

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

Ingra Malucelli Barbosa

**EFEITOS DA QUALIDADE DE RADIAÇÃO NA FISIOLOGIA DE *Chondracanthus
teedei* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA)**

FLORIANÓPOLIS – SC

2019

Ingra Malucelli Barbosa

EFEITOS DA QUALIDADE DE RADIAÇÃO NA FISIOLOGIA DE *Chondracanthus teedei* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA)

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito básico para a obtenção do Grau de
Bacharel do Curso de Oceanografia.**

**Orientador: José Bonomi Barufi
Coorientadora: Geniane Schneider**

FLORIANÓPOLIS – SC

2019

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Ingra Malucelli Barbosa

EFEITOS DA QUALIDADE DE RADIAÇÃO NA FISIOLOGIA DE *Chondracanthus teedei* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA)

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Oceanógrafa” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia

Florianópolis, 26 de junho, 2019.

Prof.^a Dr.^a Juliana Leonel
Coordenadora do Curso

Prof. Dr. José Bonomi Barufi
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Dr.^a Leila Hayashi
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Eduardo de Oliveira Bastos
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família por sempre me apoiar e incentivar a ir mais longe (às vezes literalmente).

À minha segunda família de amigas Equiperigo que, cada uma sensacional em seu próprio modo, me ensinaram que a vida é muito mais interessante com pessoas distintas perto de você.

Aos meus amigos que mesmo distantes moldaram a pessoa que sou hoje e vão sempre ter um lugar especial no meu coração.

Ao meu orientador José Bonomi Barufi, por me dar a liberdade em fazer o que quero, me ajudar quando tudo dá errado e me incentivar a permanecer otimista sempre.

À minha coorientadora Geniane, por me ajudar com toda e qualquer dúvida, além de me inspirar em continuar neste projeto, mesmo quando tudo parecia ir por água abaixo.

À Bruna, à Melissa e à Carolina, por me ajudarem no experimento, e a toda equipe do LAFIC pelo apoio nesse ano inteiro.

Aos que não estão mais entre nós, mas que tive a felicidade de poder dividir parte da minha vida com.

E por último a todos os professores que fizeram parte de minha formação, em especial minha tia Solange e minha avó Jacy que, além de me ensinarem muito mais do que pode ser aprendido em sala de aula, me ensinaram a valorizar toda a dedicação e importância desses profissionais.

“Water is fluid, soft, and yielding. But water will wear away rock, which is rigid and cannot yield. As a rule, whatever is fluid, soft, and yielding will overcome whatever is rigid and hard. This is another paradox: what is soft is strong.”

Lao Tzu

RESUMO

O efeito de espectros monocromáticos da radiação fotossinteticamente ativa sobre algas pode ser explorado para estimular a síntese de compostos ou acelerar o crescimento de algas de interesse econômico. No Brasil a macroalga vermelha *Chondracanthus teedei* (Mertens ex Roth) Kützinger é de interesse econômico devido a sua utilização na indústria alimentícia e a alta concentração de carragenana em sua biomassa, quando comparada a outras algas brasileiras. Foi realizada uma curva fotossíntese x irradiância (PI) e *C. teedei* foi aclimatada por lâmpadas fluorescentes a irradiância de 120 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante sete dias. Ap\u00f3s a aclima\u00e7\u00e3o, a irradi\u00e2ncia fornecida pelas lâmpadas fluorescentes foi enriquecida por 20 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de irradi\u00e2ncia monocrom\u00e1tica advinda de lâmpadas LED coloridas (cores branca, azul, verde, vermelha e amarela) durante sete dias (per\u00edodo 1). Ao fim desse per\u00edodo foram medidos teor de carragenana e taxa de crescimento relativo. Em seguida as algas ficaram somente sobre o efeito da radia\u00e7\u00e3o monocrom\u00e1tica durante 24h (per\u00edodo 2). Durante os tratamentos foram avaliados taxa de transporte de el\u00e9tron (ETR) e rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo (F_v/F_m). Teores de clorofila *a*, ficocianina, ficoeritrina e compostos antioxidantes foram obtidos no in\u00edcio e fim de cada per\u00edodo. No per\u00edodo 1 houve diferen\u00e7a significativa do tempo e tratamento para a ETR. O teor de carragenana encontrado nos tratamentos de enriquecimento de espectro de radia\u00e7\u00e3o de luz amarela, branca e no controle foram significativamente maiores do que os sob enriquecimento de luz verde, azul e vermelha. No segundo per\u00edodo F_v/F_m apresentou diminui\u00e7\u00e3o sob todos os tratamentos e a ETR aumentou somente sob o tratamento de luz azul. A maior taxa de crescimento foi sob o enriquecimento do espectro de radia\u00e7\u00e3o da luz vermelha, mas o estudo sugere que irradi\u00e2ncias monocrom\u00e1ticas n\u00e3o incentivaram a s\u00edntese de compostos de interesse econ\u00f4mico em *C. teedei* durante o per\u00edodo experimental.

Palavras chave: *Chondracanthus teedei*, irradi\u00e2ncia, qualidade de luz, carragenana, fisiologia.

ABSTRACT

The effect of monochromatic spectra of photosynthetically active radiation on algae can be explored to stimulate the synthesis of compounds or accelerate the growth of algae of economic interest. In Brazil the red seaweed *Chondracanthus teedei* (Mertens ex Roth) Kützing has an economic potential due to its use in the food industry and high concentration of carrageenan in its biomass, when compared to other Brazilian algae. A photosynthesis x irradiance (PI) curve established that *C. teedei* was to be acclimated by fluorescence lamps at the irradiance of 120 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for seven days. After that period the irradiance provided by the fluorescent lamps was enriched by 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of monochromatic irradiance from colored LED lamps (white, blue, green, red and yellow) for seven days (1st period). At the end of the 1st period, carrageenan content and relative growth rate were measured. Afterwards the fluorescent lamps were switched off and the algae were left for 24h under the effect of monochromatic radiation (2nd period). During the treatments the electron transport rate (ETR) and maximum quantum yield (F_v/F_m) were measured. Chlorophyll *a*, phycocyanin, phycoerythrin and antioxidant compounds yield were measured at the beginning and end of every period. In the 1st period there was a significant difference at the parameters time and treatment for ETR. Algae under control, and the treatments of enrichment of yellow and white light radiation spectrum had significantly higher carrageenan yield than those under green, blue and red light spectra enrichment. In the second period F_v/F_m decreased under all treatments and ETR increased only under blue light treatment. The highest growth rate was under enrichment of the red light radiation spectrum, but the study suggests that monochromatic irradiance did not encourage the synthesis of compounds of economic interest in *C. teedei* during the experimental period.

Key words: *Chondracanthus teedei*, irradiance, light quality, carrageenan, physiology

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Espectro de luz visível e comprimento de onda de cores de luz monocromáticas. Maiores comprimentos de onda são menos energéticos do que menores comprimentos. Adaptada de science.nasa.gov/ems/09visiblelight.....9
- Figura 2.** A) *Chondracanthus teedei*. B) Presença de *Chondracanthus teedei* na região entre marés do costão da Praia de Itaperubá (Norte), em Imbituba, SC..... 15
- Figura 3.** Esquema ilustrando todo o período de tratamento das algas. A aclimação foram os 7 dias anteriores ao início do experimento. No período 1 o tratamento foi de enriquecimento da luz fluorescente com luz LED e no período 2 o tratamento foi somente com as lâmpadas LED..... 19
- Figura 4.** A) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz amarela (FL + YE). B) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz vermelha (FL + RD). C) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz branca (FL + WH). D) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz verde (FL + GR). E) Tratamento de luz fluorescente (FL). F) Tratamento de luz fluorescente com enriquecimento com luz azul (FL + BL). G) Tratamento de luz monocromática amarela (YE). H) Tratamento de luz monocromática vermelha (RD). I) Tratamento de luz monocromática branca (WH). J) Tratamento de luz monocromática verde (GR). K) Tratamento de luz monocromática azul (BL).....20
- Figura 5.** Quantidade de compostos antioxidantes na amostra dada em miligrama de ácido ascórbico por grama de massa seca. Com exceção do tratamento somente com luz fluorescente (FL), os tratamentos do dia 7 representam tratamento com lâmpadas fluorescentes enriquecido com luzes LED coloridas (FL + LED). Tratamentos do dia 8 são referentes somente a lâmpadas LED coloridas. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).....25
- Figura 6.** Taxa de crescimento relativo (RGR) de *Chondracanthus teedei* do dia 0 ao dia 7 de acordo com o tratamento. Os tratamentos correspondem ao controle (FL) e lâmpadas fluorescentes enriquecidas de luz LED colorida (FL + LED). Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).....27
- Figura 7.** A) Média dos valores de ETR obtidos para cada tratamento na primeira fase do experimento, após 12h de exposição ao controle (FL) e tratamentos de lâmpadas fluorescentes enriquecidas com espectro de radiação fornecida por LED colorida (FL + LED) nos dias 0, 1 e 7 (à direita). B) Média dos valores de ETR obtidos após 6 h e 12 h de exposição das algas aos tratamentos de luzes coloridas (LED) no dia 8. WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED

verde), RD (LED vermelha) e YE (LED amarela). FL: lâmpadas fluorescentes. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK)...28

Figura 8. Média dos valores de F_v/F_m (rendimento quântico máximo) obtidos no dia 8 do experimento, às 0 h e 24 h de exposição das algas aos tratamentos de luzes coloridas (LED) no dia 8. WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE. (LED amarela). O desvio padrão não foi inserido nas figuras para melhor observação das mesmas. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).....29

Figura 9. Teor de carragenana nas amostras, dado em miligramas de carragenana por grama de alga seca para cada tratamento no dia 7. Os tratamentos correspondem ao controle (FL) e lâmpadas fluorescentes enriquecidas de luz LED colorida (FL + LED). A linha em negrito e as pontilhadas representam a quantidade de carragenana encontrada na amostra inicial e o desvio padrão. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK). WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE. (LED amarela).31

Figura 10. Quantidade de compostos antioxidantes na amostra dada em miligrama de ácido ascórbico por grama de massa seca. Com exceção do tratamento somente com luz fluorescente (FL), os tratamentos do dia 7 representam tratamento com lâmpadas fluorescentes enriquecido com luzes LED coloridas (FL + LED). Tratamentos do dia 8 são referentes somente a lâmpadas LED coloridas. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).....32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises de variância dos parâmetros avaliados para os tratamentos, o tempo e a sinergia dos dois. Análises estatísticas do tratamento de enriquecimento do espectro de radiação das lâmpadas fluorescentes com lâmpadas coloridas, referentes aos dados dos dias 0 ao 7 estão no “Dia 7”. Análises estatísticas do tratamento somente com lâmpadas coloridas estão no “Dia 8” e correspondem aos dados do dia 8. Resultados que demonstraram diferença para a probabilidade de significância ($p < 0,05$) estão representados na tabela em negrito. ETR: taxa de transporte de elétrons ($\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$); F_v/F_m : rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo; RGR: taxa de crescimento relativo ($\% \text{ dia}^{-1}$); Chl *a*: clorofila *a* (mg.g^{-1} MS); PC: ficocianina (mg.g^{-1} MS); PE: ficoeritrina; RSA: compostos antioxidantes (mg.g^{-1} MS).....26

Tabela 2. M\u00e9dia e desvio padr\u00e3o de clorofila *a* (Chl *a* em mg.g^{-1} massa seca), ficocianina (PC em mg.g^{-1} massa seca), ficoeritrina (PE em mg.g^{-1} massa seca) e compostos antioxidantes (RSA em mg.g^{-1} massa seca). An\u00e1lises estat\u00edsticas do tratamento de enriquecimento das lâmpadas fluorescentes com lâmpadas coloridas, referentes aos dados dos dias 0 ao 7 est\u00e3o no “Dia 0 - 7”. An\u00e1lises estat\u00edsticas do tratamento somente com lâmpadas coloridas est\u00e3o no “Dia 8, 0 – 24h” e correspondem aos dados do dia 8. Resultados que demonstraram diferen\u00e7a para a probabilidade de signific\u00e2ncia ($p < 0,05$) est\u00e3o representados na tabela em negrito. Par\u00e2metros representados por letras diferentes apresentaram diferen\u00e7as significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK). FL: lâmpadas fluorescentes. WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE (LED amarela).....30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS: absorvância

ABS: absorvância

ANOVA: análise de variância

BL: tratamento de luz LED azul

Chl *a*: clorofila *a*

ETR: taxa de transporte de elétrons

ETR_{max}: taxa de transporte de elétrons máxima

F_m: fluorescência máxima, medida em amostra pré-aclimatada no escuro

F_m' : fluorescência máxima de saturação

F_o: fluorescência basal

F_v: fluorescência variável

F_v/F_m: rendimento quântico máximo

FL: tratamento de luz fluorescente

GR: tratamento de luz LED verde

I: irradiância

L/D: período iluminado e período escuro

LED: Light Emitting Diode

MAAs: aminoácidos do tipo micosporinas

MF: massa fresca

MS: massa seca

PAM: fluorômetro de pulso de amplitude modulada

PAR: radiação ativa para a fotossíntese

PBP: ficobiliproteínas

PC: ficocianina

PE: ficoeritrina

PSII: fotossistema II

RD: tratamento de luz LED vermelha

RGR: taxa de crescimento relativo

RSA: compostos antioxidantes

UV-A: radiação ultravioleta A

UV-B: radiação ultravioleta B

UV-C: radiação ultravioleta C

UVR: radiação ultravioleta

VS: solução de enriquecimento de nutrientes de Von Stosch

WH: tratamento de luz LED branca

YE: tratamento de luz LED amarela

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 CURVA PI E ATIVIDADE FOTOSSINTETIZANTE A PARTIR DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i> E EVOLUÇÃO DO OXIGÊNIO	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA.....	15
3.2 CURVA PI E ATIVIDADE FOTOSSINTETIZANTE.....	15
3.3 EXPERIMENTO COM RADIAÇÕES MONOCROMÁTICAS	17
3.4 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS	20
3.4.1 Cálculo da taxa de crescimento relativo (RGR) e relação massa fresca/massa seca.....	20
3.4.2 Quantificação de ficocianina (PC), ficoeritrina (FE) e clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>).	21
3.4.3 Quantificação de carragenana.....	22
3.4.4 Quantificação de compostos antioxidantes (RSA).....	22
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	23
4 RESULTADOS.....	23
4.1 CURVAS FOTOSSÍNTESE x IRRADIÂNCIA E ETR x OXIGÊNIO.....	23
4.2 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	25
4.2.1 Taxa de crescimento relativo (RGR).....	27
4.2.2 Taxa de transporte de elétron (ETR).....	27
4.2.3 Rendimento quântico máximo (F_v/F_m).....	28
4.2.4 Ficocianina (PC), ficoeritrina (PE) e clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>).....	29
4.2.5 Carragenana.....	30
4.2.6 Compostos antioxidantes (RSA).....	31
5 DISCUSSÃO.....	32
6 CONCLUSÃO.....	36
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A luz é um espectro de onda eletromagnética que se manifesta em forma de energia, propagando-se por meio de fótons e podendo se comportar tanto como onda, quanto partícula. A luz visível é uma fração desta radiação que corresponde aos espectros de 400 a 750 nm, contendo as cores primárias, as quais juntas correspondem à luz branca. Dentro do espectro da luz visível (Figura 1), entre 400 e 700 nm, encontra-se a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), porção do espectro de onda eletromagnético capaz de fornecer energia suficiente para a realização da fotossíntese (MCCLUNEY, 1994; BJÖRN, 2008).

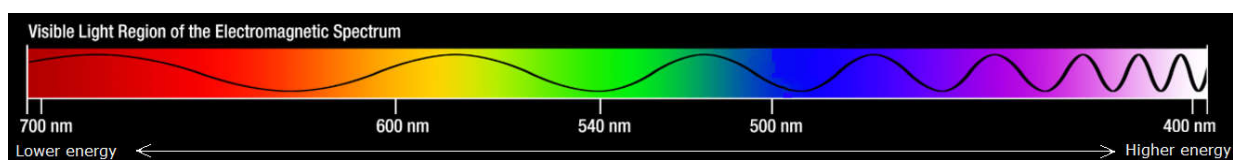


Figura 1. Espectro de luz visível e comprimento de onda de cores de luz monocromáticas. Maiores comprimentos de onda são menos energéticos do que menores comprimentos. Adaptada de science.nasa.gov/ems/09visiblelight.

Organismos fotossintetizantes possuem clorofila *a* e absorvem PAR em todo seu espectro. Este pigmento, contudo, tem sua maior eficácia na absorção das luzes vermelha (620-750 nm) e azul (450-495 nm). Para maximizar a absorção de radiação, pigmentos acessórios especializados na absorção de luzes com outros espectros de onda são frequentemente utilizados para realizar a fotossíntese, como carotenoides especializados em absorver luz azul e verde (495-570 nm). Em cianobactérias, criptomonados e algas vermelhas (filo Rhodophyta) os principais pigmentos acessórios são ficobiliproteínas (PCB) (BJÖRN, 2008), diferenciadas em ficoeritrina (PE) e ficocianina (PC), especializadas em absorver os comprimentos de ondas dos picos em 540 a 570 nm e de 615 a 640 nm, respectivamente (CROCE e VAN AMERONGEN, 2014; GRAHAM et al., 2016).

A quantidade de irradiação a qual uma alga está sujeita e os efeitos dela são foco de pesquisadores há quase um século, e estão vastamente referenciados na literatura (SMITH, 1936; JASSBY e PLATT, 1976; MARQUARDT et al., 2010; SINGH e SINGH, 2015; DEREGIBUS et al., 2016). A qualidade da irradiação também passou a ser de interesse acadêmico nas últimas décadas (LÓPEZ-FIGUEROA e NIELL, 1990; KORBEE, FIGUEROA e AGUILERA, 2005; AYRES-OSTROCK e PLASTINO, 2014; BONOMI BARUFI;

FIGUEROA e PLASTINO, 2015). Na maioria dos casos, contudo, nos últimos anos, ao considerarem a qualidade da irradiância, os pesquisadores se atêm à porção da radiação altamente energética de comprimento de 100 nm a 400 nm, conhecida como radiação ultravioleta (UV), ou à divisão da mesma nas bandas de 315 a 400 nm, 280 a 315 nm e 100 a 280 nm, classificadas como radiação ultravioleta-A (UV-A), ultravioleta-B (UV-B) respectivamente (MCCLUNEY, 1994).

Pesquisas sobre o efeito de UV-A e UV-B geralmente estimulam respostas relacionadas ao sistema de fotoproteção das algas, em especial à síntese de aminoácidos do tipo micosporinas (MAAs) e de proteínas (SINGHAL et al., 1999), mas a radiação ultravioleta também está associada à regulação fotomorfogênica, ou seja, a resposta do sistema biológico a diferentes estímulos de radiação. O efeito de UVR em algas está vinculado desde a quantidade e tamanho de cloroplastos em diatomáceas (BUMA et al., 1996) à síntese de pigmentos (XUE et al., 2005).

Já pesquisas sobre a influência da energia PAR no desenvolvimento e reação das algas se devem principalmente à capacidade fotomorfogênica destes organismos. Como descrito detalhadamente por Jerlov (1976), a radiação solar, ao atingir um corpo d'água, é dispersada devido aos diferentes níveis energéticos das ondas eletromagnéticas. Comprimentos de onda mais longos são menos energéticos e têm uma menor capacidade de penetração no meio aquático. Enquanto comprimentos mais curtos são mais energéticos e conseguem penetrar até maiores profundidades no ambiente marinho. Devido a isso, cores propagadas em maiores comprimentos de onda, como vermelho e amarelo são dispersadas no meio aquático com maior facilidade do que cores como azul e verde, que possuem comprimentos de onda menores.

Diante das nuances do espectro PAR na coluna d'água, as algas desenvolveram sistemas detalhados de recepção de radiação e diferentes comprimentos de onda podem acarretar reações específicas no sistema morfológico, na atividade enzimática e fases reprodutivas (HANELT e FIGUEROA, 2013). Já na década de 50, Haxo e Blinks (1950) constaram que para o comprimento de onda de 425,8 nm (correspondente a luz azul) a taxa de fotossíntese da Chlorophyta *Ulva taeniata* superava em 50% a da Rhodophyta *Schizymenia pacifica*, enquanto para o comprimento de 556 nm (correspondente a luz verde) a taxa de fotossíntese de *S. pacifica* superava a de *U. taeniata* em quase 300%. Posteriormente, Lüning e Dring (1975) verificaram que a produção de estruturas reprodutivas em *Laminaria saccharina* é dependente da radiação fornecida pelos comprimentos de onda de 400 a 520 nm,

correspondentes ao espectro eletromagnético caracterizado pela luz azul.

Ainda no início do século XX, estas diferenças foram relacionadas à presença de pigmentos fotossintetizantes acessórios e a capacidade destes de captarem os espectros de radiação que não são tão bem absorvidos pela clorofila. O aperfeiçoamento de técnicas laboratoriais nos últimos anos possibilitou explorar os efeitos das radiações monocromáticas em algas, como a quantificação do teor de pigmentos e avaliação de estresse oxidativo. A exploração do último é de interesse pois, quando estressado um corpo pode sofrer mudanças metabólicas que alteram a produção de compostos oxidantes, que, quando em excesso, podem causar danos a estruturas e, em algas, já foram relacionados a menores taxas de crescimento, oxidação danosa de lipídios e interrupção da síntese de proteínas (COLLÉN et al., 2004; ROLEDA et al., 2010; KUMAR et al., 2011). Devido a isso compostos antioxidantes podem ser utilizados como indicadores de estresse oxidativo e reação metabólica (FINKEL e HOLBROOK, 2000; SUNDA et al., 2002).

No âmbito de espectros de radiação um organismo fotossintetizante pode ter diferentes reações a específicos comprimentos de onda, desde mudanças na quantidade de compostos antioxidantes (WU, 2016), pigmentos (BONOMI BARUFI; FIGUEROA e PLASTINO, 2015) e outros. Godínez-Ortega et al. (2008), por exemplo, avaliaram que a espécie comestível *Halymenia floresii* tem uma taxa de crescimento maior quando cultivada sob luz verde em comparação às luzes branca, vermelha e azul. Já a alga parda *Sargassum horneri* revelou preferência da luz azul à luz vermelha (MIKI et al., 2017). Segundo Carmona et al. (1998), diferentes qualidades de luz também apresentaram diferenças na quantidade e qualidade do polissacarídeo ágar-ágar produzido pela alga vermelha *Gelidium sesquipedale*.

Chondracanthus teedei (Mertens ex Roth) Kützing é uma alga vermelha pertencente à família Gigartinales com geodistribuição historicamente atribuída ao Brasil, Portugal, França, Grã-Bretanha, Mediterrâneo, Bermudas, Japão e Korea (DO ROSÁRIO e DE BRAGA, 1990; PEREIRA e MESQUITA, 2004).

Recentemente os espécimes da Ásia foram geneticamente classificados como *Chondracanthus chamissoi* por Yang, Makaya e Kim (2015) e os das Bermudas como *Chondracanthus saundersii* por Schneider e Lane (2005). Atualmente *C. teedei* tem sua distribuição associada às regiões costeiras do Atlântico Norte e na costa oeste do Atlântico Sul (ROCHA-JORGE et al., 2018).

C. teedei é encontrada na região entre marés até 4 m de profundidade (GUIRY, 1984)

e cresce em águas com temperaturas entre 18 ° C a 26 ° C (BRAGA e MARINO, 1985). No Brasil essa espécie é encontrada principalmente na região entre marés de costões rochosos, desde o norte do Maranhão até o Rio Grande do Sul (HORTA et al., 2016) e em Fernando de Noronha (VILLAÇA et al., 2006).

No Brasil, *C. teedei* tem um potencial biotecnológico devido ao potencial da mesma na indústria alimentícia (PÉREZ-LLORENS et al., 2016) e a alta concentração de carragenana em sua composição, quando comparada a outras algas brasileiras (BASTOS, 2013). Por causa de suas propriedades gelificantes, a carragenana é o principal hidrocolóide produzido em escala global (PORSE e RUDOLPH, 2017). Outras espécies do gênero *Chondracanthus* já são exploradas em países como o Chile, Peru e Estados Unidos, (VÁSQUEZ e ALONSO VEGA, 2001; WAALAND, 2008; HAYASHI et al., 2014; MACCHIAVELLO et al., 2018).

Apesar do potencial de *C. teedei*, pouquíssimos estudos foram publicados sobre os efeitos da irradiação nessa espécie. Love (2018), observou que *C. teedei*, teve seu crescimento otimizado à irradiância de 360 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ quando comparada ao crescimento em 50 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Entretanto, que sob a alta irradiância o teor de ficoeritrina, ficocianina, carotenoides e clorofila era menor do que o observado sob a irradiância de 50 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Além disso sabe-se menos ainda sobre o efeito da qualidade da radiação nesta alga. Schmidt et al. (2012), ao cultivarem *C. teedei* durante sete dias à irradiância de 80 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 3 h de exposição diária a 6 Wm^{-2} de UV-B, notaram um aumento da espessura da parede celular, diminuição na taxa de crescimento em 55% e diminuição no teor de pigmentos fotossintetizantes. Além do experimento conduzido por eles, contudo, não foi encontrada nenhuma publicação sobre os efeitos de diferentes qualidades de radiação na macroalga *Chondracanthus teedei*.

1.1 CURVA PIE E ATIVIDADE FOTOSSINTETIZANTE A PARTIR DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a* E EVOLUÇÃO DO OXIGÊNIO

Ao absorverem PAR algas direcionam parte desse recurso aos centros de recepção de energia da clorofila *a*. Estes centros transportam a radiação por meio de elétrons, que serão utilizados na produção de energia para a alga, processo que consome dióxido de carbono e gera água e oxigênio, entre outros (GRAHAM et al., 2016).

Durante essa reação há excitação das moléculas de clorofila, que passam do estado basal (de menos energia) para um estado excitado (de mais energia) denominado *singlet 1*. Devido à instabilidade energética da molécula durante o *singlet 1*, esse excesso de energia é rapidamente dissipado por três vias: dissipação fotoquímica (para produção de energia por meio de reações químicas), dissipação não-fotoquímica (perdida como calor e outros meios não aproveitados pelo organismo) e fluorescência (emissão de radiação pela clorofila) (CAMPOSTRINI, 1997).

A fluorescência da clorofila é uma radiação emitida em forma de luz visível e devido a isso, pode ser quantificada em laboratório por sensores que consigam captar esta energia. Como ela depende tanto da radiação recebida pelo aparato fotossintético quanto do estado de saúde deste sistema, a partir dela, pode-se inferir diversas informações sobre o aparato fotossintético do organismo em questão. Devido a isto, quando avaliadas a fluorescência da clorofila *a* e a concentração de oxigênio em relação à irradiância disponível, pode-se inferir quanta energia está sendo utilizada e quanto oxigênio está sendo produzido pela alga quando ela está sujeita a uma intensidade de luz específica.

Em laboratório estes dados podem ser utilizados para aferir a taxa de fotossíntese de uma alga e descobrir sob quais irradiâncias esta alga consegue superar o ponto de compensação (quando a taxa de respiração e de fotossíntese são iguais) e atinge a ponto ótimo de fotossíntese. Estas informações são imprescindíveis para o cultivo da alga em laboratório e podem ser obtidas por meio de uma curva PI ajustada. A partir da mesma é possível também fazer a análise da relação de transporte de elétrons e o oxigênio produzido.

Para obter os parâmetros associados a fluorescência da clorofila *a* é possível utilizar um PAM (Fluorímetro de Pulso de Amplitude Modulada). Este aparelho capta a fluorescência emitida pela alga após receber um pulso de luz capaz de saturar os fotossistemas. A partir destes dados de fluorescência podem ser avaliados:

F_o : fluorescência basal;

F_m : fluorescência máxima, ao longo do pulso de saturação, para amostras aclimatadas ao escuro ou com centro de reação completamente oxidados (abertos);

F_m' : fluorescência máxima de saturação, após o pulso de saturação para amostras que estejam cultivadas em condição lumínica, na qual nem todos os centros de reação do fotossistema II estejam oxidados;

F_v / F_m : rendimento quântico máximo, medido após pulso de saturação com a alga no

escuro.

Estas informações permitem calcular a taxa de transporte de elétrons (ETR) de um organismo. Essa taxa, quando analisada para um organismo sob uma irradiância específica, permite a análise do quanto da irradiância recebida está sendo de fato utilizada para realizar fotossíntese (rendimento quântico) (GRAHAM et al., 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar os efeitos dos espectros de radiação correspondente a luz branca, amarela, verde, azul e vermelha na fisiologia da macroalga *Chondracanthus teedei*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a taxa de crescimento relativo (RGR) de *Chondracanthus teedei* submetida a diferentes tratamentos com radiações monocromáticas durante sete dias;
- Avaliar as respostas de fotossíntese associadas com a fluorescência *in vivo* da clorofila *a* para o cálculo de rendimento quântico máximo (F_v / F_m) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) de *Chondracanthus teedei* submetida a diferentes espectros de radiação durante os dias 0, 1, 7 e 8 do período experimental;
- Quantificar teores de clorofila *a* (Chl *a*), carragenana, ficocianina (PC), ficoeritrina (PE), e compostos antioxidantes (RSA) nos talos de *Chondracanthus teedei*, avaliando a eventual influência da radiação monocromática nessas respostas fisiológicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA

Foram coletados espécimes de *Chondracanthus teedei* no dia 21 de janeiro de 2019 na região entre marés do costão rochoso da Praia de Itaperubá (Norte), Imbituba, SC (28°20'17.3"S 48°42'12.7"O). A coleta foi realizada entre às 09 h e às 10 h, com maré em 0,2 m de altura.

A biomassa foi coletada e armazenada com água do mar em um recipiente térmico. O material foi diretamente transportado ao Laboratório de Ficologia da Universidade Federal de Santa Catarina (LAFIC), a 100 km de distância. No laboratório as algas foram lavadas em água doce para remoção de epífitas e separadas em aquários de vidro com 8 ml de stock VS para cada litro de água do mar esterilizada, meio de cultura Von Stosch 100% (VS 100%). Os aquários foram mantidos com salinidade 35, temperatura de 24 ° C, iluminados por lâmpadas fluorescentes brancas com irradiância de 95 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, foto período 12h e sujeitos à aeração constante. Os dados de irradiância foram medidos com o quantímetro Li-Cor (Li-193).

Para homogeneização do material, apenas indivíduos que não apresentavam carposporófitos e de fisiologia semelhante foram selecionados (organismos de cerca de três centímetros com talos achatados).



Figura 2. A) *Chondracanthus teedei*. B) Presença de *Chondracanthus teedei* na região entre marés do costão da Praia de Itaperubá (Norte), em Imbituba, SC.

3.2 CURVA PI E ATIVIDADE FOTOSSINTETIZANTE

Para a obtenção de uma curva PI e uma curva oxigênio x ETR, *C. teedei* foi incubada em laboratório e por meio dos dados obtidos pela metodologia descrita a seguir pôde-se avaliar

a irradiância sob a qual a alga deveria ser cultivada em laboratório. Os dados de quantidade de irradiância foram obtidos por um quantímetro Li-Cor (Li-193), a concentração de oxigênio foi mensurada por um oxímetro de bancada (YSI 500) e os parâmetros associados a fluorescência da clorofila *a* foram obtidos por um Water PAM Waltz (Fluorímetro de Pulso de Amplitude Modulada).

Para a obtenção do rendimento quântico efetivo foi utilizada a seguinte fórmula [1]:

$$\Delta F_v / F_m' = (F_m' - F_o) / F_m' \quad \text{[Fórmula 1]}$$

A taxa de transporte de elétrons foi calculada da seguinte fórmula [2]:

$$\text{ETR} = \Delta F_v / F_m' * I * \text{ABST} * 0,15 \quad \text{[Fórmula 2]}$$

Onde ETR: taxa de transporte de elétrons (em $\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$); $\Delta F_v / F_m'$: rendimento quântico efetivo; I: irradiância fornecida pela luz (em $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$); ABST: absorvância.

Para obtenção dos dados para construção da curva PI e medição dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* foram estabelecidos 7 períodos de incubação, sujeitos às seguintes intensidades de luz: 0, 20, 50, 100, 200, 400 e 1000 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com medições de concentração de oxigênio e rendimento quântico efetivo no início e fim de cada um. O rendimento quântico máximo foi avaliado por meio do Water PAM.

O tempo de incubação foi de 25 minutos. Foram utilizadas triplicatas em cada intensidade luminosa. Cada réplica foi elaborada com 1g de alga em 200 ml de água do mar esterilizada num recipiente de acrílico selado, sem contato com a atmosfera. Para homogeneização das amostras durante as leituras, os recipientes foram colocados sob agitação constante sob a temperatura de 24 ° C.

Foram utilizadas lâmpadas LED brancas e a quantidade de radiação incidente foi controlada pela distância das lâmpadas das amostras e sombrites de malha 0,1 mm. A medição da intensidade da radiação e a absorvância da mesma pela alga foi feita por meio do quantímetro Li-Cor Li-193. O método de apuração da absorvância consistiu em manter a alga localizada exatamente acima do sensor do Li-Cor, de modo que nenhuma parte do sensor ficasse recebendo iluminação direta e calcular a absorvância ao comparar as medições obtidas com a

alga sob o sensor (irradiância final) e sem a alga (irradiância inicial) [Fórmula 3].

$$ABST = 1 - I_f/I_o \quad \text{[Fórmula 3]}$$

Onde ABTS: cálculo da absortância; I_f : irradiância final (em $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e I_o : irradiância inicial (em $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A fotoss\u00edntese l\u00edquida foi obtida com os dados de oxig\u00eanio [F\u00f3rmula 4]. O rendimento qu\u00e2ntico efetivo foi obtido por meio do PAM ao emitir um pulso de satura\u00e7\u00e3o sobre a amostra no fim de cada per\u00edodo de incubação. A fotoss\u00edntese tamb\u00e9m foi avaliada como produ\u00e7\u00e3o de oxig\u00eanio. O c\u00e1lculo da fotoss\u00edntese m\u00e1xima (ETR_{max}) da efici\u00eancia de fotoss\u00edntese (αETR) e da irradi\u00e2ncia de satura\u00e7\u00e3o ($ETR_{\text{max}} / \alpha ETR$) foi obtido por ajuste dos dados de concentra\u00e7\u00e3o de oxig\u00eanio aos dados de ETR no modelo matem\u00e1tico desenvolvido por Webb et al. (1976) [F\u00f3rmula 5].

$$NP = \Delta O_2 * V / (B * \Delta t) \quad \text{[F\u00f3rmula 4]}$$

Onde NP: fotoss\u00edntese l\u00edquida; ΔO_2 : varia\u00e7\u00e3o de oxig\u00eanio na amostra, oxig\u00eanio final menos o inicial (em mg.L^{-1}); V: volume da c\u00e2mara de incubação (em litros); B: biomassa utilizada (em gramas); Δt : tempo de incubação (em horas).

$$PI = P_{\text{max}} \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot I / P_{\text{max}})] \quad \text{[F\u00f3rmula 5]}$$

Onde PI: curva fotoss\u00edntese x irradi\u00e2ncia; P_{max} : valor de fotoss\u00edntese m\u00e1ximo, α : efici\u00eancia da fotoss\u00edntese, I: irradi\u00e2ncia no eixo horizontal (em $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

3.3 EXPERIMENTO COM RADIA\u00c7\u00d5ES MONOCROM\u00c1TICAS

O experimento foi dividido em duas etapas. O per\u00edodo 1 foi do dia 0 ao 7 e consistiu em utilizar as lâmpadas coloridas de modo a suplementar a radiação fornecida pela lâmpada fluorescente. J\u00e1 o per\u00edodo 2 foi no dia 8, quando as lâmpadas fluorescentes foram desligadas e

as algas ficaram somente sobre a influência de lâmpadas LED (Light Emitting Diode) coloridas. Esta divisão de períodos foi realizada para tentar distinguir se as algas apresentavam alguma diferença significativa entre o tratamento do espectro de luz fluorescente suplementado com a irradiância fornecida pelas LEDs monocromáticas e o tratamento de submeter as algas somente às LEDs, e conseqüentemente uma banda específica de radiação.

Antes de iniciar o período experimental, as algas foram aclimatadas durante 7 dias, em 25 ° C e irradiância de 120 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fornecida por lâmpadas fluorescentes. A cada dois dias o meio de cultura VS 100% foi renovado.

A divisão do período experimental em duas etapas segmentou o período 1 entre o controle (FL) e cinco tratamentos de FL suplementada com 22 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de um espectro de radiação adicional fornecido por lâmpadas LED das cores: branca (FL + WH), azul (FL + BL), verde (FL + GR), vermelha (FL + RD) e amarela (FL + YE). O período 2 constou com o tratamento de irradiância fornecida apenas pelo espectro de radiação fornecido pelas lâmpadas LED coloridas brancas (WH), azuis (BL), verdes (GR), vermelhas (RD) e amarelas (YE).

Os dados de rendimento quântico máximo foram obtidos com as algas no escuro antes de iniciar o foto período de iluminação por meio de um pulso de saturação > 4000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ emitido por um Junior-PAM Waltz (Fluor\u00edmetro de Pulso de Amplitude Modulada) antes de iniciar o experimento (0 h, dia 0), ap\u00f3s 24 h (dia 1) e nos dias 7 e 8 de experimento. Dados de ETR e absorv\u00eancia foram obtidos ap\u00f3s as algas estarem sujeitas ao tratamento, nos dias 0 (12 h), 1 (36 h), 7 e 8 (às 6h e 12h ap\u00f3s o in\u00edcio do per\u00edodo experimental do dia 8). A taxa de transporte de el\u00e9tron foi mensurada ao submeter por vinte segundos uma por\u00e7\u00e3o mediana do talo a uma luz act\u00ednica de 120 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e em seguida aplicar um pulso de saturação > 4000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A taxa de crescimento relativo (RGR) foi obtida pesando as algas de cada recipiente nos dias 0 (0 h) e 7. Para realizar a pesagem o excesso de \u00e1gua do material alg\u00e1ceo foi removido utilizando papel absorvente e utilizou-se uma balan\u00e7a anal\u00edtica (Marte AY220).

Para as análises de clorofila *a*, ficobiliproteínas e compostos antioxidantes 2 g de biomassa foi extraída e congelada nos dias 0, 7 e 8. Foram retirados 10 g de biomassa para a quantificação de carragenana nos dias 0 e 7, devido à alta quantidade de biomassa necessária para esta análise. Um esquema ilustrativo de todo o processo experimental pode ser visto na Figura 3 e fotos do experimento na Figura 4.

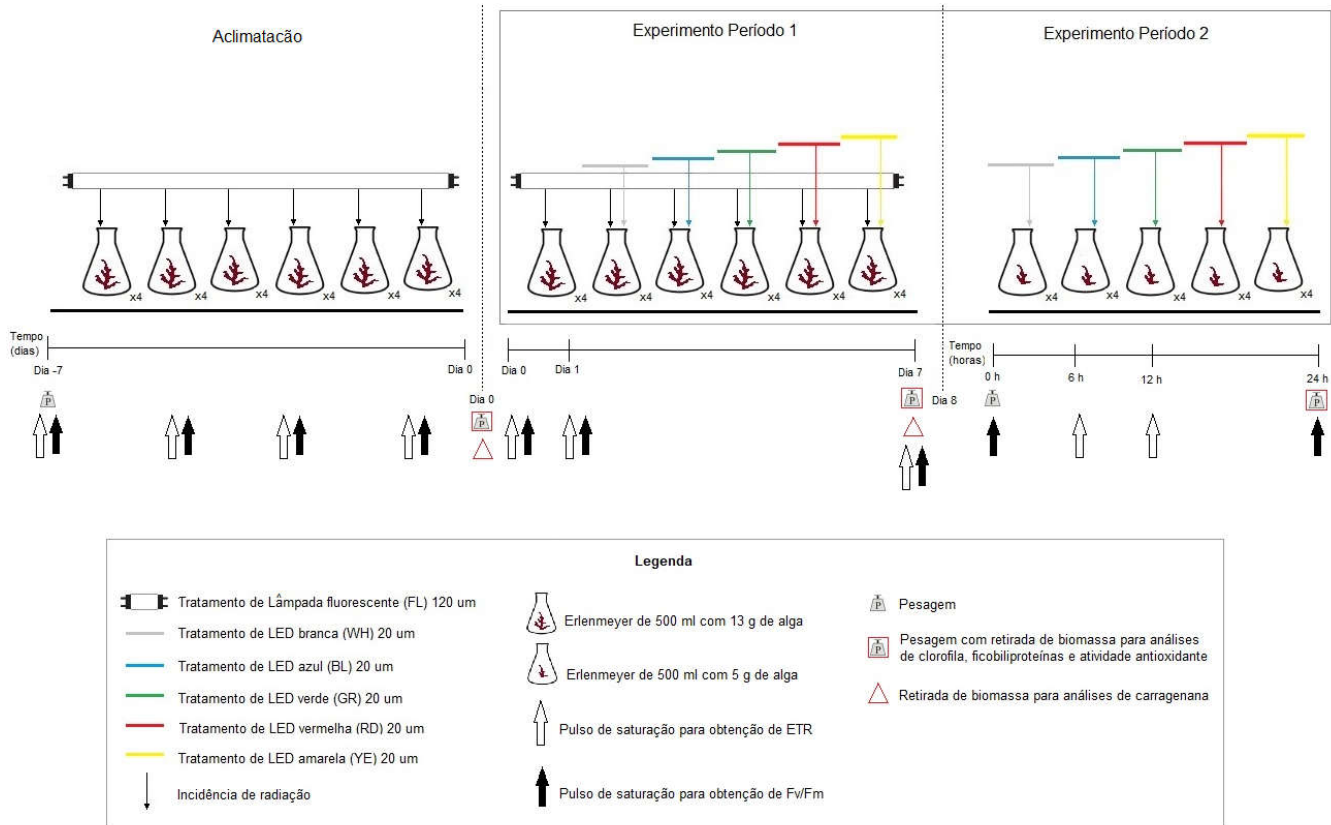


Figura 3. Esquema ilustrando todo o período de tratamento das algas. A aclimação foram os 7 dias anteriores ao início do experimento. No período 1 o tratamento foi de enriquecimento da luz fluorescente com luz LED e no período 2 o tratamento foi somente com as lâmpadas LED.

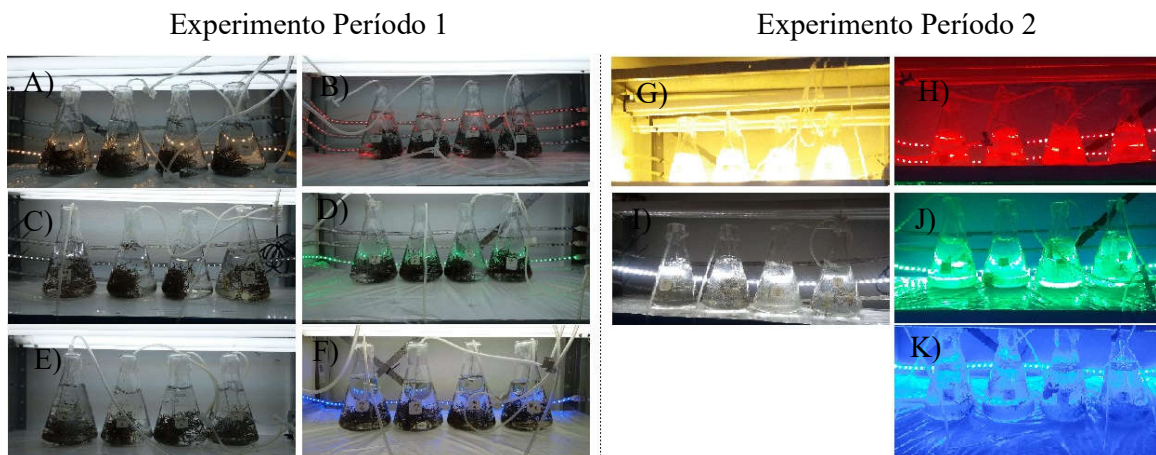


Figura 4. A) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz amarela (FL + YE). B) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz vermelha (FL + RD). C) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz branca (FL + WH). D) Tratamento de luz fluorescente e enriquecimento com luz verde (FL + GR). E) Tratamento de luz fluorescente (FL). F) Tratamento de luz fluorescente com enriquecimento com luz azul (FL + BL). G) Tratamento de luz monocromática amarela (YE). H) Tratamento de luz monocromática vermelha (RD). I) Tratamento de luz monocromática branca (WH). J) Tratamento de luz monocromática verde (GR). K) Tratamento de luz monocromática azul (BL).

3.4 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

3.4.1 Cálculo da taxa de crescimento relativo (RGR) e relação massa fresca/massa seca

O cálculo da taxa de crescimento da biomassa foi realizado utilizando os dados de biomassa obtidos no dia 0 do experimento e os obtidos no dia 7 do experimento, seguindo a metodologia de Yong et al. (2013) [Fórmula 6].

$$\text{RGR (\% \cdot \text{dia}^{-1})} = [(\text{Nt}/\text{No})^{(1/t)} - 1] * 100\%/t \quad [\text{Fórmula 6}]$$

Onde RGR: taxa de crescimento relativo em porcentagem (em dias); Nt: biomassa inicial (no dia 0); No: biomassa final (no dia 7) e t: tempo de experimento (em dias).

Para o cálculo da relação entre massa fresca e massa seca (MF/MS) utilizou-se a fórmula [7]. A massa fresca foi obtida ao separar vinte fragmentos de alga e pesá-los e numa balança analítica. Os fragmentos foram colocados em placas de petri e inseridos numa estufa por 24 h a temperatura de 60 °C. Após esse período o material de cada placa de petri foi pesado

para a determinação da massa seca.

Relação entre massa fresca e massa seca: MF/MS [Fórmula 7]

Onde MF: massa fresca e MS é massa seca.

3.4.2 Quantificação de ficocianina (PC), ficoeritrina (FE) e clorofila *a* (Chl *a*)

Extratos de ficobiliproteínas (PBP) foram obtidos por meio do método de Beer e Eshel (1985). Foram macerados 0,09 - 0,2 g de biomassa congelada em um almofariz com 3 ml de tampão fosfato (pH 6,8). O extrato foi colocado em tubos de falcon de 15 ml e deixado a 4 ° C no escuro durante 30 minutos. Em seguida os tubos foram submetidos a 20 minutos de centrifugação a 10 000 rpm (rotações por minuto). O material sobrenadante foi retirado e analisado em um espectrofotômetro de varredura Global Trade GTA-97, nos comprimentos de onda de 190 a 800 nm.

A partir das leituras obtidas pelo espectrofotômetro foram quantificadas as concentrações de PC e PE por meio das fórmulas [8 e 9].

$$PC = [A_{618} - A_{645}] - (A_{592} - A_{645}) * 0,51] * 0,15 \quad \text{[Fórmula 8]}$$

$$PE = [(A_{564} - A_{592}) - (A_{455} - A_{592}) * 0,2] * 0,12 \quad \text{[Fórmula 9]}$$

Onde PC: ficocianina (em mg.g⁻¹ MS); PE: ficoeritrina (em mg.g⁻¹ MS); A₆₁₈, A₆₄₅, A₅₉₂, A₅₆₄ e A₄₅₅: absorbâncias obtidas nos comprimentos de onda 618 nm, 645 nm, 592 nm, 564 nm e 455 nm.

Ao material precipitado (pellet) originado da centrifugação foi adicionado o volume 3 ml de acetona 90% e colocado sob um agitador vortex por 5 minutos, para ressuspensão desse material no novo solvente. Em seguida, os tubos foram deixados overnight no escuro à temperatura de 4 ° C para extração da clorofila *a*, seguindo uma metodologia adaptada de Ritchie (2006). Após o período overnight, as amostras foram centrifugadas durante 20 minutos a 10 000 rpm. Foi retirado o material sobrenadante e este foi analisado em um espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 400 nm a 800 nm. A partir dos valores obtidos das leituras, foi quantificada a clorofila *a* conforme a fórmula [10].

$$\text{Chl } a: ((11,4062) * (A_{664}-A_{750})) / 1000 \quad [\text{Fórmula 10}]$$

Onde Chl *a*: clorofila *a* (em mg.g⁻¹ MS); A₆₆₄ e A₇₅₀: absorvâncias obtidas nos comprimentos de onda 664 nm e 750 nm.

3.4.3 Quantificação de carragenana

A extração de carragenana foi adaptada da metodologia de Rodrigues et al. (2011). Foi macerado 1 g de biomassa seca de cada amostra com 30 ml de água destilada e este material foi depositado em tubos de falcon de 50 ml. Os tubos foram então autoclavados durante 30 minutos a 121 ° C. Antes das amostras esfriarem, elas foram centrifugadas a 4 000 rpm durante 5 minutos. O material sobrenadante foi retirado e transferido para um béquer de 100 ml contendo 30 ml de álcool 92,8 %. O béquer foi deixado a 4 ° C, no escuro, overnight.

Após o período overnight, foi retirado o material sobrenadante excessivo e o composto solidificado foi colocado em um tubo de falcon 15 ml e centrifugado por 10 min a 4 000 rpm. O pellet depositado no fundo do tubo de falcon foi colocado em um vidro de relógio e colocado na estufa a 60 ° C durante 24 h. O material resultante foi pesado e a massa final, formada pelas fibras de carragenana, foi representada por miligrama de carragenana por grama de alga seca.

3.4.4 Quantificação de compostos antioxidantes (RSA)

As análises de quantidade de compostos antioxidantes com *C. teedei*, foram adaptadas do o protocolo de Blois (1958), o qual faz uso do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) para a determinação dos compostos antioxidantes em miligrama de ácido ascórbico por grama de MS. Por ser um radical livre receptor de hidrogênio, o DPPH está disponível na amostra para reduzir compostos oxidantes. O ácido ascórbico funciona como composto oxidante, e, portanto, quanto menor a quantidade de DPPH inibido, maior é a capacidade antioxidante da amostra.

Seguindo o protocolo, foram macerados 250 mg de alga congelada com 2,5 ml de metanol 80 % e esse material foi colocado num tubo de falcon de 15 ml. Após 12h de extração no escuro a 4 ° C, o material foi centrifugado a 4 000 rpm. Alíquotas de 500 µl do sobrenadante foram transferidos para outro tubo de falcon e adicionados 1000 µl de metanol 80 % e 150 µl de uma solução de DPPH (1,27 mM). Esta solução final foi deixada 30 minutos no escuro e em

seguida lida no espectrofotômetro a 517 nm.

Foi realizada uma curva padrão com ácido ascórbico com concentrações de 0 a 30 µM. A partir da curva padrão de ácido ascórbico pôde-se aferir a concentração de DPPH oxidado em cada amostra [Fórmula 11].

$$ABS = a * [DPPH] + b \quad [Fórmula 11]$$

Onde ABS: absorbância da amostra; “a” e “b” são as constantes obtidas a partir da curva padrão com ácido ascórbico e [DPPH] é a concentração de DPPH oxidada na amostra.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para todos os dados foi verificada a normalidade e aplicado o teste de Cochran com nível de significância 5% ($p > 0,05$) para a homogeneidade de variância. Os dados de clorofila a , ficoeritrina, ficocianina, carragenanas e atividade antioxidante foram submetidos a um teste de variância (ANOVA) unifatorial levando em conta apenas os tratamentos do período 1 e 2. Os dados de ETR e F_v/F_m foram submetidos a uma análise bifatorial (tratamento e tempo). Todos os dados foram sujeitos a um teste de correlação, para verificação de dependência dos fatores entre si.

Quando verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$), foi realizado teste *post hoc* pelo método de Student-Newman-Keuls (SNK). O nível de significância adotado foi de 5% ($p > 0,05$). Para as análises estatísticas foi utilizado o Software Statistica 7.

4 RESULTADOS

4.1 CURVAS FOTOSSÍNTESE x IRRADIÂNCIA E ETR x OXIGÊNIO

Os dados de evolução do ETR em função da irradiância revelaram uma relação diretamente proporcional entre os dois (Figura 5 B). A concentração do oxigênio calculada

como fotossíntese líquida foi plotado na Figura 5 C. A partir dos valores obtidos e plotados na curva PI (Figura 5 A) pôde-se calcular que o ponto de compensação é atingido à irradiância de $94 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e que a irradi\u00e2ncia \u00f3tima \u00e9 obtida a $420 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Valores acima de $420 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ podem levar a fotoinibi\u00e7\u00e3o, portanto n\u00e3o foram considerados de interesse para o desenvolvimento do trabalho. Com essas informa\u00e7\u00f5es foi inferido que qualquer valor acima de $94 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e abaixo de $420 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ seria suficiente para a realiza\u00e7\u00e3o do experimento pois, neste intervalo, a fotoss\u00edntese supera o ponto de compensa\u00e7\u00e3o e o aparato fotossint\u00e9tico n\u00e3o \u00e9 saturado. Devido a isso e \u00e0 intensidade das luzes fluorescentes presentes no laborat\u00f3rio, foi estabelecida uma intensidade luminosa de $120 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para as luzes fluorescentes do experimento.

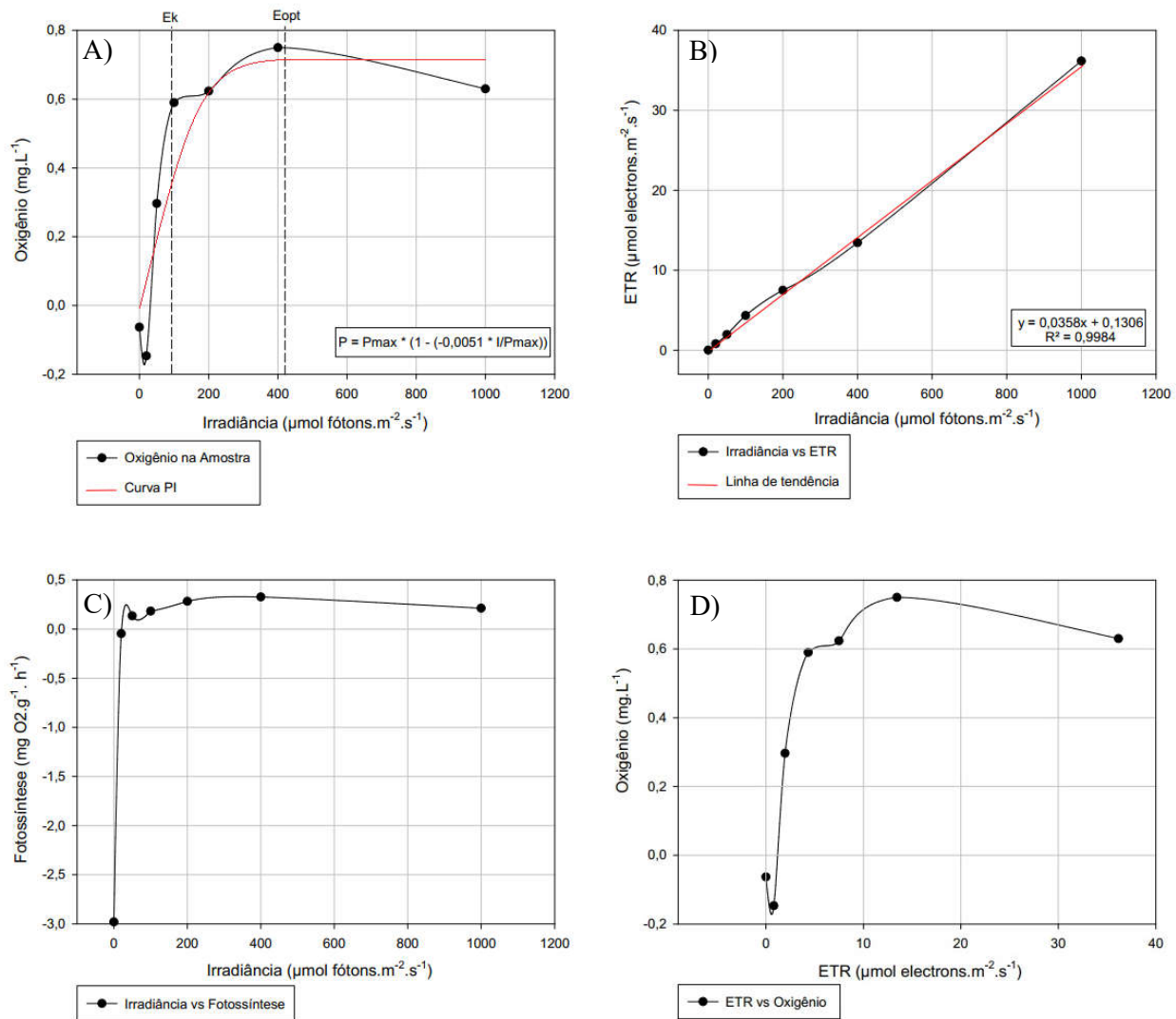


Figura 5. A) Gráfico Consumo Oxigênio x Irradiância, com a curva PI seguindo o modelo matemático de Webb *et al.* (1976). Eopt é a irradiância ótima e Ek a irradiância de compensação. Valores negativos indicam respiração. B) Gráfico ETR x Irradiância, indicando uma relação diretamente proporcional entre o transporte de elétrons (ETR) e as irradiâncias utilizadas. C) Taxa de Fotossíntese líquida x Irradiância. D) Gráfico de consumo de oxigênio x ETR.

4.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de variância (ANOVA unifatorial) para os parâmetros avaliados neste estudo. As variáveis dependentes RGR, Chl *a*, PC, PE, carragenana e RSA foram analisadas em relação ao fator independente tratamento. Os

parâmetros ETR e F_v/F_m foram avaliados em função do tempo e tratamento. No período 1 os dados de pigmentos, F_v/F_m e RSA não apresentaram diferença significativa, mas carragenana e RGR apresentaram diferença significativa para o tratamento e ETR para a interação do tempo e tratamento. No período 2 diferença significativa foi vista em ETR para o tempo, Chl *a* e RSA para o tratamento e F_v/F_m para a interação do tempo e tratamento.

Tabela 1. Resultados das análises de variância dos parâmetros avaliados para os tratamentos, o tempo e a sinergia dos dois. Análises estatísticas do tratamento de enriquecimento do espectro de radiação das lâmpadas fluorescentes com lâmpadas coloridas, referentes aos dados dos dias 0 ao 7 estão no “Dia 7”. Análises estatísticas do tratamento somente com lâmpadas coloridas estão no “Dia 8” e correspondem aos dados do dia 8. Resultados que demonstraram diferença para a probabilidade de significância ($p < 0,05$) estão representados na tabela em negrito. ETR: taxa de transporte de elétrons ($\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$); F_v/F_m : rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo; RGR: taxa de crescimento relativo (% dia⁻¹); Chl *a*: clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ MS); PC: ficocianina ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ MS); PE: ficoeritrina; RSA: compostos antioxidantes ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ MS).

DIA 7

Vari\u00e1vel	df	Tempo		Tratamento		Tempo*Tratamento	
		F	P	F	P	F	P
ETR	3	1,49	0,24	4,48	0,01	2,59	0,018
F_v/F_m	3	0,85	0,43	0,73	0,61	1,56	0,159
RGR	3			3,49	0,02		
Chl <i>a</i>	3			0,77	0,58		
PC	3			1,13	0,38		
PE	3			1,16	0,36		
Carragenana	3			16,46	0,00		
RSA	3			2,28	0,09		

DIA 8

Vari\u00e1vel	df	Tempo		Tratamento		Tempo*Tratamento	
		F	P	F	P	F	P
ETR	3	15,04	0,00	2,49	0,09	1,76	0,19
F_v/F_m	3	7,73	0,01	6,48	0,00	1,41	0,28
Chl <i>a</i>	3			6,69	0,00		
PC	3			0,69	0,61		
PE	3			1,29	0,31		
RSA	3			4,06	0,02		

4.2.1 Taxa de crescimento relativo (RGR)

A taxa de crescimento relativo apresentou diferença significativa para tratamento, com FL e o FL + GR apresentando menores taxas de crescimento do que as algas sujeitas ao tratamento FL + RD (Figura 6).

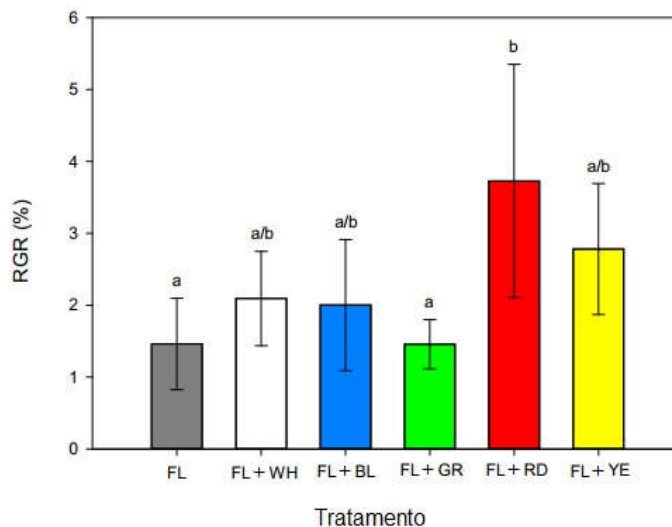


Figura 6. Taxa de crescimento relativo (RGR) de *Chodracanthus teedei* do dia 0 ao dia 7 de acordo com o tratamento. Os tratamentos correspondem ao controle (FL) e lâmpadas fluorescentes enriquecidas de luz LED colorida (FL + LED). Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).

4.2.2 Taxa de transporte de elétron (ETR)

A taxa de transporte de elétron (ETR) mostrou diferença significativa para a interação do tempo e tratamentos com enriquecimento com espectros de onda de diferentes comprimentos de onda nos dias 0 e 1 (Tabela 1). No dia 1 o valor de FL ($4,241 \pm 1,371 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi significativamente superior aos demais (WH $2,716 \pm 0,954 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; BL $2,273 \pm 0,451 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; GR $2,409 \pm 0,509 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; RE $2,259 \pm 0,599 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) com exceção de YE ($3,470 \pm 0,298 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Os dados do dia 7 não apresentaram diferença significativa para nenhum dos parâmetros (Figura 7 A).

No período do tratamento somente com luzes coloridas (dia 8, 6h e 12h), os valores obtidos às 12h ($2,025 \pm 0,346 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram significativamente menores (Figura 7 B) do que os valores obtidos às 6h ($2,519 \pm 0,463 \mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

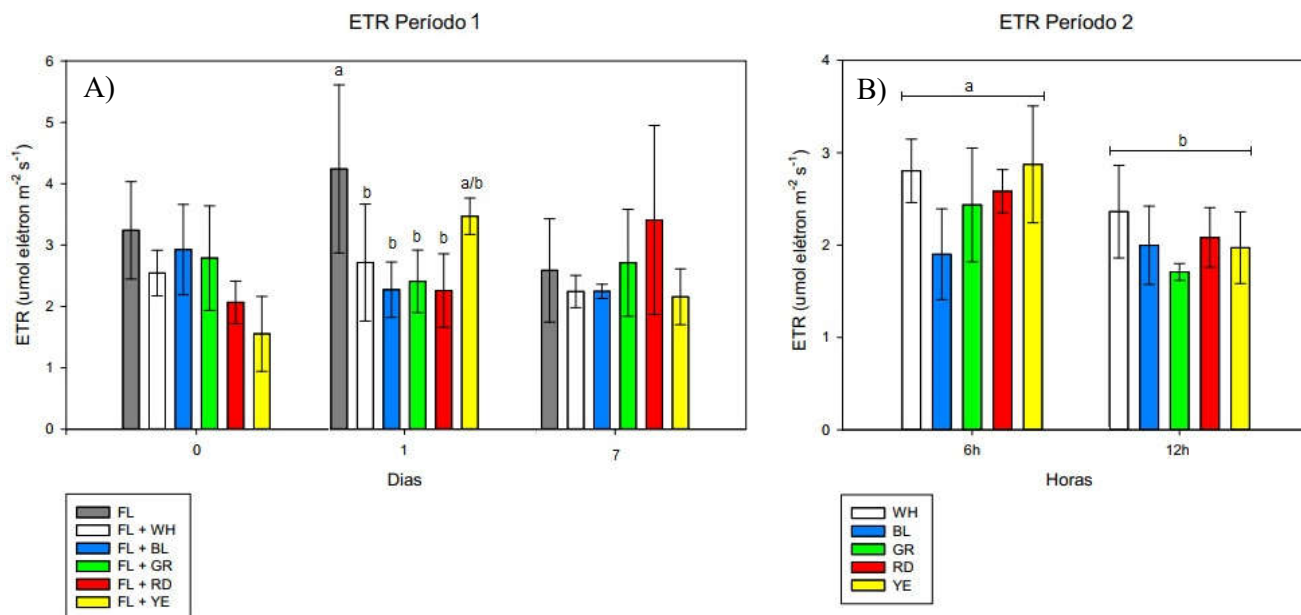


Figura 7. A) Média dos valores de ETR obtidos para cada tratamento na primeira fase do experimento, após 12h de exposição ao controle (FL) e tratamentos de lâmpadas fluorescentes enriquecidas com espectro de radiação fornecida por LED colorida (FL + LED) nos dias 0, 1 e 7 (à direita). B) Média dos valores de ETR obtidos após 6 h e 12 h de exposição das algas aos tratamentos de luzes coloridas (LED) no dia 8. WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE (LED amarela). FL: lâmpadas fluorescentes. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK)

4.2.3 Rendimento quântico máximo (F_v/F_m)

A partir do dia 8 (0 h e 24 h) foi registrada uma diferença significativa no tratamento e no tempo, porém não foi observada diferença significativa para a interação (tempo x tratamento) (Tabela 1). Houve uma diminuição significativa do F_v/F_m das 0 h ($0,560 \pm 0,009$) às 24 h ($0,540 \pm 0,003$). Os dados de WH e RD ($0,557 \pm 0,011$ e $0,560 \pm 0,017$) foram significativamente maiores dos que os demais (BL $0,508 \pm 0,009$; GR $0,538 \pm 0,011$; YE $0,540 \pm 0,011$), porém houve uma diminuição em todos (Figura 8). O rendimento quântico máximo não apresentou diferença significativa para nenhum parâmetro dos dias 0 ao 7.

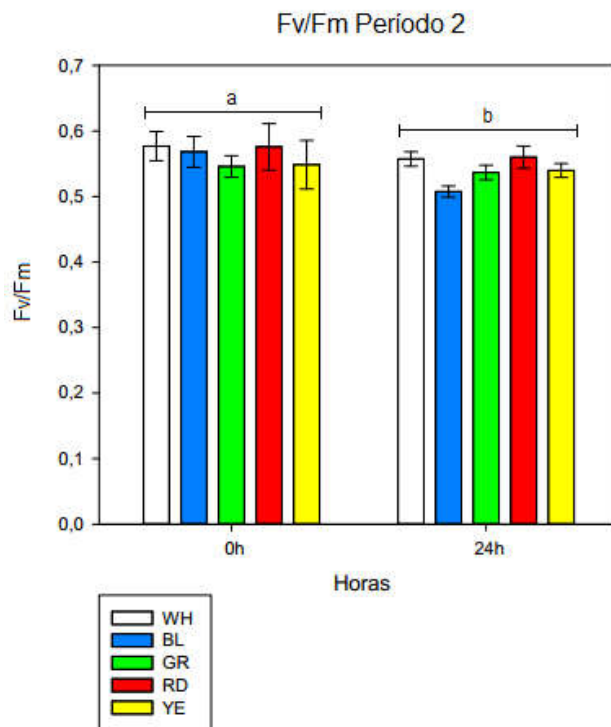


Figura 8. Média dos valores de F_v/F_m (rendimento quântico máximo) obtidos no dia 8 do experimento, às 0 h e 24 h de exposição das algas aos tratamentos de luzes coloridas (LED) no dia 8. WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE. (LED amarela). Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK)

4.2.4 Ficocianina (PC), ficoeritrina (PE) e clorofila *a* (Chl *a*)

Os dados de PE, PC e Chl *a* não apresentaram nenhuma diferença significativa para os tratamentos no dia 7, no dia 8. Tratamentos com YE obteve valores de Chl *a* significativamente maiores que os demais (Tabela 2). Os teores de Chl *a* diminuíram drasticamente do dia 7 para o dia 8 em todos os tratamentos, podendo estar associado a algum erro de extração. Os teores de PC aumentaram do dia 7 ao 8 para todos os parâmetros, menos para os tratamentos WH e GR. Os dados revelaram um aumento na quantidade de PE em todos os tratamentos, menos para GR.

Tabela 2. Média e desvio padrão de clorofila *a* (Chl *a* em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ massa seca), ficocianina (PC em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ massa seca), ficoeritrina (PE em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ massa seca) e compostos antioxidantes (RSA em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ massa seca). Análises estatísticas do tratamento de enriquecimento das lâmpadas fluorescentes com lâmpadas coloridas, referentes aos dados dos dias 0 ao 7 estão no “Dia 0 - 7”. Análises estatísticas do

tratamento somente com lâmpadas coloridas estão no “Dia 8, 0 – 24h” e correspondem aos dados do dia 8. Resultados que demonstraram diferença para a probabilidade de significância ($p < 0,05$) estão representados na tabela em negrito. Parâmetros representados por letras diferentes apresentaram diferenças significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK). FL: lâmpadas fluorescentes. WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE. (LED amarela).

Tratamentos	Chl <i>a</i>	PC	PE	RSA
Dia 0 - 7				
FL	0,49 ± 0,12 ^a	0,35 ± 0,29 ^a	0,32 ± 0,05 ^a	0,51 ± 0,22 ^a
FL + WH	0,39 ± 0,05 ^a	0,21 ± 0,08 ^a	0,49 ± 0,16 ^a	0,79 ± 0,15 ^a
FL + BL	0,36 ± 0,06 ^a	0,16 ± 0,04 ^a	0,42 ± 0,14 ^a	0,64 ± 0,29 ^a
FL + GR	0,40 ± 0,10 ^a	0,21 ± 0,11 ^a	0,61 ± 0,34 ^a	0,62 ± 0,10 ^a
FL + RD	0,39 ± 0,15 ^a	0,16 ± 0,06 ^a	0,45 ± 0,08 ^a	0,90 ± 0,12 ^a
FL + YE	0,42 ± 0,09 ^a	0,16 ± 0,05 ^a	0,41 ± 0,15 ^a	0,67 ± 0,15 ^a
Dia 8, 0 - 24h				
WH	0,08 ± 0,02 ^a	0,20 ± 0,08 ^a	0,65 ± 0,18 ^a	0,39 ± 0,09 ^b
BL	0,08 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,10 ^a	0,74 ± 0,27 ^a	0,38 ± 0,12 ^b
GR	0,08 ± 0,04 ^a	0,19 ± 0,09 ^a	0,45 ± 0,24 ^a	0,59 ± 0,09 ^a
RD	0,08 ± 0,01 ^a	0,21 ± 0,09 ^a	0,52 ± 0,21 ^a	0,57 ± 0,14 ^{ab}
YE	0,14 ± 0,02 ^b	0,28 ± 0,13 ^a	0,79 ± 0,30 ^a	0,59 ± 0,08 ^a

4.2.5 Carragenana

Nas análises do dia 7, após o período de enriquecimento do espectro de radiação fornecido por lâmpadas LED coloridas, os dados de quantidade de carragenana apresentaram diferença significativa para o tratamento. Os teores de carragenana encontrados nos tratamentos FL+ GR ($102,719 \pm 27,137 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$), FL + BL ($118,666 \pm 40,541 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$) e FL + RD ($181,464 \pm 75,742 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$) foram significativamente menores do que os valores dos tratamentos FL + YE ($298,036 \pm 20,287 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$), FL + WH ($331,186 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$) e controle ($282,444 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$). Um gráfico ilustrativo dos dados pode ser observado na Figura 9.

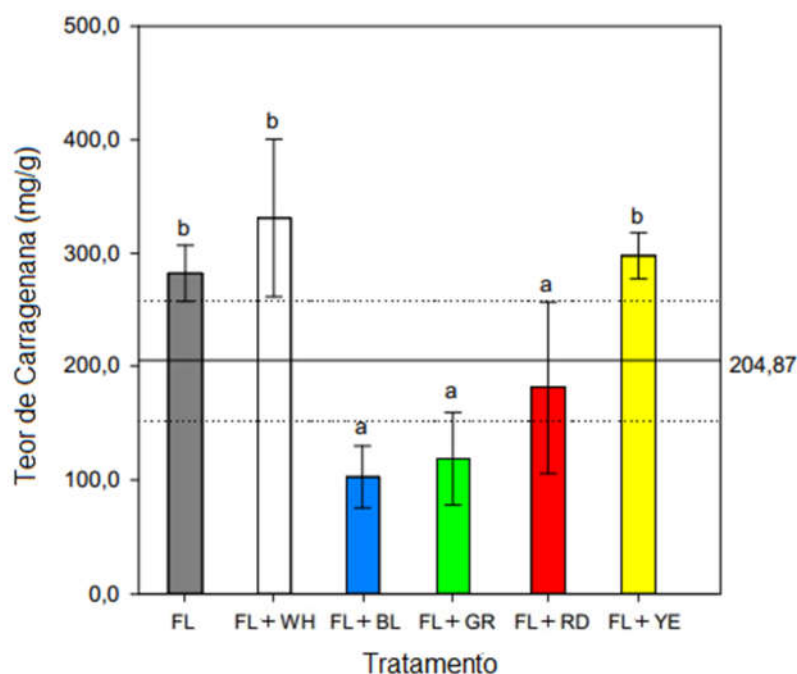


Figura 9. Teor de carragenana nas amostras, dado em miligramas de carragenana por grama de alga seca para cada tratamento no dia 7. Os tratamentos correspondem ao controle (FL) e lâmpadas fluorescentes enriquecidas de luz LED colorida (FL + LED). A linha em negrito ($204,87 \text{ mg.g}^{-1}$ massa seca) e as pontilhadas representam a quantidade de carragenana encontrada na amostra inicial e o desvio padrão, respectivamente. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK). WH (LED branca), BL (LED azul), GR (LED verde), RD (LED vermelha) e YE. (LED amarela).

4.2.6 Compostos antioxidantes (RSA)

Os dados de controle inicial dos compostos antioxidantes, tiveram uma média de $6,62 \pm 1,28 \text{ mg.g}^{-1}$ MS, portanto todos os dados dos tratamentos (tanto do período 1, quanto 2), sofreram redução na quantidade de compostos antioxidantes. No dia 7 não foram observadas diferenças significativas entre os dados de compostos antioxidantes. Houve diferença significativa nos tratamentos do dia 8 (Tabela 1). Os tratamentos em BL e WH obtiveram valores significativamente mais baixos do que em GR e YE (Figura 10).

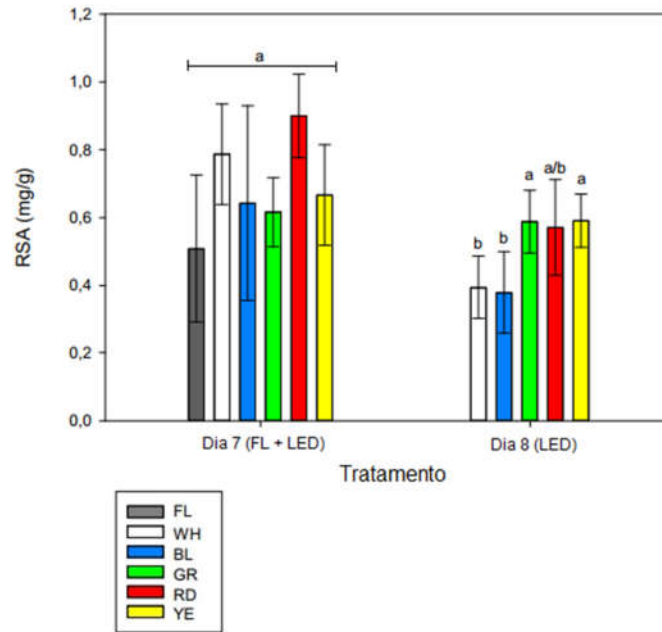


Figura 10. Quantidade de compostos antioxidantes na amostra dada em miligrama de ácido ascórbico por grama de massa seca. Com exceção do tratamento somente com luz fluorescente (FL), os tratamentos do dia 7 representam tratamento com lâmpadas fluorescentes enriquecido com luzes LED coloridas (FL + LED). Tratamentos do dia 8 são referentes somente a lâmpadas LED coloridas. Letras diferentes representam diferença significativa pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).

5 DISCUSSÃO

O ponto de irradiância ótima do sistema fotossintético de *C. teedei* encontrou-se próximo aos $420 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto o ponto de irradiância de compensação foi aos $92 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Essas informações revelaram valores mais alto do que encontrados para outras macroalgas vermelhas da regi\u00e3o entre mar\u00e9s, como *Polyneura hilliae* (irradi\u00e2ncia \u00f3tima pr\u00f3xima aos $125 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no estudo publicado por Hanelt et al. (1992) e *Phorphyra leucostica* (irradi\u00e2ncia \u00f3tima em aproximadamente $290 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no estudo de Mercado et al. (1999) sobre experimentos em laborat\u00f3rio.

Como *C. teedei* \u00e9 uma alga encontrada principalmente na regi\u00e3o entre mar\u00e9s, ela est\u00e1 sujeita a radia\u00e7\u00e3o direta do sol e, com isso, pode-se inferir que seu sistema fotossint\u00e9tico est\u00e1 adaptado a receber todo o espectro de PAR dispon\u00edvel, desde o comprimento de onda da luz

vermelha até o da luz azul. A capacidade de *C. teedei* ter uma maior RGR na luz vermelha, quando comparada com a luz verde e a branca pode ser um indicativo da preferência desta alga crescer em regiões mais próximas a superfície. A luz vermelha também já foi associada com divisão celular e acúmulo de carbono em *Porphyra umbilicallis* e *Porphyra leucostica* (FIGUEROA, F. L., AGUILERA, J. e NIELL, F. X., 1995; AGUILERA et al., 2012).

Apesar de que no presente experimento conduzido com *C. teedei*, as algas expostas a luz verde tenham apresentado a menor taxa de crescimento, estudos feitos por Leukart e Luning (1994) com *Ulva pseudocurvata* e as algas vermelhas *Audouinella daviesiim*, *Halarachnion ligulatum*, *Pterothamnion plumula*, *Chondrus crispus* e *Plumaria elegans* mostraram um maior crescimento na exposição a luz verde em relação à vermelha em todas as rodófitas, e apenas *U. pseudocurvata* obteve maior RGR na luz vermelha. É possível que a quantidade de irradiância - 20 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no presente estudo, em contraste a irradiância máxima de 1 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no de Leukart e Luning - tenha impactado a RGR.

A diferença significativa do ETR do dia 0 e dia 1, mas não no dia 7, pode estar associada a uma reação inicial do sistema fotossintético de *C. teedei* e posterior aclimação. A variação dos dados de controle, contudo, podem indicar que algum fator externo estivesse afetando a ETR. O mesmo pode estar ocorrendo no dia 8, na análise realizada às 6 h após o início do tratamento comparada com a análise após 12 h. É interessante perceber que para todos os tratamentos, menos o azul, houve um decréscimo no ETR no dia 8. Isso diverge do trabalho pioneiro de Haxo e Blinks (1950) e diversos outros posteriores a este (POPPE et al., 2003; BONOMI BARUFI et al. 2015; KENDIRLIOĞLU ŞİMŞEK e CETIN, 2017), que obtiveram os menores dados de atividade fotossintética em algas vermelhas sob o efeito da luz azul.

Uma das hipóteses para o decréscimo de ETR em todos os tratamentos do dia 8, menos o azul, é que o PS II das algas sujeitas aos maiores comprimentos de onda tenha sido saturado e que devido à baixa capacidade fotossintética da luz azul por algas vermelhas, as algas sujeitas a esse tratamento não tenham tido seus fotossistemas saturados. Ademais, a luz azul está associada com maior assimilação de nitrogênio (LILLO, 2004) e com isso maior uso de elétrons (FIGUEROA et al., 2003). Apesar disso é importante salientar que o presente trabalho fez medições pontuais de taxa de transporte de elétron e rendimento quântico máximo, e não da evolução do carbono e oxigênio para medir a fotossíntese em si, portanto seria interessante fazer um acompanhamento da fotossíntese sob os mesmos tratamentos, para obter uma mais informações sobre o comportamento fotossintético de *C. teedei*.

Esta teoria poderia ser corroborada caso tivesse sido observado alguma diferença significativa na concentração de ficoeritrina presente nas amostras de BL, pois algas vermelhas quando sujeitas a ambientes com predominância de luz azul, tendem possuir maior quantidade de PE e maior capacidade fotossintética para captar essa radiação (SAGERT et al., 1997), contudo, essa diferença não foi significativa no dia 8. Além disso, ao avaliar a curva ETR x Irradiância, pôde-se observar que o aumento na intensidade da irradiância não causou um decréscimo no ETR, portanto o aumento no transporte, observado somente no tratamento da luz azul, deve ter ocorrido devido à qualidade da radiação.

Em conjunto com as respostas observadas para F_v/F_m , havendo diminuição em todos os tratamentos das 0h às 24h no dia 8 é possível que *C. teedei* tenha uma rápida capacidade de adaptação à luz, o que deve estar associada a sua condição de alga aclimatada à exposição ao sol (TALARICO e MARANZANA, 2000).

Pesquisas realizadas sob o efeito de diferentes qualidades de luz em macroalgas vermelhas demonstraram que a luz azul tende a estimular a síntese de ficobiliproteínas (TSEKOS et al., 2002; KORBEE et al., 2005; GODÍNEZ-ORTEGA et al., 2008), mas para *C. teedei*, não houve uma diferença significativa entre os tratamentos. Hemlata e Fatma (2009) observaram que para a cianobactéria *Anabaena* NCUU-9, a qualidade de PAR não afetava a quantidade de FBP na amostra, mas que estresses como pesticidas e metais-traço podem diminuir a quantidade destes pigmentos na alga. Eles associaram essa relação negativa com a presença de compostos oxidantes nas algas. Apesar da diferença evolutiva, ao levar em consideração que no dia 8 as algas sujeitas a luz azul apresentaram baixas quantidades de compostos antioxidante – valores significativamente menores do que os das algas sujeitas aos tratamentos na luz verde e amarela - é possível que tenha ocorrido um maior estresse oxidativo nas algas sujeitas ao tratamento de luz azul, e que tenha inibido uma produção significativa de ficobiliproteínas, em especial ficoeritrina. Tanto os dados finais do período 1, quanto do período 2, apresentaram grande diminuição na quantidade de compostos antioxidantes quando comparado aos dados iniciais, podendo indicar um estresse oxidativo da alga para os tratamentos.

A semelhança entre os dados de pigmentos para todos os tratamentos – menos YE do dia 8 – pode estar relacionada a um curto período de exposição ou uma baixa intensidade de luz. Figueroa, Aguilera e Niell (1995) observaram um aumento significativo de PBP e Chl *a* em *Phorphyra umbilicalis* na luz azul, quando comparada com a luz vermelha após um período de

4 semanas de exposição a $50 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

O tratamento do dia 8 (somente LED) estava sujeito a aproximadamente $20 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em oposi\u00e7\u00e3o aos $120 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na primeira fase do experimento. Como na curva PI p\u00f4de ser observada que o ponto de compensa\u00e7\u00e3o da fotoss\u00edntese de *C. teedei* foi estabelecido em $92 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, \u00e9 prov\u00e1vel que a diminui\u00e7\u00e3o no teor de compostos antioxidante nos tratamentos do dia 8, quando comparados aos do dia 7, esteja atrelado a quantidade de irradi\u00e2ncia a qual as algas estavam sujeitas, e n\u00e3o ao tratamento.

Devido \u00e0 car\u00eancia de estudos sobre o efeito da qualidade de luz no teor de carragenana em algas, \u00e9 dif\u00edcil fazer uma compara\u00e7\u00e3o com os resultados obtidos em rela\u00e7\u00e3o a qualidade de luz, contudo, \u00e9 poss\u00edvel afirmar que a quantidade de carragenana foi significativamente maior nos tratamentos de controle, enriquecimento com luz branca e com a luz amarela. O teor m\u00e1ximo - encontrado no tratamento de luz branca - chegou a cerca de 30% do peso seco no presente estudo, valor semelhante ao observado para *Hypnea musciformis* e espor\u00f3fitos de *Kappaphycus alvarezii* no trabalho de compila\u00e7\u00e3o de V\u00e9liz et al. (2017). J\u00e1 o valor m\u00ednimo foi cerca de 10% do peso seco, e foi obtido nas algas sujeitas ao enriquecimento com luz azul. Nos tratamentos de luz branca, azul e vermelha, a m\u00e9dia total obtida nesses tratamentos foi menor do que a do controle e a inicial.

A partir dos dados pode-se observar que a taxa de crescimento de *C. teedei* n\u00e3o teve uma rela\u00e7\u00e3o clara com a quantidade de carragenana. As algas no tratamento de enriquecimento com luz vermelha tiveram a maior taxa de crescimento, por\u00e9m baixo concentra\u00e7\u00e3o de carragenana (cerca de 18%), enquanto as amostras do controle possuíram uma baixa taxa de crescimento, mas alta taxa de carragenana (30%). Um estudo feito em campo com *Chondracanthus chamissoi* revelou que no Chile o per\u00edodo anual em que ela tem sua maior taxa de crescimento (de outubro a fevereiro) \u00e9 concomitante com os maiores teores de carragenana (V\u00c1SQUEZ e ALONSO VEGA, 2001). Estudos em campo observando a taxa de crescimento da alga e o teor de carragenana em *C. teedei* seriam interessantes para melhor compreens\u00e3o da presen\u00e7a – ou aus\u00eancia – de rela\u00e7\u00e3o entre a taxa de crescimento e a composi\u00e7\u00e3o de carragenana dessa macroalga.

6 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou a que a qualidade de PAR sob as condições experimentais aparentou não impactar fortemente respostas fotossintéticas em *C. teedei*. A produção de carragenana de *C. teedei* não aparentou ter uma relação direta com a taxa de crescimento sob diferentes qualidades de irradiâncias, portanto para fins econômicos é possível que a taxa máxima de crescimento de *C. teedei* não seja obrigatoriamente o melhor parâmetro para avaliar a quantidade de carragenana presente na alga.

É importante salientar que o presente estudo realizou apenas uma quantificação da carragenana observada. Um aprofundamento sob o efeito da radiação na qualidade dos polissacarídeos produzidos por *C. teedei* seria de extrema importância para compreender melhor o efeito da radiação na composição destes compostos.

Apesar do estudo representar um ambiente que não pode ser encontrado no meio natural de *C. teedei*, o experimento foi importante para tentar simular como cada qualidade do espectro da PAR poderia estar impactando o desenvolvimento desta macroalga.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, J. et al. Light quality effect on photosynthesis and efficiency of carbon assimilation in the red alga *Porphyra leucosticta*. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, n. 1, p. 86–92, 2012.

AYRES-OSTROCK, L. M.; PLASTINO, E. M. Effects of UV-B radiation on growth rates, pigment content and ultrastructure of red (wild type), greenish-brown and green strains of *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta). **European Journal of Phycology**, v. 49, n. 2, p. 197–212, 2014.

BASTOS, E. O. **Bases biológicas para a domesticação de uma alga vermelha nativa de valor econômico: *Chondracanthus teedei***. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, p. 92. 2013.

BEER, S.; ESHEL, A. Determining phycoerythrin and phycocyanin concentrations in aqueous crude extracts of red algae. **Marine and Freshwater Research**, v. 36, n. 6, p. 785–792, 1985.

BISCHOF, K.; HANELT, D.; WIENCKE, C. Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reactions of marine macroalgae. **Planta**, v. 211, n. 4, p. 555–562, 2000.

BJÖRN, L. O. *Photobiology: The science of life and light*. 2 ed. Lund: Springer, 2008.

BLOIS, M. S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. **Nature**, 1958.

BONOMI BARUFI, J.; FIGUEROA, F. L.; PLASTINO, E. M. Effects of light quality on reproduction, growth and pigment content of *Gracilaria birdiae* (Rhodophyta: Gracilariales). **Scientia Marina**, v. 79, n. 1, p. 15–24, 2015

BRAGA, M. R. A.; MARINO, M. C. **Taxonomia e biologia de *Gigartina teedii* (Roth) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales) no litoral do Estado de São Paulo**. Dissertação. Universidade de São Paulo, 1985.

BUMA, A. G. J. et al. UVB radiation modifies protein and photosynthetic pigment content, volume and ultrastructure of marine diatoms. **Marine Ecology Progress Series**, v. 142, n. 1–3, p. 47–54, 1996.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_pdf>. , 1997

CARMONA, R. et al. Light quality affects morphology and polysaccharide yield and composition of *Gelidium sesquipedale* (Rhodophyceae). **Journal of Applied Phycology**, v. 10, n. 3, p. 323–331, 1998.

COLLÉN, J. et al. Induction of Oxidative Stress in the Red Macroalga *Gracilaria tenuistipitata* by Pollutant Metals. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 45, n. 3, p. 337–342, 2004.

CROCE, R.; VAN AMERONGEN, H. Natural strategies for photosynthetic light harvesting. **Nature Chemical Biology**, v. 10, n. 7, p. 492–501, 2014.

DEREGIBUS, D. et al. Photosynthetic light requirements and vertical distribution of macroalgae in newly ice-free areas in Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. **Polar Biology**, v. 39, n. 1, p. 153–166, 2016.

DO ROSÁRIO, M.; DE BRAGA, A. Reproductive Characteristics of *Gigartina teedii* (Roth) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales), a Turf-forming Species: Field and Laboratory Culture Studies. **Botanica Marina**, v. 33, n. 5, p. 401–410, 1990.

FELIX L., F.; RAFAEL, C. A.; IVAN, G. Relations between electron transport rates determined by pulse amplitude modulated chlorophyll fluorescence and oxygen evolution in macroalgae under different light conditions. **Photosynthesis Research**, v. 75, p. 259–275, 2003.

FIGUEROA, F. L. et al. Effects of short-term irradiation on photoinhibition and accumulation of mycosporine-like amino acids in sun and shade species of the red algal genus *Porphyra*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 69, n. 1, p. 21–30, 2003.

FIGUEROA, F. L.; AGUILERA, J.; NIELL, F. X. Red and blue light regulation of growth and photosynthetic metabolism in *Porphyra umbilicalis* (Bangiales, Rhodophyta). **European Journal of Phycology**, v. 30, n. 1, p. 11–18, 1995.

FINKEL, T.; HOLBROOK, N. J. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. **Nature**, v. 408, n. November, p. 239–247, 2000.

GODÍNEZ-ORTEGA, J. L. et al. Growth and pigment composition in the red alga *Halymenia floresii* cultured under different light qualities. **Journal of Applied Phycology**, v. 20, n. 3, p. 253–260, 2008.

GRAHAM et al. *Algae*. 3 ed. [S.l] LJLM Press, 2016.

HANELT, D.; FIGUEROA F. P. **Physiological and Photomorphogenic Effects of Light on Marine Macrophytes**. Ecological Studies. [S.l] Springer, v. 219, 2013.

GUIRY, Michael D. Structure, life history and hybridization of atlantic *Gigartina teedii* (Rhodophyta) in culture. **British Phycological Journal**, v. 19, n. 1, p. 37–55, 1984.

HANELT, D.; HUPPERTZ, K.; NULTSCH, W. Photoinhibition of Photosynthesis and its Recovery in Red Algae. **Botanica Acta**, v. 105, n. 4, p. 278–284, 1992.

HANELT, D. et al. Effects of high light stress on photosynthesis of polar macroalgae in relation to depth distribution. **Marine Ecology Progress Series**, v. 149, n. 1–3, p. 255–266, 1997.

HAXO, F. T., BLINKS, L. R. Photosynthetic Action Spectra of Marine Algae. **The Journal of General Physiology**, v. 33, n. 4, p. 389–422, 1950.

HAYASHI, L. et al. Cultivation of red seaweeds: a Latin American perspective. **Journal of Applied Phycology**, v. 26, n. 2, p. 719–727, 2014.

HEMLATA, F., T., Screening of cyanobacteria for phycobiliproteins and effect of different environmental stress on its yield. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 83, n. 4, p. 509–515, 2009.

HOLZINGER, A.; LÜTZ, C.. Algae and UV irradiation: Effects on ultrastructure and related metabolic functions. **Micron**, v. 37, n. 3, p. 190–207, 2006.

HORTA, P. A. et al. Rhodoliths in Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change. **Brazilian Journal of Oceanography**. V. 64, n 2. p. 117-136 , 2016.

JASSBY, A D; PLATT, T. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 21, n. 4, p. 540–547, 1976.

JERLOV, N. G. Marine Optics. [S.l.]: Elsevier, 1976.

KENDIRLIOĞLU ŞİMŞEK, G.; CETIN, A. Effect of Different Wavelengths of Light on Growth, Pigment Content and Protein Amount of *Chlorella vulgaris*. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 26, p. 7974–7980, 2017.

KORBEE, N.; FIGUEROA, F. L.; AGUILERA, J. Effect of light quality on the accumulation of photosynthetic pigments, proteins and mycosporine-like amino acids in the red alga *Porphyra leucosticta* (Bangiales, Rhodophyta). **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 80, n. 2, p. 71–78, 2005.

KUMAR, M. et al. Desiccation induced oxidative stress and its biochemical responses in intertidal red alga *Gracilaria corticata* (Gracilariales, Rhodophyta). **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 2, p. 194–201, 2011.

LEUKART, P.; LUNING, K. Minimum spectral light requirements and maximum light levels for long-term germling growth of several red algae from different water depths and a green alga. **European Journal of Phycology**, v. 29, n. 2, p. 103–112, 1994.

LILLO C. **Light Regulation of Nitrate Uptake, Assimilation and Metabolism**. Plant Ecophysiology, v. 3 Nitrogen Acquisition and Assimilation in Higher Plants, p. 149-184, 2004.

LÓPEZ-FIGUEROA, F.; NIELL, F. X. Effects of light quality on chlorophyll and biliprotein accumulation in seaweeds. **Marine Biology**, v. 104, n. 2, p. 321–327, 1990.

LOVE, R. **Optimisation of the culture of the red algae *Chondracanthus teedei*. Effects of irradiance, temperature, salinity and nutrient enrichment**. Dissertação. 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10498/20381>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

LÜNING, K.; DRING, M. J. Reproduction induced by blue light in female gametophytes of *Laminaria saccharina*. **Planta**, v. 104, n. 3, p. 252–256, 1972.

MACCHIAVELLO, J. et al. Suspended culture of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta: Gigartinales) in Caleta Hornos (northern Chile) via vegetative propagation with secondary attachment discs. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 2, p. 1149–1205, 2018.

MARQUARDT, R. et al. Light acclimation strategies of three commercially important red algal species. **Aquaculture**, v. 299, n. 1–4, p. 140–148, 2010.

MATTS, P. J. Solar ultraviolet radiation: Definitions and terminology. **Dermatologic Clinics**, v. 24, n. 1, p. 1–8, 2006.

MERCADO, J. M. et al. Effects of different levels of CO₂ on photosynthesis and cell components of the red alga *Porphyra leucosticta*. **Journal of Applied Phycology**, v. 11, n. 5, p. 455–461, 1999.

MIKI, O. et al. Contrasting effects of blue and red LED irradiations on the growth of *Sargassum horneri* during the germling and immature stages. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 3, p. 1461–1469, 2017.

MCCLUNEY W., R. **Introduction to radiometry and photometry**. Norwood: Artech House, 1994.

PAUL, N. D.; GWYNN-JONES, D. Ecological roles of solar UV radiation: Towards an integrated approach. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, n. 1, p. 48–55, 2003.

PEREIRA, L.; MESQUITA, J. F. Population studies and carrageenan properties of *Chondracanthus teedei* var. lusitanicus (Gigartinaceae, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, v. 16, n. 5, p. 369–383, 2004.

PÉREZ-LLORÉNS, L., et al. ¿Las algas se comen? Un periplo por la biología, la historia, las curiosidades y la gastronomía, e. 1, p. 336, 2016.

POPPE, F. et al. Effects of UV radiation on the ultrastructure of several red algae. **Phycological Research**, v. 51, p. 11–19, 2003.

PORSE, H.; RUDOLPH, B. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 5, p. 2187–2200, 2017.

RITCHIE, R. J. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. **Photosynthesis Research**, v. 89, n. 1, p. 27–41, 2006.

ROCHA-JORGE, R. et al. Diversity of *Chondracanthus* (Gigartinaceae, Rhodophyta) on the Brazilian coast based on molecular and morphological evidences. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 41, n. 4, p. 889–900, 2018.

RODRIGUES, J. A. G. et al. Carragenana da epífita *Hypnea musciformis* obtida do cultivo experimental de *Solieria filiformis* em Flecheiras, Estado do Ceará, Brasil. **Acta Scientiarum**

- **Technology**, v. 33, n. 2, p. 137–144, 2011.

ROLEDA, M. Y. et al. Sensitivity of the Early Life Stages of Macroalgae from the Northern Hemisphere to Ultraviolet Radiation. **Photochemistry and Photobiology**, v. 83, n. 4, p. 851–862, 2010.

SAGERT, S. et al. Daily course of photosynthesis and photoinhibition in *Chondrus crispus* (Rhodophyta) from different shore levels. **European Journal of Phycology**, v. 32, n. 4, p. 363–371, 1997.

SCHMIDT, É. C. et al. Alterations in architecture and metabolism induced by ultraviolet radiation-B in the carragenophyte *Chondracanthus teedei* (Rhodophyta, Gigartinales). **Protoplasma**, v. 249, n. 2, p. 353–367, 2012.

SCHNEIDER, C. W.; LANE, C. E. Notes on the marine algae of the Bermudas. 7. Additions to the flora including *Chondracanthus saundersii* sp. nov. (Rhodophyta, Gigartinales) based on rbcL sequence analysis. **Phycologia**, v. 44, n. February, p. 72–83, 2005.

SINGH, S. P.; SINGH, P. Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 431–444, 2015.

G. S. SINGHAL et al. Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photomorphogenesis. [S.l.] Springer, 1999.

SMITH, E. L. Photosynthesis in Relation to Light and Carbon Dioxide. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 22, n. 8, p. 504–511, [1936](#).

SUNDA, W et al. An antioxidant function for DMSP and DMS in marine algae. **Nature**, v. 418, p. 1–5, 2002.

TALARICO, L.; MARANZANA, G. Light and adaptive responses in red macroalgae: An overview1. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 56, n. 1, p. 1–11,

2000.

TSEKOS, I. et al. Ultrastructure of the vegetative gametophytic cells of *Porphyra leucosticta* (Rhodophyta) grown in red, blue and green light. **Phycological Research**, v. 50, n. 4, p. 251–264, 2002.

VÁSQUEZ, J. A.; ALONSO VEGA, J. M. *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: Ecological aspects for management of wild populations. **Journal of Applied Phycology**, v. 13, n. 3, p. 267–277, 2001.

VÉLIZ, K. et al. Seasonal variation of carrageenans from *Chondracanthus chamissoi* with a review of variation in the carrageenan contents produced by Gigartinales. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 6, p. 3139–3150, 2017.

VILLAÇA, R. et al. Flora marinha bentônica das ilhas oceânicas brasileiras. Ilhas oceânicas brasileiras da pesquisa ao manejo. p. 105–146, 2006.

WAALAND J., R. Integrating Intensive Aquaculture of the Red Seaweed *Chondracanthus exasperatus*. **Journal of Phycology**, v. 37, n. 3, p.51-52, 2008.

WILLIAM R. M. Introduction to radiometry and photometry. Norwood, Artech House, 1994.

WU H. Effect of Different Light Qualities on Growth, Pigment Content, Chlorophyll Fluorescence, and Antioxidant Enzyme Activity in the Red Alga *Pyropia haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta). **BioMed Research International**, v. 2016, 2016.

XUE, L. et al. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on algae and cyanobacteria. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 31, n. 2, p. 79–89, 2005.

YANG, M. Y.; MACAYA, E. C.; KIM, M. S. Molecular evidence for verifying the distribution of *Chondracanthus chamissoi* and *C. teedei* (Gigartinaceae, Rhodophyta). **Botanica Marina**, v. 58, n. 2, p. 103–113, 2015.

YONG, Y., S.; YONG, W., T., L.; ANTON, A. Analysis of formulae for determination of seaweed growth rate. **Journal of Applied Phycology**, v. 25, n. 6, p. 1831–1834, 2013.