce the richness and evenness of marine communities: A review and meta-analysis. *Environmental Pollution* 157, 1745-1752.
- KARL, T.R., KNIGHT, R.W., EASTERLING, D.R., QUAYLE, R.G., 1996. Indices of climate change for the United States. *American Meteorological Society Bulletin* 77, 279-292.
- KOHLER, K.E., GILL, S.M., 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Journal Computers and Geosciences* 32, 1259-1269.
- KÖPPEN, W., 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México, 479p.
- KOVACH, W.L., 2000. MVSP – A Multivariate Statistical Package for Windows, version 3.2 Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK, 133p.
- KREBS, C.J., 1999. *Ecological methodology*. Benjamin Cummings, Menlo Park, 620p.
- LITTLER, M.M., MURRAY, S.N., 1975. Impact of sewage on the distribution, abundance and community structure of rocky intertidal macro-organisms. *Marine Biology* 30, 277-291.
- LITTLER, M.M., LITTLER, D.S., 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *The American Naturalist* 116, 25-44.
- LITTLER, M.M., LITTLER, D.S., 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky intertidal system. *Journal Experimental Marine Biology Ecology* 74, 13-34.
- LUCREZI, S., SCHLACHER, T.A., ROBINSON, W., 2010. Can storms and shore armouring exert additive effects on sandy-beach habitats and biota? *Marine and Freshwater Research* 61, 951-962.
- MACH, K.J., HALE, B.B., DENNY, M.W., NELSON, D.V., 2007. Death by small forces: a fracture and fatigue analysis of wave-swept macroalgae. *The Journal of Experimental Biology* 210, 2231-2243.
- MARENGO, J.A., 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 26, 212p.
- MARENGO, J.A., ALVES, L.M., VALVERDE, M.C., ROCHA, R.P., LABORBE, R., 2007. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília 73p.
- MARTINS, C.D.L., ARANTES, N., FAVERI, C., BATISTA, M.B., OLIVEIRA, E.C., PAGLIOSA, P.R., FONSECA, A.L., NUNES, J.M.C., CHOW, F., PEREIRA, S.B., HORTA, P.A., 2012. The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*. *In press*.

- MCCIP, 2010. In Baxter J.M., Buckley J.P. and Wallace C.J. (Eds) Marine climate change impacts. Annual Report Card 2010-2011. Summary Report, 12p.
- MOELLER, C.C., HUH, O.K., ROBERTS, H.H., GUMLEY, L.E., MENZEL, W.P., 1993. Response of Louisiana coastal environments to a cold front passage. *Journal of Coastal Research* 9, 434-447.
- MURRAY, S.N., LITTLER, M.M., 1978. Patterns of algal succession in a perturbed marine intertidal community. *Journal of Phycology* 14, 506-512.
- NOHARA, D., KITO, A., HOSAKA, M., OKI, T., 2006. Impact of climate change on river discharge projected by multimodel ensemble. *Journal of Hydrometeorology* 7, 1076-1089.
- NORKKO, A., THRUSH, S.F., HEWITT, J.E., CUMMINGS, V.J., NORKKO, J., ELLIS, J.I., FUNNELL, G.A., SCHULTZ, D. AND MACDONALD, I., 2002. Smothering of estuarine sandflats by terrigenous clay: the role of wind-wave disturbance and bioturbation in site-dependent macrofaunal recovery. *Marine Ecology Progress Series* 234, 23-41.
- OLIVEIRA, E.C., HORTA, P.A., AMANCIO, C.E., SANT'ANNA, C.L., 1999. Algas e angiospermas marinhas bêmicas do litoral brasileiro: diversidade, exploração e conservação. In: Workshop sobre Avaliação e ações prioritárias para a conservação da Biodiversidade das zonas costeira e marinha. Relatório Técnico. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- PACHECO-RUIZ, I., BECERRIL-BOBADILLA, F., ZERTUCHE-GONZÁLEZ, J.A., CHEE-BARRAGÁN, A., GÁLVEZ-TELLES, A., BLANCO-BETANCOURT, R., 2003. Effects of El Niño on beds of *Ulva lactuca* along the northwest coast of the Gulf of California, Mexico. *Geofísica Internacional* 42, 447-453.
- PIELOU, E.C., 1975. Indices of diversity and evenness. In: PIELOU, E.C. (Ed), *Ecological Diversity*. John Wiley & Sons, New York. 5-18.
- PRECHT, W.F., MILLER, S.L., 2007. Ecological Shifts along the Florida Reef Tract: The Past as a Key to the Future. In *Geological Approaches to Coral Reef Ecology*, R. B. Aronson (Ed) New York: Springer-Verlag 237-312.
- PUPO, D., OURIQUES, L.C., FUJII, M.T., GUIMARÃES, S.M.P.B, YOKOYA, N.S., 2011. Marine Benthic Algae from Santa Catarina State, Southern Brazil. *Boletim do Instituto de Botânica* 20, 1-112.
- RICHARDSON, A.J., SCHOEMAN, D.S., 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 305, 1609-1612.
- ROBERTS, D.A., POORE, A.G.B., JOHNSTON, E.L., 2007. MBACI sampling of an episodic disturbance: Stormwater effects on algal epifauna. *Marine Environmental Research* 64, 514-523.
- RUSSELL, B.D., THOMPSON, J.A.I., FALKENBERG, L.J., CONELL, S.D., 2009. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO₂ and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. *Global Change Biology* 15, 2153-2162.

- SCHAGERL, M., MÖSTL, M., 2011. Drought stress, rain and recovery of the intertidal seaweed *Fucus spiralis*. *Marine Biology* 158, 2471-2479.
- SCHOENER, T.W., 2011. The Newest Synthesis: Understanding the Interplay of Evolutionary and Ecological Dynamics. *Science* 331, 426-429.
- SCROSATI, R., HEAVEN, C., 2007. Spatial trends in community richness, diversity, and evenness across rocky intertidal environmental stress gradients in eastern Canada. *Marine Ecology Progress Series* 342, 1-14.
- SHAUGHNESSY, F.J., DEWREEDE, R.E., BELL, E.C., 1996. Consequences of morphology and tissue strength to blade survivorship of two closely related Rhodophyta species. *Marine Ecology Progress Series* 136, 257-266.
- SIMÓ, D.H., HORN, N.H.F., 2004. Caracterização e distribuição das “ressacas” e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, Brasil. *Gravel. Porto Alegre* 2, 93-103.
- SOKAL, R.R., ROHLF, F.J., 1997. *Biometry* (3rd edition). Freeman, New York.
- SOUSA, W.P., 1979. Experimental investigations of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs* 49, 227-254.
- SOUSA, W.P., 1984a. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15, 353-391.
- SOUSA, W.P., 2001. Natural disturbance and the dynamics of marine benthic communities. *Marine Community Ecology*, M. D. Bertness, S. D. Gaines, and M. E. Hay, (Eds) Sinauer Associates, Sunderland, MA, 85-130.
- STACHOWICZ, J.J., TERWIN, J.R., WHITLATCH, R.B., OSMAN, R.W., 2002. Linking climate change and biological invasions: ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, 15497-15500.
- STATSOFT, INC., 2004. Versão 7.0. Statsoft, Inc Tulsa, Okla.
- STENECK, R.S., DETHIER, M.N., 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos* 69, 476-498.
- STRICKLAND, J.L.H., PARSONS, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. 2 edição. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa 310p.
- TANAKA, M.O., LEITE, F.P.P., 2003. Spatial scaling in the distribution of macrofauna associated with *Sargassum stenophyllum* (Mertens) Martius: analyses of faunal groups, gammarid life habits, and assemblage structure 293, 1-22.
- TAYLOR, P.R., LITTLER, M.M., 1982. The roles of compensatory mortality, physical disturbance, and substrate retention in the development and organization of a sand-influenced, rocky-intertidal community. *Ecological Society of America* 63, 135-146.
- TEIXEIRA, M., SATYAMURTY, P., 2007. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. *Monthly Weather Review* 135, 598-617.

- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* 19, 3-12.
- TRÉGUER, P., LE CORRE, P., 1976. *Manual d'analysis des seis nutritifs das l'eau de mer*. 2 edição. Université de Bretagne Occidentale, Brest 110p.
- VINEBROOKE, R.D., COTTINGHAM, K.L., NORBERG, J., SCHEFFER, M., DODSON, S.I., MABERLY, S.C., SOMMER, U., 2004. Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: the role of species co-tolerance. *Oikos* 104, 451-457.
- WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.M., HOEGH-GULDBERG, O., BAIRLEIN, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389-395.
- WERNBERG, T., RUSSELL, B.D., MOORE, P.J., LING, S.D., SMALE, D.A., CAMPBELL, A., COLEMAN, M.A., STEINBERG, P.D., KENDRICK, G.A., CONNELL, S.D., 2011. Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 7-16.
- WETHEY, D.S., WOODIN, S.A., HILBISH, T.J., JONES, S.J., LIMA, F.P., BRANNOCK, P.M., 2011. Response of intertidal populations to climate: Effects of extreme events versus long term change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 132-144.
- WILKINSON, M., WOOD, P., WELLS, E., SCANLAN, C., 2007. Using attached macroalgae to assess ecological status of British estuaries for the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 55, 136-150.
- WORM, B., BARBIER, E.B., BEAUMONT, N., DUFFY, J.E., FOLKE, C., HALPERN, B.S., JACKSON, J.B.C., LOTZE, H.K., MICHELI, F., PALUMBI, S.R., SALA, E., SELKOE, K.A., STACHOWICZ, J.J., WATSON, R., 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314, 787-790.
- WUETHRICH, B., 2000. How Climate Change Alters Rhythms of the Wild. *Science* 287, 793-795.
- ZIN, W.Z.W., JAMALUDIN, S., DENI, S.M., JEMAIN, A.A., 2010. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971 -2005. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 303-314.

Capítulo 2: RESPOSTAS FOTOSSINTETIZANTES DE *Ulva lactuca* E *Sargassum cymosum* FRENTE A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM UMA ILHA DO ATLÂNTICO SUL.

RESUMO

É provável que as mudanças climáticas globais modifiquem o equilíbrio dos ecossistemas, tanto terrestres quanto marinhos. Alterações nas interações tróficas, respostas fisiológicas e distribuição de produtores primários já têm sido observadas nos últimos anos. Para essas avaliações, a análise da fluorescência da clorofila *a* tem se tornado uma das técnicas mais poderosas e extensamente usadas à disposição de fisiologistas vegetais e ecofisiologistas. Neste contexto, essa pesquisa realiza uma análise comparativa das respostas de duas espécies de macroalgas *Ulva lactuca* Linnaeus e *Sargassum cymosum* C. Agardh em dias consecutivos secos (DCS), e em momentos com precipitação extrema (EEP) no sul do Brasil. Os resultados obtidos foram feitos através de medições da fluorescência da clorofila *a* do fotossistema II por um fluorímetro de pulso com amplitude modulada (DIVING-PAM). A análise de variância indicou diferenças significativas nos níveis de irradiação nos momentos avaliados e da irradiância de saturação (I_k) das espécies estudadas. Além disso, os valores da eficiência fotossintetizante (α) e da taxa de transporte de elétrons (ETR_{max}) apresentaram-se maior após EEP. E, embora as duas espécies tenham respondido de maneira similar frente aos eventos avaliados, de modo geral, *S. cymosum* apresentou taxas fotossintetizantes menores que *U. lactuca*. Nesse contexto, foram feitas considerações relacionadas à fotoproteção, zonação e fotoinibição, podendo ser concluído que extremos de precipitação influenciam o desempenho fotossintetizante dessas espécies.

Palavras-chave: Ecofisiologia; clorofila; mudanças climáticas; fotoproteção; irradiância

ABSTRACT

It is probable that global climate change modify the equilibrium of ecosystems, both terrestrial and marine. Changes in trophic interactions, physiological responses and distribution of primary producers have already been possible to observe in recent years. For these assessments, analysis of chlorophyll fluorescence has become one of the most powerful techniques used and widely available to plant physiologists and ecophysiologists. In this context, this research conducts a comparative analysis of the responses of *Ulva lactuca* Linnaeus and *Sargassum cymosum* C. Agardh in consecutive dry days (DCS), and at times with extreme precipitation (EEP) in southern Brazil. The results were made by measuring the chlorophyll fluorescence of photosystem II, using a fluorimeter pulse amplitude modulated (PAM-DIVING). Analysis of variance indicated significant differences in the levels of radiation measured in moments and saturation irradiance (I_k) of the studied species. Furthermore, the values of photosynthetic efficiency (α) and the rate of electron transport (ETR_{max}) were higher after EEP. And, although these species have responded similarly to forward events evaluated, generally, *S. cymosum* photosynthetic rate made smaller than *U. lactuca*. In this context, considerations were made related to photoprotection, photoinhibition and zonation, could be concluded that extreme precipitation influence the photosynthetic performance of these species.

Keywords: Ecophysiology; chlorophyll; climate change; photoprotection; irradiance

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser o aquecimento do planeta, e especificamente a elevação da temperatura em algumas áreas, o fenômeno mais frequentemente tratado em estudos relacionados às mudanças climáticas (Harley *et al.*, 2006) as principais preocupações da comunidade em geral com estas mudanças estão vinculadas ao aumento na frequência e intensidade de tempestades (Lucrezi *et al.*, 2010). Eventos extremos relacionados à precipitação intensa causam alterações bruscas nos ambientes costeiros, elevando a erosão da linha de costa, levando à redução da salinidade, da transparência da água e consequentemente na disponibilidade de irradiância junto ao fundo (Diaz-Pulido *et al.*, 2007; MCCIP, 2010).

Estas alterações ambientais têm como potencial consequência, extinções, exclusão ou introdução de espécies, assim como a promoção de alterações fenológicas em populações com diferentes afinidades ecológicas e biogeográficas (Easterling *et al.*, 2000). Adicionalmente, como estes impactos ambientais interferem diretamente em fatores determinantes para a fotossíntese, sua intensidade e frequência têm influência marcante na produção primária (Brown *et al.*, 2010).

Mudanças na base das teias tróficas resultam no efeito em cascata, pois interferem na disponibilidade de alimento, abrigo e substrato para grande parcela da biodiversidade marinha e especialmente costeira (Hunt & McKinnell, 2006). Alterações na distribuição e abundância da produção primária já foram documentadas em relação ao fitoplâncton (Behrenfeld *et al.*, 2006) especialmente no Atlântico Norte (Richardson & Schoeman, 2004) e em um lago na Nova Zelândia (Flöder *et al.*, 2010).

Os impactos efetivos dessas forças seletivas foram pouco documentados em relação ao extrato bêntico das comunidades costeiras tropicais. Destacam-se entre os trabalhos realizados os de Gallucci & Netto (2004) e Wethey *et al.* (2011) em relação à macro fauna, e Wilkinson *et al.* (2007) e Bay *et al.* (2003), em relação aos poucos estudos que tiveram como foco a relação entre as macroalgas e a salinidade, ou mesmo sua suscetibilidade a perturbações físicas resultado da ação de ondas e ventos de tempestades (Diaz-Pulido *et al.*, 2007).

Apesar de não terem sido devidamente documentados, estes organismos fitobênticos possuem um papel ecológico fundamental na manutenção de diferentes ecossistemas (Oliveira *et al.*, 1999). Adicionalmente, as macroalgas junto com as gramas marinhas desempenham papel fundamental na remoção de CO₂ e no armazenamento de carbono orgânico em sua biomassa (Chung *et al.*, 2011). Além disso, ao contrário do fitoplâncton, que fica exposto em gradientes na coluna d'água, que por sua vez se movem em relação às variações de marés ou mesmo em função de correntes oceânicas, as macroalgas são sésseis, restritas ao local de crescimento, estando sujeitas, dessa maneira, às variações do ambiente (Schagerl & Möstl, 2011). Por isso, as comunidades fitobênticas típicas de costões rochosos podem ser consideradas boas bioindicadoras, sinalizando alterações causadas por distúrbios de diferentes naturezas e

integrando assim os efeitos de longos períodos de exposição a condições adversas (Gorostiaga & Diez, 1996; Edwards, 2004, Littler *et al.*, 2009).

Estes produtores primários proporcionam a avaliação de impactos ambientais em áreas costeiras utilizando-se de diferentes métodos para descrição de comunidades, além de respostas fenológicas de populações, como taxa de crescimento e reprodução (Eklund & Kautsky, 2003). Além destas ferramentas que permitem avaliação de médio e longo prazo, (Küster & Altenburger, 2007), através da análise de diferentes descritores da produção primária, as macroalgas podem fornecer informações rápidas de impactos ambientais de diferentes naturezas. Análises da fluorescência da clorofila, especialmente, tem se tornado uma das técnicas mais poderosas e extensamente usadas à disposição de fisiologistas vegetais e ecofisiologistas na avaliação de problemas ambientais (Maxwell & Johnson, 2000). Avanços na tecnologia de fluorescência da clorofila *a* permitem estimar rapidamente a máxima performance fotossintética do fotossistema II, que particularmente é uma das vias mais sensíveis da fotossíntese, e tem sido utilizada como uma indicadora do estado fisiológico de produtores primários (Marchand *et al.*, 2006; Waring *et al.*, 2006). Portanto, é um ótimo indicador do aparato de absorção de fótons, das reações da fase luminosa e reações de transporte de elétrons nos tilacóides. (Schreiber *et al.*, 1986; Villafañe *et al.*, 2003), podendo ser aplicado tanto para micro quanto para macroalgas (Häder & Figueroa, 1997). Além disso, parâmetros de fluorescência como rendimento quântico máximo, (F_v/F_m), podem também ser indicadores de fotoinibição como observado por Figueroa *et al.* (2003). Da mesma maneira, a irradiância de saturação (I_k), e a eficiência fotossintética (α) também têm recebido importante atenção (Vieira & Necchi, 2006, Yokoya *et al.*, 2007).

Enquanto a maioria das técnicas de fluorescência permite apenas a medição dos parâmetros de estado estacionário, o desenvolvimento do pulso de amplitude modulada (PAM), possibilitou análises dos processos adaptativos e fisiológicos do aparelho fotossintético através de uma técnica sensível, não invasiva e rápida na determinação do desempenho fotossintético de plantas (Schreiber *et al.*, 1994; Häder *et al.*, 2001) amplamente usada em pesquisas relacionadas a estresse em macroalgas marinhas (Figueroa *et al.*, 1997, Beer *et al.*, 2000, Wilson *et al.*, 2004, Harrington *et al.*, 2005 e Chaloub *et al.*, 2010).

O *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyceae, Heterokontophyta), ocorre comumente em regiões tropicais e temperadas (Terawaki *et al.*, 2003; Jacobucci *et al.*, 2009), sendo em muitas destas regiões determinante da fitofisionomia da região entre marés e infralitoral raso, representando boa parte da biomassa algal disponível (Hortal *et al.*, 2008, Jacobucci *et al.*, 2009). Devido ao aumento dos impactos antropogênicos nos ambientes marinhos algas formadoras de dosséis perenes como as do próprio gênero *Sargassum*, entre outras espécies fucóides, ou mesmo as macroalgas que formam os Kelps, têm desaparecido deixando espaço para macroalgas efêmeras e oportunistas (Airoldi *et al.*, 2008; Connel *et al.*, 2008; Russell *et al.*,

2009). Desta forma, ambientes complexos dominados por espécies relativamente sensíveis como *Sargassum*, são substituídos por ambientes menos complexos dominados por espécies oportunistas e/ou tolerantes como as do gênero *Ulva* Linnaeus (Ulvaceae, Chlorophyta).

Nesse contexto, pesquisas em ecofisiologia sugerem que muitas espécies podem ter amplitudes de resposta, ou plasticidade fenotípica, insuficientes para resistir às variações previstas nos cenários de mudanças climáticas globais. Nestes casos, assim como destacado por Navas & Cruz-Neto (2008), o ajuste necessário a estas situações extremas poderá constituir em um desafio fisiológico formidável ou simplesmente inatingível para algumas espécies. Sendo assim, mesmo considerando que os cenários propostos para as próximas décadas possam causar alterações profundas em diferentes aspectos da biodiversidade, ainda atuamos de maneira modesta na geração de conhecimento relacionado ao monitoramento de respostas ecofisiológicas de algas diante de eventos extremos, ou mesmo de cenários que representariam a atmosfera do planeta no futuro próximo.

Portanto, este trabalho pretendeu avaliar a hipótese de que extremos de precipitação possuem influência no desempenho fotossintetizante de duas espécies de macroalgas distintas entre si. *Sargassum cymosum*, uma alga menos tolerante a variações ambientais, enquanto que *Ulva lactuca*, um espécie oportunista, mais resistente e com produtividade líquida mais alta. Além disso, variações nas respostas dessas macroalgas durante as estações do ano mais marcadas na região, verão e inverno, também serão discutidas considerando que esses organismos respondem de maneiras diferentes quando submetidos à irradiâncias e temperaturas mais baixas durante eventos de precipitação e também durante o inverno.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As áreas amostradas correspondem a duas praias: Lagoinha do Norte (27°27'23" S e 48°25'40" W) e Ponta das Canas (27°23'36" S e 48°26'10" W) ambas localizadas na ilha do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (Simó & Horn, 2004).

O clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen (1948), e controlado por massas de ar de origem tropical e polar marítima (Hasenack & Ferraro, 1989). Todo o material amostrado encontra-se localizado na região ficogeográfica Temperada Quente (Horta *et al.*, 2001).

Segundo Gaplan (1986), o regime de chuvas na região é determinado por chuvas de verão de curta duração e chuvas de inverno intermitentes por mais de dois dias, essas provocadas por ação direta de frentes polares, que invadem a região em qualquer época do ano, sendo responsável por mudanças bruscas do clima. O índice anual de pluviosidade é de 1600 mm, apresentando uma média de 140 dias de chuva por ano. Entretanto, uma tendência de aumento nessas médias de pluviosidade tem sido identificada, com eventos extremos de chuva

mais intensos e/ou frequentes (Marengo *et al.*, 2007;Teixeira & Satyamurty, 2007), assim como furacões e ciclones tropicais e extratropicais, como o furacão Catarina ocorrido na região sul do Brasil no ano de 2004. De acordo com Marengo (2006), por volta de 2010 haveria aumento da precipitação no sul do Brasil, além disso, modelos climáticos feitos na região do estudo comprovam outra tendência positiva no número de ocorrências de eventos extremos de precipitação para o futuro (2070-2100) (Da Silva & Nunes, 2011)

2.2 Coleta e identificação do material ficológico

Zin *et al.* (2010) definiu que “eventos extremos de precipitação incluem chuvas extremas e longos períodos de dias consecutivos secos”. A escolha dos dias das coletas foi baseada nas previsões de grandes volumes de chuva, embora tenha sido observado, que alguns eventos de precipitação tenham sido acompanhados de ventos fortes, altas ondulações e descargas elétricas. Entretanto, para efeitos comparativos do presente estudo, serão considerados eventos extremos de precipitação (EEP), onde foram realizadas coletas um dia após precipitação entre 20 e 60 mm por no máximo 24horas, ou períodos com acumulativos entre 20 e 60 mm durante três dias consecutivos. Dias consecutivos secos (DCS), foram considerados quando foram realizadas coletas um dia após um período de dez dias com ausência de precipitação.

Como base de consulta para previsão do clima foi utilizado o órgão de climatologia do Estado de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM, 2011).

Foram realizadas oito coletas, sendo quatro no verão, e quatro no inverno (Figura 6). Durante o verão, as coletas foram realizadas em fevereiro e março, e no inverno, as coletas foram feitas em maio, junho, julho e primeira semana de setembro de 2011. No verão os dias se caracterizavam como quentes e longos, com médias de 25°C e fotoperíodo de 14 horas, e durante o inverno, os dias eram caracterizados com temperaturas amenas médias de 19°C e fotoperíodo de 10 horas (EPAGRI/CIRAM, 2011). Todas as coletas foram feitas durante a maré baixa (0.0-0.3).

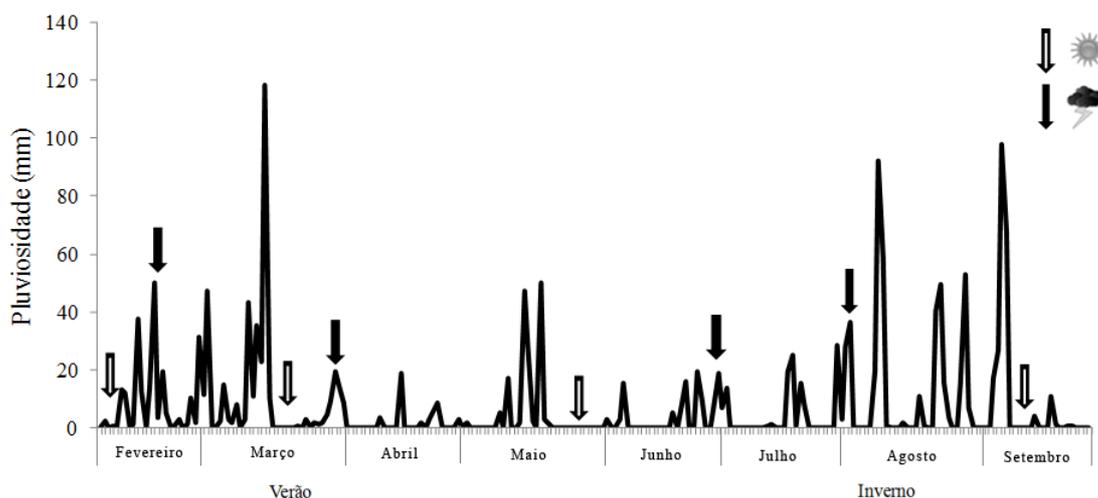


Figura 6. Representação ilustrativa das oito coletas realizadas em EEP (nuvem) e DCS (sol) com os respectivos dados de pluviosidade em milímetros/24horas durante o ano de 2011.

Para as coletas do material ficológico, foram selecionadas três subáreas (subdivisão de costões) em cada uma das duas praias citadas acima, sendo que em cada subárea foram coletados três espécimes da macroalga *Ulva lactuca* Linnaeus e *Sargassum cymosum* C. Agardh (Figura 7). Tratando-se de um estudo ecofisiológico, todas as coletas foram realizadas no período diurno, para que os resultados obtidos fossem consequência apenas dos eventos avaliados. O material ficológico foi colocado individualmente em potes de plástico com água do mar, os quais foram colocados em caixas térmicas, protegidos ao abrigo de luz e calor, e em seguida levados para laboratório. Todo o material foi identificado de acordo com literatura específica para o Estado de Santa Catarina (Pupo *et al.*, 2011), e atualizado segundo Guiry e Guiry (2011).

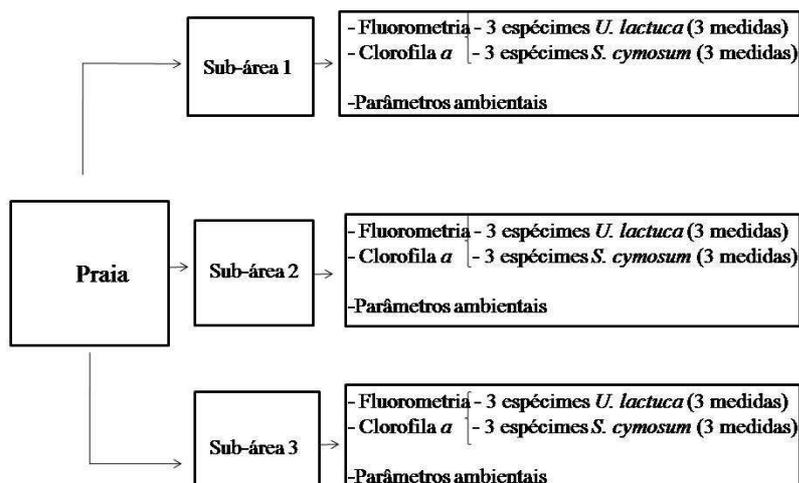


Figura 7. Representação ilustrativa do desenho amostral

2.3 Fotossíntese a partir da fluorescência da Clorofila *a* do Fotosistema II

A detecção da eficiência fotossintética das amostras de *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum*, foi medida com o auxílio de um fluorímetro de pulso com amplitude modulada (DIVING-PAM, Underwater Fluorometer; Walz, Effeltrich, Germany). O material foi analisado tão logo foi trazido do campo. As medidas foram feitas sempre priorizando a margem do organismo, onde o sensor era sempre ajustado a uma distância de 0,5 cm do tecido da alga. As medidas foram obtidas com a aplicação de uma série de 10 exposições de 5 s cada, a níveis ascendentes de irradiância actínica usando a opção “Rapid Light Curve” (RLC) (White & Critchley, 1999). As melhores configurações, incluindo o tempo de aclimação para as espécies, foram previamente avaliadas e padronizadas durante todo o processo, utilizando os valores de *Gain*=5 e *Measuring Intensity*=3.

O rendimento quântico ótimo (F_v/F_m), o qual é um indicador da eficiência quântica (Schreiber *et al.*, 1994), foi medido com as algas pré-aclimatadas ao escuro por 5 minutos, para que todos os centros de reação se oxidassem, e os valores calculados por meio da seguinte equação:

$$F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m;$$

Onde: F_m e F_o é a fluorescência máxima e mínima, respectivamente, de algas aclimatadas no escuro.

Para a estimativa da taxa relativa de transporte de elétrons (rETR) do aparato fotossintetizante, os valores foram obtidos através da seguinte fórmula:

$$rETR = \Phi_{PSII} \times PAR \times A(0.84) \times 0.5 \text{ (} Ulva \text{ lactuca)}$$

$$rETR = \Phi_{PSII} \times PAR \times A(0.84) \times 0.8 \text{ (} Sargassum \text{ cymosum);}$$

Onde: Φ_{PSII} , rendimento quântico efetivo, PAR, irradiância incidente fotossinteticamente ativa, A, absorvância relativa do talo, que é um fator baseado na média de luz que é realmente absorvida pelas plantas terrestres (Björkman & Demmig, 1987). Os diferentes fatores vem da suposição de que quatro dos oitos elétrons assimilados para uma molécula de CO_2 são fornecidos pelo fotossistema II (Figuroa *et al.*, 1997). Dessa forma, para Chlorophyta, é aplicado o fator 0.5, enquanto que para Heterokontophyta, é aplicado o fator 0.8 (Grzymiski *et al.*, 1997).

Com os ajustes de curvas de ETR x Irradiância, outros parâmetros fotossintetizantes foram obtidos através de metodologia proposta por Ritchie (2008), tais como a ETR_{max} (taxa máxima de transporte de elétrons), α (eficiência fotossintética) e I_k (irradiância de saturação), e dessa maneira, a avaliação da resposta do aparato fotossintetizantes dessas macroalgas após DCS e EEP foi obtida.

2.4 Determinações da clorofila *a*

Após as medições da fluorescência da clorofila *a* terem sido realizadas, todo o material foi estocado em papel alumínio no freezer a -20°C . Posteriormente, o material foi descongelado, pesado 5 gramas, e extraído com acetona 90% (Ritchie, 2006). Através de maceração mecânica, em almofariz previamente resfriado, a amostra foi encoberta com N_2 líquido (Lashebrooke *et al.*, 2010) e posteriormente adicionado 50 ml de acetona. Todo o procedimento foi feito em temperatura ambiente a 18°C ao abrigo da luz. Por 120 minutos, o material foi extraído e em seguida o extrato foi centrifugado por 5 minutos a 10000 rpm. Após a centrifugação, o sobrenadante foi coletado e medido em espectrofotômetro UV- luz visível SP220, e todas as concentrações de Clorofila *a* ($\mu\text{g/g}$) por peso fresco (FW) de alga, tanto para *Ulva lactuca*, quanto para *Sargassum cymosum* foram obtidas seguindo equação de Ritchie (2006):

$$\text{Chl } a \text{ } (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = -1.7858 \cdot (A_{647} - A_{750}) + 11.8668 \cdot (A_{664} - A_{750})$$

2.5 Parâmetros ambientais

Medidas de turbidez por meio do equipamento de campo (Turbidímetro Plus) que gera dados com unidades em NTU (Unidades de Turbidez Nefelométricas), foram realizadas. Além disso, para as análises de salinidade utilizou-se o Refratômetro Analógico Portátil (RTS 101-ATC). Dados de temperatura foram obtidos a partir de termômetro de coluna de mercúrio tradicional em graus Celsius, assim como, medidas de irradiância em $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, através do quantômetro (Li-cor/ Li-250).

Além disso, porções de sedimento foram coletadas e analisadas para obtenção das concentrações de matéria orgânica (M.O.) (%), segundo metodologia proposta por Gross (1971).

As amostras de água foram filtradas com filtros GF/F Whatman com malha de $0,45 \mu\text{m}$. Os filtros utilizados para determinação do material particulado em suspensão (M.P.S.) ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)

foram preparados de acordo com Strickland & Parsons (1972). Para as análises das concentrações (μmol) dos nutrientes inorgânicos dissolvidos nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e fosfato (PO_4^{3-}), utilizou-se a metodologia proposta por Grasshoff *et al.* (1983). As concentrações de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) foram determinadas seguindo os métodos descritos por Tréguer e Le Corre (1976). Para todos esses parâmetros foram feitas triplicatas em cada costão nas duas praias onde o material biológico foi retirado.

2.6 Análises estatísticas

Para verificar a existência das diferenças dos parâmetros ambientais amostrados após os eventos DCS e EEP, e as estações do ano (verão e inverno), foram utilizadas análises de variância (ANOVA) bifatorial, por meio do software STATISTICA 7.0 (StatSoft, Inc. 2004), e o número amostral utilizado foi $N=4$, onde as subáreas foram consideradas réplicas.

Para as análises das eventuais diferenças de resposta dos parâmetros fotossintetizantes entre as duas espécies avaliadas, foram feitas a ordenação por escalonamento multidimensional não-métrica (MDS) e teste de significância através da análise de similaridade (ANOSIM). Ambas as análises foram feitas através do software PRIMER 6.0 (Clarke & Warwick, 2001).

Para as análises dos parâmetros fotossintetizantes e clorofila *a* foram utilizadas medidas realizadas em três espécimes de cada espécie de macroalga por subárea, sendo que em cada espécime medidas em triplicatas foram obtidas e posteriormente tratadas. Entretanto, para as análises de F_v/F_m , foram utilizadas apenas a primeira medição em cada espécime. Esse parâmetro avalia o potencial máximo de atividade do aparato fotossintetizante, porque é medido quando todos os centros de reação estão abertos. Para todas essas análises o número amostral foi $N=12$, onde as subáreas foram consideradas réplicas, e todas as coletas de DCS e EEP foram tratadas como uma amostragem única, independente da taxa de precipitação. Para o tratamento dos dados, foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA) bifatorial. Os dados foram analisados quanto a sua normalidade e a homogeneidade das variâncias testada através do Teste de Cochran (Sachs, 1982), enquanto que análises *a posteriori* de comparação múltipla foram feitas quando diferenças significativas foram detectadas ($p<0.05$) através do Teste de Tukey (Sokal & Rohlf, 1997).

3. RESULTADOS

3.1 Análise dos parâmetros ambientais

Em relação à salinidade, foi possível observar que os valores obtidos nos diferentes locais após DCS (37.670; 36.000) foram significativamente maiores em relação aos EEP (35.500; 37.000), independente da época do ano (verão: $p=0.048$, inverno: $p=0.006$). A temperatura não se mostrou diferente para os eventos ($p=0.753$), entretanto, apresentou diferenças significativas entre as estações do ano ($p=0.000$), sendo de cerca de 25°C durante o

verão e de 19° C durante o inverno. Dados de turbidez não apresentaram diferenças significativas. Por outro lado, dados de irradiância mostraram que a incidência de luz em $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ foram significativamente maiores nos DCS (813.000; 931.000) do que em EEP (266.933; 324.583), tanto no verão, quanto no inverno respectivamente. Em relação aos dados analisados de matéria orgânica (M.O.) e material particulado em suspensão (M.P.S.) esses não apresentaram alterações significativas para estações tampouco para os eventos. Quanto às análises químicas da água referente aos nutrientes inorgânicos dissolvidos, foi possível observar que apenas nitrito e fosfato apresentaram alterações significativas. Os valores de nitrito foram significativamente maiores após os eventos EEP ($p=0.000$) em ambas as estações ($p=0.028$), enquanto que as concentrações de fosfato apresentaram diferenças apenas entre as estações ($p=0.030$) (Tabela 5).

Tabela 5. Médias (\pm EP) dos parâmetros ambientais nas estações do ano e após DCS e EEP. Os efeitos significativos realizados por meio da ANOVA são apresentados com os valores de F e p em negrito. N=4

Parâmetros Ambientais	Verão		Inverno		Evento		Estação	
	DCS	EEP	DCS	EEP	F-valor	p	F-valor	p
Salinidade (ups)	37.670 \pm 0.289	35.500 \pm 0.288	36.000 \pm 0.577	37.000 \pm 0.577	4.800	0.048	10.800	0.006
Temperatura (°C)	25.500 \pm 0.866	25.000 \pm 1.154	19.000 \pm 0.577	19.000 \pm 0.000	0.103	0.753	64.655	0.000
Turbidez (ntu)	1.698 \pm 0.172	5.505 \pm 1.691	6.462 \pm 2.056	9.392 \pm 5.161	1.345	0.268	2.216	0.162
Irradiância ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	813.000 \pm 201.800	266.933 \pm 20.111	931.000 \pm 21.990	324.583 \pm 19.755	31.622	0.000	0.733	0.408
M.O. (%)	0.750 \pm 0.023	0.736 \pm 0.021	0.609 \pm 0.145	0.619 \pm 0.078	0.000	0.982	2.373	0.149
M.P.S.(mg l^{-1})	0.080 \pm 0.005	0.090 \pm 0.008	0.126 \pm 0.029	0.085 \pm 0.007	0.922	0.355	1.574	0.233
Nitrito (μM)	0.089 \pm 0.011	0.185 \pm 0.036	0.137 \pm 0.033	0.264 \pm 0.008	19.225	0.000	6.240	0.028
Nitrato (μM)	0.092 \pm 0.109	0.128 \pm 0.033	0.030 \pm 0.199	0.428 \pm 0.016	3.119	0.102	0.391	0.543
Fosfato (μM)	0.201 \pm 0.030	0.223 \pm 0.086	0.353 \pm 0.033	0.318 \pm 0.024	0.015	0.902	5.977	0.030
N-amoniaco (μM)	0.585 \pm 0.134	0.937 \pm 0.369	0.807 \pm 0.292	0.719 \pm 0.161	0.263	0.616	0.000	0.993

3.2. Comparação das respostas fisiológicas entre as espécies avaliadas

De acordo com a avaliação dos parâmetros fotossintetizantes (α , I_k e ETR_{max}) os resultados obtidos no ANOSIM indicaram que *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum* responderam de maneira significativamente diferentes entre si ($p=0.01$). Essas respostas ficam evidentes observando-se o escalonamento multidimensional (MDS) (Figura 8).

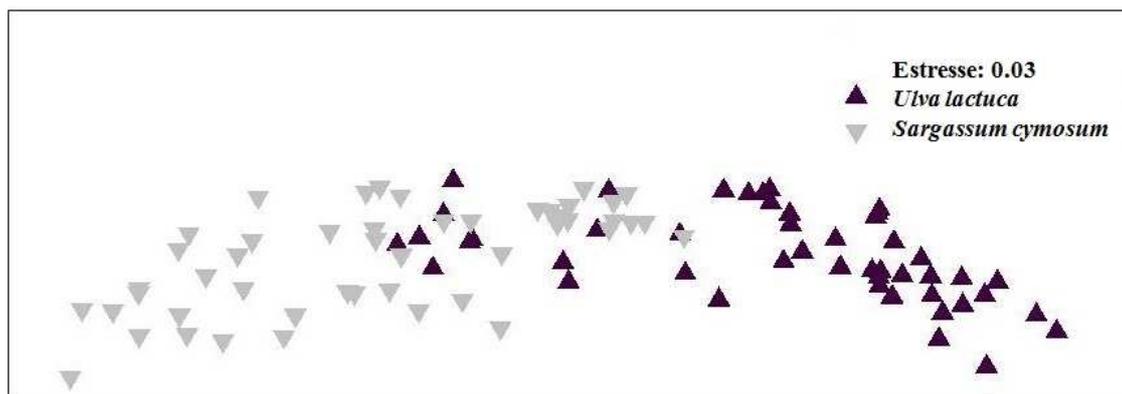


Figura 8. Análise não métrica de escalonamento multidimensional das espécies *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum*.

3.3. Análise dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* do fotossistema II

3.3.1 *Ulva lactuca*

Os testes de significância indicaram que tanto para α , quanto para ETR_{max} , as diferenças foram significativas entre verão e inverno (Figura 9). Entretanto, α de *U. lactuca* foi influenciada significativamente pelos eventos, sendo distintos após DCS e EEP. Já os dados de ETR_{max} da espécie não apresentaram tais resultados. Em relação a I_k , os maiores valores foram obtidos após DCS, porém, os testes de significância apontaram diferenças apenas para EEP do inverno. Quanto a F_v/F_m , não foram encontradas diferenças significativas nem para estação do ano, tampouco para os eventos (Tabela 6) (Figura 9).

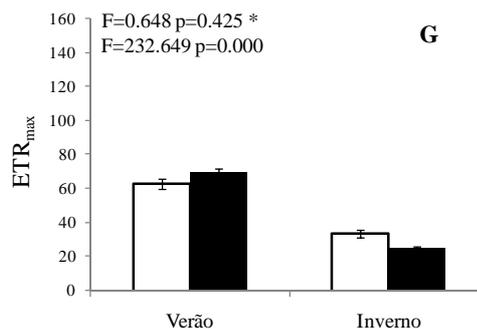
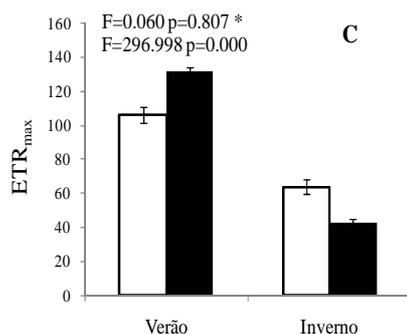
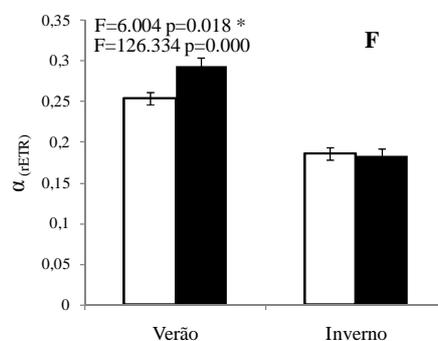
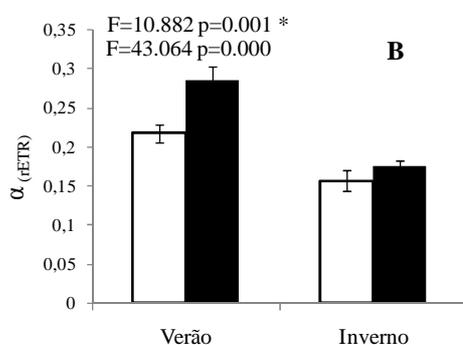
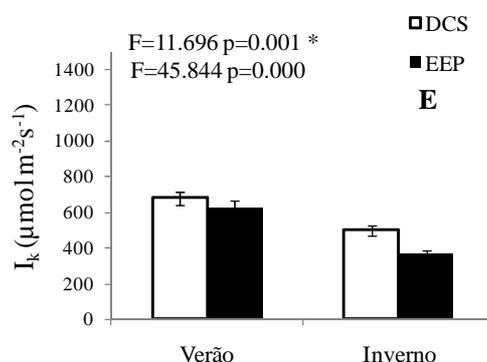
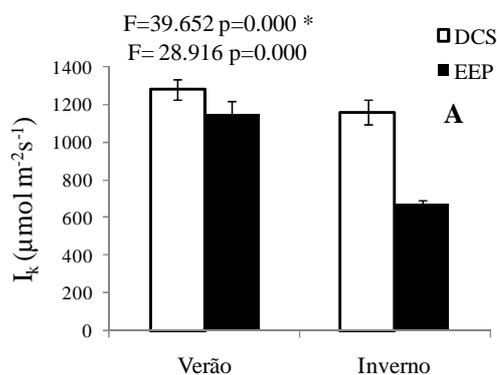
3.3.2 *Sargassum cymosum*

Em *S. cymosum*, também foram observadas diferenças significativas de α e ETR_{max} entre verão e inverno. ETR_{max} não apresentou diferenças entre os eventos DCS e EEP. Já os valores de α apresentaram diferenças significativas apenas entre DCS e EEP durante o verão (Figura 9).

Para *S. cymosum*, apesar de os maiores valores de I_k terem sido obtidos após DCS, assim como para *Ulva lactuca*, estes foram significativamente diferentes tanto entre as estações do ano, quanto para as comparações entre os eventos. E da mesma maneira, os valores de F_v/F_m não apresentaram diferenças significativas entre as estações do ano e para DCS e EEP (Tabela 6) (Figura 9).

Tabela 6. Médias (\pm EP) dos parâmetros fotossintetizantes nas estações do ano, e após DCS e EEP. Diferentes letras ao lado de cada valor representam as diferenças significativas observadas através do teste *a posteriori* de Tukey. N=12

Estação	Evento	Parâmetros da Fotossíntese			
		I_k rETR ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Alfa _{rETR}	ETR _{max}	Fv/Fm
<i>Ulva lactuca</i>					
Verão	DCS	1283.138 \pm 54.505 a	0.217 \pm 0.012 a	106.047 \pm 4.703 a	0.699 \pm 0.025 a
	EEP	1152.715 \pm 66.959 a	0.284 \pm 0.017 b	131.755 \pm 2.565 a	0.716 \pm 0.022 a
Inverno	DCS	1162.774 \pm 63.732 a	0.156 \pm 0.014 c	63.734 \pm 4.159 b	0.646 \pm 0.033 a
	EEP	668.606 \pm 330.363 b	0.174 \pm 0.008 d	42.472 \pm 2.466 b	0.692 \pm 0.017 a
<i>Sargassum cymosum</i>					
Verão	DCS	678.833 \pm 36.122 a	0.254 \pm 0.007 a	62.825 \pm 2.742 a	0.686 \pm 0.018 a
	EEP	624.551 \pm 37.000 b	0.294 \pm 0.010 b	69.313 \pm 2.834 a	0.687 \pm 0.012 a
Inverno	DCS	499.353 \pm 30.896 c	0.186 \pm 0.008 c	33.681 \pm 2.136 b	0.640 \pm 0.016 a
	EEP	372.295 \pm 11.174 d	0.183 \pm 0.008 c	24.870 \pm 1.438 b	0.692 \pm 0.013 a



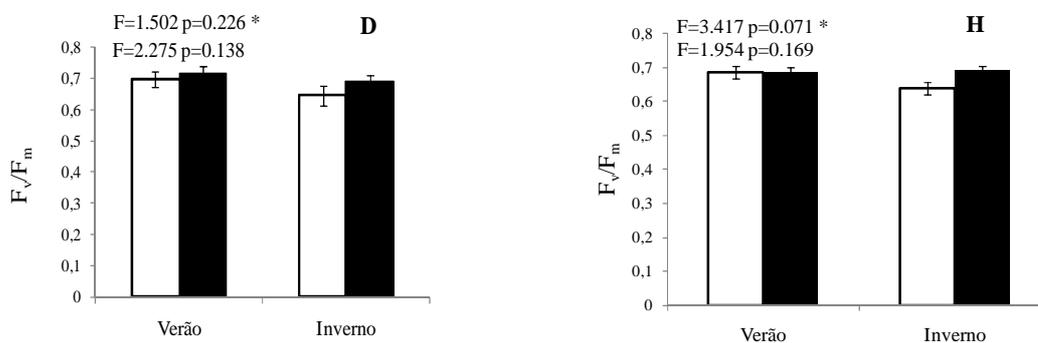


Figura 9. Médias (\pm EP) dos parâmetros fotossintetizantes de *Ulva lactuca* (A-D) e *Sargassum cymosum* (E-H) durante o verão e inverno, e após os eventos* DCS e EEP.

3.4 Análise das concentrações da clorofila *a*

Em relação às concentrações da clorofila *a*, ambas as macroalgas *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum* responderam de maneira semelhante, uma vez que os resultados obtidos foram significativamente diferentes durante as estações do ano, verão e inverno, e para os eventos, DCS e EEP. Para *Ulva lactuca*, a concentração de clorofila *a* foi maior após EEP. Por outro lado, as concentrações de clorofila *a* de *Sargassum cymosum* foram maiores nos DCS tanto no verão, quanto no inverno, do que em EEP do verão e inverno (Tabela 7) (Figura 10).

Tabela 7. Médias (\pm EP) das concentrações de clorofila *a* nas estações do ano, e após DCS e EEP. Diferentes letras ao lado de cada valor representam as diferenças significativas observadas por meio do teste *a posteriori* de Tukey. N=12.

Estação	Evento	Clorofila <i>a</i> (μ g/g) FW	
<i>Ulva lactuca</i>			
Verão	DCS	18.232 \pm 3.851	a
	EEP	24.077 \pm 5.775	b
Inverno	DCS	25.441 \pm 5.052	c
	EEP	41.483 \pm 4.758	d
<i>Sargassum cymosum</i>			
Verão	DCS	37.342 \pm 3.207	a
	EEP	33.710 \pm 4.323	b
Inverno	DCS	92.909 \pm 4.954	c
	EEP	76.400 \pm 6.226	d



Figura 10. Médias (\pm EP) das concentrações de clorofila *a* de *Ulva lactuca* (A) e *Sargassum cymosum* (B) durante o verão e inverno, e após os eventos* DCS e EEP.

4. DISCUSSÃO

De maneira geral, as variações no ambiente produzidas pelas EEP produziram diferenças no desempenho fisiológico das macroalgas avaliadas, principalmente durante o inverno e na espécie oportunista *Ulva lactuca* (Figura 9). Foi possível observar que as macroalgas *Ulva lactuca* e *Sargassum cymosum* responderam de maneira semelhante aos eventos DCS e EEP (Figura 9). Entretanto, quando comparadas entre si, de modo geral é possível observar que essas macroalgas respondem de maneira diferente (Figura 8). As taxas fotossintetizantes de *Sargassum cymosum* são menores que *Ulva lactuca*, principalmente em relação à irradiância de saturação (I_k) e taxa máxima de transporte de elétrons (ETR_{max}) (Tabela 6) (Figura 9).

Esses resultados podem ser discutidos considerando-se dois fatores explicativos. Em primeiro lugar, algas oportunistas como as macroalgas do gênero *Ulva*, foram solidamente caracterizadas como um grupo de macroalgas com rápidas taxas de crescimento e alta produtividade (Littler & Murray, 1975; Teichberg *et al.*, 2010). Da mesma maneira, Littler & Littler (1980) definiu que essas espécies oportunistas são mais tolerantes em ambientes perturbados, enquanto que espécies com formas mais complexas são capazes de persistirem em ambientes menos estressantes. Sendo assim, os maiores valores de I_k e ETR_{max} para *U. lactuca* (Tabela 6) podem estar diretamente relacionados com a maior tolerância dessas espécies às irradiâncias mais altas, e conseqüentemente, maiores taxas de produtividade líquida e crescimento. Em segundo lugar, alguns trabalhos relacionam a tolerância de algumas espécies às irradiâncias mais altas, de acordo com a distribuição vertical desses organismos e a zonação dos costões. Segundo Beer & Kautsky (1992) e Boaventura *et al.* (2002), as diferenças apresentadas entre algumas espécies em relação a tolerância contra dessecação, alterações de salinidade e variações de temperatura está relacionada com a distribuição dessas espécies na zona entremarés. Considerando que a irradiância acima da superfície da água depende apenas do fotoperíodo e do tempo, como por exemplo, nuvens e chuva, a irradiância abaixo da superfície

depende, além disso, sobre a transmitância do corpo de água e da reflexão na superfície da água (Hanelt *et al.*, 1993). Nesse contexto, sabe-se, que enquanto *S. cymosum* encontra-se abaixo da zona entremarés, *U. lactuca* apresenta predominância na zona acima da linha entremarés. E, de acordo com Davison & Pearson (1996), algas que habitam a zona entremarés experimentam diversos estressores ambientais, incluindo flutuações de temperatura, irradiação em excesso, limitação de nutrientes e dessecação combinada com a precipitação de sais na superfície do talo. Dessa maneira, é provável que *U. lactuca* seja mais adaptada as maiores variações dos parâmetros ambientais do que *S. cymosum*, uma vez que esse se encontra mais submerso, tolerando menores níveis de irradiação (Shargel & Mostl, 2011). De acordo com resultados propostos por Huppertz *et al.* (1990), algas pardas apresentaram reações ao estresse de dessecação muito mais rápido, do que quando comparados a outros grupos de algas, o que explicaria também as diferenças das respostas fisiológicas de I_k e ETR_{max} entre *Sargassum cymosum* e *Ulva lactuca* (Figura 8 e 9).

Em relação às análises feitas para F_v/F_m , os resultados entre as duas espécies foram similares. Tanto entre as estações do ano, quanto após DCS e EEP, os resultados não apresentaram diferenças significativas (Tabela 6) (Figura 9). Esses resultados podem ter relação com o fato das coletas terem sido realizadas sempre durante os períodos diurnos, corroborando com Henley *et al.* (1991) e Magnusson (1997), os quais referenciam que o curso diurno de F_v/F_m é normalmente menos pronunciado em algas verdes, neste caso, *U. lactuca* e até mesmo indetectável em algas pardas, no caso, *S. cymosum*. Além disso, embora as macroalgas avaliadas nesse estudo tenham sido submetidas a salinidades baixas da chuva que incidia no costão, durante o transporte das mesmas para o laboratório, essas eram colocadas em potes com água do mar. Nesse caso, possíveis alterações devido à salinidade podem ter sido mascaradas, uma vez que, assim como citado por Shargel & Mostl (2011), algumas espécies de macroalgas embora demonstrem alterações nas taxas de F_v/F_m quando em salinidades baixas, assim que imersas em água do mar recuperam-se completamente em até 6 min, corroborando com os resultados não significativos obtidos nesse estudo para esse parâmetro (Figura 9).

As análises realizadas neste estudo foram feitas separando os eventos DCS e EEP em estações do ano, verão e inverno, pois se tratando de questões fisiológicas, sabe-se que o metabolismo (neste caso, o desempenho fotossintetizante de produtores primários) está estreitamente relacionado com a temperatura, e forneceria respostas diferentes entre as duas estações. Nesse contexto, para os valores de α e ETR_{max} em ambas as espécies de macroalgas aqui estudadas, as diferenças observadas foram significativas entre as estações do ano (Figura 9), onde os maiores valores foram encontrados durante o verão, quando comparados ao inverno (Tabela 6). Adicionalmente, as análises realizadas com as amostras dos parâmetros ambientais indicaram que a temperatura, e as concentrações de nitrito e fosfato também foram significativamente diferentes entre verão e inverno (Tabela 5). Em relação à temperatura da

água, os valores médios obtidos para verão (25°C) foram superiores aos valores médios de inverno (19°C), enquanto que as concentrações médias tanto de nitrito, quanto de fosfato foram maiores durante o inverno (Tabela 5). Ou seja, de acordo com os resultados aqui apresentados, é possível sugerir que haja uma correlação positiva entre a redução da eficiência fotossintética (α) e da taxa de transporte de elétrons (ETR_{max}) do fotossistema II no inverno, com a menor temperatura da água e ocasionalmente maior concentração de nitrito e fosfato nessa estação.

Segundo resultados proposto por Geertz-Hansen & Sand-Jensen (1992), as taxas de crescimento de *Ulva lactuca*, foram menores durante o inverno do que no verão. Isso pode ser explicado, pois, muitas vezes as taxas de crescimento podem ser limitadas devido à inibição de reações enzimáticas impostas pelas temperaturas mais baixas. Adicionalmente, outro estudo demonstrou que *Hizikia fusiformis* (Harvey), pertencente à família Sargassaceae, reduziu as taxas de ETR_{max} quando aclimatadas em temperaturas mais baixas de inverno, concluindo que algumas espécies de alga podem apresentar desvantagens em águas com temperaturas mais frias, quando comparadas com aquelas cultivadas em temperaturas mais elevadas (Zou *et al.*, 2011). Esses resultados corroboram o que foi encontrado neste trabalho com *U. lactuca* e *S. cymosum*.

Em relação às concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos foi possível observar que as concentrações de nitrito e fosfato foram maiores após EEP e também maior no inverno. Embora, diferenças significativas entre verão e inverno tenham ocorrido e diferenças entre os eventos também seja possível de observar, mesmo que com ausência de significância pelos testes estatísticos (Tabela 5), ainda sim, de acordo com o CONAMA (2005), as maiores concentrações dos nutrientes durante o inverno não podem ser consideradas altas para a região e, dessa maneira, não seria confiável fazer afirmações da relação entre, o desempenho fotossintetizante das macroalgas aqui avaliadas e o possível estresse causado pelas altas concentrações de nutrientes, provenientes principalmente de efluentes urbanos. Além do mais, os mecanismos fisiológicos que ocorrem como consequência da descarga de esgotos nas zonas costeiras, levando ao declínio de produtores primários ainda carecem de maiores informações (Wilson *et al.*, 2004).

Os testes significativos entre DCS e EEP mostraram que, apenas I_k e α apresentaram diferenças significativas entre esses eventos para ambas as espécies (Figura 9). Tanto I_k , quanto α , apresentaram os maiores valores após EEP (Tabela 6). E, embora ETR_{max} e F_v/F_m não tenham apresentado diferenças significativas entre os eventos (Figura 9), de maneira geral, os maiores valores também foram obtidos após EEP (Tabela 6). Em relação aos parâmetros ambientais analisados, os testes de significância indicaram que, tanto as concentrações de salinidade, quanto os níveis de irradiância, apresentaram diferenças significativas entre DCS e EEP, onde os menores valores de salinidade foram encontrados em EEP e os maiores valores de irradiância foram obtidos em DCS (Tabela 5).

Shargel & Mostl (2011) concluíram que após a simulação de chuva em laboratório, com salinidade de 0‰, a macroalga *Fucus spiralis* Linnaeus, que, assim como *S. cymosum*, pertence à classe das feofíceas, apresentou redução significativa no rendimento quântico ótimo (F_v/F_m) devido ao estresse salínico, entretanto, após a imersão dessa macroalga em água do mar, a mesma apresentou uma recuperação instantânea nas taxas de F_v/F_m . Os autores concluíram que, por suportarem a pressão osmótica elevada por longos períodos, os organismos estudados apresentam uma capacidade de regulação osmótica altamente desenvolvida. Além disso, outro trabalho realizado com a macroalga *U. lactuca* mostra que o desempenho fotossintetizante dessa espécie pode ser reduzido devido ao aumento drástico da salinidade (Xia *et al.*, 2004). Por outro lado, Gordillo *et al.* (2002) indica que algas que habitam costões da zona entremarés, possuem uma tolerância mais ampla a variações da salinidade do que as aquelas do infralitoral, embora nessas regiões, tanto a água da chuva, quanto a evaporação, possa causar alterações desse parâmetro, principalmente durante as marés baixas. Portanto, considerando que neste estudo, a salinidade não apresentou variações substanciais (Tabela 5), este parâmetro, pode não ser o fator determinante das respostas das macroalgas avaliadas entre DCS e EEP.

Sabendo-se que, durante DCS, os dias eram predominantemente ensolarados e secos, enquanto que durante EEP, os dias eram nublados e chuvosos, os resultados obtidos para irradiância e I_k corroboram com as condições climáticas encontradas, uma vez que, os valores de irradiância apresentaram variações consideráveis entre os dois eventos (Tabela 5), e as diferenças na irradiância de saturação (I_k) de ambas as espécies, também apresentaram valores significativamente diferentes entre os eventos. (Figura 9). Onde, os maiores valores de irradiância foram encontrados durante DCS, e os menores valores durante EEP, assim como os resultados apresentados por I_k . Ou seja, quanto maior a irradiância disponível, maiores são os valores da irradiância de saturação (I_k), e quanto mais nublado, ou seja, menor irradiância, menores são os valores que o aparelho fotossintetizante atinge para ocorrer a saturação.

Nesse contexto, alguns trabalhos citam que altas irradiâncias podem comprometer o aparato fotossintetizante de algumas macroalgas. Geertz-Hansen & Sand-Jensen (1992) propuseram que espécies de *U. lactuca* no campo aproximaram-se do máximo da eficiência da fotossíntese em locais ao abrigo de luz, embora estudos realizados por Ensminger *et al.* (2001) tenham indicado que espécies pertencentes à divisão das clorófitas são algas adaptadas ao sol, nas quais são encontrados os maiores valores de I_k e α . Adicionalmente, resultados obtidos em trabalhos realizados por Gao *et al.* (2011) e Shargel & Mostl (2011) sugerem reduções significativas no rendimento fotossintetizante de espécies de macroalgas dos gêneros *Ulva* e *Fucus* que foram expostas a condições de dessecação. Além do mais, Dring *et al.* (1996) e Hanelt & Roleda (2009) sugerem que altas incidências de UVA e UVB predominantes em dias ensolarados podem acarretar em prejuízos à performance fotossintetizante de diversas espécies de macroalgas.

Entretanto, macroalgas, bem como outras plantas possuem estratégias diferentes para a proteção do aparelho fotossintético contra o excesso de luz (Baker & Bowyer, 1994). A dinâmica da fotoinibição atua como um mecanismo fotoprotetor (Osmond, 1994), o que diminui o rendimento quântico do fotossistema II, de modo que a energia absorvida em excesso seja processada por dissipação térmica (Krause & Weis, 1991). Outro mecanismo fisiológico ativado na presença de excesso de luz é a movimentação dos cloroplastos (Hanelt & Nultsch, 1991). Segundo estudos feitos por (Hanelt & Nultsch, 1990), em alta irradiância, os cloroplastos da macroalga parda *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V. Lamouroux, se deslocam para uma posição paralela ao feixe de luz evitando o fotodano do aparato fotossintetizante. Segundo Karentz (1994), um dos mecanismos de proteção contra a radiação UV são a produção de pigmentos como carotenóides ou o aminoácido do tipo micosporina (MAA), que já tiveram sua presença relatada em algas vermelhas e pardas de regiões tropicais, temperada e polar (Hader & Figueroa, 1997). Além disso, um estudo realizado por Sampath-Wiley *et al.* (2008), conclui que o aumento da concentração de antioxidantes foi maior durante a exposição de macroalgas em altas irradiâncias. Em relação a concentração de pigmentos fotossintéticos, também foi concluído que esses foram largamente afetados quando expostos ao sol, sendo que, quando colocadas na sombra, essas apresentaram quantidades total de clorofila maior quando comparadas as algas expostas ao sol. Confirmando que a exposição a altas irradiâncias podem causar danos as concentrações dos pigmentos fotossintetizantes, as concentrações de clorofila *a* de *U. lactuca* avaliadas neste estudo apresentaram-se maiores quando expostas a condições de baixa irradiância, ou seja, após EEP (Tabela 7) (Figura 10). Entretanto, *S. cymosum* apresentou concentrações de clorofila *a* maior após DCS, ou seja, maiores irradiâncias e condições secas (Tabela 7) (Figura 10), o que, pode ser explicado baseado na movimentação dos cloroplastos de algas marinhas pardas, que são capazes de deslocar suas organelas, diminuindo a capacidade de absorção e protegendo dessa maneira, os pigmentos fotossintetizantes, como a clorofila *a*, dos danos causados pelo excesso de luz (Hanelt *et al.*, 1993).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas macroalgas avaliadas apresentaram rendimentos quânticos similares. É possível que o aumento do rendimento fotossintetizante de *U. lactuca* e *S. cymosum* após EEP seja consequência de aclimação dessas macroalgas às condições de nebulosidade, ou seja, baixas irradiâncias, e elevações nas concentrações de nutrientes, encontradas durante EEP. Provavelmente, quando encontradas sob alta incidência de luz, as macroalgas necessitam desprender energias consideráveis para o processo de fotoproteção, enquanto que, sob baixas irradiâncias, a energia não utilizada para este processo possa ser convertida em produtividade líquida, e dessa maneira acarretar em um maior desempenho fotossintetizante. Mesmo assim, de acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que os extremos de precipitação

influenciam o desempenho fotossintetizante dessas espécies. Entretanto, é importante que trabalhos que avaliem os mecanismos bioquímicos, como pigmentos acessórios, e fisiológicos das macroalgas frente a eventos de extrema precipitação sejam realizados, agregando dados capazes de auxiliar no melhor entendimento das respostas desses organismos em tempos de mudanças climáticas.

6. REFERÊNCIAS

- AIROLDI, L., BALATA, D., BECK, M.W., 2008. The Gray Zone: Relationships between habitat loss and marine diversity and their applications in conservation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366, 8-15.
- BAKER, N.R., BOWYER, J.R., (Eds) 1994. *Photoinhibition of Photosynthesis from Molecular Mechanisms to the Field*. Bios Scientific Publishers, Oxford.
- BAY, S., JONES, B.H., SCHIFF, K., WASHBURN, L., 2003. Water quality impacts of stormwater discharges to Santa Monica Bay. *Marine Environmental Research* 56, 205-223.
- BEER, S., KAUTSKY, L., 1992. The recovery of net photosynthesis during rehydration of three *Fucus* species from the Swedish west coast following exposure to air. *Botanica Marina* 35, 487-491.
- BEER, S., LARSSON, C., PORYAN, O., AXELSSON, L., 2000. Photosynthetic rates of *Ulva* (Chlorophyta) measured by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. *European Journal of Phycology* 35, 69-74.
- BEHRENFELD, M.J., O'MALLEY, R.T., SIEGEL, D.A., MCCLAIN, C.R., SARMIENTO, J.L., FELDMAN, G.C., MILLIGAN, A.J., FALKOWSKI, P.G., LETELIER, R.M., BOSS, E.S., 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444, 752-755.
- BJÖRKMAN, O., DEMMIG, B., 1987. Photon yield of O₂-evolution and chloroplast fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170, 489-504.
- BOAVENTURA, D., RÉ, P., CANCELA DA FONSECA, L., HAWKINS, S.J., 2002. Intertidal rocky shore communities of the continental Portuguese coast: analysis of distribution patterns. *Marine Ecology* 23, 69-90.
- BROWN, C.J., FULTON, E.A., HOBDAI, A.J., MATEAR, R.J., POSSINGHAM, H.P., CHRISTENSEN, V., FORREST, R.E., GEHRKE, P.C., GRIBBLE, N.A., GRIFFITHS, S.P., LOZANO-MONTES, H., MARTIN, J.M., METCALF, S., OKEY, T.A., WATSON, R., RICHARDSON, A.J., 2010. Effects of climate-driven primary production change on marine food webs: implications for fisheries and conservation. *Global Change Biology* 16, 1194-1212.

- CHALOUB, R.M., REINERT, F., NASSAR, C.G., FLEURY, B.G., MANTUANO, D.G., LARKUM, A.W.D., 2010. Photosynthetic properties of three Brazilian seaweeds. *Revista Brasileira de Botânica* 33, 371-374.
- CHUNG, I.K., BEARDALL, J., MEHTA, S., SAHOO, D., STOJKOVIC, S., 2011. Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal. *Journal of Applied Phycology* 23, 877-886.
- CLARKE, K.R., WARWICK, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2 edição. PRIMER-E, Plymouth 172p.
- CONAMA, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- CONNELL, S.D., RUSSELL, B.D., TURNER, D.J., SHEPHERD, S.A., KILDEA, T., MILLER, D., AIROLDI, L., CHESHIRE, A., 2008. Recovering a lost baseline: missing kelp forests from a metropolitan coast. *Marine Ecology Progress Series* 360, 63-72.
- DA SILVA, G.C., NUNES, A.B., 2011. Análise quantitativa de eventos extremos de precipitação na cidade de Florianópolis - Parte 2: clima futuro (2070-2100). In: IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia, Pelotas-RS. Anais do IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia.
- DAVISON, I.R., PEARSON, G.A., 1996. Stress tolerance in intertidal seaweeds. *Journal of Phycology* 32, 197-211.
- DIAZ-PULIDO, G., MCCOOK L.J., LARKUM, A., LOTZE, H.K., RAVEN, J.A., SCHAFFELKE, B., SMITH, J.E., STENECK, R.S., 2007. Vulnerability of macroalgae of the Great Barrier Reef to climate change. In: Marshall P., Johnson J. (Eds) *Climate change and the Great Barrier Reef*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, 153-192.
- DRING, M.J., WAGNER, A., BOESKOV, J., LUNING, K., 1996. Sensitivity of intertidal and subtidal red algae to UVA and UVB radiation, as monitored by chlorophyll fluorescence measurements : influence of collection depth and season, and length of irradiation. *European Journal of Phycology* 31, 293-302.
- EASTERLING, D.R., MEEHL, G.A., PARMESAN, C., CHANGNON, S.A., KARL, T.R., MEARNS, L.O., 2000. Climate extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science* 289, 2068-2074.
- EDWARDS, M.S., 2004. Estimating scale-dependency in disturbance impacts: El Niños and giant kelp forests in the northeast Pacific. *Oecologia* 138, 436-447.
- EKLUND, B.T., KAUTSKY, L., 2003. Review on toxicity testing with marine macroalgae and the need for method standardization exemplified with copper and phenol. *Marine Pollution Bulletin* 46, 171-181.
- ENSMINGER, I., XYLÄNDER, M., HAGEN, C., BRAUNE, W., 2001. Strategies providing success in a variable habitat: III. Dynamic control of photosynthesis in *Cladophora glomerata*. *Plant, Cell and Environment* 24, 769-779.

- EPAGRI/CIRAM, 2011. Centro de informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em <http://www.ciram.epagri.sc.gov.br/>.
- FIGUEROA, F.L., SALLES, S., AGUILERA, J., JIMÉNEZ, C., MERCADO, J., VIÑEGLA, B., FLORES-MOYA, A., ALTAMIRANO, M., 1997. Effects of solar radiation on photoinhibition and pigmentation in the red alga *Porphyra leucosticta*. *Marine Ecology Progress Series* 151, 81-90.
- FIGUEROA, F.L., CONDE-ÁLVAREZ, R., GOMEZ, I., 2003. Relations between electron transport rates determined by pulse amplitude modulated chlorophyll fluorescence and oxygen evolution in macroalgae under different light conditions. *Photosynthesis Research* 75, 259-275.
- FLÖDER, S., JASCHINSKI, S. WELLS, G., BURNS, C.W., 2010. Dominance and compensatory growth in phytoplankton communities under salinity stress. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 395, 223-231.
- GALLUCCI, F., NETTO, S., 2004. Effects of the passage of cold fronts over a coastal site: an ecosystem approach. *Marine Ecology Progress Series* 281, 79-92.
- GAO, S., SHEN, S., WANG, G., NIU, J., LIN, A., PAN, G., 2011. PSI-Driven Cyclic Electron Flow Allows Intertidal Macro-Algae *Ulva* sp. (Chlorophyta) to Survive in Desiccated Conditions. *Plant and Cell Physiology* 52, 885-893.
- GAPLAN, 1986. Atlas de Santa Catarina. Aerofoto Cruzeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 173p.
- GEERTZ-HANSEN, O., SAND-JANSEN, K., 1992. Growth rates and photon yield of growth in natural populations of a marine macroalga *Ulva lactuca*. *Marine Ecology Progress Series* 81, 179-183.
- GORDILLO, F.J.L., DRING, M.J., SAVIDGE, G., 2002. Nitrate and Phosphate uptake characteristics of three species of brown algae cultured at low salinity. *Marine Ecology Progress Series* 234, 111-118.
- GOROSTIAGA, J.M., DÍEZ, I., 1996. Changes in the sublittoral benthic marine macroalgae in the polluted area of Abra de Bilbao and proximal coast (northern Spain). *Marine Ecology Progress Series* 130, 157-167.
- GRASSHOFF K., EHRHARDT M., KREMLING K., 1983. *Methods of seawater analysis*. 2 ed. Verlag Chemie, Weinheim. 419 p.
- GROSS, M.G., 1971. Carbon determination. CARVER, R.E. (Eds.) *Procedure in sedimentary petrology*. New York: Wiley-Interscience 573-596.
- GRZYMSKI, J., JOHNSEN, G., SAKSHAUG, E., 1997. The significance of intracellular self-shading on the biooptical properties of brown, red, and green macroalgae. *Journal of Phycology* 33, 408-414.
- GUIRY, M.D., GUIRY, G.M., 2011. *Algaebase*. Word wide eletronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <http://www.algaebase.org>.
- HÄDER, D.P., FIGUEROA, F.L., 1997. Photoecophysiology of marine macroalgae. *Photochemistry Photobiology* 66, 1-14.

- HÄDER, D.P., PORST, M., LABERT, M., 2001. Photoinhibition in common atlantic macroalgae measured on site in Gran Canaria, Helgoland. *Marine Research* 55, 67-76.
- HANELT, D., NULTSCH, W., 1990. Daily changes of the phaeoplasts arrangement in the brown alga *Dictyota dichotoma* as studied in field experiments. *Marine Ecology Progress Series* 61, 273-279.
- HANELT, D., NULTSCH, W., 1991. The role of chromatophore arrangement in protecting the chromatophores of the brown alga *Dictyota dichotoma* against photodamage. *Journal of Plant Physiology* 138, 470-475.
- HANELT, D., HUPPERTZ, K., NULTSCH, W., 1993. Daily course of photosynthesis and photoinhibition in marine macroalgae investigated in the laboratory and field. *Marine Ecology Progress Series* 97, 31-37.
- HANELT, D., ROLEDA, M.Y., 2009. UVB radiation may ameliorate photoinhibition in specific shallow-water tropical marine macrophytes. *Aquatic Botany* 91, 6-12.
- HARLEY, C.D.G., RANDALL HUGHES, A., HULTGREN, K.M., MINER, B.G., SORTE, C.J.B., THORNER, C.S., RODRIGUEZ, L.F., TOMANEK, L., WILLIAMS, S.L., 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters* 9, 228-241.
- HARRINGTON, L., FABRICIUS, K., EAGLESHAM, G., NEGRI, A., 2005. Synergistic effects of diuron and sedimentation on photosynthesis and survival of crustose coralline algae. *Marine Pollution Bulletin* 51, 415-427.
- HASENACK, H., FERRARO, L.W., 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas* 22, 53-70.
- HENLEY, W.J., LEVAVASSEUR, G., FRANKLIN, L.A., LINDLEY, S.T., RAMUS, J., OSMOND, C.B., 1991. Diurnal responses of photosynthesis and fluorescence in *Ulva rotundata* acclimated to sun and shade in outdoor culture. *Marine Ecology Progress Series* 75, 19-37.
- HORTA, P.A., AMANCIO, E., COIMBRA, C.S., OLIVEIRA, E.C., 2001. Considerações sobre a distribuição e origem da flora de macroalgas marinhas brasileiras. *Hoehnea* 28, 243-265.
- HORTA, P.A., SALLES, J.P., BOUZON, J.L., SCHERNER, F., CABRAL, D.Q., BOUZON, Z.L., 2008. Composição e estrutura do fitobentos do infralitoral da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, Santa Catarina, Brasil – implicações para a conservação. *Oecologia Brasiliensis* 12, 63-79.
- HUNT, G.L., MCKINNELL, S., 2006. Interplay between top-down, bottom-up, and wasp-waist control in marine ecosystems. *Progress in Oceanography* 68, 115-124.
- HUPPERTZ, K., HANELT, D., NULTSCH, W., 1990. Photoinhibition of photosynthesis in the marine brown alga *Fucus serratus* as studied in field experiments. *Marine Ecology Progress Series* 66, 175-182.
- JACOBUCCI, G.B., TANAKA, M.O., LEITE, F.P.P., 2009. Factors influencing temporal variation of a *Sargassum filipendula* (Phaeophyta: Fucales) bed in a subtropical shore. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 315-321.

- KARENTZ, D., 1994. Ultraviolet tolerance mechanisms in Antarctic marine organisms. In *Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects*. Antarctic Research Series 62, 93-110.
- KÖPPEN, W., 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México, 479 p.
- KRAUSE, G.H., WEIS, E., 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42, 13-349.
- KÜSTER, A., ALTENBURGER, R., 2007. Development and validation of a new fluorescence-based bioassay for aquatic macrophyte species. *Chemosphere* 67, 194-201.
- LASHEBROOKE, J.G, YOUNG, P.R, STREVER, A.E, STANDER, C., VIVR, M.A., 2010. The development of a method for the extraction of carotenoids and chlorophylls from grapevine leaves and berries for HPLC. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16, 349-360.
- LITTLER, M.M., MURRAY, S.N., 1975. Impact of sewage on the distribution, abundance and community structure of rocky intertidal macro-organisms. *Marine Biology* 30, 277-291.
- LITTLER, M.M., LITTLER, D.S., 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *The American Naturalist* 116, 25-44.
- LITTLER, M.M., LITTLER, D.S., BROOKS, B.R., 2009. Herbivory, Nutrients, Stochastic Events, and Relative Dominances of Benthic Indicator Groups on Coral Reefs: A Review and Recommendations. *Smithsonian contributions to the marine sciences* 38, 401-414.
- LUCREZI, S., SCHLACHER, T.A., ROBINSON, W., 2010. Can storms and shore armouring exert additive effects on sandy-beach habitats and biota? *Marine and Freshwater Research* 61, 951-962.
- MAGNUSSON, G., 1997. Diurnal measurements of F_v/F_m used to improve productivity estimates in macroalgae. *Marine Biology* 130, 203-208.
- MARCHAND, F.L., KOCKELBERGH, F., VAN DER VIJVER, B., BEYENS, L., NIJS, I., 2006. Are heat and cold resistance of arctic species affected by successive extreme temperature events? *New Phytologist* 170, 291-300.
- MARENGO, J.A., 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 26, 212p.
- MARENGO, J.A., ALVES, L.M., VALVERDE, M.C., ROCHA, R.P., LABORBE, R., 2007. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, 73p.

- MAXWELL, K., JOHNSON, G.N., 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51, 659-668.
- MCCIP, 2010. In Baxter J.M., Buckley J.P. and Wallace C.J. (Eds) Marine climate change impacts. Annual Report Card 2010-2011. Summary Report. Lowestoft: MCCIP, 12 p.
- NAVAS, C.A., CRUZ-NETO, A., 2008. Se extinções associadas a mudanças climáticas são eventos naturais, porque devemos nos preocupar com o cenário atual? *Revista da Biologia* 1, 9-11.
- OLIVEIRA, E.C., HORTA, P.A., AMANCIO, C.E., SANT'ANNA, C.L., 1999. Algas e angiospermas marinhas bênticas do litoral brasileiro: diversidade, exploração e conservação. In: Workshop sobre Avaliação e ações prioritárias para a conservação da Biodiversidade das zonas costeira e marinha. Relatório Técnico. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- OSMOND, C.B., 1994. What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In *Photoinhibition of Photosynthesis from Molecular Mechanisms to the Field*. N. R. Baker, J. R. Bowyer (Eds). Bios Scientific Publishers, Oxford, 1-24.
- PUPO, D., OURIQUES, L.C., FUJII, M.T., GUIMARÃES, S.M.P.B, YOKOYA, N.S., 2011. Marine Benthic Algae from Santa Catarina State, Southern Brazil. *Boletim do Instituto de Botânica* 20, 1-112.
- RICHARDSON, A.J., SCHOEMAN, D.S., 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 305, 1609-1612.
- RITCHIE, R.J., 2006. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynthesis Research* 89, 27-41.
- RITCHIE, R.J., 2008. Fitting light saturation curves measured using modulated fluorometry. *Photosynthesis Research* 96, 201-215.
- RUSSELL, B., THOMPSON, J.A.I., FALKENBERG, L.J., CONNELL, S.D., 2009. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO₂ and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. *Global Change Biology* 15, 2153-2162.
- SACHS, L., 1982. *Applied statistics: a handbook of techniques*. Springer-Verlag, New York
- SAMPATH-WILEY, P., NEEFUS, C.D., JAHNKE, L.S., 2008. Seasonal effects of sun exposure and emersion on intertidal seaweed physiology: Fluctuations in antioxidant contents, photosynthetic pigments and photosynthetic efficiency in the red alga *Porphyra umbilicalis* Kützinger (Rhodophyta, Bangiales). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 361, 83-91.
- SCHAGERL, M., MÖSTL, M., 2011. Drought stress, rain and recovery of the intertidal seaweed *Fucus spiralis*. *Marine Biology* 158, 2471-2479.
- SCHREIBER, U., SCHLIWA, U., BILGER, W., 1986. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research* 10, 51-62.
- SCHREIBER, U., BIGLER, W., NEUBAUER, C., 1994. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E.D.,

- Caldwell, M.M. (Eds.), *Ecophysiology of Photosynthesis*, Springer, Berlin and Heidelberg, New York 100, 49-70.
- SIMÓ, D.H., HORN, N.H., 2004. Caracterização e distribuição das “ressacas” e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, Brasil. *Gravel. Porto Alegre* 2, 93-103.
- SOKAL, R.R., ROHLF, F.J., 1997. *Biometry* (3rd edition). Freeman, New York.
- STATSOFT, INC., 2004. Versão 7.0. Statsoft, Inc Tulsa, Okla.
- STRICKLAND, J.L.H., PARSONS, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. 2 ed. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa 310 p.
- TEICHBERG, M., FOX, S.E., OLSEN, Y.S., VALIELA, I., MARTINETTOS, P., IRIBARNES, O., YURIKO MUTO, E., PETTI, M.A.V., CORBISIER, T.N., SOTO-JIMÉNEZ, M., PÁEZ-OSUNA, F., CASTRO, P., FREITAS, H., ZITELLI, A., CARDINALETTI, M., TAGLIAPIETRAS, D., 2010. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. *Global Change Biology* 16, 2624-2637.
- TEIXEIRA, M., SATYAMURTY, P., 2007. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. *Monthly Weather Review* 135, 598-617.
- TERAWAKI, T., YOSHIKAWA, K., YOSHIDA, G., UCHIMURA, M., ISEKI, K., 2003. Ecology and restoration techniques for *Sargassum* beds in the Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution Bulletin* 47, 198-201.
- TRÉGUER, P., LE CORRE, P., 1976. *Manual d’analysis des seis nutritifs das l’eau de mer*. 2 ed. Université de Bretagne Occidentale, Brest 110 p.
- VIEIRA, J., NECCHI, O., 2006. Photosynthetic characteristics of a tropical population of *Nitella cernua* (Characeae, Chlorophyta). *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18, 379-388.
- VILLAFANE, V.E., SUNDBÄCK, K., FIGUEROA, F.L., HELBLING, E.W., 2003. Photosynthesis in the aquatic environment as affected by UVR. In Helbling, E.W. and Zagarese, H. E. (Eds), *UV Effects in Aquatic Organisms and Ecosystems*. Comprehensive Series in Photochemical and Photobiological Sciences. The Royal Society of Chemistry, UK 357-397.
- XIA, J., LI, Y., ZOU, D., 2004. Effects of salinity stress on PSII in *Ulva lactuca* as probed by chlorophyll fluorescence measurements. *Aquatic Botany* 80, 129-137.
- WARING, J., UNDERWOOD, G.J., BAKER, N.R., 2006. Impact of elevated UV-B radiation on photosynthetic electron transport, primary productivity and carbon allocation in estuarine epipellic diatoms. *Plant Cell & Environment* 4, 521-34.
- WILSON, S., BLAKE, C., BERGES, J.A., MAGGS, C.A., 2004. Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. *Biological Conservation* 120, 279-289.
- WILKINSON, M., WOOD, P., WELLS, E., SCANLAN, C., 2007. Using attached macroalgae to assess ecological status of British estuaries for the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 55, 136-150.

- WETHEY, D.S., WOODIN, S.A., HILBISH, T.J., JONES, S.J., LIMA, F.P., BRANNOCK, P.M., 2011. Response of intertidal populations to climate: Effects of extreme events versus long term change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 132-144.
- WHITE, A.J., CRITCHLEY, C., 1999. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus. *Photosynthesis Research* 59, 63-72.
- YOKOYA, N.S., NECCHI, O., MARTINS, A.P., GONZALEZ, S.F., PLASTINO, E.M., 2007. Growth responses and photosynthetic characteristics of wild and phycoerythrin-deficient strains of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 19, 197-205.
- ZIN, W.Z.W., JAMALUDIN, S., DENI, S.M., JEMAIN, A.A., 2010. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971 -2005. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 303-314
- ZOU, D., LIU, S., DU, H., XU, J., 2011. Growth and photosynthesis in seedlings of *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura (Sargassaceae, Phaeophyta) cultured at two different temperatures. *Journal of Applied Phycology*. *In press*.