



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS – CFM
CURSO DE OCEANOGRAFIA

AVALIAÇÃO DA ECOFISIOLOGIA DE *Sargassum stenophyllum* SOB DIFERENTES
IRRADIÂNCIAS E CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES

Vitório Grando Razzera

*Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado
ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal
de Santa Catarina, como requisito básico para a
obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.*

Orientador: Dr. Paulo Antunes Horta
Co-Orientadora: Lidiane Pires Gouvêa

FLORIANÓPOLIS, 2018.

VITÓRIO GRANDO RAZZERA

AVALIAÇÃO DA ECOFISIOLOGIA DE *Sargassum stenophyllum* SOB DIFERENTES
IRRADIÂNCIA E CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES

*Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado
ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal
de Santa Catarina, como requisito básico para a
obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.*

Orientador: Dr. Paulo Antunes Horta
Co-Orientadora: Lidiane Pires Gouvêa

FLORIANÓPOLIS, 2018.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Razzera, Vítório Grando

Avaliação da ecofisiologia de *Sargassum stenophyllum* sob diferentes irradiâncias e concentrações de nutrientes / Vítório Grando Razzera; orientador, Paulo Antunes Horta. –Florianópolis, SC, 2018.

43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia.

Inclui referências

1. *Sargassum stenophyllum*, 2. Eutrofização, 3. Nutrientes, 4. Irradiância, 5. Ecofisiologia. I Antunes Horta, Paulo. II Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. III. Título.

VITÓRIO GRANDO RAZZERA

**AVALIAÇÃO DA ECOFISIOLOGIA DE *Sargassum stenophyllum* SOB DIFERENTES
IRRADIÂNCIAS E CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia pela Universidade Federal de Santa Catarina e aprovado em sua forma final.

Florianópolis, 21 de novembro de 2018.

Prof.^a Dr.^a Juliana Leonel,

Coordenador do Curso

Prof. Dr. Paulo Antunes Horta,

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. José Bonomi Barufi

Universidade Federal de Santa Catarina

Dr.^a Vanessa Freire de Carvalho

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A toda a minha família, em especial ao meu pai que desde o princípio me apoiou a fazer o curso de oceanografia, sempre servindo de inspiração e nos ensinando que fazer aquilo que se ama é o único caminho para o verdadeiro sucesso. Agradeço também por nos levar para a praia nas férias de verão e por assistir muitos documentários sobre ciência e sobre a natureza. A minha mãe por todo seu amor incondicional e pelo incrível cuidado e preocupação durante todos os momentos desde que deixei Chapecó. Obrigados por todas as comidas maravilhosas que me mandava ou colocava em minha mala quando eu ia visitá-los. Ao meu irmão por ter se tornado meu melhor amigo. Meu parceiro de praia, de skate, de jogos, negócios e da vida. Aquele que sempre posso contar e que sabe que sempre vai poder contar comigo. Inha namorada por ser minha inspiração, que mostra que qualquer sonho é possível desde que você deseje muito. Obrigada pelo companheirismo, e confiança que sempre teve.

Ao meu orientador Paulo Horta por todas as conversas inspiradas e inspiradoras. Pelas grandes oportunidades e por tornar possível meu sonho fazer do mergulho parte da minha vivência. Agradeço também por sempre se preocupar com a união do pessoal do laboratório, pois isso realmente tem muito valor.

À Lidiane Gouvêa por ter aceitado participar do meu processo de conclusão de curso como minha Co-Orientadora. Por toda atenção e dedicação em me auxiliar durante a realização deste trabalho. Sua participação foi extremamente construtiva e me permitiu evoluir muito durante essa fase muito marcante de minha vida.

Obrigado ao professor José Barufi e à doutora Vanessa Carvalho por terem aceitado fazer parte da minha banca.

À Leticia e Dudu, por ter me auxiliado ativamente na realização desse trabalho. Pela parceria e amizade construída durante esse tempo, pelas horas gastas trabalhando juntos, seja dentro ou fora da água. À Marina Sissini pelas dicas recebidas e principalmente pela disposição em sempre esclarecer qualquer dúvida e me orientar em diversos momentos. Toda galera do LAFIC que fizeram do laboratório uma segunda casa, onde sempre me senti bem-vindo e parte de uma família.

Obrigada pessoal, pela amizade, bolos e cafés compartilhados: Antonela, Bruna, Carol, Débora, Ellie, Gabi, Juliana, Kely, Leonardo, Manuela, Manuel, Thaís, Vanessa Poletto, Wally.

Por fim, ao CNPQ, CAPES, INCT para Mudanças no Clima, Fundação Boticário e FAPESC por todo o auxílio e por ter tornado possível a realização da minha iniciação científica e por todas as oportunidades que surgiram a partir desse ponto.

RESUMO

Os problemas relacionados à poluição orgânica são especialmente importantes nos países em desenvolvimento como o Brasil, onde o tratamento de esgoto não existe ou é inadequado e/ou ineficiente. Isso afeta negativamente os oceanos, levando a perda da biodiversidade e mudanças na comunidade marinha. *Sargassum* é um gênero de alga parda perene que não é encontrado em ambientes eutrofizados e desempenha grande importância ecológica no ambiente marinho, como abrigo, proteção e recurso alimentar para diversas espécies. Esse gênero é o mais representativo em termos de abundância em algumas localidades. Entretanto, declínios dessas populações vem sendo relatados ao longo do território nacional. Os fatores que levam a redução espacial de bancos de algas marinhas podem ser variados e foram pouco explorados experimentalmente. Por essa razão os mecanismos fisiológicos que ocorrem em condições de estresse e podem levar ao declínio de produtores primários ainda carecem de maiores informações.

Diante disso foi elaborado um experimento em mesocosmos durante sete dias, simulando o efeito de concentrações baixas e altas de nutrientes e intensidades altas e baixas de irradiância. Ao todo foram quatro diferentes tratamentos, representando as combinações entre duas intensidades de irradiâncias e concentrações de nutrientes. A concentração baixa de nutrientes foi obtida a partir de (CBN-0,98 μM de amônio, 0,51 μM de fosfato, 0,45 μM de nitrato) e concentração alta nutrientes (CAN-82 μM de amônio, 5 μM de fosfato, 41 μM de nitrato). Os dois níveis de irradiância (AI-525,00; e BI-225 $\mu\text{Mol f\u00f3tons.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (100%, 48%, respectivamente), foram obtidos por sombrites. Para avaliar a resposta fisiológica de *S. stenophyllum* aos diferentes tratamentos, foram utilizados parâmetros como a taxa de crescimento e Fotossíntese líquida, rendimento quântico máximo da fluorescência da clorofila *a*, concentração da clorofila *a* e carotenoides. Os resultados obtidos demonstram um efeito negativo nos tratamentos CAN no crescimento relativo e na fotossíntese líquida. Na análise do rendimento quântico máximo, os maiores valores ocorreram em tratamentos CBN e BI. Com relação a análise dos pigmentos Clorofila *a* e carotenoides, o efeito sinérgico entre nutrientes e irradiância pode ser observado. O único tratamento que obteve um incremento na concentração de clorofila *a* estava submetido a condições

CBN e BI. Com relação ao conteúdo de carotenoides, as menores concentrações foram observadas nos tratamentos CAN e AI.

Por fim, conclui-se que, no geral, elevadas concentrações de nutrientes causam efeito negativo na fisiologia de *S. stenophyllum*, e que o fato desse gênero não ser encontrado em ambientes urbanizados como as regiões centrais da baía de Santa Catarina, provavelmente está associado a grande descarga de resíduos despejados nessa área. Nossos resultados mostram que todos os parâmetros medidos foram afetados pela disponibilidade de nutrientes e/ou irradiâncias, com um efeito interativo entre esses dois fatores, indicando que diferentes irradiâncias influenciarão o desempenho de macroalgas e, ainda mais dramaticamente, em sistemas costeiros altamente impactados pela urbanização.

Palavras chaves: *Sargassum stenophyllum*, eutrofização, nutrientes, irradiância, ecofisiologia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do município de Florianópolis. Em destaque, Prainha da Barra da Lagoa (SC, Brasil). Fonte: IBGE (adaptado)..... 19

Figura 2. A-D Imagem interna do sistema de mesocosmos, na casa de vegetação. A-B) Disposição dos tanques e testes da estrutura e adição de sombrites para a determinação do percentual de sombreamento. C) Apressórios artificiais onde foram colocados os ápices de *S. Stenophyllum* D) Disposição dos Ápices de forma padronizada, de acordo com a hidrodinâmica..... 20

Figura 3. Esquema ilustrativo do sistema da circulação de água do mesocosmos. Vista lateral ilustrando a disposição dos tanques e o sistema de circulação interno, feitos através da utilização de bombas de elevação (Super Pond QBL-2500). A manutenção da temperatura foi realizada através do uso de Chillers (Radical Z31SY)..... 21

Figura 4. Esquema ilustrativo da vista superior do esquema experimental. A cor azul indica os tratamentos com concentração baixa de nutrientes (CBN) e a cor verde indica os tratamentos com Concentração alta de nutrientes (CAN). As linhas escuras sobre os tanques menores indicam a utilização dos sombrites, para atenuar a incidência luminosa. 22

Figura 5. Taxa de crescimento relativa dos indivíduos (%d⁻¹) para os tratamentos com diferentes concentrações de nutrientes (CBN e CAN), ao final do experimento. Cada valor corresponde à média ± desvio padrão (n=3). 25

Figura 6. Fotossíntese Líquida (mg O₂/g MS⁻¹h⁻¹) em diferentes concentrações de nutrientes (CBN e CAN), realizado ao final do experimento. Cada valor corresponde à média ± desvio padrão (n=3). 26

Figura 7. Rendimento Quântico Máximo (Fv/Fm) de <i>S. stenophyllum</i> sob diferentes (a) concentrações de nutrientes (CAN e CBN) e (b) irradiâncias (AI e BI) ao final do experimento (n=3). Cada valor corresponde à média ± desvio padrão (3).	27
Figura 8. Concentração de clorofila <i>a</i> (mg /g MF) nos tratamentos com diferentes irradiâncias (AI e BI) e concentrações de nutrientes (CBN e CAN) realizadas ao final do experimento. As letras minúsculas representam a variação significativa entre os tratamentos (Teste Newman–Keules, ANOVA bifatorial). Cada valor corresponde à média ± desvio padrão.	28
Figura 9. Concentração de Carotenoides Totais (mg/g MF) nos tratamentos com diferentes irradiâncias (AI e BI) e concentrações de nutrientes (CBN e CAN), ao final do experimento. As letras minúsculas representam a variação significativa entre os tratamentos (Teste Newman–Keules, ANOVA bifatorial). Cada valor corresponde à média ± desvio padrão.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados ANOVA bifatorial comparando a taxa de crescimento relativo de *Sargassum stenophyllum* em relação a nutriente e irradiância. Resultados foram obtidos após o término do experimento em cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2. 25

Tabela 2. Resultados ANOVA bifatorial comparando Fotossíntese líquida de *Sargassum stenophyllum* em relação à nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2. 26

Tabela 3. Resultados ANOVA bifatorial comparando parâmetros fotossintéticos (Fv/Fm) de *Sargassum stenophyllum* em relação a nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2. 27

Tabela 4. Resultados ANOVA bifatorial comparando a concentração de Clorofila *a* de *Sargassum stenophyllum* em relação à nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2. 28

Tabela 5. Resultados ANOVA bifatorial comparando a concentração de carotenóides de *Sargassum stenophyllum* em relação à nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2. 29

LISTA DE ABREVEATURAS

CBN: Concentração Baixa de Nutrientes

CAN: Concentração Alta de Nutrientes

AI: Alta irradiância

BI: Baixa irradiância

Clorofila *a*: Clf *a*

Fv/Fm: Rendimento quântico máximo

SUMÁRIO

1. Introdução	15
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3. Materiais e Métodos	18
3.1 Coleta do material	18
3.2 Delineamento Experimental	19
3.3. Medidas de Temperatura e Irradiância	22
3.4. Métodos Analíticos	22
3.4.1. Taxa de crescimento relativo (TCr)	23
3.4.2. Fotossíntese Líquida	23
3.4.3. Análise da fluorescência da clorofila <i>a</i>	23
3.4.4 Extração de Clorofila <i>a</i> e Carotenoides Totais	24
3.4.6 Análises estatísticas	24
4. Resultados	25
4.1. Taxa de Crescimento relativo (TCr)	25
4.2. Fotossíntese Líquida	26
4.3. Rendimento quântico máximo (Fv/Fm)	27
4.4. Clorofila <i>a</i>	28
4.5. Carotenóides totais	29
5. Discussão	30
6. Conclusão	33
7. Referências bibliográficas	34

1. Introdução

Os impactos ambientais gerados pelas atividades antrópicas vêm crescendo juntamente com o aumento da população mundial e urbanização. Os efeitos dessas atividades são mais acentuados em regiões costeiras, já que 60% da população humana vivem próximas a estas áreas (WORM & LOTZE, 2006; HALPERN et al., 2008). O crescimento populacional leva a maior demanda de recursos naturais e conseqüentemente, maior aporte de resíduos e dejetos, que em muitos casos chegam aos oceanos sem tratamento (KOLM et al., 2002; WORM & LOTZE, 2006). Esse fato é especialmente relevante em países subdesenvolvidos, onde o tratamento de esgoto é inadequado ou inexistente (MARQUES et al., 2004). No Brasil, políticas públicas ambientais não receberam a devida atenção durante o crescimento urbano até décadas recentes (TUCCI et al., 2001). Como consequência, a maioria dos municípios brasileiros ainda não possui tratamento de esgoto eficiente e áreas de mitigação de águas de escoamento pluvial (TUCCI et al., 2001). Assim, são normalmente despejados com pouco ou nenhum tratamento em áreas costeiras, impactando comunidades marinhas (MARTINS et al., 2012; MCCLELLAND et al., 1998).

Um dos efeitos negativos do aporte de esgoto sem tratamento nas regiões costeiras é o excesso de nutrientes liberados na coluna d'água, que pode afetar a fisiologia e sobrevivência de organismos marinhos (ADAMS, 2005; GOUVÊA et al., 2017). Os nutrientes inorgânicos dissolvidos, principalmente Nitrogênio (N) e Fósforo (P) são responsáveis pelo crescimento de algas no ambiente marinho (VITOUSEK et al., 1997; HOWARTH et al., 2012; GORDILLO et al., 2002). No entanto, elevadas concentrações desses nutrientes levam a degradação da qualidade da água, podendo ter impactos socioeconômicos (LIU et al., 2014). Outro fator importante relacionado com a poluição é o aumento da turbidez da água, que pode causar diminuição da penetração da luz e, com isso, redução da energia luminosa disponível para a fotossíntese dos organismos marinhos (SMITH, 1999). Dessa forma, afeta diretamente a produção primária do local, já que organismos autotróficos (fitoplâncton, algas e vegetação submersa) dependem da luz para o seu desenvolvimento (GATTUSO et al., 2006). Sendo assim, esse tipo de prática afeta adversamente a produtividade do oceano (BREITBURG et al.,

2018; SMITH et al., 1999), levando à perda da biodiversidade, estrutura e função das comunidades (JOHNSTON et al., 2009; MARTINS et al., 2012; KRUMHANSL et al., 2016).

Macroalgas formadoras de dosséis, que são componentes essenciais para a manutenção da biodiversidade no ambiente costeiro, foram seriamente degradados em diversas áreas costeiras do mundo (CARNEY et al., 2005; SZÉCHY et al., 2017). Desta maneira, a exclusão ou extinção destes produtores primários produz desdobramentos que se propagam através da teia trófica gerando perdas substanciais de fauna em níveis tróficos múltiplos. Esses fatores podem modificar a estrutura da comunidade, ocasionando perda de qualidade ambiental e grandes prejuízos para a indústria aquícola e pesqueira (AIROLDI et al., 2008; HADDAD et al., 2009). Do ponto de vista ecológico, o declínio de habitats na região costeira tornou-se um sério problema ambiental na conservação da biodiversidade costeira e dos recursos pesqueiros (DATE, 2016).

Dentre os principais representantes de macroalgas formadoras de dossel no Brasil, destacam-se as do gênero *Sargassum*. Por serem construtoras de uma estrutura de bosque submerso, desempenham importante papel ecológico na composição e distribuição de comunidades de costões rochosos (JACOBUCCI & LEITE, 2002; SISSINI et al., 2017). Espécies do gênero *Sargassum* (Fucales) ocorrem em águas costeiras tropicais e temperadas em todo o mundo, e também podem dominar a franja do infralitoral do substrato consolidado até vários metros de profundidade (SZÉCHY & PAULA, 2000). As espécies de *Sargassum* formam populações de porte variado que constituem bancos, muitas vezes extensos. Segundo Coimbra (2006), estima-se que o gênero apresente cerca de onze espécies, distribuídas desde o litoral do Estado do Maranhão até o Estado do Rio Grande do Sul. Em algumas localidades da costa do Brasil, representa a alga mais importante em termos de abundância (SZÉCHY & PAULA, 2000; HORTA et al., 2008). Essas algas possuem reconhecida importância ecológica servindo como abrigo, proteção e recurso alimentar para diversas espécies marinhas (SZÉCHY & PAULA, 2000; GIANINI et al., 2013). Há registros de que espécies de *Sargassum* servem de refúgio para algas que crescem sobre seu talo como epífitas, minimizando a ação da herbívora (PEREIRA, 2011). Podem ser consideradas espécies fundadoras ou bioengenheiras. Essas algas constroem e disponibilizam micro-habitats para diversas espécies. Dentre elas organismos sésseis, como algas, hidrozoários, anfípodes, copépodes, alguns peixes, dentre outros (PEREIRA et al., 2011). Outra característica importante atribuída ao gênero *Sargassum*

refere-se à produção de metabólitos secundários. Estes compostos além de prevenirem do estresse oxidativo, reduzem a palatabilidade das algas para os herbívoros, influenciando, assim, a estrutura das populações dos costões rochosos (COIMBRA, 2006; ZUBIA et al., 2008).

Além da importância ecológica da alga, destaca-se o fato de que esta vem sendo utilizada como recurso econômico e biotecnológico (PEREZ et al., 2018). Entre as diversas maneiras de usos, a que desperta um maior interesse comercial é a utilização de *Sargassum* como fonte de alginato. Este é um polissacarídeo que está presente na parede celular das algas pardas e tem uma grande utilização no meio industrial (CROTEAU, 2000). Também é utilizado na indústria têxtil e farmacêutica, como espessante e emulsificante (OLIVEIRA FILHO et al., 1980). Além disso, serve como composto complementar em rações para animais domésticos e criação de peixes (SZÉCHY & PAULA, 2000).

Contudo, declínios da ocorrência desse gênero vem sendo detectados ao longo no território nacional (FALCÃO et al., 2005; SZÉCHY et al., 2017), inclusive no litoral catarinense (BOUZON et al., 2008). Os fatores que levam a redução espacial de bancos de algas marinhas podem ser variados. Por essa razão os mecanismos fisiológicos que ocorrem em condições de estresse e podem levar ao declínio de produtores primários ainda carecem de maiores informações (WILSON et al., 2004). Como *Sargassum* é um gênero de alga parda perene que não é encontrado em ambientes eutrofizados. Entender os fatores de estresse ambiental que levam a perda de biomassa dessas algas é de extrema importância para possíveis programas de restauração ambiental (UNDERWOOD et al., 1988).

O presente trabalho visa contribuir com a compreensão dos impactos causados pelo excesso de nutrientes e oscilação de luz no processo fisiológico de *Sargassum stenophyllum*. Assim, busca-se entender as condições que levam a perda de hábitat, assim como estabelecer relações de causa e consequência mais precisas para prever ou prevenir futuros declínios de biodiversidade contribuindo para uma gestão costeira integrada.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar as respostas ecofisiológicas do *Sargassum stenophyllum* quando submetido a diferentes concentrações de nutrientes e intensidades de irradiâncias.

2.2 Objetivos específicos

1-Realizar experimentos com diferentes concentrações de nutrientes e intensidade de irradiância.

2- Avaliar a taxa de crescimento relativo a partir da variação de biomassa ao longo do período experimental.

3-Medir a taxa de fotossíntese líquida a partir do balanço produção/consumo de O₂.

4- Analisar a performance fotossintética das algas através de medições de rendimento quântico máximo ao final do experimento.

5- Avaliar alterações nas respostas metabólicas das algas após submetidas aos tratamentos quanto aos pigmentos fotossintetizantes (Clorofila *a* e carotenoides), ao final do experimento.

3. Materiais e Métodos

3.1 Coleta do material

Amostras de *Sargassum stenophyllum* foram coletadas em Março de 2016, na Prainha da Barra da Lagoa (27° 34' 40.8" S, 48° 25' 48" O), Florianópolis, Brasil (Fig 1). Foram obtidas medidas

das variáveis abióticas em campo, assim como, irradiância ($623,4 \pm 0,04 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), temperatura da água do mar ($21^\circ\text{C} \pm 1$) e salinidade ($33 \pm 0,5$). Os exemplares de *S. stenophyllum* foram coletados por meio de mergulho livre no costão direito da prainha da Barra de Lagoa.

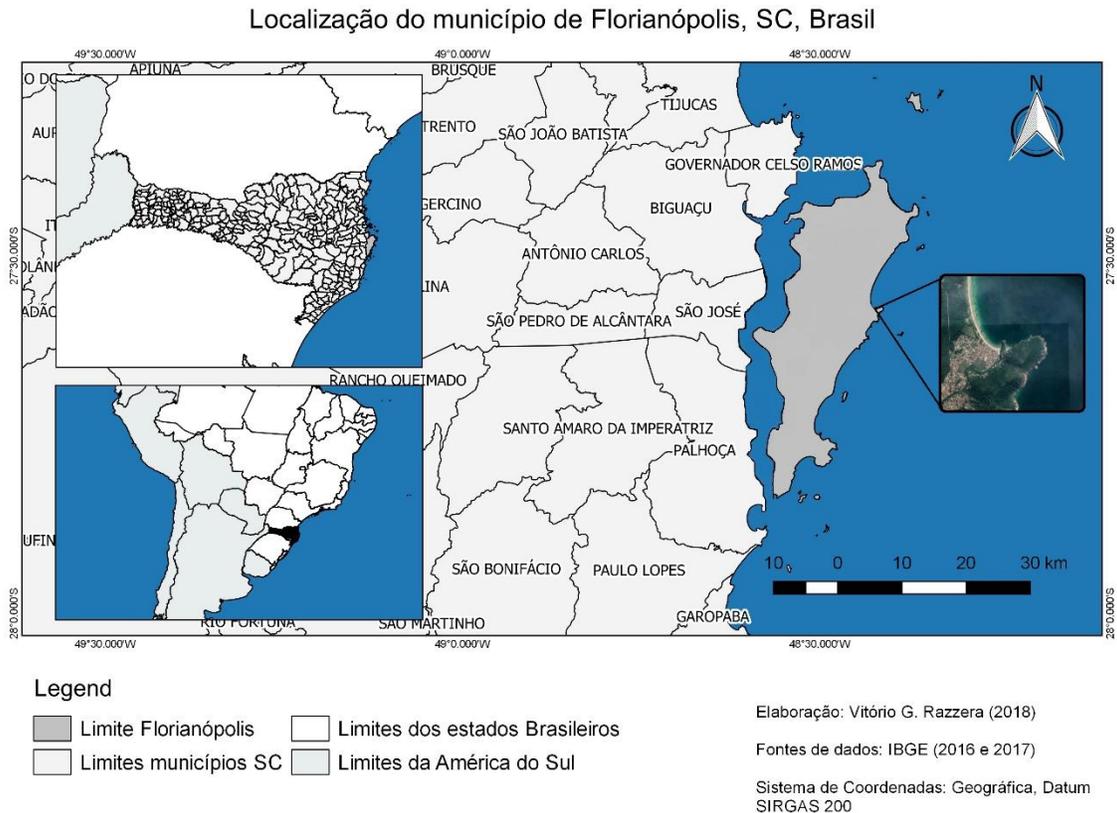


Figura 1. Localização do município de Florianópolis. Em destaque, Prainha da Barra da Lagoa (SC, Brasil). Fonte: IBGE (adaptado).

Após a coleta, as amostras foram transportadas em água salgada, dentro de caixa térmica até o Laboratório de Ficologia (LAFIC), Departamento de Botânica da UFSC. Em laboratório, os ápices de *Sargassum* foram triados para a retirada de epífitas e fauna associadas.

3.2 Delineamento Experimental

Após a triagem em laboratório, todos os ápices foram levados para o sistema de mesocosmos, localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O material triado ($n=10$) por tanque, foi acondicionado em dezenove tanques plásticos de 38 L e mantido sob

aclimatação por sete dias. As condições abióticas de temperatura, salinidade e irradiância semelhantes ao ambiente natural, foram conservadas. Após a aclimatação (Fig. 2 A-B), foram feitas as padronizações da biomassa das algas ($2g \pm 0,1$) por ápice, utilizando balança Semi analítica de precisão (Prix AS 310 R2). O experimento teve duração de sete dias. As algas foram colocadas em apressórios artificiais (Fig. 2 C-D) para melhor simular as condições encontradas em seu ambiente natural. Os apressórios eram formados por uma lâmina de vidro em sua base, um tubo de silicone, um cilindro plástico e um elástico. A lâmina de vidro era fixada ao cilindro plástico que envolvia o tubo de silicone pelo elástico. Esse dispositivo tinha como objetivo manter as plântulas relativamente fixas e não permitir que ficassem soltas flutuando na coluna d'água.



Figura 2. A-D Imagem interna do sistema de mesocosmos, na casa de vegetação. A-B) Disposição dos tanques e testes da estrutura e adição de sombrites para a determinação do percentual de sombreamento. C) Apressórios artificiais onde foram colocados os ápices de *S. Stenophyllum* D) Disposição dos Ápices dentro do tanque, de forma padronizada, de acordo com a hidrodinâmica.

Os tanques no sistema de mesocosmos (Fig. 3) possuíam circulação interna de água através de bombas de elevação, garantindo movimentação e aeração da água durante todo o experimento. A água era distribuída igualmente para cada um dos tanques menores e as temperaturas foram reguladas em 21°C através de Chillers (Radical Z31SY) e aquecedores (Roxin™ Ht 1900 500w), que foram mergulhados nas caixas plásticas inferiores.

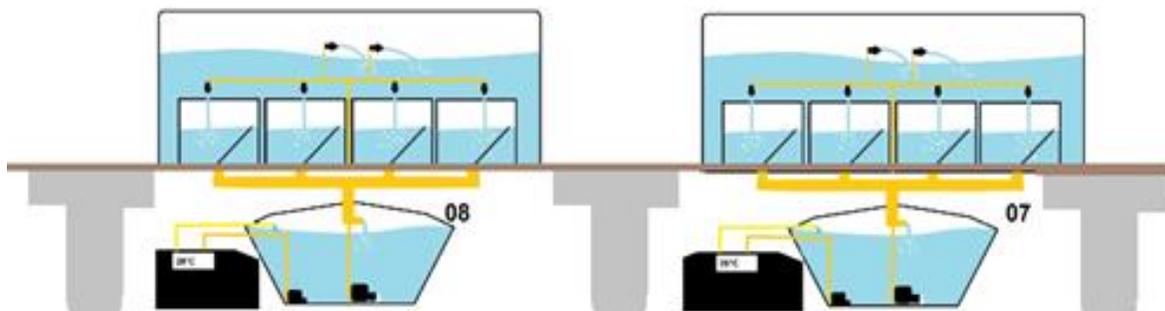


Figura 3. Esquema ilustrativo do sistema da circulação de água do mesocosmos. Vista lateral ilustrando a disposição dos tanques e o sistema de circulação interno, feitos através da utilização de bombas de elevação (Super Pond QBL-2500). A manutenção da temperatura foi realizada através do uso de Chillers (Radical Z31SY).

Foram utilizados dois níveis de irradiância, alta irradiância ($570\mu\text{mol} \pm 0,4$) e baixa irradiância ($250\mu\text{mol} \pm 0,3$). A irradiâncias foram consideradas através das médias máximas obtidas ao meio dia.

A Concentração baixa de nutrientes foi obtida a partir da manutenção de valores de fontes de nitrogênio e fósforo próximas daquelas observadas em ambientes costeiros prístinos (CBN- $0,98\mu\text{M}$ de amônio, $0,51\mu\text{M}$ de fosfato, $0,45\mu\text{M}$ de nitrato), enquanto o tratamento com concentração alta nutrientes (CAN) ($82\mu\text{M}$ de amônio, $6\mu\text{M}$ de fosfato, $61\mu\text{M}$ de nitrato), buscou-se simular valores observados em áreas poluídas por efluentes urbanos do sul do Brasil. A concentração alta de nutrientes foi obtida pela adição de sacos permeáveis de diluição lenta N, P, K que eram inseridas no interior dos tanques. A radiação utilizada foi de fonte natural do ambiente. A adição de sombrites sobre os tanques, foi utilizado para diminuir pela metade da radiação incidente. O fotoperíodo para essa estação do ano (Verão) foi de 13 h de luz e 11 h de escuro. Para a realização do experimento, foi distribuído um total de 192 indivíduos em 24 tanques de 38 L, totalizando 48 indivíduos por tratamento.

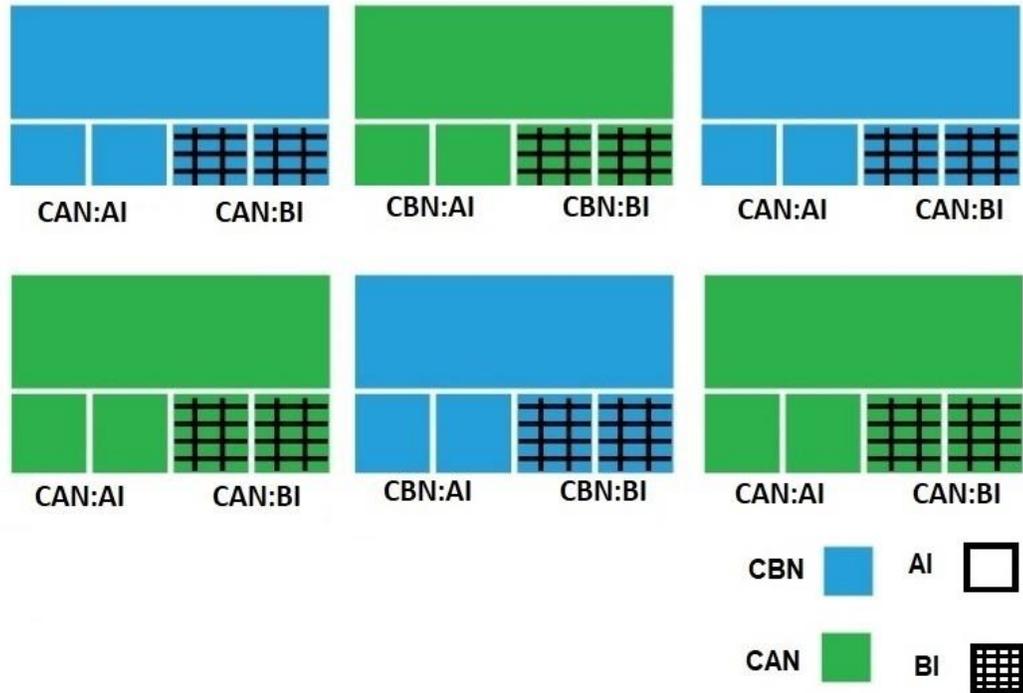


Figura 4. Esquema ilustrativo da vista superior do esquema experimental. A cor azul indica os tratamentos com concentração baixa de nutrientes (CBN) e a cor verde indica os tratamentos com concentração alta de nutrientes (CAN). As linhas escuras sobre os tanques menores indicam a utilização dos sombrites, para atenuar a incidência luminosa.

3.3. Medidas de Temperatura e Irradiância

Irradiância e a temperatura da água nos tanques foram monitoradas por loggers de temperatura e luz (HOBO Pendant® temperature / light).

3.4. Métodos Analíticos

Para avaliar a resposta fisiológica de *S. stenophyllum* aos diferentes tratamentos, foram utilizados parâmetros a partir da taxa de crescimento relativo, Fotossíntese líquida (produção de oxigênio). Assim como fluorescência da clorofila *a* (rendimento quântico máximo), concentração da clorofila *a* e carotenóides. Também foram realizadas análises para obtenção das concentrações dos nutrientes na água do mar.

3.4.1. Taxa de crescimento relativo (TCr)

Os efeitos de diferentes irradiâncias e concentrações de nutrientes no crescimento de *S. stenophyllum* foram avaliados através da diferença entre o peso úmido inicial e final, com balança semi Analítica de precisão (Prix AS 310 R2). Para calcular dos dados de TCr foram obtidas as Massas frescas iniciais (MFi) do experimento, o qual foi estabelecido o peso de 2g para todas as réplicas e obtido os pesos das Massas frescas finais (MFf). A taxa de crescimento foi calculada segundo a fórmula de (LIGNELL & PEDERSÉN, 1989).

$$TCr = [(MFf/MFi)^{1/t} - 1].100$$

Mff=Massa fresca final; Mfi=Massa fresca inicial; t= tempo

3.4.2. Fotossíntese Líquida

A Produção líquida da fotossíntese, foi obtida a partir das medidas de produção de oxigênio (n=4). As incubações foram realizadas em garrafas de vidro cilíndricas de 250 ml durante 15 minutos. As medições foram feitas próximas ao meio dia, com irradiância de (490 μ mol \pm 0,4). As concentrações de oxigênio na água do mar foram obtidas através de oxímetro (Crison OXI-92).

Primeiramente, foi realizada a medida de respiração (escuro) com quatro indivíduos por tratamento. Assim como, medidas as taxas de respiração dos microorganismos (escuro), e taxa de produção dos microorganismos (claro). Em seguida, foram incubadas na luz (n=4), para determinar a fotossíntese líquida. A temperatura foi controlada colocando as garrafas em aquários cobertos por água do mar. A taxa de produção líquida de oxigênio foi calculada de acordo com (LITTLER et al., 1985).

3.4.3. Análise da fluorescência da clorofila *a*

Com o objetivo de analisar o desempenho fotossintético da alga *in vivo*, foi utilizado um *fluorímetro de pulso com amplitude modulada* (Diving PAM underwater fluorometer, Walz, Effeltrich, Gemany). Antes de iniciar o processo, foram avaliadas as condições ideais para a

espécie estudada e então mantidas constantes até o final do experimento (ganho=4 e intensidade da luz de medida=10). A duração dos pulsos foi de 0,8 s.

Para a realização do rendimento quântico máximo (Fv/Fm), escolheu-se aleatoriamente algas de cada tanque (n=8/tratamento) que ficaram aclimatando no escuro por trinta minutos e então deu-se início as medidas, sendo o pulso de luz correspondente a 820 $\mu\text{mol f\u00f3tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

3.4.4 Extração de Clorofila *a* e Carotenoides Totais

Para a extração de clorofila *a* e carotenoides, as amostras foram preparadas segundo (TORRES, 2014). As amostras frescas foram maceradas em nitrogênio líquido (0,2 g, n= 3), colocadas em tubos de vidro e extraídas com 5 ml de metanol. Após 24 horas os tubos foram colocados em centrifuga por 15 minutos a 4500rpm (SIGMA 6-15) em temperatura ambiente. Os pigmentos foram quantificados por espectrofotometria (Biospectro SP 220) para a determinação do teor de clorofila ($\lambda = 665$ e 750 nm) e carotenoides totais ($\lambda = 470, 665, 750$ nm). A concentração de Clorofila *a*, foram calculadas de acordo com Ritchie, 2008. Em todas as extrações as análises foram realizadas em triplicata e os resultados dos carotenoides foram expressos em $\mu\text{g } \beta - \text{caroteno}$ por grama de massa seca.

3.4.6 Análises estatísticas

Para todas as análises, primeiramente os dados foram sujeitos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância (Teste de Cochran).

As variações de clorofila *a*, carotenoides e Fv/Fm, assim como as taxas de Fotossíntese líquida e crescimento relativo, tiveram seus dados submetidos em uma análise de variância (ANOVA) multifatorial (nutrientes e irradiância). Logo, foi realizado, teste de comparação múltipla de Newman-Keuls. O intervalo de confiança e o nível de significância considera do foram de 95% e 5% ($p < 0,05$), respectivamente. As análises de variância foram realizadas no programa R Core Team (2018).

4. Resultados

4.1. Taxa de Crescimento relativo (TCr)

A taxa de crescimento relativo demonstrou diferenças significativas para fator de nutrientes ($p < 0.001$). Os tratamentos CAN apresentaram uma taxa de decrescimento de $(-1,54 \pm 0,34 \%$ ao dia). Por outro lado, os tratamentos CBN, apresentaram as maiores taxas de crescimento relativo, com $(1,28 \pm 0,27 \%$ ao dia) (Fig. 5). Não foram detectadas diferenças significativas para diferentes irradiâncias, nem para a interação entre nutriente e irradiância (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados ANOVA bifatorial comparando a taxa de crescimento relativo de *Sargassum stenophyllum* em relação a nutriente e irradiância. Resultados foram obtidos após o término do experimento em cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito.

Taxa de Crescimento relativo	SS	Degr. Of	MS	F	P
Nutriente	4,53870	1	4,53870	32,6839	0,000446
Irradiância	0,27000	1	0,27000	1,9443	0,200705
Nutriente*Irradiância	0,02803	1	0,02803	0,2019	0,665137

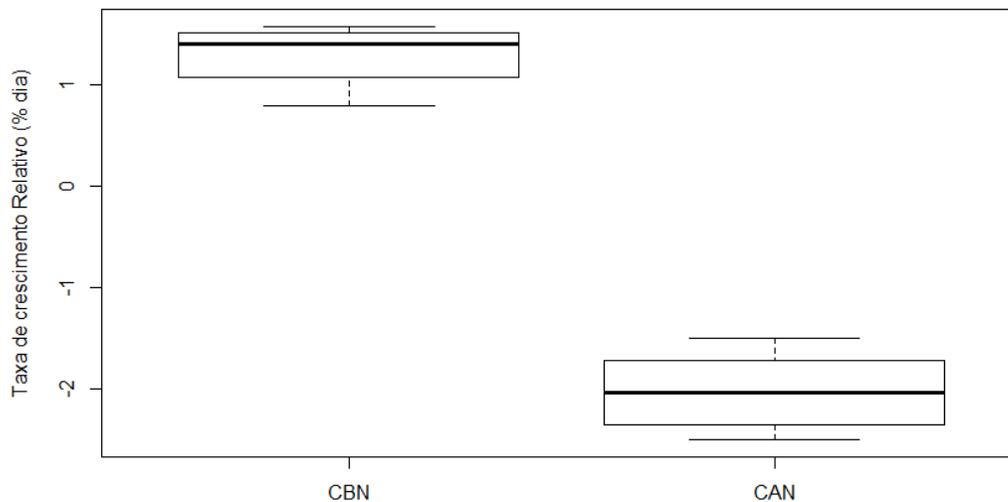


Figura 5. Taxa de crescimento relativa dos indivíduos ($\%d^{-1}$) para os tratamentos com diferentes concentrações de nutrientes (CBN e CAN), ao final do experimento. Cada valor corresponde à média \pm desvio padrão ($n=6$).

4.2. Fotossíntese Líquida

A Fotossíntese líquida demonstrou diferenças significativas apenas para nutrientes ($p < 0.005$). Os tratamentos CAN, apresentaram menor produção de oxigênio com valor médio de ($0,27 \pm 0,16 \text{ mg O}_2/\text{g MS}^{-1}\text{h}^{-1}$). Em contrapartida, os tratamentos CBN, apresentaram valores médios de ($1,41 \pm 0,23 \text{ mg O}_2/\text{g MS}^{-1}\text{h}^{-1}$), sendo essas taxas significativamente maiores (Fig. 6). Não foram detectadas diferenças significativas para irradiâncias, nem para a interação entre nutriente e irradiância (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados ANOVA bifatorial comparando Fotossíntese líquida de *Sargassum stenophyllum* em relação à nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito.

Produção de oxigênio	SS	Degr. Of	MS	F	P
Nutriente	2,727162	1	2,727162	14,23459	0,005443
Irradiância	2,043279	1	2,043279	10,66502	0,111429
Nutriente*Irradiância	0,602581	1	0,602581	3,14521	0,114080

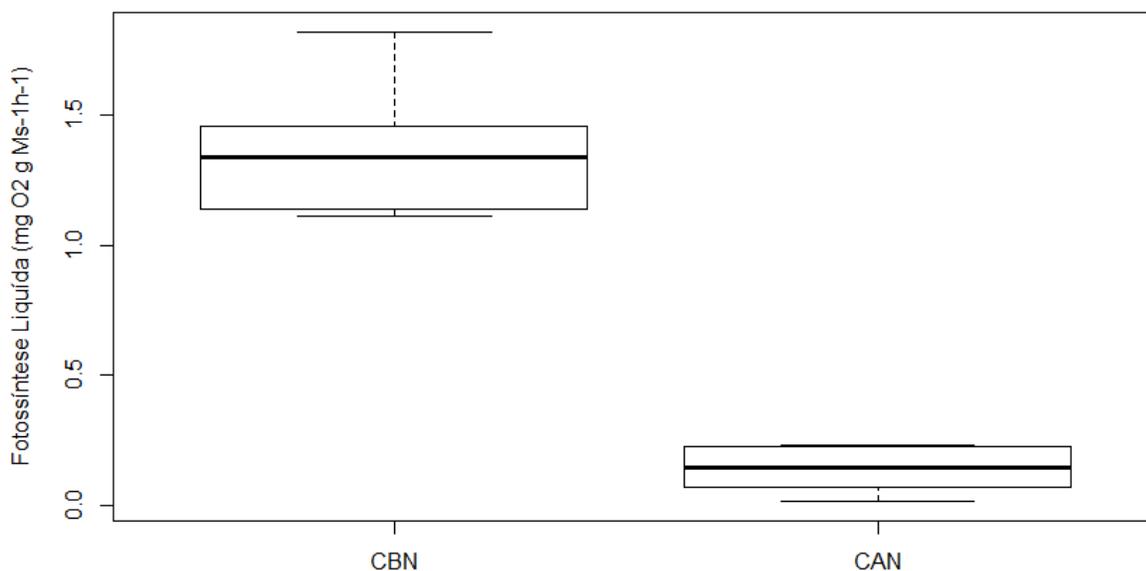


Figura 6. Fotossíntese Líquida ($\text{mg O}_2/\text{g MS}^{-1}\text{h}^{-1}$) em diferentes concentrações de nutrientes (CBN e CAN), realizado ao final do experimento. Cada valor corresponde à média \pm desvio padrão ($n=6$).

4.3. Rendimento quântico máximo (Fv/Fm)

A análise do rendimento quântico máximo demonstrou diferenças significativas para nutrientes e irradiância ($p < 0,001$). No entanto não foram observadas diferenças significativas para a interação entre os dois fatores (Tabela 3). Os maiores valores de rendimento fotossintético ocorreram em tratamentos com CBN (Fig.7a). Em relação as diferentes irradiâncias o maior rendimento quântico máximo se deu no tratamento com BI (fig. 7b).

Tabela 3. Resultados ANOVA bifatorial comparando parâmetros fotossintéticos (Fv/Fm) de *Sargassum stenophyllum* em relação a nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito.

Fv/Fm	SS	Degr. Of	MS	F	P
Nutriente	0,106367	1	0,106367	43,958	0,000002
Irradiância	0,042063	1	0,042063	17,383	0,000473
Nutriente*Irradiância	0,001043	1	0,001043	0,431	0,518872

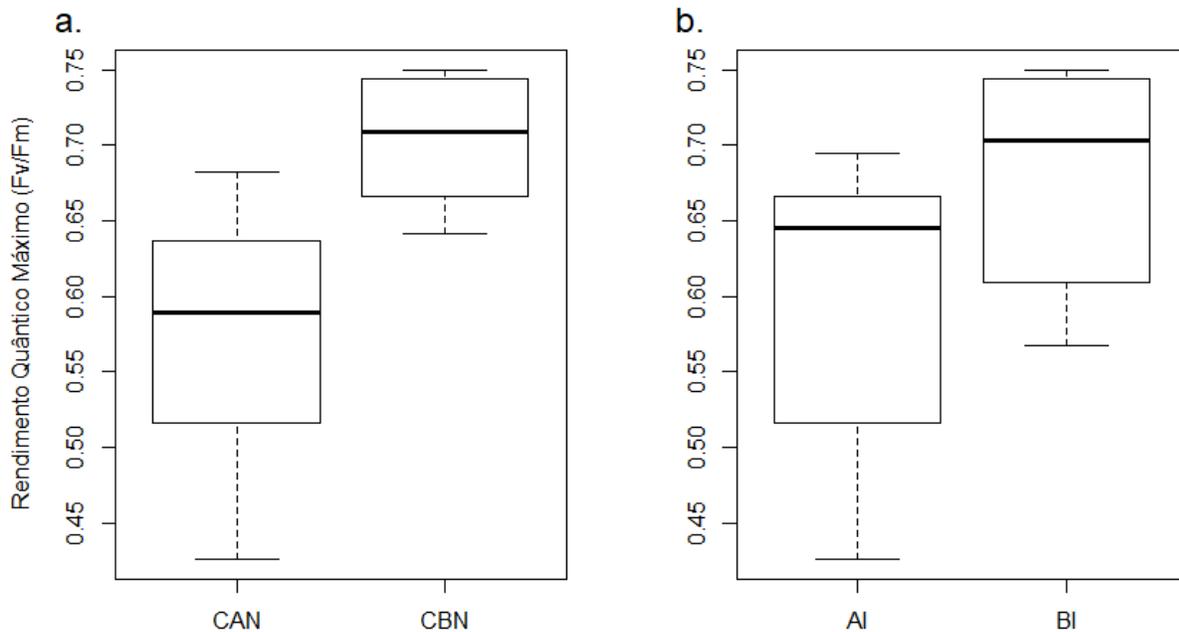


Figura 7. Rendimento Quântico Máximo (Fv/Fm) de *S. stenophyllum* sob diferentes (a) concentrações de nutrientes (CAN e CBN) e (b) irradiâncias (AI e BI) ao final do experimento (n=3). Cada valor corresponde à média \pm desvio padrão (3).

4.4. Clorofila *a*

Na análise de clorofila *a* foram observadas diferenças significativas para a interação entre nutriente e irradiância ($p < 0.002$). O único tratamento que obteve um incremento na concentração de Clf *a* estava submetido a condições de CBN e BI (Fig 8).

Tabela 4. Resultados ANOVA bifatorial comparando a concentração de Clorofila *a* de *Sargassum stenophyllum* em relação à nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito.

Clorofila- <i>a</i>	SS	Degr. Of	MS	F	P
Nutriente	0,003086	1	0,003086	43,36	0,000172
Irradiância	0,000942	1	0,000942	13,24	0,006603
Nutriente*Irradiância	0,00142	1	0,00142	19,95	0,002092

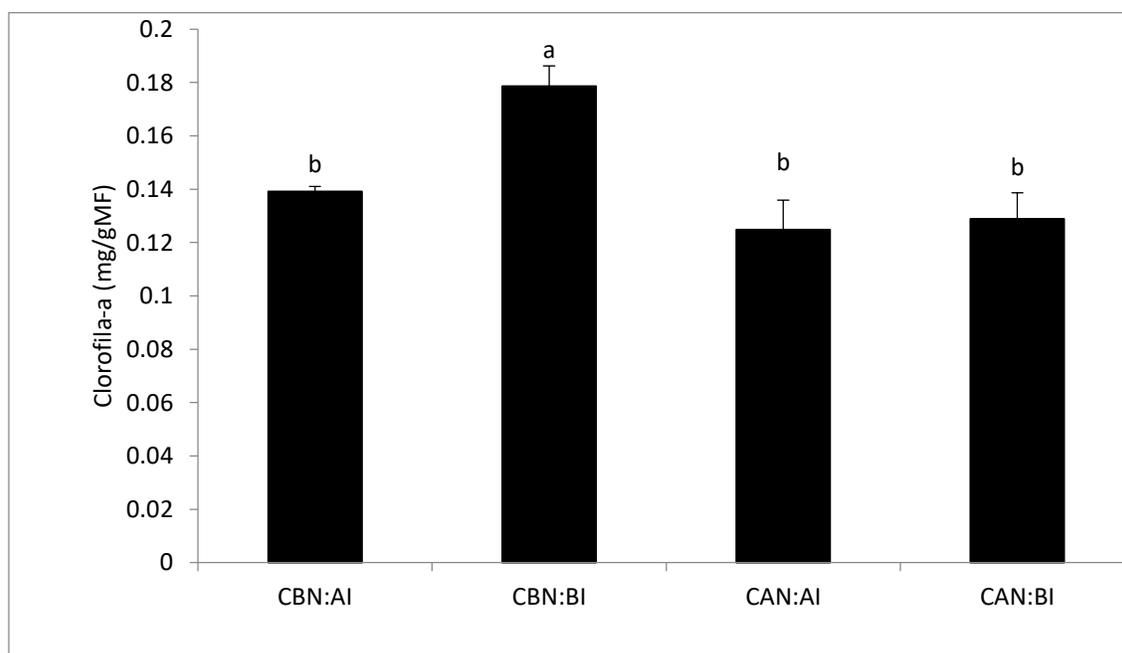


Figura 8. Concentração de clorofila *a* (mg /g MF) nos tratamentos com diferentes irradiâncias (AI e BI) e concentrações de nutrientes (CBN e CAN) realizadas ao final do experimento. As letras minúsculas representam a variação significativa entre os tratamentos (Teste Newman–Keules, ANOVA bifatorial). Cada valor corresponde à média \pm desvio padrão.

4.5. Carotenóides totais

Com relação à concentração de carotenóides, verificou-se diferenças significativas ($p < 0.001$) para os fatores isolados de nutrientes, irradiância e na interação entre os fatores (Tabela 5). Foi detectada diminuição no conteúdo de carotenóides para CAN e AI (Fig 9).

Tabela 5. Resultados ANOVA bifatorial comparando a concentração de carotenóides de *Sargassum stenophyllum* em relação à nutriente e irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento para cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito.

Carotenóides	SS	Degr. Of	MS	F	P
Nutriente	0,00863	1	15,5290	326,839.0	0,00429
Irradiância	0,00090	1	1,62600	19,443.0	0,02380
Nutriente*Irradiância	0,02532	1	45,5660	0,2019	0,00015

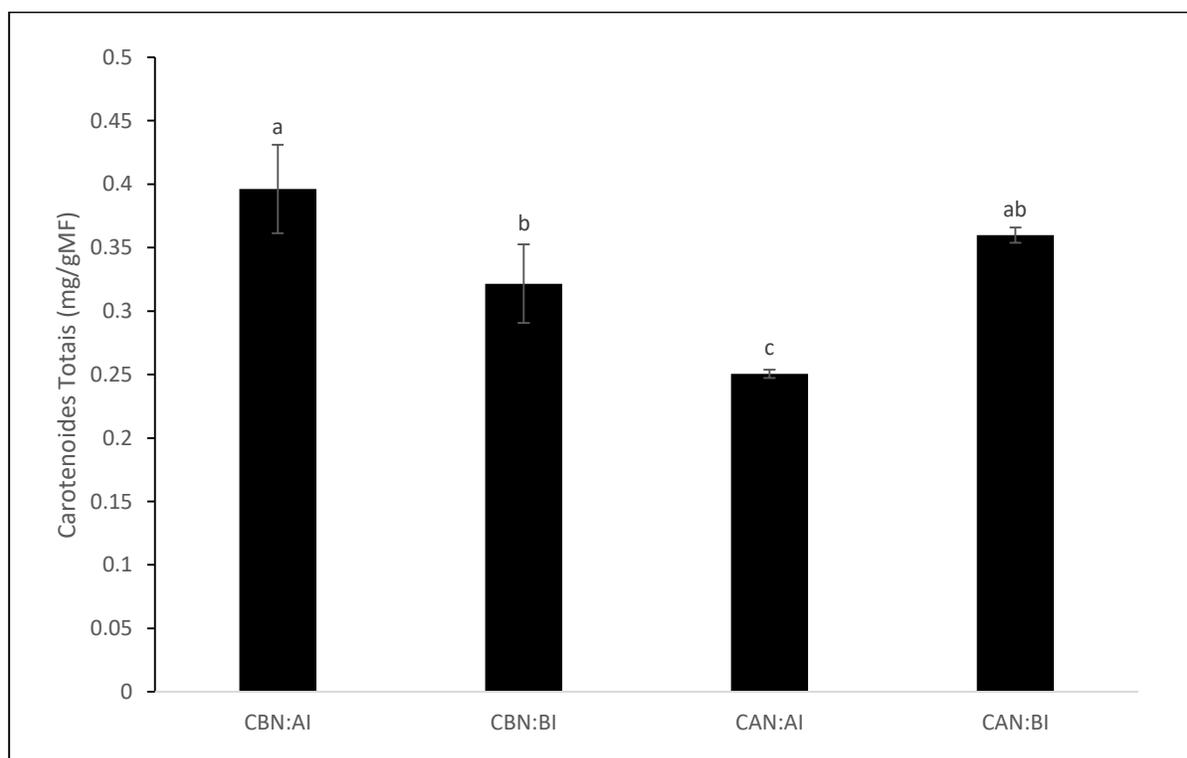


Figura 9. Concentração de Carotenóides Totais (mg/g MF) nos tratamentos com diferentes irradiâncias (AI e BI) e concentrações de nutrientes (CBN e CAN), ao final do experimento. As letras minúsculas representam a variação significativa entre os tratamentos (Teste Newman-Keules, ANOVA bifatorial). Cada valor corresponde à média \pm desvio padrão.

5. Discussão

Os resultados deste estudo mostram que altas concentrações de nutrientes e altas irradiâncias, isolados e em sinergia, interferem na ecofisiologia do *Sargassum stenophyllum*. A limitação da incidência luminosa e aumento da concentração de nutrientes em regiões costeiras vem sendo relacionado a perda de habitat das comunidades marinhas em muitas partes do mundo (ENDO et al., 2017; VALIELA et al., 1992). No atual trabalho foi detectado uma maior taxa de crescimento relativo (TCr) para os tratamentos sem enriquecimento de nutrientes. Esses resultados corroboram com Hoang et al. (2017) que detectou uma taxa média de crescimento de $(1,43 \pm 0,15\%$ ao dia) para *S. spinuligerum* em tratamentos sem enriquecimento por nutrientes. Por outro lado, foi observada uma taxa de decréscimo nos tratamentos com concentração alta de nutrientes (CAN). Provavelmente esses valores estão associados a perda de filoides, que aconteceu com maior intensidade sob CAN. Além da perda de filoides com maior facilidade, as algas apresentavam cloração mais escurecida. Esta coloração pode ser atribuída a degradação de compostos fotossintetizantes analisados neste estudo. Taxas negativas de crescimento também foram encontradas por Liu et al. (2014) que detectou toxicidade com altas concentrações de nitrogênio ($80\mu\text{M}$) para *S. thunbergiis*, inibindo o seu crescimento. Além disso, Wang et al. (2016) observou que concentrações elevadas de nitrogênio ($14,4\text{mg/L}$) e fósforo ($0,45\text{mg/L}$) afetaram negativamente o crescimento e desenvolvimento de estágios iniciais dessa mesma espécie. Efeitos tóxicos de altos níveis de amônia para o crescimento de *Sargassum stenophyllum*, têm sido documentado, variando de $50\ \mu\text{M}$ a concentrações em mM (MCCLELLAND et al., 1998; OGAWA, 1984). Embora, existem fortes evidências de que o acentuado enriquecimento de nutrientes desfavorece a ecofisiologia de algas perenes ou k estrategistas (LIU et al., 2007), respostas positivas aos incrementos de nutrientes por curtos períodos foram observadas no crescimento de *Sargassum baccularia* (Mertens) C. Agardh, tanto no laboratório quanto em campo (SCHAFFELKE et al., 1998).

Os resultados obtidos neste estudo para TCr estão de acordo com os dados de fotossíntese líquida, pois os organismos que cresceram ao longo do experimento, também demonstraram maiores taxas de fotossíntese. E aqueles que decresceram em biomassa devido a situação de eutrofização, obtiveram valores menores com relação à produção primária. A Fotossíntese líquida

foi maior em tratamentos sem adição de nutrientes (CBN). A ausência de efeito significativo do fator irradiância, neste parâmetro, pode ser explicada pela possível foto aclimatação da alga que sintetizou, de maneira geral mais clorofila compensando a variação de irradiância imposta pelo tratamento. A espécie de *Sargassum* estudada foi coletada na região entremarés, área que apresenta grande flutuação da disponibilidade de luz sobre o substrato, seja pela variação da altura da coluna d'água quanto pela rugosidade do substrato que promove áreas de sombra ou de insolação plena. Dessa forma, resultados similares foram obtidos por Howard et al. (1969), que observou fotossíntese líquida de $(1,34 \pm 0,21 \text{ mg O}_2/\text{g ms}^{-1}\text{h}^{-1})$ para *Sargassum natans*, cultivados em água do mar. Assim como, Wanders (1976) que encontrou valores médios de produção de $(1,31 \pm 0,31 \text{ mg O}_2/\text{g Ms}^{-1}\text{h}^{-1})$ para *Sargassum platycarpum* sob condições naturais do ambiente. Entretanto, valores muitas vezes maiores foram encontrados por Feibel et al. (2016) para *S. polyceratium* $(4,11 \pm 0,51 \text{ O}_2 \text{ g Ms mg}^{-1}\text{h}^{-1})$ e *S. pteropleuron* $(2,08 \pm 0,20 \text{ mg O}_2 \text{ g ms}^{-1}\text{h}^{-1})$, coletados na Florida (USA), cultivados em água marinha sem enriquecimento em nutrientes e com irradiâncias de fonte natural $(250 - 840 \text{ } \mu\text{mol of f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1})$. Embora a variação dentro do mesmo gênero seja significativa, as taxas de fotossíntese líquida encontradas no atual trabalho para tratamentos CAN, são expressivamente menores e demonstram o efeito nocivo que taxas elevadas de nutrientes podem exercer sobre a ecofisiologia de *Sargassum stenophyllum*. Outro fator importante que está relacionado ao crescimento da alga é a fluorescência da clorofila (Clf *a*). Em relação ao parâmetro fotossintético analisado, o Fv/Fm que indica a eficiência máxima do fotossistema II (PSII) e é observado após a aclimatação da alga ao escuro, em que os centros de reações estão abertos e a dissipação por calor é mínima. Foi possível observar que CAN e AI apresentaram o menor valor. As algas submetidas ao tratamento CAN obtiveram valores menores $(0,57 \pm 0,07)$, do que encontrados por (HÄDER et al., 2001) para *S. Vulgare* $(0,68 \pm 0,08)$ e para a alga parda *D. dichotoma* $(0,70 \pm 0,05)$. Por sua vez, tais resultados são muito próximo daqueles obtidos para CBN neste estudo. Tais observação corroboram com resultados obtidos por Scherner et al. (2013), que detectaram uma redução na eficiência fotossintética em *Sargassum stenophyllum* quando transplantado para uma área urbanizada, com altas concentrações de nutrientes. Os dados aqui obtidos também corroboram com Parkhill et al. (2001), e sugerem que o rendimento quântico máximo pode ser usado como uma ferramenta para diagnosticar estresse causado por nutrientes em macroalgas. Além do efeito negativo de CAN, podemos observar uma influência expressiva das diferentes irradiâncias. Nos quais os tratamentos sobre AI foram afetados negativamente. Esses

dados vão de acordo com a literatura, pois segundo Halnet (1992) as macroalgas respondem com inibição irreversível quando expostas a excesso de irradiação. A fotoinibição é caracterizada por uma diminuição no transporte de elétrons através do fotossistema II (RENGER et al., 1989) e supostamente protege o aparato fotossintético da radiação excessiva. Dessa forma, os dados observados podem ser consequência de uma estratégia de defesa da alga para evitar o fotodano. Como demonstrado por Hader et al. (1998), embora a maior parte do efeito inibitório pode ser atribuída a luz branca, comprimentos de onda mais curtos causam um efeito inibitório substancial em diversas espécies, especialmente os raios UV-B. Dessa forma é válido salientar que os experimentos ocorreram em uma profundidade muito rasa ($<35 \text{ cm} \pm 1$) e com alta transparência. Devido a isso a influência dos raios UV-B pode ter sido mais expressiva para os tratamentos AI. Assim, é possível que os menores valores de F_v/F_m associados a AI tenham sido consequência da maior incidência de raios de curtos comprimentos de onda.

A variação de fatores como luz e nutrientes no ambiente, requer às algas uma adaptação em seu aparato fotossintético, alterando as proporções e concentrações de compostos fotossintetizantes (ROSENBERG et al., 1982). No atual estudo foi observado que a concentração dos pigmentos de *S. stenophyllum* foi afetada pela interação desses fatores. Ao analisar a concentração de clorofila a ($Clf a$) nos diferentes tratamentos, notou-se um aumento do pigmento para o tratamento CBN e BI. Isso pode ter ocorrido pois CBN é muito próxima das concentrações de seu ambiente natural, e por esse motivo mais $Clf a$ pode ser produzida para aumentar a absorção da luz que foi limitada pela adição de sombrites (BI). Se CAN não fossem estressantes para *S. stenophyllum*, o tratamento CAN e BI também teria incrementado o seu conteúdo de $Clf a$. Fato que não foi observado no atual trabalho, indicando que CAN são estressantes para essa espécie. É importante notar que as algas em CAN apresentavam uma coloração amarronzada. Segundo Steet et al. (1996) a degradação da $Clf a$ pode ser observada pela perda de cor ou pela formação da cor marrom oliva, que são características da feofitina. Com relação ao tratamento CBN e AI não foi detectado um aumento na concentração de $Clf a$, isso pode ter ocorrido já que não teve necessidade de absorver mais luz, uma vez que esta não foi limitada pelos sombrites.

As macroalgas marinhas estão expostas a mudanças bruscas de irradiância. Para evitar danos fotooxidativos e a fotoinibição, provocados pela exposição a esta variável, as macroalgas possuem mecanismos de fotoproteção que operam juntos. Um destes mecanismos está relacionado a produção de carotenoides. Os carotenoides têm como algumas de suas funções a ampliação do

comprimento de onda de luz captado para a fotossíntese e dissipação de energia excessiva (FRANK et al., 1996). Segundo Demming-Adams e Adams (1996) quando estresses ambientais (como aqueles representados pelo excesso de nutrientes e por extremos de irradiância), passam a reduzir a taxa fotossintética da planta, os níveis das xantofilas (grupo dos carotenoides) aumentam. Embora a irradiância em abundância teoricamente ocasionasse um aumento na concentração do pigmento, os tratamentos com CAN e AI produziram menor conteúdo de carotenoides. Esses dados provavelmente estão ligados ao efeito tóxico da alta concentração de nutrientes, que não permitiram a aclimação do aparato fotossintético das algas pelas alta irradiância. De fato, a interação sinérgica entre elevadas concentrações de nutrientes e diferentes irradiâncias promoveram diminuição na concentração pigmentar de *S. stenophyllum*.

A compreensão dos efeitos de estressores locais sobre as macroalgas bentônicas do estado de Santa Catarina é de grande importância pois essa região possui características que beneficiam espécies de algas tropicais, assim como, de ambiente temperado quente. Devido a isso, a região apresenta maior riqueza de espécies de algas no sudoeste do Atlântico (HORTA et al., 2001). O entendimento das causas que levam a redução de uma população são cruciais para a elaboração de um plano de manejo mais eficaz. Essa informação é essencial na construção de um plano de restaurações ambiental ou mesmo de cultivo desses organismos. Além disso, o atual trabalho ajuda a elucidar as consequências negativas da poluição antrópica em ambientes costeiros. Ressaltando o fato de que a negligência com o saneamento básico gera mudanças drásticas nos ecossistemas marinhos, o que leva a perda de bens e serviços dos ecossistemas.

6. Conclusão

Os resultados aqui obtidos, embora possuam limitações em relação ao fato de se tratar de uma simulação em laboratório e não representar toda a complexidade ambiental encontrada no ambiente natural, mostram que a poluição aguda pode causar danos fisiológicos a espécie *Sargassum stenophyllum*. O excesso de nutrientes levou a uma menor taxa de crescimento e levou a um declínio da fotossíntese líquida. Altas irradiâncias e alta concentração de nutrientes ocasionaram um menor rendimento fotossintético e a interação dos fatores levaram a expressivas mudanças no conteúdo pigmentar das algas. Esses resultados nos levam a questionamentos relativos à dimensão dos impactos gerados nos ecossistemas marinhos. Visto que podem afetar drasticamente a sobrevivência de espécies que são verdadeiras estruturadoras de comunidades.

7. Referências bibliográficas

- ADAMS, S. M. Assessing cause and effect of multiple stressors on marine systems. **Marine Pollution Bulletin**, v. 51, n. 8–12, p. 649–657, jan. 2005.
- AIROLDI, L.; BALATA, D.; BECK, M. W. The Gray Zone: Relationships between habitat loss and marine diversity and their applications in conservation. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 366, n. 1–2, p. 8–15, 2008.
- BOUZON, J. L. et al. Aspectos florísticos e fitogeográficos das macroalgas marinhas das baías da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Insula**, n. 35, p. 69–84, 2008.
- BREITBURG, D. et al. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. **Science**, v. 359, n. 6371, p. eaam7240, 5 jan. 2018.
- CARNEY, L. et al. Restoration of the bull kelp *Nereocystis luetkeana* in nearshore rocky habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 302, n. November, p. 49–61, 2005.
- COIMBRA, C. S. Inferências filogenéticas na ordem Fucales (Phaeophyceae), com ênfase no gênero *Sargassum* C . Agardh do Atlântico Sul. p. 75, 2006.
- CROTEAU, R. Natural products (secondary metabolites). **Biochemistry and molecular biology of plants**, v. 24, p. 1250-1319, 2000.
- DATE, H. Current status and problems of lung transplantation in Japan. **Journal of Thoracic Disease**, v. 8, n. S8, p. S631–S636, ago. 2016.
- DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W. W. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. **Trends in Plant Science**, v. 1, n. 1, p. 21–26, jan. 1996.
- ENDO, H. et al. Interactive effects of nutrient availability, temperature, and irradiance on photosynthetic pigments and color of the brown alga *Undaria pinnatifida*. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 3, p. 1683–1693, 2017.
- FALCÃO, C.; MENEZES DE SZÉCHY, M. T. Changes in shallow phytobenthic assemblages in southeastern Brazil, following the replacement of *Sargassum vulgare* (Phaeophyta) by *Caulerpa scalpelliformis* (Chlorophyta). **Botanica Marina**, v. 48, n. 3, p. 208–217, 2005.
- FEIBEL, A. **Productivity and nutrition of Sargassum: A comparative ecophysiological study**

of benthic pelagic species. [s.l: s.n.].

FRANK, H. A.; COGDELL, R. J. Carotenoids in Photosynthesis. **Photochemistry and Photobiology**, v. 63, n. 3, p. 257–264, mar. 1996.

GATTUSO, J.P.; FRANKIGNOULLE, M.; WOLLAST, R. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, n. 1, p. 405-434, 1998.

GIANNI, F., BARTOLINI, F., AIROLDI, L., BALLESTEROS, E., FRANCOUR, P., GUIDETTI, P., MANGIALAJO, L. Conservation and restoration of marine forests in the Mediterranean Sea and the potential role of Marine Protected Areas. *Advances in oceanography and limnology*, 4(2), 83-101.2013.

GORDILLO, Francisco JL; DRING, Matthew J.; SAVIDGE, Graham. Nitrate and phosphate uptake characteristics of three species of brown algae cultured at low salinity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 234, p. 111-118, 2002.

GOUVÊA, L. P. et al. Interactive effects of marine heatwaves and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. 5, p. 2056–2075, 2017.

HADDAD, N. M. et al. Plant species loss decreases arthropod diversity and shifts trophic structure. **Ecology Letters**, v. 12, n. 10, p. 1029–1039, 2009.

HÄDER, D.-P.; PORST, M.; LEBERT, M. Photosynthetic performance of the Atlantic brown macroalgae, *Cystoseira abies-marina*, *Dictyota dichotoma* and *Sargassum vulgare*, measured in Gran Canaria on site. **Environmental and Experimental Botany**, v. 45, n. 1, p. 21–32, fev. 2001.

HÄDER, D. P.; PORST, M.; SANTAS, R. Photoinhibition by solar radiation in the Mediterranean alga *Peyssonnelia squamata* measured on site. **Plant Ecology**, v. 139, n. 2, p. 167–175, 1998.

HALPERN, B. S., WALBRIDGE, S., SELKOE, K. A., KAPPEL, C. V., MICHELI, F., D'AGROSA, C. A global map of human impact on marine ecosystems. **Science**, v. 319, n. 5865, p. 948-952, 2008.

HANELT, D. Photoinhibition of photosynthesis in marine macrophytes of the South China Sea.

Marine Ecology Progress Series, v. 82, n. 1986, p. 199–206, 1992.

HOANG, T. C.; FOTEDAR, R.; O'LEARY, M. Effect of nutrient media and initial biomass on growth rate and nutrient uptake of *Sargassum spinuligerum* (Sargassaceae, Phaeophyta). **Turkish Journal of Biology**, v. 41, n. 5, p. 808–815, 2017.

HORTA, P. A. et al. Composição e estrutura do fitobentos do infralitoral da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, Santa Catarina, Brasil - implicações para a conservação. **Oecologia Australis**, v. 12, n. 02, p. 243–257, 2008.

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(3), 243–265, 2001.

HOWARD, K. L.; MENZIES, R. J. Distribution and Production of *Sargassum* in the Waters off the Carolina Coast. **Botanica Marina**, v. 12, n. 1–4, p. 244–254, 1969.

HOWARTH, R. et al. Nitrogen fluxes from the landscape are controlled by net anthropogenic nitrogen inputs and by climate. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 1, p. 37–43, fev. 2012.

WANDERS, J. B. W. The role of benthic algae in the shallow reef of Curacao (Netherlands Antilles). I: Primary productivity in the coral reef. **Aquatic Botany**, v. 2, p. 235–270, 1976.

JACOBUCCI, G. B.; LEITE, F. P. P. Distribuição vertical e flutuação sazonal da macrofauna vágil associada a *Sargassum cymosum* C. Agardh, na praia do Lázaro, Ubatuba, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. suppl 1, p. 87–100, jul. 2002.

JOHNSTON, E. L.; ROBERTS, D. A. Contaminants reduce the richness and evenness of marine communities : A review and. **Environmental Pollution**, n. June, 2009.

KOLM, H. E. et al. Spatial Variation of Bacteria in Surface Waters of Paranaguá and Antonina Bays, Paraná, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 1, p. 27–34, mar. 2002.

KRUMHANSL, K.; JAMIESON, R.; KRKOSEK, W. Using species traits to assess human impacts on near shore benthic ecosystems in the Canadian Arctic. **Ecological indicators**, v. 60, p. 495-

502, 2016.

LIGNELL, Å.; PEDERSÉN, M. Agar Composition as a Function of Morphology and Growth Rate. Studies on Some Morphological Strains of *Gracilaria secundata* and *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta). **Botanica Marina**, v. 32, n. 3, p. 219–227, 1989.

LIU, D. et al. The Impact of Sewage Discharge on the Macroalgae Community in the Yellow Sea Coastal Area Around Qingdao, China. **Water, Air, & Soil Pollution: Focus**, v. 7, n. 6, p. 683–692, 25 nov. 2007.

LIU, Y. et al. Science of the Total Environment Quantitative evaluation of lake eutrophication responses under alternative water diversion scenarios : A water quality modeling based statistical analysis approach. **Science of the Total Environment**, v. 468–469, p. 219–227, 2014.

LIU, Y.; TAN, H. Changes of Growth and Nutrient-relating Enzymatic Activities of *Sargassum thunbergii* When Exposed to Different Nutrient Conditions. **Aquatic Science and Technology**, v. 2, n. 2, p. 1, 1 jul. 2014.

MARQUES, M. et al. Water Environments : Anthropogenic Pressures and Ecosystem Changes in the Atlantic Drainage Basins of Brazil. **Journal of the Human Environment**, v. 33, n. 1, p. 68–77, 2004.

MARTINS, C. D. L. et al. The impact of coastal urbanization on the structure of phyto-benthic communities in southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 4, p. 772–778, 2012.

MCCLELLAND, J.; VALIELA, I. Changes in food web structure under the influence of increased anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. **Marine Ecology Progress Series**, v. 168, p. 259–271, 1998.

OGAWA, H. Effects of treated municipal wastewater on the early development of sargassaceous plants. **Hydrobiologia**, v. 116–117, n. 1, p. 389–392, set. 1984.

OLIVEIRA FILHO, E. C.; DE PAULA, E. J. Aspectos fenológicos de duas populações de *Sargassum cymosum* (Phaeophyta-Fucales) do litoral de São Paulo, Brasil. **Boletim de Botânica**, v. 8, p. 21-39, 1980.

PARKHILL, J. P.; MAILLET, G.; CULLEN, J. J. Fluorescence-based maximal quantum yield for

PSII as a diagnostic of nutrient stress. **Journal of Phycology**, v. 37, n. 4, p. 517–529, 28 ago. 2001.

PEREIRA, P. H. C.; DE BIASI, P.; JACOBUCCI, G. Dinâmica populacional e distribuição espacial de *Tricolia affinis* (Mollusca: Gastropoda) associados a *Sargassum* spp. no litoral norte de São Paulo. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 12, n. 1, 2011.

PEREZ, C. M. T. et al. Bacterial laminarinase for application in ethanol production from brown algae *Sargassum* sp. using halotolerant yeast. **Biofuel Research Journal**, v. 5, n. 1, p. 792–797, 1 mar. 2018.

RENGER, G. et al. ON THE MECHANISM OF PHOTOSYSTEM II DETERIORATION BY UV-B IRRADIATION. **Photochemistry and Photobiology**, v. 49, n. 1, p. 97–105, jan. 1989.

RITCHIE, R. J. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. **Photosynthetica**, v. 46, n. 1, p. 115–126, mar. 2008.

ROSENBERG, C.; RAMUS, J. Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): Soluble nitrogen and reserve carbohydrates. **Marine Biology**, v. 66, n. 3, p. 251–259, maio 1992.

SCHAFFELKE, B.; KLUMPP, D. Short-term nutrient pulses enhance growth and photosynthesis of the coral reef macroalga *Sargassum baccularia*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 170, p. 95–105, 1998.

SCHERNER, F. et al. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 76, n. 1–2, p. 106–115, nov. 2013a.

SCHERNER, F. et al. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 76, n. 1–2, p. 106–115, nov. 2013b.

SISSINI, M. N. et al. The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean – likely scenarios. **Phycologia**, v. 56, n. March, p. 321–328, 2017.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, v. 100, n. 1–3, p. 179–196, 1999.

STEET, J. A.; TONG, C. H. Degradation Kinetics of Green Color and Chlorophylls in Peas by Colorimetry and HPLC. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 5, p. 924–928, set. 1996.

SZÉCHY, M.T.M; PAULA, E. J. Padrões estruturais quantitativos de bancos de Sargassum (Phaeophyta, Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 2, p. 121-132, 2000.

SZÉCHY, M. T. M. DE; KOUTSOUKOS, V. DE S.; BARBOZA, C. A. DE M. Long-term decline of brown algal assemblages from southern Brazil under the influence of a nuclear power plant. **Ecological Indicators**, v. 80, n. September 2016, p. 258–267, 2017.

TORRES., ET AL. Standardization of a protocol to extract and analyze chlorophyll a and carotenoids in *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui*. zhang and xia (rhodophyta). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 1, p. 57–63, 2014.

TUCCI, C.E.M., Hespanhol, I., Netto, O. de M.C. Gestão da Água no Brasil. Brasília: **UNESCO**, 156p. 2001.

Underwood, UNDERWOOD, GRAHAM JC; PHILLIPS, James; SAUNDERS, Karen. Distribution of estuarine benthic diatom species along salinity and nutrient gradients. **European Journal of Phycology**, v. 33, n. 2, p. 173-183, 1998.

VALIELA, I. et al. Couplings of Watersheds and Coastal Waters: Sources and Consequences of Nutrient Enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts. **Estuaries**, v. 15, n. 4, p. 443, 1992.

VITOUSEK, P. M., MOONEY, H. A., LUBCHENCO, J., MELILLO, J. M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

WANG, Z.; YU, Q.; TAN, H. Effects of Different Concentrations of Nitrogen and Phosphate on Growth of *Sargassum thunbergii* Germlings (Phaeophyta). **Aquatic Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 1, 15 maio 2016.

WILSON, S., BLAKE, C., BERGES, J. A., MAGGS, C. A. . Environmental tolerances of free-

living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. *Biological Conservation*, 120(2), 279-289. 2004.

WORM, B.; LOTZE, H. K. Effects of eutrophication, grazing, and algal blooms on rocky shores. **Limnology and oceanography**, v. 51, n. 1part2, p. 569-579, 2006.

ZUBIA, M.; PAYRI, C.; DESLANDES, E. Alginate, mannitol, phenolic compounds and biological activities of two range-extending brown algae, *Sargassum mangarevense* and *Turbinaria ornata* (Phaeophyta: Fucales), from Tahiti (French Polynesia). **Journal of Applied Phycology**, v. 20, n. 6, p. 1033–1043, 19 dez. 2008.

