



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA E BIOLOGIA MOLECULAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOQUÍMICA

ANTÔNIO WILLAME DA SILVA ALVES

**TÉCNICAS DE MARICULTURA DA MACROALGA VERMELHA *Gracilaria birdiae*
NA PRAIA DE FLECHEIRAS, TRAIRI/CE: EFEITO DE PARÂMETROS
AMBIENTAIS E CLIMÁTICOS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
EXTRAÇÃO DE ÁGAR**

FORTALEZA
2016

ANTÔNIO WILLAME DA SILVA ALVES

TÉCNICAS DE MARICULTURA DA MACROALGA VERMELHA *Gracilaria birdiae*
NA PRAIA DE FLECHEIRAS, TRAIRI/CE: EFEITO DE PARÂMETROS
AMBIENTAIS E CLIMÁTICOS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
EXTRAÇÃO DE ÁGAR

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Bioquímica da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para
obtenção do Título de Mestre em
Bioquímica.

Orientadora: Prof.^a Dra. Norma Maria
Barros Benevides

Coorientadora: Prof.^a Dra. Márjory Lima
Holanda

FORTALEZA
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A477t Alves, Antônio Willame da Silva.
Técnicas de maricultura da macroalga vermelha "Gracilaria birdiae" na praia de Flecheiras, Trairi/CE: efeito de parâmetros ambientais e climáticos sobre a produção de biomassa e extração de ágar / Antônio Willame da Silva Alves. – 2016.
65 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Norma Maria Barros Benevides .
Coorientação: Prof. Dr. Májory Lima Holanda.
1. Técnicas de cultivo. 2. "Gracilaria birdiae". 3. Ágar. 4. Biomassa . 5. Flacheiras. I. Título.

CDD 572

ANTÔNIO WILLAME DA SILVA ALVES

TÉCNICAS DE MARICULTURA DA MACROALGA VERMELHA *Gracilaria birdiae*
NA PRAIA DE FLECHEIRAS, TRAIRI/CE: EFEITO DE PARÂMETROS
AMBIENTAIS E CLIMÁTICOS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
EXTRAÇÃO DE ÁGAR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Bioquímica. Área de concentração: Bioquímica Vegetal.

Aprovada em: 22/08/2016

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Norma Maria Barros Benevides (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cléverson Diniz Teixeira de Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Natássia Albuquerque Ribeiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus e à minha família

AGRADECIMENTOS

A Deus, que cuida de mim e das pessoas que amo.

À minha mãe Francisca por todo amor e educação, ao meu pai Francisco e minha irmã Adriana por todo apoio.

À Profa. Norma Benevides pelo acolhimento, ajuda e confiança.

À Profa. Márjory Holanda, pelos esclarecimentos e orientações.

À Profa. Sandra Santaella, pela parceria.

Ao Eridan, por todo apoio e parceria durante o cultivo.

A todos do Laboratório de Carboidratos e Lectinas (CARBOLEC), Laboratório de Aplicação Biotecnológica de Algas e plantas (BioAp) e Laboratório de Tratamento de Água e Efluentes (Equal). É um prazer ter a companhia e amizade de vocês! e colegas do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, que me ajudaram.

Aos professores e funcionários do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará.

A Capes por financiamento de bolsa e projeto que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa.

De modo geral, a todos que direta ou indiretamente contribuíram com a realização deste trabalho e conclusão de mais etapa importante na minha vida.

RESUMO

A alga marinha vermelha *Gracilaria birdiae* é abundante no litoral cearense e biossintetiza, dentre outros polissacarídeos, o ágar, um ficocolóide de grande importância industrial devido às suas propriedades espessantes, estabilizantes e gelificantes. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito dos parâmetros climáticos e ambientais das estações seca e chuvosa da Praia de Flecheiras-Trairi/CE sobre o rendimento de produção da macroalga agarófita *G. birdiae*, através das técnicas de *Long Line* convencional (LL) e *Long Line* com rede tubular (RT) e sobre o rendimento da extração de ágar das algas cultivadas. A técnica LL foi constituída por 4 módulos de corda de poliestileno torcida de 10 mm e a RT foi composta por 4 módulos de rede tubular de nylon de 0,7 mm e espaço entrenós de 7 cm, ambas mantidas ancoradas e suspensas na superfície da coluna d'água por boias. A biomassa inicial de *G. birdiae* utilizada em cada módulo foi de 1,2 kg. O rendimento de biomassa (RB), a Taxa de Crescimento Diário (TCD) da alga, os parâmetros ambientais (pH, salinidade, N-NH₃/NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ e PO₄³⁻) e o rendimento de ágar da alga cultivada foram avaliados durante as estações seca (julho a dezembro) e chuvosa (janeiro a junho) em períodos de cultivo de 30 e 45 dias. Os parâmetros climáticos (precipitação acumulada e velocidade média dos ventos) do sítio de cultivo foram fornecidos mensalmente pela FUNCEME. Os maiores RB foram obtidos na estação seca, alcançando 0,85 Kg m⁻¹ para RT em 45 dias de cultivo, assim como as maiores TCDs, com máxima de 5% dia⁻¹, apesar das altas velocidades dos ventos observadas para essa estação. Já os menores RB e TCD foram observados na estação chuvosa (0,16 Kg m⁻¹ e 0,6% dia⁻¹ para RT45 respectivamente). Os rendimentos de extração de ágar (AGb) das algas cultivadas variaram entre 11 e 20%, porém sem diferença significativa, assim como os valores dos parâmetros ambientais (pH, N-NO₃⁻, PO₄³⁻) entre as estações seca e chuvosa. N-NH₃/NH₄⁺ foi detectada apenas na estação chuvosa. Portanto, a Praia de Flecheiras, Trairi-Ce se apresentou como um sítio potencial para o cultivo de *G. birdiae* através das técnicas LL e RT, alcançando altos RB e TCD, viáveis comercialmente, porém, tais índices sofreram influência significativa das estações seca e chuvosa, sendo necessárias alterações e adequações das estruturas de cultivo às condições climáticas apresentadas por cada estação do ano visando otimizar a produção de biomassa algácea.

Palavras chave: Técnicas de cultivo. *Gracilaria birdiae*. Ágar. Biomassa. Flecheiras.

ABSTRACT

The red seaweed *Gracilaria birdiae*, abundant in Ceará, produce, among other polysaccharides, agar, a ficolóide of great commercial importance because of its thickening properties, stabilizers and gelling agents. The aim of this study was to evaluate the effect of the climatic and environmental parameters in Flecheiras Beach –Trairi, through the dry and rainy season on the production yield of the biomass of *G. birdiae*, using conventional Long Line (LL) and Long Line with tubular net (RT) and on the yield of agar extraction from cultured seaweed. The LL technique consisted of 4 modules of 10 mm twisted polystyrene rope and the RT was composed of 4 modules of 0.7 mm nylon tubular net and 7 cm internodes, both of which were kept anchored and suspended on the surface of the column Water by buoys. The initial biomass of *G. birdiae* used in each module was 1.2 kg. The biomass yield (RB), the Daily Growth Rate (TCD) of the seaweed, the environmental parameters (pH, salinity, N-NH₃ / NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ and PO₄³⁻) and the yield of agar were evaluated during the dry seasons (July to December) and rainy (January to June) in periods of cultivation of 30 and 45 days. The climatic parameters (cumulative precipitation and mean wind velocity) of the culture site were supplied monthly by FUNCEME. The highest RB were obtained in the dry season, reaching 0.85 kg m⁻¹ for RT in 45 days of cultivation, as well as the highest TCDs, with a maximum of 5% day⁻¹, despite the high wind speeds observed for this season. The lowest RB and TCD were observed in the rainy season (0.16 kg m⁻¹ and 0.6% day⁻¹ for RT45 respectively). The yields agar extraction of the cultivated seaweed varied between 11 and 20%, but without significant difference, as well as the values of environmental parameters (pH, N-NO₃⁻, PO₄³⁻) between dry and rainy seasons. N-NH₃ / NH₄⁺ was detected only in the rainy season. Therefore, Flecheiras Beach, Trairi-Ce presented as a potential site for the cultivation of *G. birdiae* through the LL and RT techniques, reaching commercially viable high RB and TCD, but such indices were significantly influenced by the dry and Rainy season, and alterations and adaptations of the crop structures are necessary to the climatic conditions presented by each season of the year aiming to optimize the production of algal biomass.

Keywords: Techniques crop. *Gracilaria birdiae*. Agar. Biomass. Flecheiras.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Estrutura química do ágar: agarose, que consiste em repetidas unidades alternadas de galactose e a agarpectina, um polissacarídeo sulfatado composto de agarose e percentuais variados de substituintes..... 17
- Figura 2 - Esquema da gelificação do ágar. Espirais suspensas em solução (A), após o resfriamento as duplas hélices interagem quimicamente (B), podem se agrupar com outras duplas hélices (C), por fim constituem uma rede tridimensional, formando o gel de ágar (D)..... 19
- Figura 3 - Produção mundial de algas aquáticas em 2012..... 21
- Figura 4 - Principais gêneros de algas marinhas cultivadas em escala piloto na América Latina..... 23
- Figura 5 - Composição dos complexos de antena agregados aos fotossistemas I (PSI) e II (PSII)..... 26
- Figura 6 - Macroalga marinha vermelha *Gracilaria birdiae* E.M.Plastino & E.C.Oliveira..... 31
- Figura 7 - Localização da área de cultivo - Praia de Flecheiras (03°13'06''S -39°16'47''W), município de Trairi, estado do Ceará, Brasil. Situado a 200 m da costa, em uma área de aproximadamente 0,5 ha, com 3-5,0 m de profundidade, próximo à sede da APAFG..... 32
- Figura 8 - Esquemática da estrutura de cultivo *Long-Line* convencional composta por 4 módulos de corda (polietileno torcida 10 mm) com comprimento de 5 m cada. A estrutura foi mantida na superfície do mar (bóias) e ancorada por toçus (estruturas de ferro e alvenaria usadas como âncora artesanal) (a) e preparo da muda de *G.birdiae* (50 ± 5 g) amarrada com um barbante de algodão e presa à corda com o auxílio de fitilhos de nylon (b).... 33

Figura 9 -	Esquemática da estrutura de cultivo <i>Long-Line</i> Rede Tubular composta por quatro módulos de rede tubular de nylon (0,7 mm) com espaço entre nós de 7,0 cm e com comprimento de 5 m cada. A estrutura foi mantida na superfície do mar (bóias) e ancorada por toaços (a) e muda de <i>G.birdiae</i> embutida em RT com o auxílio de um cano de PVC (12 cm diâmetro) (b).....	33
Figura 10 -	Esquema de extração do ágar da alga marinha vermelha <i>G. birdiae</i> (AGb) cultivada durante as estações seca e chuvosa na Praia de Flecheiras-Trairi/CE.....	37
Gráfico 1 -	Precipitação chuvosa mensal acumulada e velocidade média dos ventos durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).	39
Gráfico 2 -	Parâmetros ambientais pH e salinidade observados na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria bidiae</i> , compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).....	41
Gráfico 3 -	Concentrações de amônia observadas na Praia de Flecheiras Trairi/CE durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria bidiae</i> , compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).....	42
Gráfico 4 -	Concentrações de nitrito observadas na Praia de Flecheiras Trairi/CE durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria bidiae</i> , compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).....	44
Gráfico 5 -	Concentrações de nitrato observadas na Praia de Flecheiras-Trairi/CE durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria bidiae</i> , compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).....	45
Gráfico 6 -	Concentrações de ortofosfato observadas na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria bidiae</i> , compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).....	46

Gráfico 7 -	Rendimentos de biomassa obtidos nos 4 ciclos de cultivo de <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras-Trairi/CE através das técnicas <i>Long-Line</i> (LL) e Rede Tubular (RT), durante os períodos de cultivo de 30 e 45 dias nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	48
Gráfico 8 -	Produtividade de biomassa obtidos nos 4 ciclos de cultivo de <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras-Trairi/CE através das técnicas <i>Long-Line</i> (LL) e Rede Tubular (RT), durante os períodos de cultivo de 30 e 45 dias nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	49
Gráfico 9 -	Taxa de Crescimento Diário de <i>Gracilaria birdiae</i> cultivada na Praia de Flecheiras-Trairi/CE através das técnicas <i>Long-Line</i> (LL) e Rede Tubular (RT), durante os períodos de cultivo de 30 (A) e 45 dias (B) nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	51
Gráfico 10 -	Rendimento da extração de ágar da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> cultivada na Praia de Flecheiras-Trairi/CE nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Distribuição dos ciclos de cultivo de <i>G. birdiae</i> realizados na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante as estações seca e chuvosa.....	34
Tabela 2 -	Comparativo dos valores médios dos parâmetros ambientais pH e Salinidade observados durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	41
Tabela 3 -	Comparativo dos valores médios das concentrações de amônia observadas durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	43
Tabela 4 -	Comparativo dos valores médios das concentrações de nitrito observadas durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	44
Tabela 5 -	Comparativo dos valores médios das concentrações de nitrito observadas durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	45
Tabela 6 -	Comparativo dos valores médios das concentrações de ortofosfato observadas durante o cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).....	46
Tabela 7 -	Comparativo entre os valores médios dos parâmetros ambientais observados durante o cultivo da macroalga	

Gracilaria birdiae na Praia de Flecheiras- Trairi/CE e Praia Rio do Fogo- Natal/RN, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016)..... 47

Tabela 8 - Taxas de Crescimento Diário (TCD) observadas para diferentes espécies de *Gracilaria* cultivadas em diferentes sítios utilizando diferentes técnicas de cultivo..... 53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	As macroalgas marinhas.....	15
1.2	Importância Econômica das Macroalgas Vermelhas.....	16
1.3	Ágar.....	17
1.4	Maricultura de macroalgas.....	20
1.5	Fotossíntese.....	25
1.6	Nutrição de macroalgas.....	27
2	OBJETIVOS.....	30
2.1	Geral.....	30
2.2	Específicos.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	Materiais.....	31
3.1.1	<i>Alga marinha G. birdiae</i>	31
3.2	Métodos.....	32
3.2.1	<i>Cultivo da macroalga G. birdiae</i>	32
3.2.2	<i>Parâmetros ambientais do sítio de cultivo de G. birdiae</i>	34
3.2.3	<i>Determinações do ganho e rendimento de G. birdiae</i>	35
3.2.4	<i>Determinação da Taxa de Crescimento Diário (TCD) de G. birdiae</i>	36
3.2.5	<i>Extração do Ágar de G. birdiae</i>	36
3.2.6	<i>Análises estatísticas</i>	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1	Parâmetros ambientais.....	38
4.1.1	<i>Precipitação e velocidade de vento</i>	38
4.1.2	<i>pH e salinidade</i>	40
4.1.3	<i>Nutrientes</i>	42
4.2	Produção em biomassa.....	47
4.2.1	<i>Rendimento e produtividade em biomassa de G. birdiae</i>	47
4.2.2	<i>Taxa de Crescimento Diário (TDC) de G. birdiae</i>	50
4.3	Rendimentos de extração de ágar.....	54

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6	CONCLUSÕES.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 As macroalgas marinhas

As algas compreendem um grupo bastante heterogêneo de organismos fotossintetizantes que habitam ambientes marinhos, de água interior e terrestres úmidos, apresentando formas de vida microscópica (microalgas) e macroscópica (macroalgas) (SZE, 1997). O termo alga está relacionado a um grupo polifilético de organismos, que podem ou não estar relacionados evolutivamente, possuindo representantes nos Domínios Eubacteria e Eukarya. As semelhanças biológicas e ecológicas das algas com plantas superiores são notáveis, porém, por não apresentarem tecidos especializados (talófitas) e não compartilharem aspectos evolutivos e bioquímicos, as algas constituem um táxon diferente (STENGEL; CONNAN; POPPER, 2011). Outros aspectos significativamente menos distintos agrupam as espécies, tais como, químicos, citológicos e morfológicos que estão relacionados aos tipos e às combinações de pigmentos fotossensibilizantes presentes; à natureza química das substâncias de reserva e das paredes celulares; à ausência ou à presença de flagelos; ao padrão e ao curso da mitose e da citocinese; à presença ou à ausência de membrana no retículo endoplasmático e ao tipo e à complexidade de ciclo de vida (CARVALHO & ROQUE, 2000).

Em sistemas aquáticos, as algas incorporam energia solar a biomassa, fixando carbono e produzindo oxigênio que é dissolvido na água e usado pelos demais organismos aquáticos, atuam na mineralização e no ciclo dos principais elementos químicos. Constituem a base da cadeia alimentar para animais herbívoros e onívoros, e ao morrerem, seus constituintes químicos sofrem transformações no sedimento, são solubilizados e reciclados na água (VIDOTTI & ROLLEMBERG, 2004). Existem aproximadamente 10.000 espécies de macroalgas marinhas (GUIRY, 2014) classificadas em três grupos principais: Ochrophyta (algas pardas), com aproximadamente 2.040 espécies, todas de ambiente marinho; Chlorophyta (algas verdes) com aproximadamente 6.000 espécies, das quais, 700 são marinhas e Rhodophyta (algas vermelhas), com aproximadamente 7.100 espécies, das quais, apenas 150 são de água doce (PHANG *et al.*, 2016).

As algas vermelhas apresentam na constituição da parede celular uma fração fibrilar rígida de celulose embebida em uma matriz amorfa, a qual a confere

resistência, bem como outras macromoléculas como glicoproteínas e galactanas sulfatadas (LECHAT *et al.*, 2000). As galactanas sulfatadas são formadas por unidades de galactose (ou derivados desse monossacarídeo) dispostas em uma cadeia linear composta por unidades dissacarídicas repetitivas de β -D-galactose ligada através dos carbonos C-1 e C-3 (unidade A) e α -galactose através dos carbonos C-1 e C-4 (unidades B), sendo que algumas unidades de α -galactose podem ser encontradas na forma de 3,6-anidrogalactose. As galactanas formam um arranjo alternado de unidades A e B, ou seja, (AB)_n (PAINTER, 1983). Três classes de galactanas são conhecidas. São elas: carragenanas e agaranas, que diferem na configuração enantiométrica da α -galactose da unidade B, sendo da série L para agaranas e D para carragenanas (USOV, 1984) ou ainda híbridos D/L, em que as unidades B apresentam configuração D e L na mesma molécula (ESTEVEZ; CIANCIA; CERREZO, 2004).

1.2 Importância Econômica das Macroalgas Vermelhas

As macroalgas são utilizadas como alimento há centenas de anos por povos asiáticos e atualmente compõe uma parte considerável da dieta humana (GÓMEZ-ORDÓÑEZ; JIMÉNEZ-ESCRIG; RUPÉREZ, 2010). Novas formas de aplicações das macroalgas foram descobertas e seus subprodutos se tornaram amplamente empregados na indústria (OLIVEIRA, 2005). Além da alimentação humana, as macroalgas marinhas também são usadas na alimentação animal há muitos anos (Makkar *et al.* 2016). As indústrias de fármacos (EL GAMAL, 2012), alimentícia (EVANS & CRITCHLEY, 2014), de fertilizantes (ABDEL-RAOUF, 2012), de tratamentos do solo (HARVEY, 1988), dentre outras, também usam as macroalgas marinhas como matéria prima, assim como os seus subprodutos. As macroalgas vermelhas são consideradas as fontes mais importantes de metabolitos biologicamente ativos, em comparação com as outras classes desses organismos (EL GAMAL, 2010). Compostos de alta massa molecular, como as galactanas, desempenham funções tecnológicas importantes para diferentes indústrias (VAN DE VELDE *et al.*, 2002). Estes compostos, juntamente com outras classes de polissacarídeos, são denominados comercialmente de ficocoloides e são utilizados como espessantes e gelificantes de soluções aquosas, estabilizante de espuma e emulsões, inibidores de formação de cristais de gelo e açúcar, e, liberação controlada

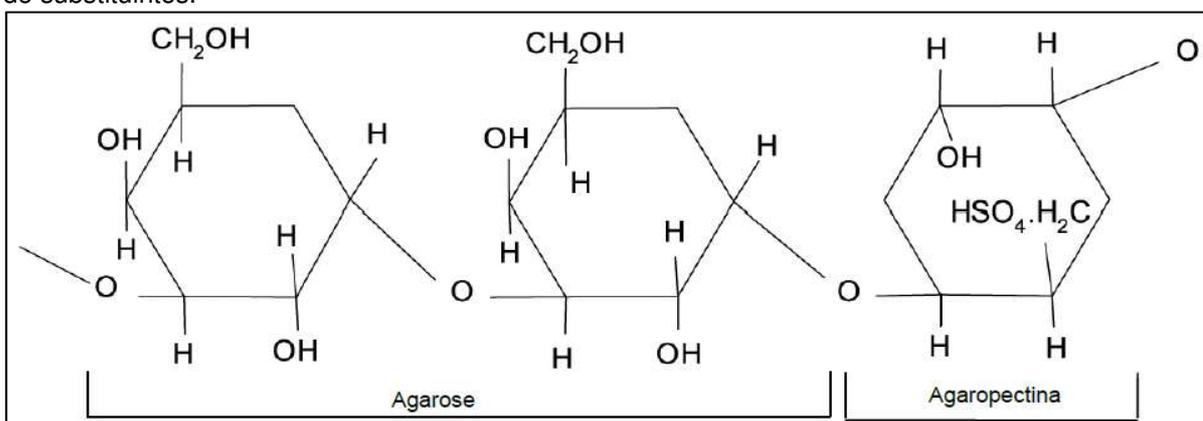
de aromas (WILLIAMS & PHILLIPS, 2000). As carragenanas são produzidas por macroalgas carragenófitas como *Eucheuma isiforme*, *Solieria filiformis*, *Halymenia floressi*, *Hypnea musciformis* e *Kappaphycus alvarezii* (ROBLEDO & FREILE-PELEGRÍN, 2010). Já as agaranas são produzidas pelos gêneros *Pterocladia*, *Gelidium*, *Gelidiella* e *Gracilaria*. Dentre estes gêneros, *Gracilaria* se destaca, sendo a principal produtora de ágar no mundo (HEYDARI *et al.*, 2014). O Brasil possui muitas espécies desse gênero e a agarófito *Gracilaria birdiae* comumente encontrada no litoral nordestino se torna promissora para a produção comercial (SAITO & OLIVEIRA, 1990).

O ágar é amplamente empregado na área bacteriológica e de cosméticos e apresenta ainda a vantagem de possuir alto poder de histerese e mudança da capacidade de gelificar de acordo com a concentração utilizada. Devido sua alta resistência ao ataque de microorganismos, o ágar é empregado na preparação de meios de cultura. Outra aplicação, seria o uso em orquidários, onde os géis são utilizados como substrato para o desenvolvimento de plântulas (SANTOS, 2011).

1.3 Ágar

O ágar é um polímero de elevada massa molecular, com estrutura química composta por unidades repetidas de $\beta(1\rightarrow3)$ -D e $\alpha(1\rightarrow4)$ -L ligados a 3,6 anidrogactose, por se tratar de um polímero muito heterogêneo, diversas modificações podem ocorrer na molécula. Os principais substituintes encontrados nas agaranas são grupos sulfatos, piruvato, ou metoxil (Figura 1). (SANTOS, 2011).

Figura 1 – Estrutura química do ágar: agarose, que consiste em repetidas unidades alternadas de galactose e a agaropectina, um polissacarídeo sulfatado composto de agarose e percentuais variados de substituintes.



Fonte: Adaptado de Santos, 2011.

A presença de unidades A piruvatadas (4,6-O-(1-carboxietilideno)-D-galactopiranoose) e com grupos metil (6-O-metil-D-galactopiranoose) é freqüente, bem como cadeias laterais de 4-O-metil-L-galactopiranoose e unidades B metiladas em C-2 (STORTZ & CERREZO, 2000). Devido à grande variedade de grupos substituintes dentro da molécula e devido à natureza complexa de sua estrutura, o ágar é subdividido em:

a) Agarose: estrutura linear e regular constituída por unidades dissacarídicas repetitivas de β -D-galactopiranoose ligadas glicosidicamente através da posição 3 (unidades A) e 3,6-anidro- α -L-galactopiranoose ligadas glicosidicamente através da posição 4 (unidades B) (ARAKI & HIRASE, 1983). A agarose é desprovida de sulfato e é a galactana com maior propriedade geleificante dentro do grupo das agaranas (USOV; IVANOVA; SHASHKOV, 1983). A substituição das unidades anidrogactosídicas por unidades de α -L-galactopiranoose-6-sulfato reduz consideravelmente a propriedade de geleificação desses polímeros, enquanto que a introdução de grupos metil nessa mesma posição não influencia significativamente essa propriedade.

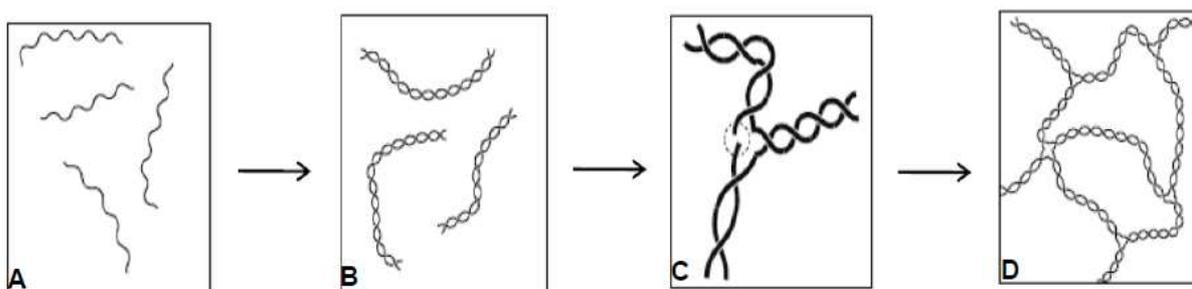
b) Precursor da agarose ou agaropectina: Constituído por unidades dissacarídicas repetitivas, sendo as unidades A semelhantes àquelas encontradas na agarose, ao passo que as unidades B são substituídas pelo derivado α -L-galactopiranoose-6-sulfato (precursor biológico de 3,6-anidrogactopiranoose). A agaropectina é formada, além de resíduos de D-galactopiranoose e 3,6-anidro-L-galactopiranoose, também por unidades de ácido-D-glucurônico, ácido pirúvico na forma acetálica [4,6-O-(1-carboxietilideno)] da galactopiranoose e um teor muito alto de sulfato. Devido à grande presença de grupos carregados e cálcio em sua estrutura, forma géis fracos. A viscosidade é pouco afetada pela variação do pH entre quatro e nove. Em soluções diluídas, originam géis fracos, porém firmes à temperatura ambiente, razão pela qual são usadas em alimentos como agente gelificante. São também empregadas intensamente como meio de cultura para microrganismos (BOBBIO & BOBBIO, 2001; BOBBIO & BOBBIO, 2003). O tratamento alcalino de agaranas contendo unidades precursoras, ou seja, α -L-galactopiranoose-6-sulfato as transforma em unidades de 3,6-anidro- α -L-galactopiranoose. Este tipo de tratamento é utilizado na indústria para aumentar o poder geleificante desses polímeros, ou em laboratório para a quantificação das unidades B naturalmente sulfatadas no C-6 presentes nas galactanas de algas vermelhas (NOSEDA & CERREZO, 1995).

c) Porfirana: Biossintetizada por macroalgas dos gêneros *Porphyra* e *Bangia*, são estruturalmente semelhantes à agarose, porém mais complexa devido à ocorrência natural de grupos O-metil esterificando o C-6 de algumas unidades A e de grupos sulfato substituindo parcialmente o C-6 de unidades B. As unidades de α -L-galactopiranoose podem ainda encontrar-se em sua forma ciclizada de 3,6-anidrogactose (ANDERSON & REES, 1965; ASPINALL, 1970).

Estas estruturas são utilizadas como parâmetros de comparação no estudo de agaranas. No entanto, polímeros do tipo agarana apresentam uma grande variedade de grupos substituintes encontrados em diferentes posições e proporções, o que confere uma grande complexidade estrutural (CASSOLATO, 2004).

O ágar em solução aquosa apresenta estrutura molecular em conformação helicoidal, apresentando interações entre as cadeias e formando uma rede tridimensional capaz de aprisionar um considerável número de moléculas de água nos interstícios. Segundo Lahaye & Rocha (1991) e Saito (1997), as ligações de hidrogênio entre as moléculas de água e entre os átomos de oxigênio presentes na galactopiranoose e na anidrogactose são responsáveis pela estabilização da estrutura do gel (Figura 2).

Figura 2 - Esquema da gelificação do ágar. Espirais suspensas em solução (A), após o resfriamento as duplas hélices interagem quimicamente (B), podem se agrupar com outras duplas hélices (C), por fim constituem uma rede tridimensional, formando o gel de ágar (D).



Fonte: Adaptado de Potter, 2010.

1.4 Maricultura de macroalgas

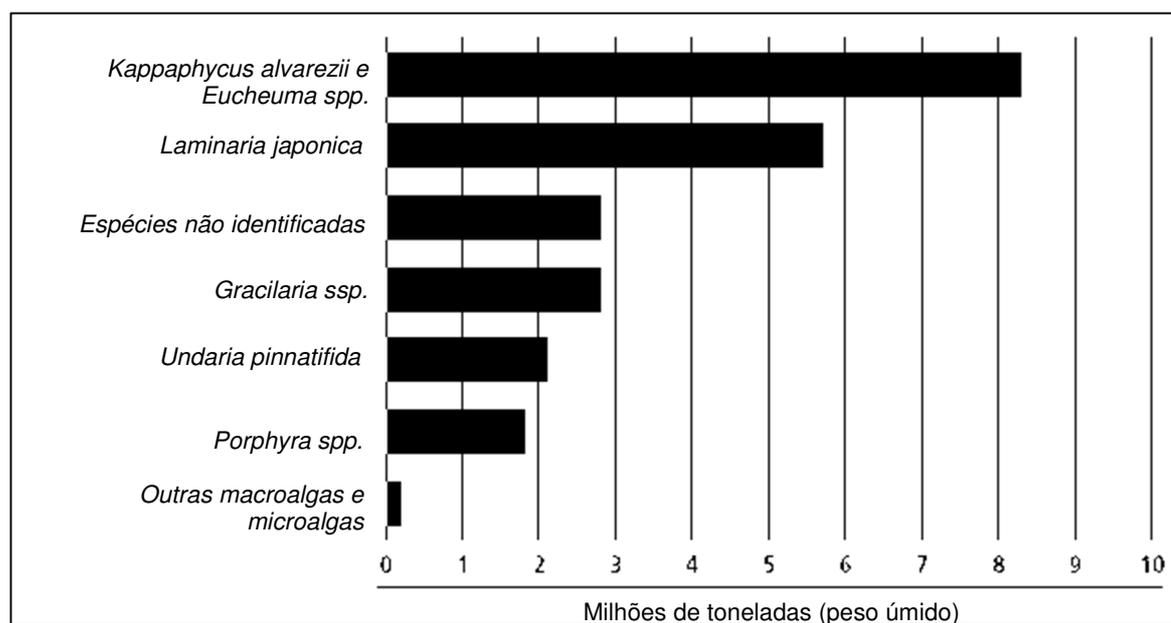
De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations), a “Aquicultura” é o cultivo de organismos aquáticos incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas. O cultivo implica em alguma forma de intervenção no processo de criação, de modo a aumentar a produção, tal como o armazenamento regular, fornecimento de alimento, proteção de predadores, dentre outros. O cultivo implica ainda na posse individual ou associativa do estoque cultivado. A maricultura, por sua vez compreende a atividade humana de produzir qualquer organismo marinho no mar, uma vez que, a produção em larga escala não é espontânea na natureza, mas induzida e controlada pela ação do homem. As espécies mais comuns na maricultura são os peixes (piscicultura), mexilhão (mitilicultura), ostras (ostreicultura) e camarões (carcinicultura), totalizando uma produção de 90,4 milhões de toneladas em 2012, deste montante, 23,8 milhões de toneladas são de macroalgas marinhas, totalizando um lucro de 6,4 bilhões de dólares. Grande parte desta produção é de *Rhodophytas*, seja para uso como alimento ou fonte de hidrocoloides. Atualmente as altas demandas destes compostos no mercado, motivou o estudo da potencial exploração econômica dos bancos naturais de macroalgas marinhas da costa brasileira. Algumas espécies nativas se mostram promissoras para a produção em larga escala (FURTADO, 2004).

No Brasil, duas empresas vêm processando agaranas e carragenanas: a Griffith do Brasil, com sede em Mogi das Cruzes (São Paulo), que importa algas das Filipinas e a Agar Gel, localizada em João Pessoa (Paraíba), que cultiva e produz a carragenana da alga *Hypnea musciformis* e o ágar das espécies de algas *Gracilaria grevillea* e *Gracilaria chilensis* provenientes da costa nordestina e do Chile, respectivamente (FURTADO, 1999; CARVALHO FILHO, 2004).

O aumento cada vez maior na demanda por hidrocoloides tem estimulado produções anuais crescentes. Tradicionalmente o cultivo de algas desenvolvido a partir de biomassa proveniente dos bancos naturais, impactando negativamente estes bancos. Somente entre os anos de 2000 e 2012, a produção mais que dobrou. A China, maior produtor mundial, alcançou as 13,5 milhões de toneladas em 2013. Os países asiáticos dominam a produção, juntamente com a Indonésia, a China é responsável por 81,4% da produção global. Segundo a FAO (2014), em 2010 a

produção de *Kappaphycus alvarezii* uma espécie de alga vermelha, ultrapassou a produção de *Kelps* (Figura3).

Figura 3 - Produção mundial de macroalgas em 2012.



Fonte: Adaptado de FAO, 2014.

Durante muito tempo a exploração dos recursos marinhos se deu de forma extrativista e de pesca artesanal, porém, devido ao grande crescimento populacional uma nova tendência de produção em larga escala tem se estabelecido para estes recursos (CHOPIN, 2009), assim, o extrativismo vem sendo substituído gradativamente pelo cultivo. Em 2012, o número de espécies produzidas e registradas chegou a 567. Destas, 354 são de peixes, incluindo 5 espécies híbridos; 102 de moluscos; 65 de crustáceos, anfíbios e répteis; 9 de invertebrados aquáticos e 37 espécies de algas de água doce e salgada. O aumento dessa produtividade verificado anualmente é devido, principalmente, a melhorias na coleção de dados e elaboração de relatórios a nível nacional e internacional, bem como o cultivo de novas espécies, incluindo híbridos. Dado o grande número de novas espécies relatadas por muitos países, estima-se que a produção aquícola em todo mundo usa cerca de 600 espécies de peixes comestíveis e algas.

No caso das algas, a exploração extrativista indiscriminada dos bancos naturais tem impactado negativamente algumas espécies (TITLYANOV & TITLYANOVA, 2010) e a maricultura se torna uma alternativa também para a proteção destes bancos (HAFTING *et al.*, 2012). A prática de cultivo de macroalgas vem

ocorrendo desde várias décadas na cultura oriental, em geral, para a produção de alimentos, mas somente nos últimos 50 anos vem se estabelecendo bases científicas para seu desenvolvimento (BULBOA *et al.*, 2013), tanto no oriente como em outros lugares do mundo. Atualmente a América do Sul se mostra promissora para a produção destes recursos, porém esse potencial ainda permanece inexplorado (HAYASHI *et al.*, 2013).

Diferentes técnicas de cultivo de macroalgas têm sido desenvolvidas com o intuito de maximizar a produção, algumas das quais, ainda estão em fase experimental e seu estabelecimento necessita de estudos *in situ* para determinação de viabilidade (ASK & AZANZA, 2002). Estas novas técnicas vêm sendo desenvolvidas a partir de uma técnica simples e antiga, denominada de balsa flutuante com corda única (SRFR- Single Rope Floating Raft), a qual tem se mostrado adequada para o cultivo de macroalgas em áreas amplas e com maior profundidade. Consiste em uma corda de polipropileno de 10 mm de diâmetro, ligado a duas estacas de madeira, ancorado com dois cabos de fibra sintética e mantido à tona com bóias sintéticas. Cada balsa é mantida à tona por meio de 25-30 flutuadores. A corda de cultivo tem 1 m de comprimento, 6 mm de diâmetro e é fixada na corda flutuante. Uma pedra é anexada à extremidade inferior da corda de cultivo para mantê-la em posição vertical (SAJID, 2003). Com o passar do tempo esta metodologia sofreu modificações e as mudas passaram a ser fixadas diretamente na corda e mantida na superfície. Desta forma surgiu o cultivo em *long line*. Outras técnicas experimentais vem sendo realizadas a fim de estabelecer novas tecnologias de cultivo, tais como cultivos em tanques (BULBOA *et al.* 2013), bolsões submersos (CAMACHO & MONTAÑA, 2012), *raceways*, bastidores de PVC (BEZERRA & MARINHO-SORIANO, 2010), variações de técnicas de rede tubular na superfície e no substrato rochoso, dentre outros (ASK & AZANZA, 2002). Estudos de policultivo apontam ainda a possibilidade de associação de macroalgas com outros organismos (LÜNING & PANG, 2003).

Na América Latina, o Chile é o maior produtor de macroalgas vermelhas. Em 2011, a produção atingiu 14.469 t em peso úmido, com faturamento de US\$ 21.848.000. Esta produção vem principalmente de populações selvagens, e que as espécies mais exploradas são as carragenófitas *Sarcothalia crispata*, *Laminarioides mazaella*, *Gigartina skottsbergii*, *Chondracanthus chamissoi* e as agarófitas *Gracilaria chilensis* e *Lingulatum gelidium* (HAYASHI *et al.*, 2013).

Dois gêneros de algas vermelhas se destacam nas pesquisas de campo e em projetos de escala piloto: *Gracilaria*, gênero nativo no Brasil e abundante em águas tropicais e *Kappaphycus*, Gênero nativo das Filipinas (Figura 4) (HAYASHI *et al.*, 2013).

Figura 4 – Principais gêneros de macroalgas marinhas cultivadas em escala piloto na América Latina.



Fonte: Adaptado de Hayashi *et al.*, 2013.

O principal fator determinante para o sucesso da maricultura é a escolha da área adequada, tendo em vista que se a espécie de macroalga a ser cultivada for natural do mesmo ambiente onde se estabelece o cultivo, não há necessidade de aclimação ou adaptação da espécie às condições climáticas e físicoquímicas. Caso contrário, outros fatores devem ser considerados como salinidade, temperatura, movimentos da alga e da água, firmeza do fundo do mar, quantidade de diferentes espécies de algas locais e quantidade de luz solar (MCHUGH, 2003).

No Brasil, estudos com técnica de *long-line* na praia de Flecheiras, Ceará mostraram viabilidade técnica para o cultivo da macroalga *H. musciformis*, a qual apresentou taxa de crescimento diário (TCD) de 5,38% em profundidade de 0,20 m. (MASIH, 2005).

No sudeste do Brasil estudos com *Kappaphycus alvarezii* já são realizados há algumas décadas e a espécie vem se destacando e apresentando grande potencial de cultivo e atualmente pequenas produções com objetivo comercial já são obtidas (PELLIZZARI & REIS 2011). Porém, esta atividade ainda não atingiu uma produção que abasteça o mercado nacional e o Brasil continua dependente de matéria algácea importada. A Instrução Normativa do IBAMA, Nº 185, permite o cultivo comercial desta espécie entre a Baía de Sepetiba (RJ) e na Ilha Bela (SP), mas os impactos ambientais ocasionado pelo cultivo de espécies de macroalgas exóticas no litoral brasileiro ainda é questionado. Neste contexto, novos estudos e projetos com o objetivo de estabelecer o cultivo de espécies de macroalgas nativas no nordeste brasileiro se fazem necessários. Segundo a FAO, esta é uma região que reúne muitos dos fatores considerados favoráveis a maricultura.

Variações significativamente grandes dos parâmetros ambientais (sazonais) podem afetar a produção total de macroalgas, tanto quantitativamente, quanto qualitativamente (DE GÓES & REIS, 2012) e este pode ser um ponto crítico para a escolha da área de cultivo, uma vez que não se tem controle destas variáveis em sistemas abertos (MURPHY *et al.*, 2016).

Estudos relacionados a maricultura de macroalgas no nordeste do Brasil já relataram o uso do gênero *Gracilaria* (CABRAL *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2005, TEIXEIRA *et al.*, 2002), em Natal, a espécie *Gracilaria birdiae* ao ser cultivada em técnica de *long line* apresentou TCD de até 4,4% (BEZERRA & MARINHO-SORIANO, 2010). No litoral do Ceará, a maricultura deste gênero vem sendo realizada em parceria com uma comunidade pesqueira (TEIXEIRA *et al.*, 2002).

Cultivos experimentais com *S. filiformis* utilizando a técnica de *long line* e esporulação natural vêm sendo realizados pelos Laboratórios de Carboidratos e Lectinas (Carbolec) e Aplicações Biotecnológicas de Algas e Plantas (BioAP) em parceria com Associação de Produtores de Algas de Flecheiras e Guajiru (APAFG) e os resultados preliminares têm demonstrado uma taxa de crescimento diário da alga de até 5,1%.

A costa Brasileira apresenta aproximadamente 8.500 Km de extensão distribuída em Zonas Sul Temperada (Regiões Sul e Sudeste) e Norte Equatorial (Regiões Norte e Nordeste) e apresenta uma diversidade extraordinária de ecossistemas. A costa Nordestina possui águas quentes e ventos constantes, com o regime de chuvas bem estabelecido, sendo a estação chuvosa entre os meses de julho a dezembro e seca, entre os meses de janeiro a junho (GERLING *et al.*, 2016). Ostenta ainda litoral abundante em bancos de macroalga, que são ecologicamente importantes e compõem uma complexa rede de microhabitats para uma grande diversidade de vertebrados, invertebrados e algas associadas, além de serem berçários de um grande número de espécies dependentes desse ambiente para completarem seus ciclos de vida e fixarem CO₂ (BAHIA *et al.*, 2010).

Desse modo, ampliar o conhecimento sobre a biologia das espécies de macroalgas brasileiras com potencial para maricultura e sobre as técnicas apropriadas de cultivo com a finalidade de implementar a maricultura no Nordeste Brasileiro se faz necessário para a exploração comercial sustentável (ACCIOLY, 2005; MARINHO- SORIANO, 2005).

1.5 Fotossíntese

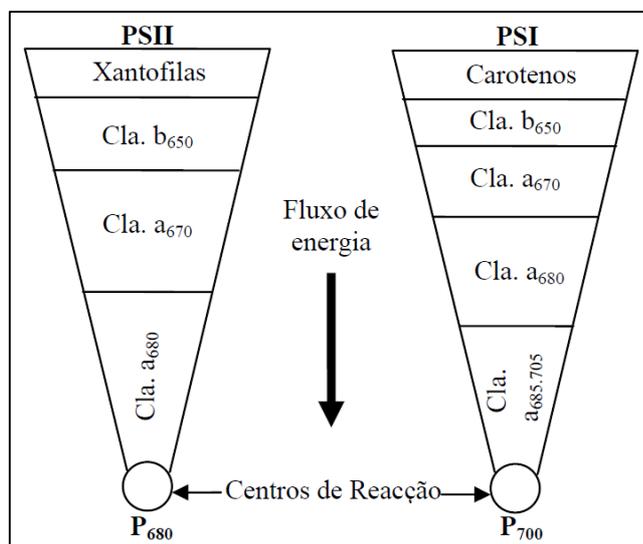
A produtividade primária consiste na produção fotossintética de matéria orgânica a partir de elementos inorgânicos. Esta denominação deve-se ao fato desta produção estar situada no primeiro nível da cadeia alimentar. A produtividade primária define-se como a quantidade de carbono inorgânico assimilado pelos organismos autotróficos para realizarem fotossíntese (MILLERO, 1996).

Os organismos fotossintetizantes capturam a energia solar e a convertem em energia química de compostos orgânicos reduzidos. Este processo acontece nos tilacóides em duas etapas distintas, na primeira, as reações luminosas dependem diretamente da absorção de luz e durante a segunda etapa o carbono inorgânico na forma de CO₂ é fixado e incorporado a matéria orgânica (RAVEN, 2014).

Durante a primeira etapa da fotossíntese os pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e c, xantofilas e carotenos) presentes no complexo da antena agregados aos fotossistemas PSI e PSII (centros de reação fotoquímicos) (Figura 5) absorvem os fótons provenientes da luz solar. A clorofila a, pigmento presente no centro de

reação, recebe a energia absorvida através de elétrons excitados provenientes de pigmentos acessórios adjacentes (SOUTH & WHITTICK, 1987).

Figura 5 - Composição dos complexos de antena agregados aos fotossistemas I (PSI) e II (PSII).



Fonte: Adaptado de South & Whittick, 1987. Legenda: Cla - Clorofila. P₆₈₀ e P₇₀₀ - Centros de reação do complexo da antena.

Parte da energia absorvida por estes elétrons é convertida em energia química, seguida de um ciclo de reações enzimáticas para produção de ATP. Outra fração da energia absorvida pelos elétrons excitados é direcionada para diferentes reações enzimáticas para produção de NADPH e O₂ através da hidrólise de uma molécula de água. Em outra etapa da fotossíntese, o CO₂ é assimilado através do ciclo de Calvin-Benson, que compreende uma série de reações, utilizando o poder redutor do NADPH e o consumo de ATP. Essa reação leva à produção de carboidratos (CH₂O). A reação global de fotossíntese pode ser descrita de acordo com a seguinte equação:



Além da fotossíntese a quantidade total de matéria orgânica existente no meio marinho pode ter outras fontes, tais como aportes provenientes dos rios, da atmosfera, das bactérias quimiossintéticas presentes no fundo do mar e da degradação de todos os organismos marinhos (PILSON *et al.*, 1998).

A introdução de CO₂ proveniente da respiração dos organismos aquáticos é constante no meio marinho. Uma vez que o CO₂ é solubilizado na água do mar, reage com a água, dando origem ao ácido carbônico (H₂CO₃), capaz de causar alterações no pH da água do mar. O sistema tamponante de carbonatos (CO₃²⁻) presente no meio marinho, neutraliza o excesso de íons H⁺ através da formação de bicarbonatos (HCO₃⁻), ou ainda, a absorção e consequente fixação de CO₂ durante a fotossíntese pode contribuir com o aumento de pH do meio (SILVA, 2011). O cultivo *in vitro* de macroalgas aponta maiores taxa fotossintéticas em meio menos ácido, uma vez que, a liberação de CO₂ causa diminuição do pH e ainda, que o crescimento está relacionado com maior intensidade de luz, associada a altas taxas fotossintéticas, desde que haja disponibilidade de nutrientes. A queda da taxa fotossintética tem relação direta com a queda de crescimento em biomassa (CHEN *et al.* 2016). A fotossíntese está relacionada com a radiação solar e apresenta níveis crescentes em uma faixa de eficiência limitada até um nível de radiação intensa que degrada os pigmentos e causa diminuição da taxa fotossintética. *K. alvarezzii* apresentou fotoinibição para 600 μmol fótons m⁻² s⁻¹ nas Filipinas, porém este limite pode estar relacionado a adaptações locais, a mesma espécie na Indonésia não apresenta inibição de taxa fotossintética até 1000 μmol fótons m⁻² s⁻¹. Diferentes espécies de *Eucheuma* apresentam fotoinibição acima de 850 μmol fótons m⁻² s⁻¹ (BORLONGAN *et al.* 2016).

1.6 Nutrição de macroalgas

O crescimento da biomassa algácea é dependente de uma combinação de nutrientes sendo o nitrogênio (N) (na forma de amônia e nitrato), carbono inorgânico (CO₂), fosforo (P) (na forma de ortofosfato), ferro, cobalto, manganês e outros elementos presentes no meio aquático (GRAHAM *et al.*, 2009). Nitrogênio e fósforo são os principais elementos que influenciam no crescimento destes organismos, em ambientes marinhos tropicais, estes elementos podem ser limitantes ao crescimento de macroalgas. A relação N:P na água é indicativo da disponibilidade de nutrientes do meio e pode ainda ser comparada com a necessidade nutricional da macroalga (FONG, 2009; VALERI *et al.*, 2014).

O nitrogênio é um componente essencial para os organismos aquáticos ao constituir a base da sua estrutura proteica. As algas utilizam diferentes fontes

orgânicas e inorgânicas de nitrogênio simultaneamente, amônia e nitrato são facilmente absorvidas por macroalgas, porém, não na mesma intensidade, há preferência de absorção de amônia, inibindo a absorção de nitrato e nitrito (HANISAK, 1990). Em ambientes marinhos a decomposição da matéria orgânica por bactérias, dá origem a amônia em um processo denominado amonificação, por sua vez, a amônia é oxidada por bactérias nitrificantes através de um processo denominado nitrosação a nitrito. O nitrito sofre uma nova oxidação também por bactérias nitrificantes, denominada nitração e é convertido em nitrato.

O processo de amonificação, realizada por microorganismos, degrada partículas e é também fonte de amônia para ambientes aquáticos e sua distribuição pode estar diretamente relacionada com a taxa pluviométrica, que contribui com aporte de material orgânico da costa (THURMAN, 1994; PÉREZ & RESTREPO, 2008). Por outro lado, o processo de nitrificação tem implicação ecológica sobre a dinâmica interna de oxigênio dissolvido, uma vez que para oxidar uma molécula de amônia a nitrato são necessárias duas moléculas de oxigênio, e do nitrato resultante do processo de oxidação biológica, cuja intensidade aumenta com a concentração de oxigênio no ambiente (PÉREZ & RESTREPO, 2008).

Dentre as formas inorgânicas de nitrogênio disponíveis no mar, o íon amônio é a forma prontamente assimilável pelos organismos, sem necessidade de redução no interior da célula. Sua absorção, em relação às outras frações, é mais viável, em termos energéticos, para o metabolismo aquático. Por outro lado, o nitrato precisa ser reduzido ao íon amônio, ocorrendo gastos adicionais de energia no processo de assimilação por produtores primários. Entretanto, a concentração de íons amônio na camada fótica da coluna d'água apresenta, geralmente, níveis muito baixos e assim o nitrato pode assumir maior importância como fonte de nitrogênio para o metabolismo dos produtores primários (BRÖNMARK & HANSSON, 2005; THURMAN, 1994).

A disponibilidade de compostos nitrogenados pode ainda estar associados a processos fotossintetizantes, causando aumento ou diminuição da taxa de crescimento de acordo com a disponibilidade no meio (LOBBAN & HARRISON, 1997; MARTINS, 2007).

O fósforo é outro nutriente essencial para os organismos aquáticos ao constituir a base fosfatada dos ácidos desoxirribonucléicos, além de participar de processos fundamentais do metabolismo celular, ao integrar parte essencial das

moléculas de trifosfato de adenosina (ATP), responsável pelo armazenamento da energia química resultante de processos fotossintéticos e de respiração celular, além de fazer parte da estrutura da membrana celular dos seres vivos, nos fosfolipídios (BRÖNMARK & HANSSON, 2005).

O íon fosfato pode estar dissolvido na água sob diferentes formas iônicas dependendo do pH do meio, a forma mais abundante na água do mar é o ortofosfato (PO_4^{3-}) em função do pH. Esta é a fração inorgânica diretamente disponível para assimilação pelos organismos aquáticos fotossintéticos e seu aporte pode ter origem no escoamento superficial costeiro ou por processos de liberação através do sedimento do sistema aquático (BRÖNMARK & HANSSON, 2005).

A quantidade de ortofosfato presente na água está relacionada com a atividade metabólica dos produtores primários (fitoplâncton, macrófitas aquáticas e macroalgas), uma vez que o processo de fotossíntese pode demandar quantidades elevadas de fósforo, sobretudo em ecossistemas aquáticos tropicais, nos quais o metabolismo dos produtores é acelerado pelas temperaturas altas, com consequente aumento da assimilação e incorporação deste nutriente à sua biomassa (THURMAN, 1994).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito dos parâmetros climáticos e ambientais das estações seca e chuvosa da Praia de Flecheiras-Trairi/CE sobre o rendimento de produção da macroalga agarófita *G. birdiae*, através das técnicas de *Long Line* convencional (LL) e *Long Line* com rede tubular (RT) e sobre o rendimento da extração de ágar das algas cultivadas.

2.2 Específicos

- Avaliar os parâmetros ambientais do sítio de cultivo localizado na Praia de Flecheiras, município de Trairi/CE;
- Avaliar a produtividade e o rendimento em biomassa de *G. birdae* das técnicas de cultivo *long-line* convencional e *long-line* com rede tubular nas estações seca e chuvosa e em períodos de 30 e 45 dias no sítio de cultivo;
- Avaliar a Taxa de Crescimento Diário da macroalga *G. birdae* em cultivos em *long-line* convencional e *long-line* com rede tubular nas estações seca e chuvosa e em períodos de 30 e 45 dias no sítio de cultivo;
- Correlacionar o crescimento da macroalga e o rendimento de biomassa com os parâmetros ambientais;
- Avaliar o rendimento da extração de ágar das biomassas de *G. birdiae* obtidas em cultivos realizados nas estações seca e chuvosa.

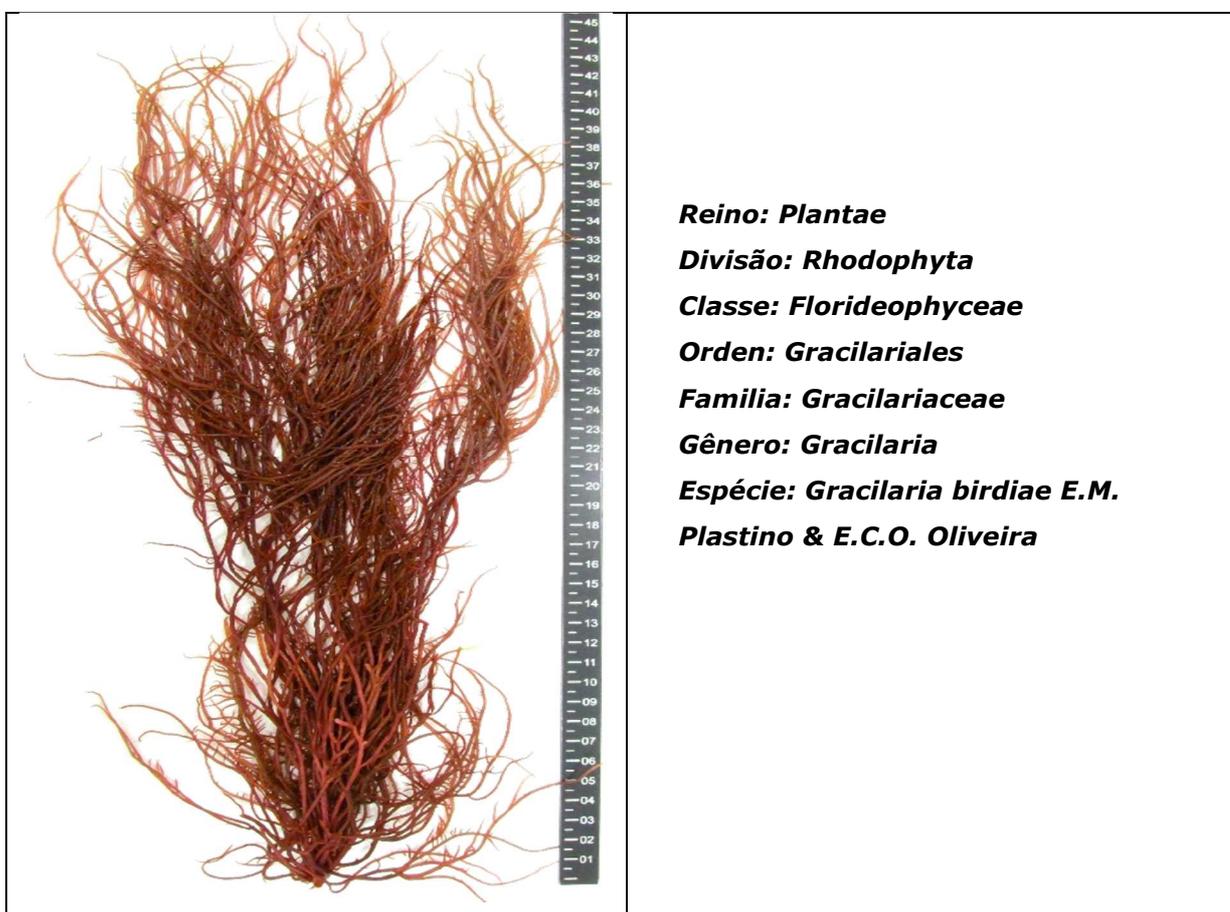
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1 Alga marinha *G. birdiae*

A alga marinha vermelha da espécie *Gracilaria birdiae* E.M.Plastino & E.C.Oliveira, mostrada na Figura 6, abundante no Litoral Cearense e biosintetizadora de ágar, foi cultivada na Praia de Fleicheiras, município de Trairi, Ceará.

Figura 6 - Macroalga marinha vermelha *Gracilaria birdiae* E.M.Plastino & E.C.Oliveira.



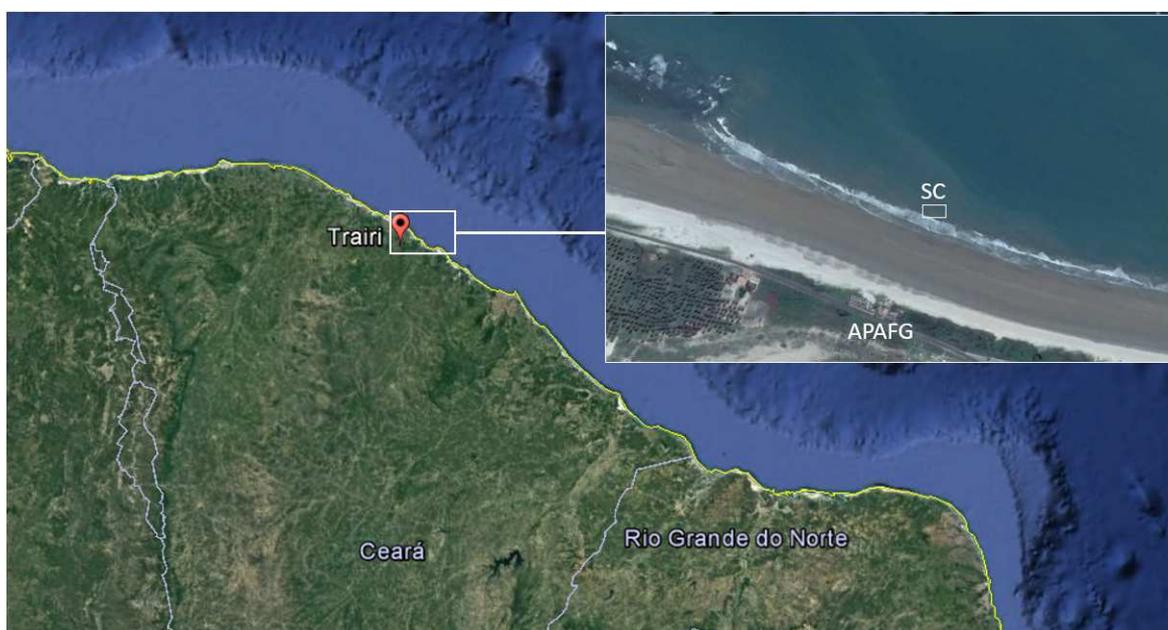
Fonte: Foto – Elaborado pelo autor. Classificação – Algae Base.

3.2 Métodos

3.2.1. Cultivo da macroalga *G. birdiae*

O Sítio de Cultivo (SC) está localizado na praia de Flecheiras (03°13'06''S -39°16'47''W), no município de Trairi, estado do Ceará, Brasil, a 200 m da costa, em uma área de aproximadamente 0,5 ha, com 3-5,0 m de profundidade, próximo à sede da Associação dos Produtores de Algas de Flecheiras e Guajiru APAFG (Figura 7).

Figura 7 – Localização da área de cultivo - Praia de Flecheiras (03°13'06''S -39°16'47''W), município de Trairi, estado do Ceará, Brasil. Situado a 200 m da costa, em uma área de aproximadamente 0,5 ha, com 3-5,0 m de profundidade, próximo à sede da APAFG.

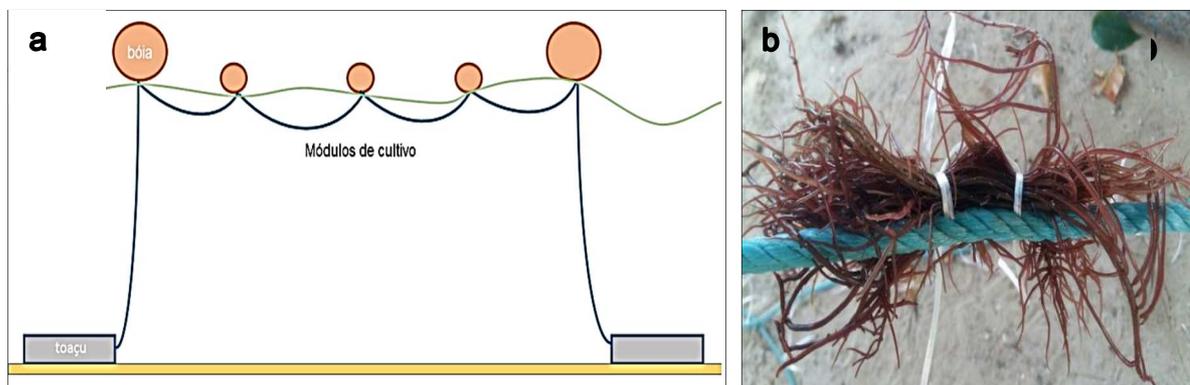


Fonte: Elaborado pelo autor.

A macroalga *G. birdiae* foi cultivada em parceria com a APAFG, através de duas técnicas de maricultura:

Long-Line convencional (LL): A estrutura de cultivo foi composta por 4 módulos de corda de polietileno torcida (10 mm) com comprimento de 5 m cada, totalizando 20 m de estrutura (Figura 8a). Em cada módulo foram fixadas 24 mudas de 50 ± 5 g amarradas com um barbante de algodão e presas à corda com o auxílio de fitilhos de nylon (Figura 8b). A estrutura foi mantida na superfície do mar ancorada por toaços (estruturas de ferro e alvenaria usadas como âncora artesanal) e suspensa na superfície da coluna d'água com o auxílio de bóias.

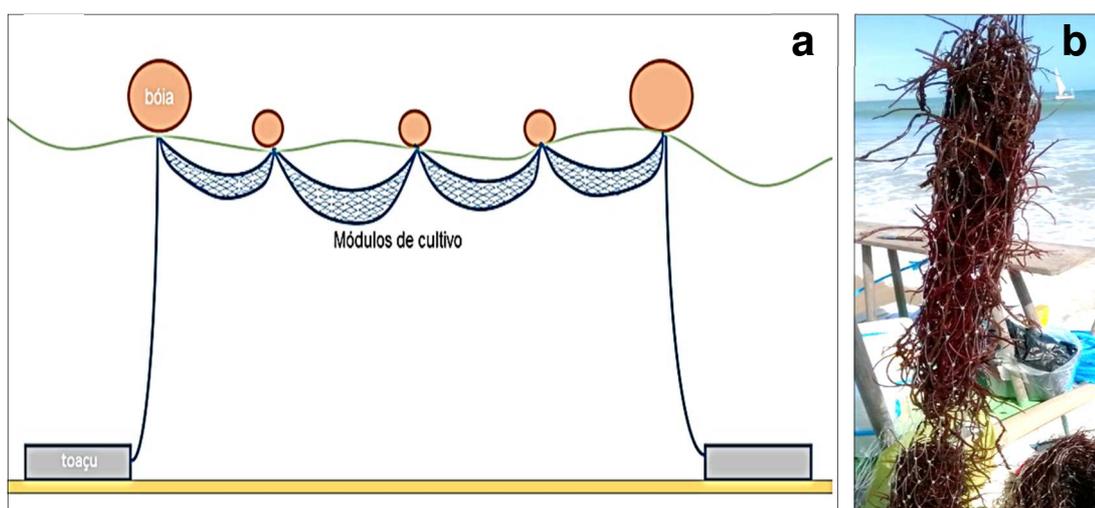
Figura 8 – Esquemática da estrutura de cultivo *Long-Line* (LL) convencional composta por 4 módulos de corda (polietileno torcida 10 mm) com comprimento de 5 m cada. A estrutura foi mantida na superfície do mar (bóias) e ancorada por toaços (estruturas de ferro e alvenaria usadas como âncora artesanal) (a) e preparo da muda de *G.birdiae* (50 ± 5 g) amarrada com um barbante de algodão e presa à corda com o auxílio de fitilhos de nylon (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

Long-Line com rede tubular (RT): A estrutura foi composta por quatro módulos de rede tubular de nylon (0,7 mm) com espaço entrenós de 7,0 cm, com comprimento de 5 m cada, totalizando 20 m de estrutura (Figura 9a). Em cada módulo foram embutidas 1,2 Kg da macroalga com o auxílio de um cano de PVC (12 cm diâmetro) (Figura 9b). A estrutura foi mantida na superfície do mar ancorada por toaços e suspensa com o auxílio de bóias.

Figura 9 – Esquemática da estrutura de cultivo *Long-Line* Rede Tubular (RT) composta por quatro módulos de rede tubular de nylon (0,7 mm) com espaço entrenós de 7,0 cm e com comprimento de 5 m cada. A estrutura foi mantida na superfície do mar (bóias) e ancorada por toaços (a) e muda de *G.birdiae* embutida em RT com o auxílio de um cano de PVC (12 cm diâmetro) (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

Após as montagens de LL e RT na praia, as estruturas foram cuidadosamente alocadas em um pacote e transferidas para o sitio de cultivo (SC), onde foram lançados os toaços para ancoragem das estruturas. Semanalmente as

estruturas foram limpadas manualmente para retirada de epífitas e material incrustante. Esta atividade foi realizada com o auxílio de um pacote, dentro do SC.

O cultivo foi realizado entre os meses de Julho de 2015 à Maio de 2016, dividido em quatro ciclos, dois deles na estação seca (ciclos #1 e #2), iniciados respectivamente em julho de 2015 e outubro de 2015, e, dois na estação chuvosa (ciclos #3 e #4), iniciados respectivamente em janeiro de 2016 e abril de 2016. As colheitas da macroalga foram realizadas após os períodos de cultivo de 30 ± 2 e 45 ± 2 dias após o lançamento das estruturas no mar, no qual dois módulos de cada estrutura foi retirado em cada período de cultivo, para medição das biomassas finais, com uso de uma balança digital (Tabela 1).

Tabela 1 – Distribuição dos ciclos de cultivo de *G. birdiae* realizados na Praia de Flecheiras-Trairi/CE durante as estações seca e chuvosa.

Estação	Início do cultivo	Ciclo
Seca	Julho 2015	#1
Seca	Outubro 2015	#2
Chuvosa	Janeiro 2016	#3
Chuvosa	Abril 2016	#4

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Parâmetros ambientais do sítio de cultivo de *G. birdiae*

Os dados de precipitação acumulada mensal e velocidade média dos ventos mensal, foram obtidas junto a FUNCEME.

A coleta de água foi realizada na praia de Flecheiras, município de Trairi, estado do Ceará, Brasil, à 200 m da costa, dentro do SC em um pacote entre as 8:00 e 11:00 h. As amostras foram coletadas nas extremidades das estruturas de LL (LL1 e LL2) e RT (RT1 e RT2) a uma profundidade aproximada de 15 cm, mensalmente. Foram acondicionadas em frascos plásticos previamente descontaminados para resíduos de fósforo e outros contaminantes (lavados com detergente neutro e posteriormente com ácido clorídrico 50%, seguido de lavagens com água destilada) e mantidas resfriadas com gelo em um isopor vedado. Após transporte até o Laboratório de Efluentes e Análise de Água EQUAL, com sede no Labomar-UFC, as amostras

foram imediatamente filtradas, em filtro de 0,7 μm com o auxílio de uma bomba de vácuo, e foram analisadas em triplicata, para cada ponto de coleta, (n=4) os parâmetros: pH, Salinidade (Sal), Nitrogênio Amoniaco Dissolvido (N-NH₃/NH₄⁺), Nitrito (N-NO₂⁻), Nitrato (N-NO₃⁻) e Ortofosfato (PO₄³⁻). pH e salinidade foram determinados com o auxílio de um pHmetro e refratômetro, respectivamente. N-NH₃/NH₄⁺, pela metodologia de Strickland e Parsons (1972). N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ e PO₄³⁻ foram quantificados segundo a metodologia de Aminot e Chaussepied (1983).

3.2.3 Determinações do ganho e rendimento de *G. birdiae*

Após as colheitas, a biomassa obtida do cultivo foi limpada manualmente para a retirada de epífitas (principalmente *H. musciformis*), material incrustante e sedimentos. Com o auxílio de uma balança digital, a biomassa final foi determinada e o ganho de biomassa (GB) (n=4) foi calculado através da Equação 1:

$$GB = bf - bi \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

b_f = biomassa final (Kg);

b_i = biomassa inicial (Kg).

Já o rendimento de ganho de biomassa (RB) (n=4) foi calculado segundo a Equação 2:

$$RB = \frac{GB}{C} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

GB = Ganho de biomassa (Kg);

C = Comprimento total da estrutura de cultivo (m)

A produtividade de *G.birdiae* (PB) das estruturas de cultivo foram obtidas através da Equação 3:

$$PB = \frac{RB}{t} \quad \text{Eq, (3)}$$

Onde:

RB = Rendimento de biomassa (g m⁻¹)

T = tempo de cultivo (dia)

3.2.4 Determinação da Taxa de Crescimento Diário (TCD) de *G. birdiae*

A taxa de crescimento diário (TCD) foi calculada através da Equação:

$$TCD(\% \text{ dia}^{-1}) = \frac{[100 * \ln (bf - bi)]}{t} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

TCD = Taxa de crescimento diário;

bf = biomassa final (Kg);

bi = biomassa inicial (Kg);

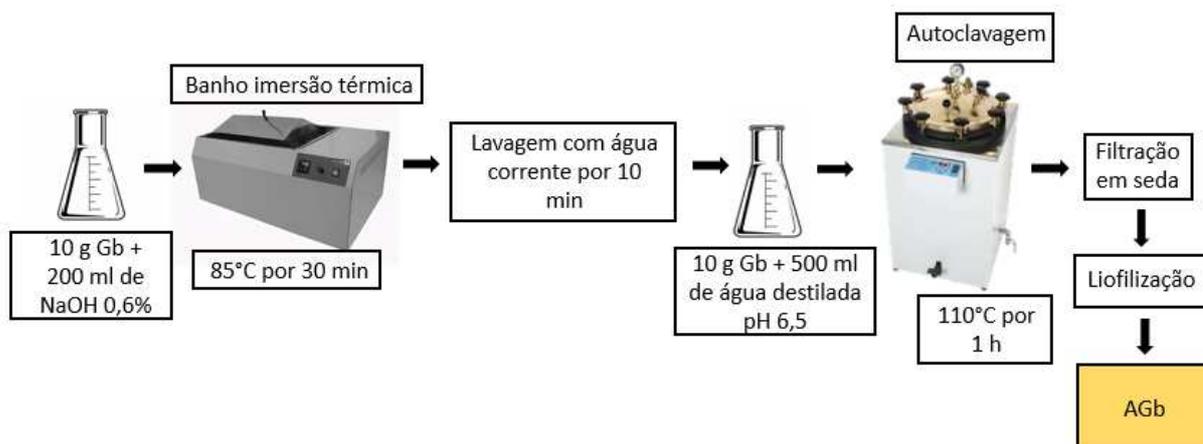
t = tempo de cultivo (dia).

3.2.5 Extração do Ágar de *G. birdiae*

Amostras das macroalgas obtidas após as colheitas foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório de Carboidratos e Lectinas (Carbolec) da Universidade Federal do Ceará. Após as lavagens para retirada de incrustantes, epífitas e grãos de areia, as macroalgas foram secas a temperatura ambiente e maceradas com nitrogênio líquido. Para a extração do ágar, foram separadas 16 amostras, 8 amostras da estação seca e 8 da chuvosa (n=8), onde 10g das macroalgas foram expostas a 200 ml de solução NaOH 0,6% e levadas ao banho de imersão térmica à 85°C por 30 min. Posteriormente foram lavadas com água corrente por 10 min e expostas ao contato com 500 ml de água destilada para a extração do ágar em autoclave à 110°C por uma hora. O homogenato foi filtrado em tecido de seda, os resíduos descartados e a solução rica em carboidratos foi

congelada e liofilizada para obtenção do ágar de *G. birdiae* (AGb), como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Esquema de extração do ágar da alga marinha vermelha *G. birdiae* (AGb) cultivada durante as estações seca e chuvosa na Praia de Flecheiras-Trairi/CE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.6 Análises estatísticas

Os dados foram expressos em termos de média \pm desvio padrão. Submetidos a Análise de Variância (ANOVA), seguido de teste de Tukey. As médias dos dados ambientais e extração de AGb foram analisados pelo teste *t*-Student (grupos seco e chuvoso) para dados independentes não pareado. Foi considerado significativo $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas com o software GraphPad Prism (versão 6.0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

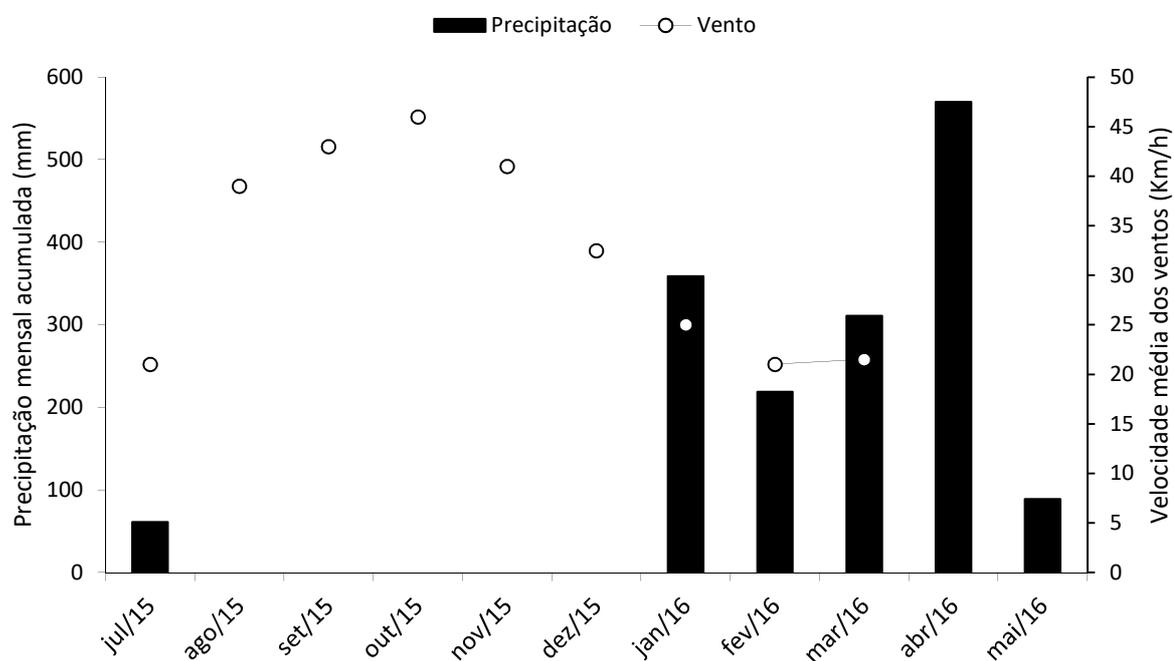
4.1 Parâmetros ambientais

4.1.1 Precipitação e velocidade de vento

Os dados de precipitação mensal acumulada e velocidade média dos ventos obtidos junto a FUNCEME para os meses de cultivo estão apresentados no Gráfico 1. No período seco de 2015, entre os meses de agosto e dezembro, não foram registradas precipitações. Apenas o mês de julho/2015 apresentou precipitação de 61 mm, ao passo que no período chuvoso de 2016, entre os meses de janeiro e junho, foram registradas chuvas com precipitação máxima no mês de abril (570 mm) e mínima no mês de maio (98 mm). Nos meses de janeiro, fevereiro e março as precipitações mensais acumuladas apresentaram valores aproximados, de 359, 219 e 311 mm, respectivamente.

As velocidades médias dos ventos apresentaram valores crescentes nos meses de julho, agosto e setembro/2015, com 21, 39, 43 km/h, respectivamente, mostrando um pico em outubro/2015 (46 km/h), dentro da estação seca de 2015. Nos meses subsequentes foram observadas velocidades decrescentes, com 41 e 32,5 km/h ao final da estação seca de 2015. Na estação chuvosa de 2016, as velocidades médias dos ventos continuaram apresentando diminuição até alcançarem valores de 25, 21 e 21,5 km/h nos meses de janeiro, fevereiro e março/2016, respectivamente. Durante todo período deste estudo a estação seca de 2015 apresentou grande movimentação de massas de ar, enquanto o período chuvoso de 2016 apresentou menor movimentação de massas de ar (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Precipitação chuvosa mensal acumulada e velocidade média dos ventos durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim sendo, o SC situado na praia de Flecheiras apresentou condições climáticas bem distintas nas estações seca e chuvosa, combinando baixa precipitação chuvosa e altas velocidades médias dos ventos na estação seca de 2015 e maiores precipitações com menores velocidades médias de vento na estação chuvosa de 2016.

Estudos com *E. striatum*, uma espécie de alga vermelha de valor comercial, mostram um padrão de taxas fotossintéticas diurno, com pico antes de meio dia na presença de luz natural. As maiores TCD foram obtidas em ciclos de claro/escuro de 12/12 e 6000 lux, sem diferença significativa de taxas fotossintéticas até 10000 lux (Ask & Azanza 2002). Estudos com *Sargassum fulvellum*, uma espécie de alga marrom, mostram que os primeiros estágios de crescimento da espécie são influenciados pela profundidade na coluna d'água e a consequente irradiação solar recebida, à medida que a taxa de crescimento começa a diminuir, os níveis de fotossíntese também diminuem e a profundidade passa a não ser tão determinante para a atividade fotossintética (HWANG *et al.*, 2007). Estes estudos mostram maior potencial para o crescimento de macroalgas em ambientes naturais de altas taxas de

radiação. O presente estudo, aponta estação seca com baixos índices de precipitação, diminuindo o efeito do sombreamento por climas nublados ou precipitações.

Estudos com *K. alvarezii*, também uma alga vermelha, nas Filipinas, mostram um maior potencial para produção em locais com maiores correntes de água e ainda que a baixa distribuição de nutrientes, relacionada a baixas movimentações de massas de água, pode diminuir a produção em biomassa (ORBITA, 2013) e estudos no Sudeste do Brasil com a mesma espécie, apresenta maiores TCD no verão, com 5,12 a 4,29% dia⁻¹ e 0,54 a 0,32% dia⁻¹ no inverno (PELLIZZARI & REIS, 2011), mostrando que as variações de velocidade de vento e precipitações tem influência direta na TCD. Estudos com *Undaria pinnatifida*, uma alga marrom, mostram que o cultivo da referida espécie na Espanha, apresenta maior produção e melhores características morfológicas em um sitio exposto, de movimentação moderadas de água, quando comparado a outro sitio mais abrigado (PETEIRO & FREIRE, 2011). Segundo Hurd (2000), as forças exercidas pela circulação de água sobre os talos das macroalgas, são detectadas e desencadeiam respostas a nível molecular, bioquímico e fisiológico que estimulam a absorção de nutrientes do meio.

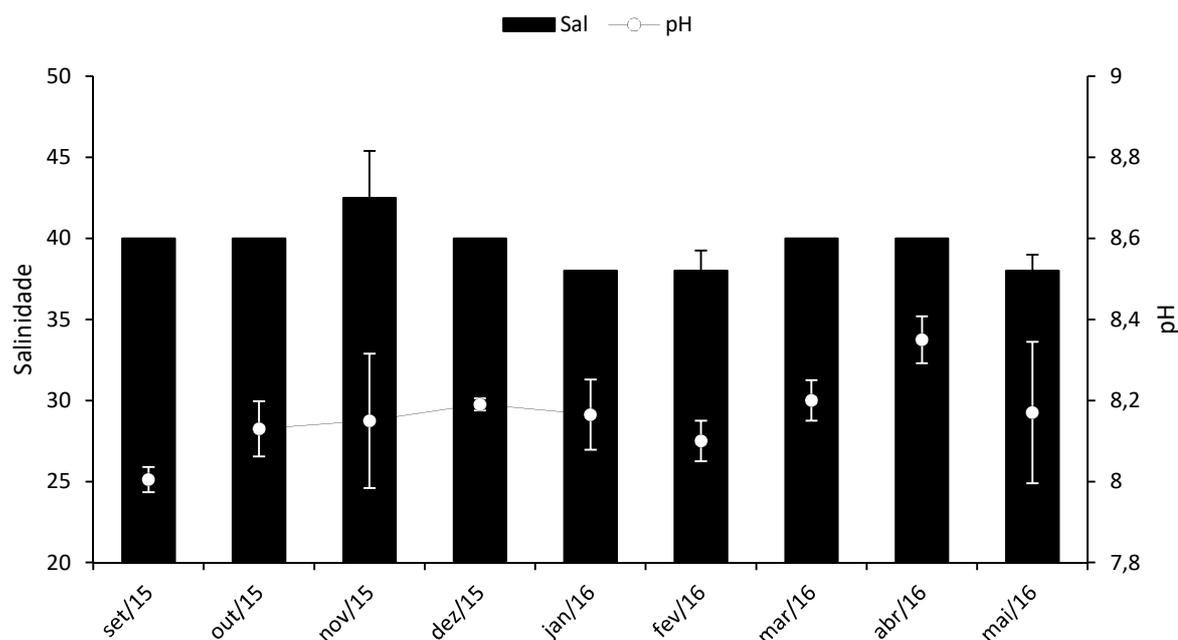
A concentração de nutrientes em ambientes marinhos pode ser influenciada por esses dois fatores (chuva e vento), apresentando variações em toda coluna d'água e é influenciada principalmente por aporte de matéria orgânica proveniente da costa, e da redistribuição do sedimento para a coluna d'água.

4.1.2 pH e salinidade

O Gráfico 2 mostra a variação do pH no SC de *G. birdiae* durante o período setembro de 2015 a maio de 2016. A variação total das médias de pH para os quatro pontos de coleta (LL1, LL2, RT1 e RT2) durante todo o período de cultivo foi de 8,00 (set/2015) no período seco a 8,35 (abr/2016) no período chuvoso, com valor médio de 8,16. Durante o período seco o pH se manteve relativamente constante, com uma leve alta durante a estação chuvosa. Apesar dos maiores valores terem sido observados na estação chuvosa, não houve diferenças significativas (*t-test*, $p > 0,05$) entre as médias de pH nas estações seca de 2015 e chuvosa de 2016. Para a salinidade a variação foi de 38 (jan/2016, fev/2016 e mai/2016) a 42,5 (nov/2015) (Gráfico 2) com média de 40 para todo período de estudo. Durante os primeiros meses de 2016 houve

uma leve diminuição na salinidade, porém, assim como observado para os valores de pH, não houve diferenças significativas (*t-test*, $p > 0,05$) entre as médias de salinidade nas estações seca de 2015 e chuvosa de 2016 (Tabela 2). A pouca variação para esses parâmetros apresenta a vantagem de estabilidade para produção comercial.

Gráfico 2 – Parâmetros ambientais pH e salinidade observados na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Comparativo dos valores médios dos parâmetros ambientais pH e Salinidade observados durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).

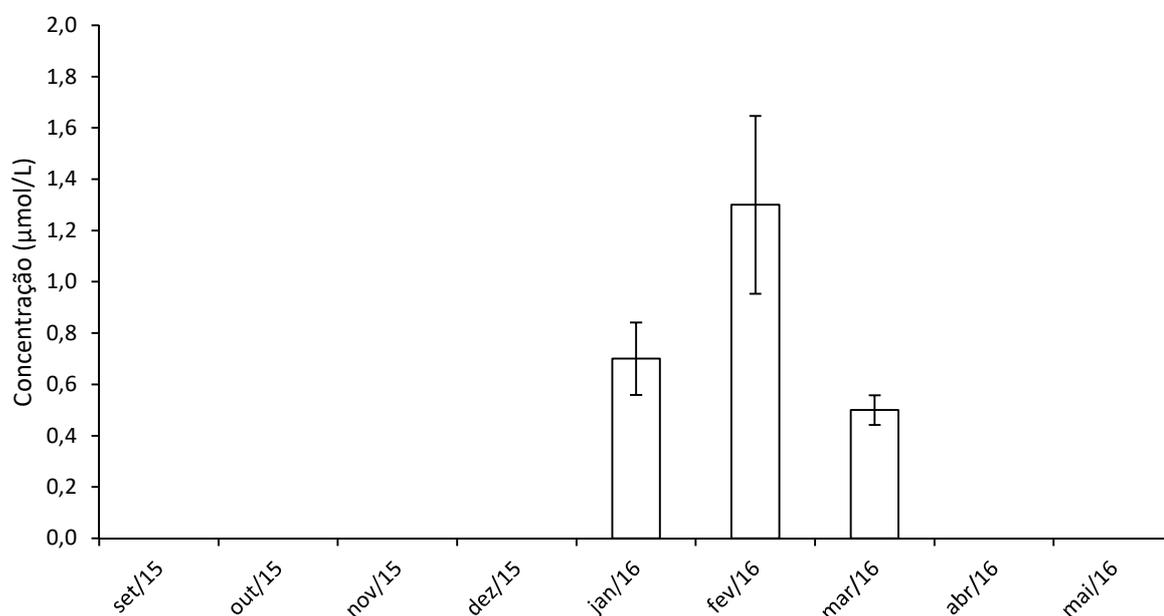
Parâmetro	Estação	Média ± DP
pH	Seco	8,14 ± 0,07
pH	Chuvoso	8,17 ± 0,09
Salinidade	Seco	40,00 ± 1,20
Salinidade	Chuvoso	38,00 ± 1,10

Fonte: Elaborado pelo autor. DP – desvio padrão.

4.1.3 Nutrientes

As concentrações de amônia no SC de *G.birdiae* foram avaliadas mensalmente e estão apresentadas no Gráfico 3. Nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro/2015, bem como nos meses de abril e maio/2016, a concentração de amônia ficou abaixo do limite de detecção do método utilizado ($<0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$). No entanto, nos meses de janeiro, fevereiro e março/2016 foram observadas concentrações de 0,7; 1,3 e 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente, porém, sem diferença significativa (*t-test*, $p>0,05$) entre as médias de concentrações de amônia quando comparadas as estações seca de 2015 e chuvosa de 2016 (Tabela 3). Os resultados mostram altas taxas de absorção de amônia pelas macroalgas devido as baixas concentrações deste nutriente em todo período de estudo.

Gráfico 3 – Concentrações de amônia observadas na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 – Comparativo dos valores médios das concentrações de amônia observadas durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).

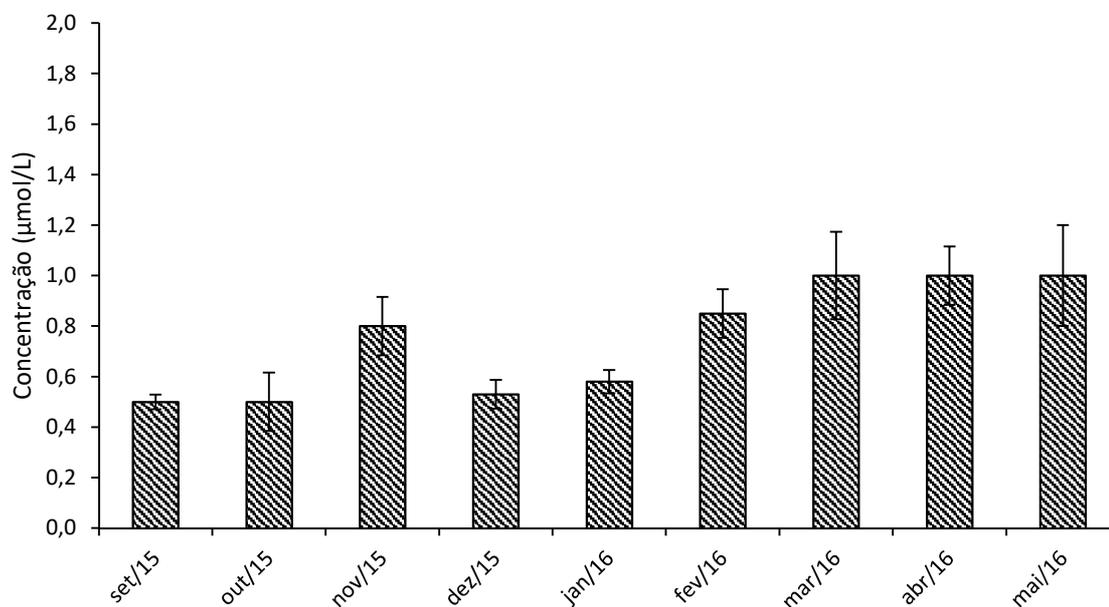
Parâmetro	Estação	Média ± DP ($\mu\text{mol L}^{-1}$)
Amônia	Seco	0,0 ± 0,00
Amônia	Chuvoso	0,5 ± 0,54

Fonte: Elaborado pelo autor. DP – desvio padrão.

As concentrações de nitrito no SC de *G.birdiae* foram avaliadas mensalmente e estão apresentadas no Gráfico 4. Durante a estação seca de 2015 as concentrações de nitrito se mantiveram relativamente constantes, em torno de 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com elevação no mês de novembro alcançando 0,8±0,11 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Durante os primeiros meses de 2016, pertencentes à estação chuvosa, as concentrações de nitrito permaneceram elevadas em torno de 1,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Dessa forma, foi observada diferença significativa (*t-test*, $p < 0,05$) entre as médias de concentrações de nitrito nas estações seca de 2015 e chuvosa de 2016 (Tabela 4), devido ao aporte proveniente da costa.

Estudos mostram que macroalgas tem preferência por amônia como fonte de N, e ainda que a taxa de absorção é tão alta, que os o cultivo da espécie *Gracilaria lemaneiformis* na costa da China, é realizado tanto para produção comercial quanto para tratamento de uma área eutrofisada, com a finalidade de diminuir os níveis de compostos nitrogenados nesta região (YANG *et al.*, 2006), o nitrito, uma forma mais oxidada que a amônia e mais reduzida que o nitrato apresentou maiores concentrações devido a menor preferência como fonte de N para algas.

Gráfico 4 – Concentrações de nitrito observadas na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga *Gracilaria biddiae*, compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor.

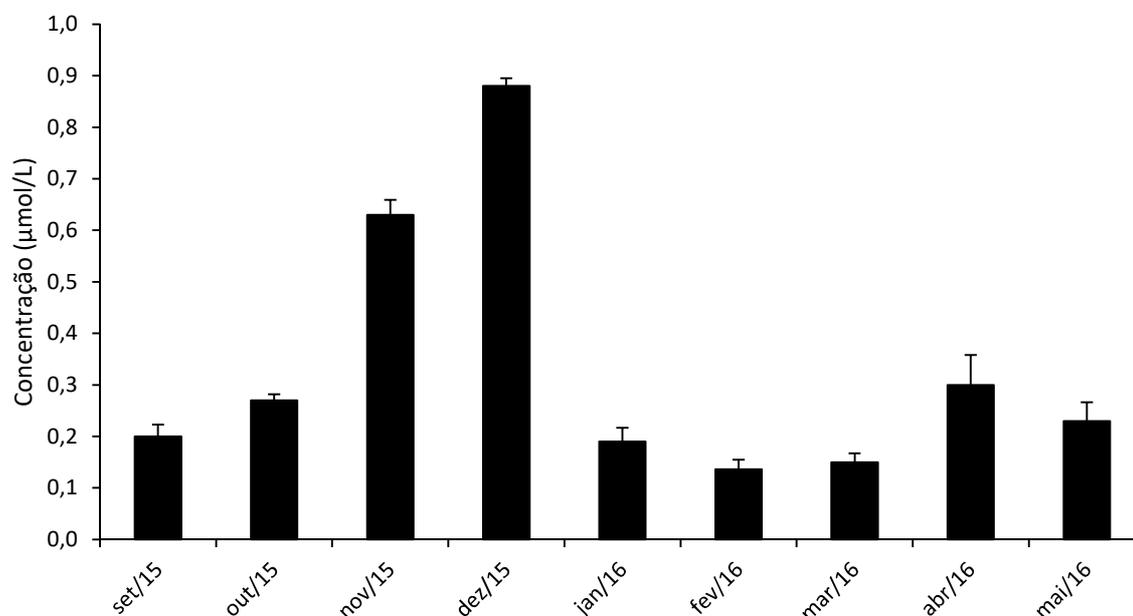
Tabela 4 – Comparativo dos valores médios das concentrações de nitrito observadas durante o cultivo da macroalga *Gracilaria biddiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).

Parâmetro	Estação	Média ± DP (µmol L ⁻¹)
Nitrito	Seco	0,51 ± 0,14
Nitrito	Chuvoso	1,00 ± 0,18

Fonte: Elaborado pelo autor. DP – desvio padrão.

As concentrações de nitrato no SC de *G.biddiae* foram avaliadas mensalmente e estão apresentadas no Gráfico 5. Durante os meses subsequentes da estação seca de 2015, as concentrações de nitrato apresentaram padrão crescente variando de $0,2 \pm 0,02$ em setembro/2015 a $0,9 \pm 0,01$ µmol L⁻¹ em dezembro/2015. Já na estação chuvosa, durante os primeiros meses de 2016, as concentrações de nitrato se mantiveram constantes em torno de $0,2$ µmol L⁻¹. Apesar dos resultados apresentados, as médias de concentrações de nitrato das estações seca de 2015 e chuvosa de 2016 não apresentaram diferença significativa (*t-test*, $p > 0,05$) (Tabela 5).

Gráfico 5 – Concentrações de nitrato observadas na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Comparativo dos valores médios das concentrações de nitrato observadas durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).

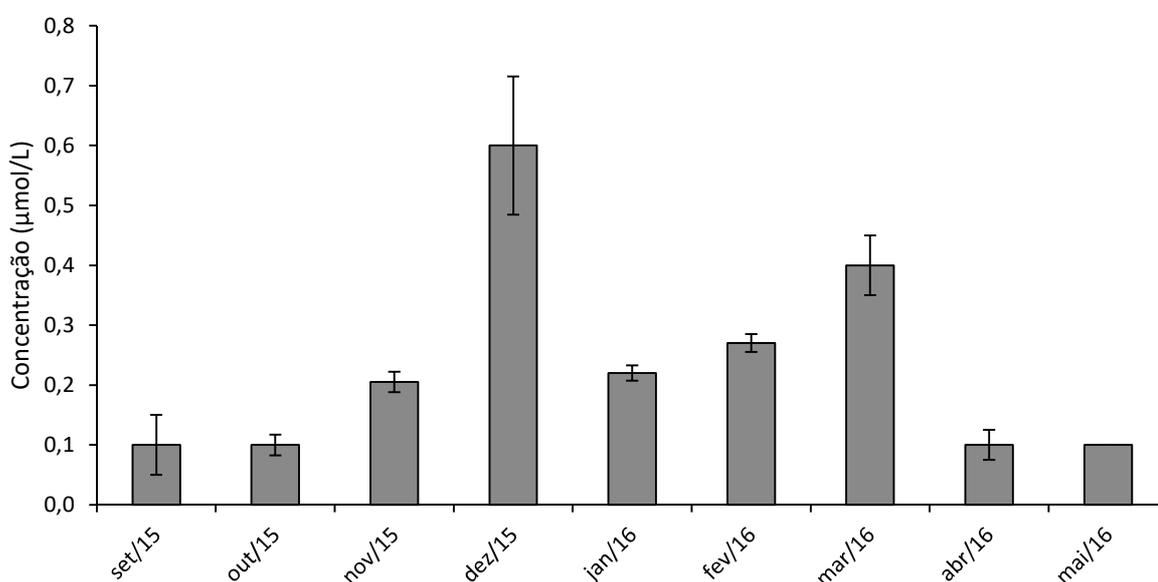
Parâmetro	Estação	Média ± DP (µmol L ⁻¹)
Nitrato	Seco	0,45 ± 0,32
Nitrato	Chuvoso	0,19 ± 0,06

Fonte: Elaborado pelo autor. DP – desvio padrão.

As concentrações de ortofosfato no SC de *G.birdiae* foram avaliadas mensalmente e estão apresentadas no Gráfico 6. Durante os meses de setembro, outubro e novembro da estação seca de 2015, as concentrações de ortofosfato se mantiveram constantes, em torno de 0,2 µmol L⁻¹, apresentando elevação no mês de dezembro/2015, alcançando a concentração máxima (0,6±0,11µmol L⁻¹) de todo o período de estudo. Já durante os primeiros meses do inverno de 2016 (janeiro,

fevereiro e março) as concentrações de ortofosfato voltaram a cair apresentando valores de 0,2, 0,3 e 0,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente e durante os dois últimos meses do inverno as concentrações atingiram o mesmo valor observado no início da estação seca de 2015. Não foi observada diferença significativa (*t-test*, $p > 0,05$) entre as médias de concentrações de ortofosfato das estações seca de 2015 e chuvosa de 2016 (Tabela 6).

Gráfico 6 – Concentrações de ortofosfato observadas na Praia de Flecheiras- Trairi/CE durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, compreendendo as estações seca (setembro a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a maio/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Comparativo dos valores médios das concentrações de ortofosfato observadas durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).

Parâmetro	Estação	Média \pm DP ($\mu\text{mol L}^{-1}$)
Ortofosfato	Seco	0,15 \pm 0,24
Ortofosfato	Chuvoso	0,22 \pm 0,13

Fonte: Elaborado pelo autor. DP – desvio padrão.

A influência de precipitações sobre a disponibilidade de nutrientes foi observada no presente estudo, em que a estação chuvosa foi capaz de aumentar as concentrações de amônia, nitrito e ortofosfato através da descarga provinda da costa

($p > 0,05$). Por outro lado as altas velocidades de vento para o período seco não mantiveram diferenças significativas para estes nutrientes em relação a estação chuvosa, isso acontece devido à forte influência dos ventos nas correntes marinhas, causando maior distribuição dos nutrientes na coluna d'água.

Bezerra & Marinho-Soriano (2010), encontraram valores próximos para os parâmetros ambientais estudados na Praia Rio do Fogo, Natal RN, onde se localiza um sítio de cultivo de algas. A comparação de variação destes parâmetros para os dois Sítios é mostrada na Tabela 7. N e P se mostraram disponíveis durante todo o período de estudo. As poucas concentrações de amônia para ambos os sítios sugerem pouco aporte de matéria orgânica e juntamente com a pouca variação no pH indicam pouca influência da costa (principalmente lançamento de efluentes) sobre as áreas de cultivo, apenas a alta estação no início do ano de 2016 e o consequente aumento das atividades turísticas e esportivas parecem ter exercido maior impacto sobre a carga de matéria orgânica no SC, porém sem diferença significativa entre médias para os períodos seco e chuvoso (t -test, $p > 0,05$).

Tabela 7 –Comparativo entre os valores médios dos parâmetros ambientais observados durante o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras- Trairi/CE e Praia Rio do Fogo- Natal/RN, compreendendo as estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).

Parâmetro Ambiental	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	Natal	Flecheiras	Natal	Flecheiras
Salinidade	35,0±0,70	40,0±1,20	34,0±1,87	38,0±1,10
pH	7,90±0,30	8,14±0,07	7,90±0,40	8,17±0,09
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	1,065±0,071	0,450±0,320	1,400±0,120	0,190±0,006
Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,113±0,082	0,510±0,140	0,150±0,240	1,000±0,180
Amônia ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	3,293±1,040	0,000±0,00	2,273±0,243	0,500±0,540
Ortofosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,089±0,046	0,150±0,240	0,084±0,040	0,220±0,130
Chuva (mm)	32,60±23,90	10,16±24,90	150,70±87,60	311,00±178,27

Fonte: Marinho-Soriano e Bezerra (2010) e presente trabalho.

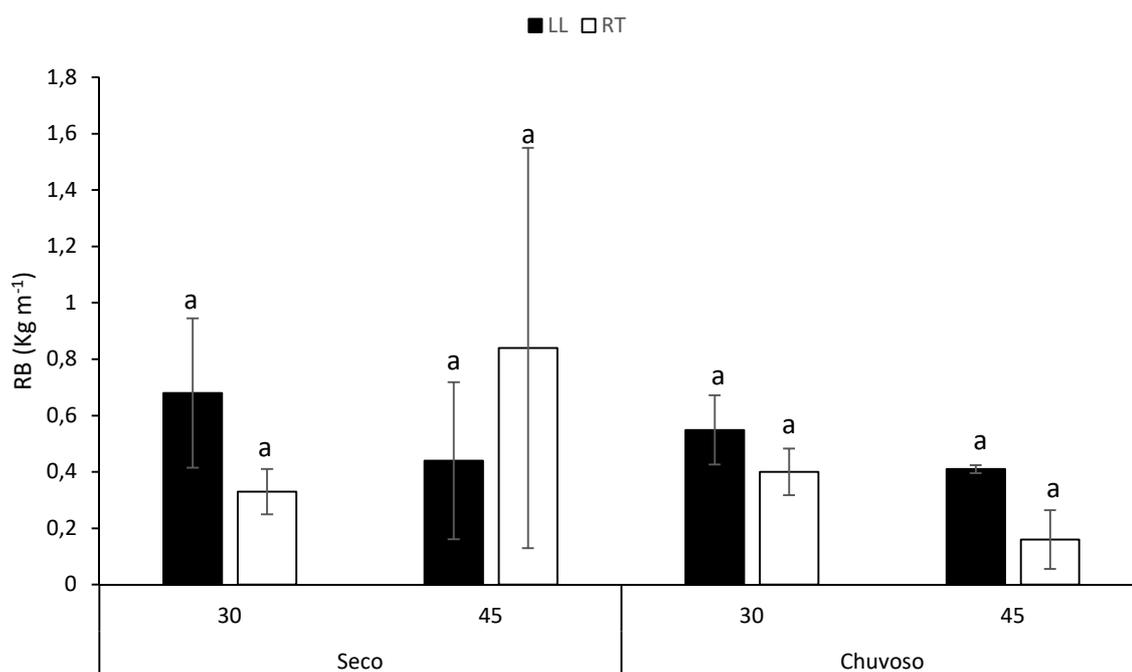
4.2 Produção em biomassa

4.2.1 Rendimento e produtividade em biomassa de *G. birdiae*

Durante o período de julho de 2015 a maio de 2016 quatro ciclos de cultivo foram realizados e o maior rendimento em biomassa ocorreu em RT45, na estação

seca, totalizando $0,84 \text{ kg m}^{-1}$. O menor rendimento em biomassa foi obtido em RT45, na estação chuvosa, totalizando $0,16 \text{ Kg m}^{-1}$ (Gráfico 7). Durante o início do ciclo #4, na estação chuvosa, uma das cordas de ancoragem da estrutura de *long line* foi rompida, provavelmente pela ação das correntes de maré, e desta forma, grande parte da biomassa de *G. birdiae* foi perdida, sendo observado um ganho de apenas $0,2 \text{ Kg}$ para os dois módulos de colheita durante o período de 30 dias e inviabilizando a observação de ganho de biomassa por perda dos dois módulos restantes para 45 dias. A biomassa final para #4LL45 não foi determinada e não foi considerada para análise de dados. Não houve diferença significativa ($p>0,05$) para RB entre LL e RT entre as estações seca e chuvosa.

Gráfico 7 – Rendimentos de biomassa obtidos nos 4 ciclos de cultivo de *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras-Trairi/CE através das técnicas *Long-Line* (LL) e Rede Tubular (RT), durante os períodos de cultivo de 30 e 45 dias nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).



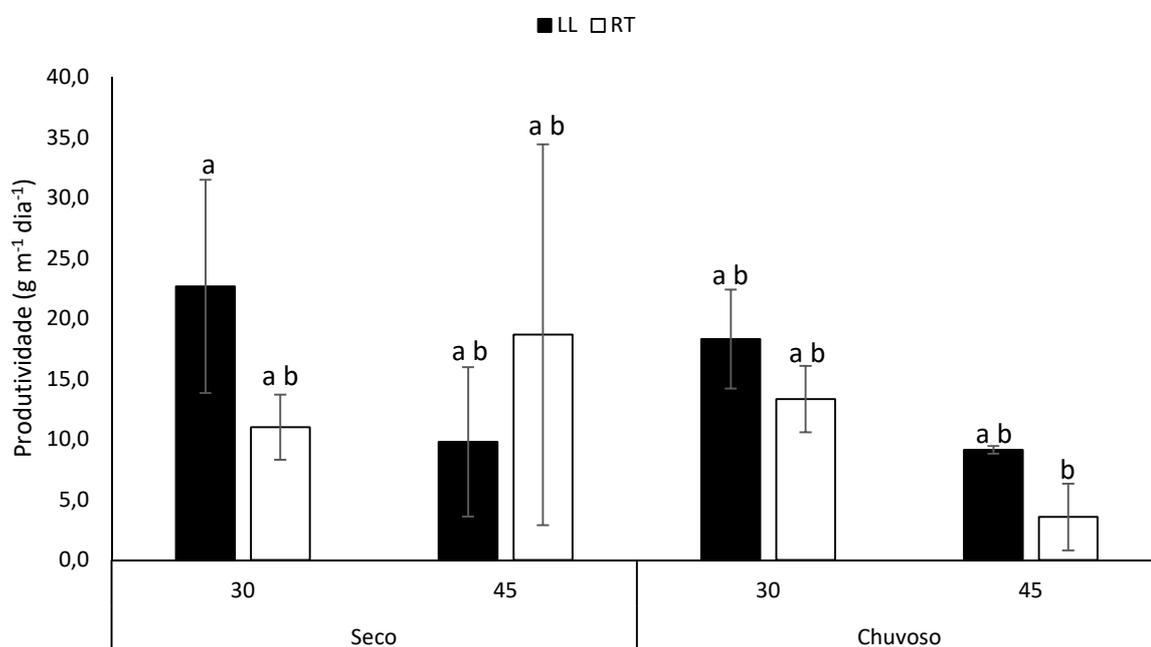
Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto às estruturas de cultivo avaliadas, a LL foi mais eficiente para cultivar a espécie de alga *G. birdiae* tanto em 30, quanto em 45 dias, apresentando maiores rendimentos de biomassa que a RT, sobretudo na estação seca, a qual alcançou $0,7 \text{ kg m}^{-1}$. RT mostrou menores rendimentos de biomassa em 3 dos 4 grupos de cultivo realizados, apresentando valores em torno de $0,35 \text{ kg m}^{-1}$. Somente

em RT45 foi observado rendimento de biomassa superior a LL e com um desvio padrão muito elevado. Vale ressaltar, que os desvios padrão foram mais elevados nos ciclos de cultivo realizados durante a estação seca. Apesar dos maiores rendimentos de biomassa alcançados na estação seca, os elevados desvios padrão mostrados nessa estação do ano não permitiram a observação de diferença significativa ($p>0,05$) entre as duas metodologias de cultivo testadas, em 30 e em 45 dias.

Semelhante aos resultados obtidos para o rendimento de biomassa, a produtividade de *G. birdiae* (Gráfico 8) foi maior com a LL do que com a RT em 3 dos 4 grupos realizados. No período de 30 dias, foi observada a produtividade máxima 22,6 g m⁻¹ dia⁻¹, para LL30 na estação seca. Na estação chuvosa, menores produtividades foram observadas, com máxima de 18,3 g m⁻¹ dia⁻¹ para LL30, porém sem diferença significativa ($p>0,05$).

Gráfico 8 – Produtividade de biomassa obtidos nos 4 ciclos de cultivo de *Gracilaria birdiae* na Praia de Flecheiras-Trairi/CE através das técnicas *Long-Line* (LL) e Rede Tubular (RT), durante os períodos de cultivo de 30 e 45 dias nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor

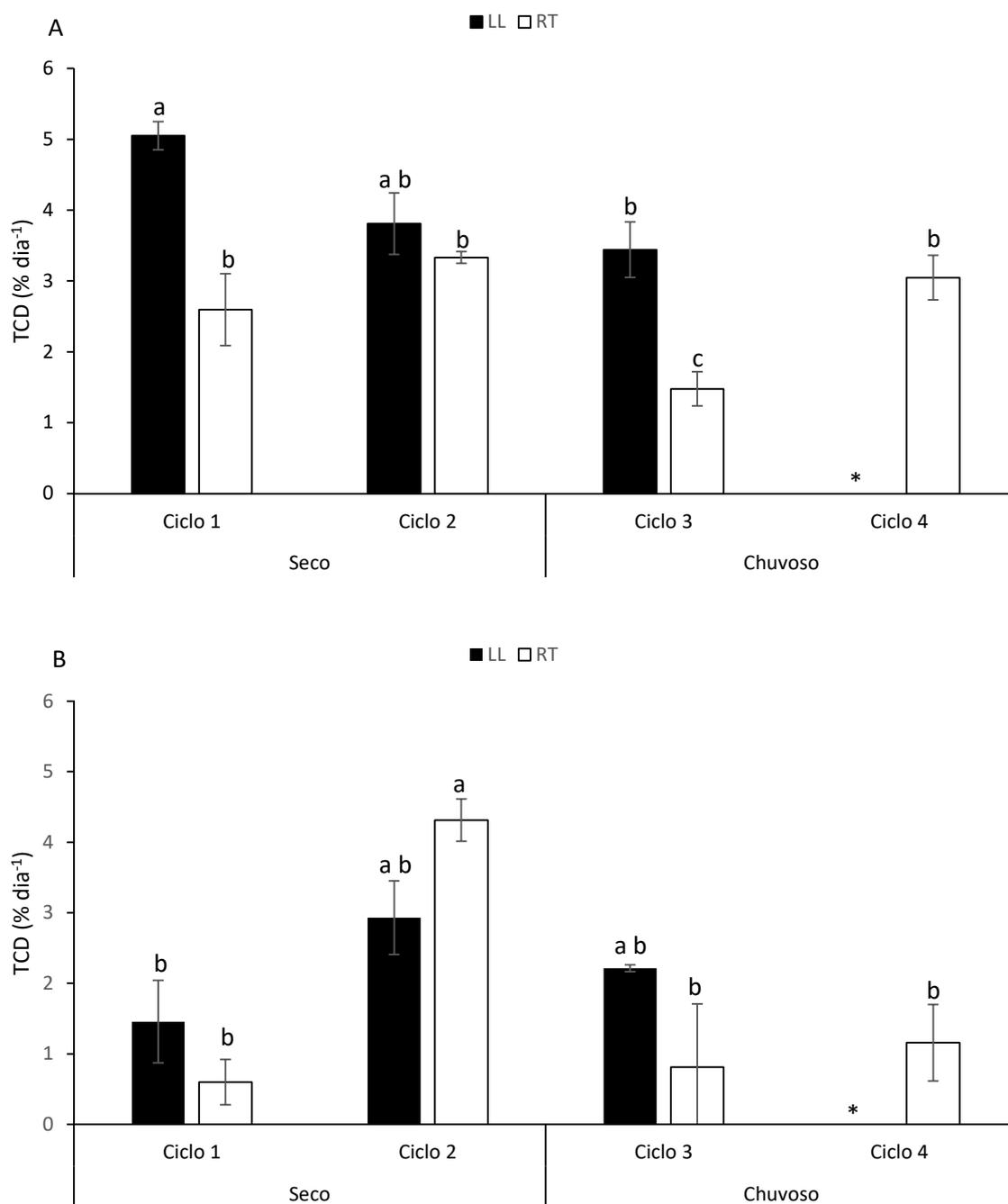
O aumento de produção de biomassa até determinado período de cultivo seguido do declínio de produção por perda de biomassa também é constantemente relatada (SALLES *et al.*, 2010; Camacho & Montaña, 2012; CUNHA *et al.*, 1999).

Estudos com *H. musciformis* e diferentes espécies de *Gracilaria* na Praia do Kutuca, Ilha da Marambaia RJ, apresentam TCD negativas para *G. servicornis* e *G. caudata* quando cultivadas em mar aberto por 20 e 40 dias. Já *H. musciformis* apresentou TCD de 10% em cultivos de 20 dias, diminuindo esta taxa após esse período (REIS *et al.*, 2005). Os resultados do presente trabalho apontam TCD média de 4,1% dia⁻¹ LL e 2,6% dia⁻¹ RT para 30 dias de cultivo, com queda para ambas as estruturas no período de 45 dias, estes resultados corroboram com a literatura que aponta menores períodos de cultivo como mais eficientes. Estudos com a utilização de modelos sintéticos de algas de recife, realizados no Marine Science Institute, University of California, Santa Barbara, simularam diferentes grau de rigidez de talos de alga e revelaram que os modelos mais rígidos tendem a se partir mais facilmente com o aumento da velocidade da corrente (STEWART, 2006). Os talos de *G. birdiae* apresentam facilidade para se partirem e este fator é a maior razão de perdas no presente estudo.

4.2.2 Taxa de Crescimento Diário (TDC) de *G. birdiae*

O Gráfico 9 mostra as TCD de *G. birdiae* calculadas para cada ciclo de cultivo, onde #1LL30, na estação seca, apresentou maior TCD (5,0 % dia⁻¹) enquanto a menor TCD foi obtida no ciclo #1RT45 (0,6 % dia⁻¹), também na estação seca. As maiores TCD da *G. birdiae* com menores variações foram observadas no período seco, para 30 dias de cultivo em estrutura LL. No período chuvoso as TCD caíram para ambas metodologias de cultivo em 30 dias, chegando a valores de até 1,5% (#3RT30). Já após 45 dias de cultivo, a *G. birdiae* cultivada em RT apresentou médias de TCD menores e com elevadas variações entre os ciclos de cultivo do período seco, apresentando 0,6±0,32% dia⁻¹ para #1RT45 e 4,3±0,30% dia⁻¹ para #2RT45 e ainda menores para o período chuvoso. As TCD de *G. birdiae* apresentaram ainda diferenças significativas (p<0,05) quando cultivadas em LL e RT.

Gráfico 9 –Taxa de Crescimento Diário de *Gracilaria birdiae* cultivada na Praia de Flecheiras-Trairi/CE através das técnicas Long-Line (LL) e Rede Tubular (RT), durante os períodos de cultivo de 30 (A) e 45 dias (B) nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).



Legenda:(*) Estrutura perdida durante o início do Ciclo 4. Fonte: Elaborado pelo autor.

O presente estudo aponta ainda perdas de biomassa para LL e RT. Para LL as perdas foram decorrentes de má amarração e fixação a estrutura de cultivo, isso aconteceu devido ao recrutamento de diferentes colaboradores do grupo de pesquisa para cada montagem de estruturas. A inexperiência para fixação das mudas causou o desprendimento de algumas mudas da estrutura. As maiores perdas foram encontradas em RT, isso se deve, possivelmente ao fato do mal dimensionamento de rede e não necessariamente por ineficiência da tecnologia. O espaço entrenós de 7 cm não se mostrou eficiente para imobilização e manutenção das mudas dentro da rede. Nos primeiros dias de cultivo as mudas com menores tamanhos e de menor ramificação passaram pela malha da rede ocasionando perda de produção. As correntes podem ainda, em alguns casos, danificar as estruturas, como observado no ciclo #4, onde uma das estruturas foi perdida. Estudos realizados com *K. alvarezii* na Bahia de Sepetiba RJ, apontaram maior eficiência de cultivo para RT, porém o trabalho não informa o espaço entrenós de RT (DE GÓES & REIS, 2011). Um redimensionamento do espaço entrenós para tamanhos menores que 7 cm em RT possivelmente diminua as perdas de biomassa observadas no presente trabalho. Apesar de grandes esforços no estudo de novas técnicas de cultivo que aumentem a eficiência na produção, técnicas mais simples variantes de LL tem se mostrado mais tradicionais para o cultivo de macroalgas (HURTADO *et al.*, 2013).

A comparação de TCD quanto a estrutura, tempo de cultivo e estação anual de cultivo para *G.birdiae* em Flecheiras, mostram que LL no período de 30 dias foi mais adequada a produtividades maiores e mais uniformes, sobretudo durante o verão. Diferentes espécies do gênero *Gracilaria* com potencial para cultivo apresentam diferentes TCD, que podem variar de 0,84 a 20,2% dia⁻¹ (YOSHIMURA *et al.*, 2006).

As maiores produções obtidas em LL30 e RT45 referentes aos meses de agosto e dezembro respectivamente, ocorreram em baixos índices de precipitação e velocidades de vento relativamente altas. Durante a estação chuvosa a menor incidência de radiação solar pode ter contribuído para uma produção menor que a estação seca e, ainda os fortes ventos registrados para a estação seca possam oferecer condições favoráveis ao crescimento de *G.birdiae*. Esta pode ser uma relação referente a biologia da espécie.

A Tabela 8 mostra que o cultivo em mar aberto apresenta grande variação na produção entre as estações seca e chuvosa, o presente estudo obteve uma TCD de 1,5 a 5% dia⁻¹ com LL, apresentando menores variações do que outras regiões do Brasil e da África do sul. Quando comparada com outros países, a TCD no presente estudo se mostrou maior do que a encontrada para outros países, incluindo o Chile, maior produtor de algas vermelhas na América Latina.

Tabela 8 – Taxas de Crescimento Diário (TCD) observadas para diferentes espécies de *Gracilaria* cultivadas em diferentes sítios utilizando diferentes técnicas de cultivo.

Espécie	Sítio/Técnica cultivo	País	TCD (% dia ⁻¹)
<i>G. birdiae</i>	Mar aberto/Long-Line	Brasil	1,5 - 5,0
<i>G. domingensis</i>	Mar aberto/vertical	Brasil	4,6 – 20,2
<i>G. gracilis</i>	Mar aberto/vertical	África do Sul	1,0 – 10,0
<i>G. gracilis</i>	Baía/horizontal	Namíbia	0,8 – 4,1
<i>G. córnea</i>	Baía/horizontal	Venezuela	1,4 – 2,5
<i>G. chilensis</i>	Estuário/horizontal	Chile	1,8 – 4,6
<i>G. tenuistipitata</i>	Piscinas/tanque rede	China	1,5 – 3,3
<i>G. parvispora</i>	Laguna/tanque rede	Havaí	4,6 – 10,4

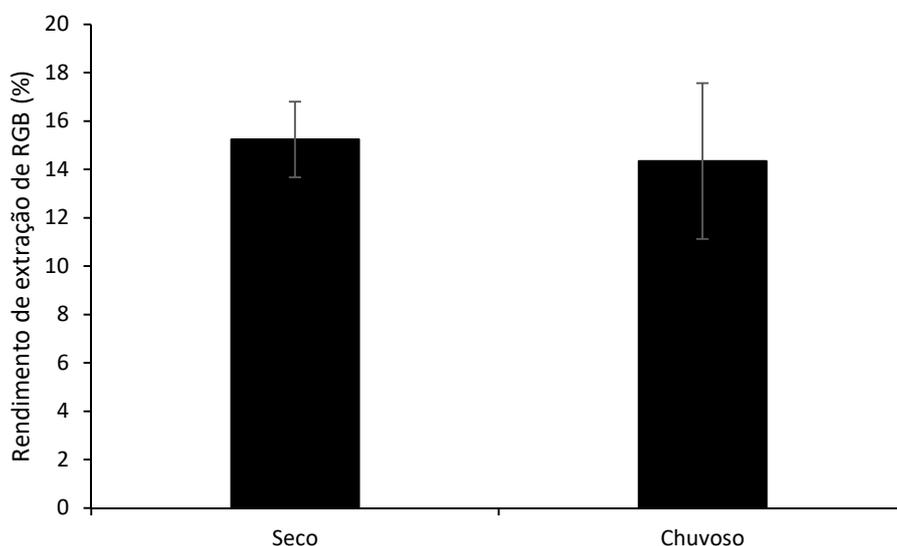
Fonte: Adaptado de Yoshimura, C. Y., 2006

O presente estudo apontou a LL como metodologia mais adequada ao cultivo comercial em 30 dias, uma vez que após esse período a produção tende a declinar. Já a RT, apesar de apresentar maior produção no período seco, mostrou desvios padrões muito elevados, decorrentes de fatores que interferiram diretamente no rendimento de biomassa, como espaço entre nós da rede, diâmetro da rede, elevada quantidade de ramificações no talo da alga e movimento da água. Os altos rendimentos de biomassa podem estar relacionados as baixas precipitações observada no período seco, que juntamente com as altas velocidades do vento podem favorecer o crescimento de *G.birdiae*, o crescente nível de chuvas observado no período chuvoso diminui a incidência solar sobre as algas, desacelerando as taxas fotossintéticas e contribuindo para um menor crescimento.

4.3 Rendimentos de extração de ágar

Extrações a quente de AGb com uso de biomassa cultivada em LL e RT foram realizadas e os rendimentos foram calculados com base na massa seca da alga. O Gráfico 10 mostra os rendimentos das extrações que variam de 15,23 % para o período seco e 14,34 % para o período chuvoso. Não foram encontradas diferenças significativas (t -test, $p > 0,05$) no rendimento de AGb entre as estações seca e chuvosa.

Gráfico 10 – Rendimento da extração de ágar da macroalga *Gracilaria birdiae* cultivada na Praia de Flecheiras-Trairi/CE nas estações seca (julho a dezembro/2015) e chuvosa (janeiro a junho/2016).



Fonte: Elaborado pelo autor

As poucas variações para as concentrações dos nutrientes descritas neste estudo, podem ser uma vantagem em relação a outras localidades onde essa variação pode ser maior, uma vez que a pouca variação sazonal pode garantir uma produção anual constante. A qualidade do gel produzido por agarófitas também pode ser influenciado pela variação sazonal, estudos com diferentes espécies do gênero *Gracilaria*, mostram que o rendimento de ágar, força do gel, e a temperatura de gelificação pode ser afetado pela disponibilidade de nitrogênio (maior produção em altas taxas de amônia) e a estação chuvosa (menor produção na estação chuvosa) (MARINHO-SORIANO & BOURRET 2003). O SC estudado no presente estudo, aponta pouca influência dos parâmetros ambientais sobre o rendimento de produção

de ágar para as estações seca e chuvosa. Esse é um resultado relevante do ponto de vista comercial, pois a qualidade do ágar parece não ser afetada devido a estabilidade dos parâmetros no SC.

Yoshimura (2006) em estudo de cultivo de *Gracilaria domingensis* estimou uma produção de $0,74 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Ano}^{-1}$ na Enxada de Armação do Itapocoroy, Penha SC. Bezerra & Marinho-Soriano (2010) em estudos de cultivo de *G.birdiae* na Praia Rio do Fogo Natal RN calculou produção máxima de 2,836 Kg a partir de 1Kg de biomassa inicial em período de 15 dias de cultivo. Ainda segundo os autores esse foi o período com maior produção, seguido por perda de biomassa a partir do 16^a dia de cultivo. Levando-se em consideração a produção em biomassa média encontrada para LL30 ($0,51 \text{ Kg m}^{-1}$) e uma área de cultivo de 1 ha, com suporte para 50 cordas de 100 m cada (espaçamento de 2m entre cada LL) e, intervalos de um mês entre um ciclo e outro (6ciclos/ano), pode-se estimar uma produção de $15,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com o presente estudo mostram que Flecheiras, Trairi/CE, apresenta boas características ambientais, físico-químicas e nutricionais para o crescimento e cultivo de *G. birdiae* com a finalidade de obtenção de ágar durante todo o ano devido as altas taxas de radiação solar, movimentos constantes de correntes marinhas e boa disponibilidade de nutrientes, estabelecendo a área de cultivo como ideal para produção em larga escala. A técnica de LL se mostrou mais eficiente e homogênea na produção úmida de *G. birdiae* e de ágar, em um período de 30 dias, com poucas variações no rendimento de biomassa e de ágar, e TCD satisfatórias para o cultivo comercial. Desta forma, recomenda-se o cultivo de *G. birdiae* com uso de LL, em período de 30 dias, no sítio localizado em Flecheiras Ce, para a produção sustentável de ágar.

Possivelmente o espaço entre nós da RT tenha sido má dimensionado, os resultados apontaram grande perda de biomassa. Novos estudos com menor dimensionamento de rede devem ser realizados para melhor compreensão da produção em biomassa com o uso de RT.

Novos estudos de acompanhamento de parâmetros físico químicos e nutrientes dissolvidos devem ser realizados em larga escala de tempo, a fim de estabelecer um padrão sazonal histórico.

O estudo das variações de propriedades do ágar durante o ano se faz necessário para melhor compreensão da influência do meio nestas propriedades.

6 CONCLUSÕES

A macroalga marinha vermelha *G. birdiae*, uma espécie agarófita abundante no litoral cearense foi cultivada em escala piloto e apresentou altas taxas de Rendimento de Biomassa através das técnicas de LL e RT. O sitio de cultivo apresentou concentrações de nutrientes (amônia, nitrato e ortofosfato), condições climáticas (altas velocidades de vento e boa distribuição de chuvas) e características fisicoquímicas (pH e salinidade) propícias e constantes durante as estações seca e chuvosa, favorecendo o desenvolvimento de *G. birdiae* e permitindo elevadas taxas de crescimento diário (até 5,0 % ao dia), consideradas viáveis comercialmente. A técnica de LL em período de 30 dias se mostrou mais eficiente e adequada ao cultivo comercial apresentando Rendimento de Biomassa de até 0,68 Kg m⁻¹, com valores de Produtividade de até 22,6 g m⁻¹ dia⁻¹ e TCD adequadas ao cultivo comercial. Portanto, a Praia de Flecheiras, Trairi-Ce se apresentou como um sítio potencial para o cultivo de *G. birdiae* através das técnicas LL e RT, alcançando altos RB e TCD, viáveis comercialmente, porém, tais índices sofreram influência significativa das estações seca e chuvosa, sendo necessárias alterações e adequações das estruturas de cultivo às condições climáticas apresentadas por cada estação do ano visando otimizar a produção de biomassa algácea.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAOUF, N., AL-HOMAIDAN, A.A., IBRAHEEM, I.B.M., 2012. Agricultural importance of algae. **Afr. J. Biotechnol.** 11, 11648–11658.
- ACCIOLY, M.C. Esforços para estabelecer cultivos artesanais de macroalgas marinhas na Bahia. In: **Anais da X Reunião Brasileira de Ficologia**. Salvador. Rio de Janeiro, Museu Nacional, p.107-114, 2005.
- AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques em milieu marin**. Brest: CNEXO. P395. 1983.
- ANDERSON, N. S., REES, D. A. Porphyran: a polysaccharide with a masked repeating structure. **Journal of Chemistry Society**, p. 5880-5887, 1965.
- ARAKI, C., HIRASE, S. Studies on the chemical constitution of agar-agar. Reinvestigation of methylated agarose of *Gelidium amansii*. **Bulletin of Chemistry Society Japanese**, v. 36, p. 31-48, 1983.
- ASK, E.I. & AZANZA, R. V., 2002. Advances in cultivation technology of commercial eucaematoid species: A review with suggestions for future research. **Aquaculture**, 206(3-4), p.257–277.
- ASPINALL, G. O. **Polysaccharides**. First edition. Pergamon Press, New York, p. 228, 1970.
- BAHIA, R.G. et al., 2010. Rhodolith bed structure along a depth gradient on the northern coast of Bahia state, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58(4), p.323–337.
- BEZERRA, A.F. & MARINHO-SORIANO, E., 2010. Cultivation of the red seaweed *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta) in tropical waters of northeast Brazil. **Biomass and Bioenergy**, 34(12), p.1813–1817. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.07.016>.
- BOBBIO, P. A. & BOBBIO, F. O. **Introdução à química de alimentos**. Editora Livraria Varela, 3a edição, 238 pp, 2003.
- BOBBIO, P. A., BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. Editora Livraria Varela, 3a edição, 143 pp, 2001.
- BORLONGAN, I.A.G. et al., 2016. Photosynthetic responses of “*Neosiphonia* sp. epiphyte-infected” and healthy *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) to irradiance, salinity and pH variations. **Journal of Applied Phycology**, p.1–12.
- BRÖNMARK, C.; HANSSON, L-A. **The biology of lakes and ponds**. 2ª Ed. New York: OXFORD, University Press, 2005. 285 p.

BULBOA, C. *et al.*, 2013. A new method for cultivation of the carragenophyte and edible red seaweed *Chondracanthus chamissoi* based on secondary attachment disc: Development in outdoor tanks. **Aquaculture**, 410-411, p.86–94.

CABRAL, T.M. *et al.*, 2003. Avaliação do crescimento da agarófita *Gracilaria domingensis* no litoral do Rio Grande do Norte.

CAMACHO, O. & MONTAÑA, F.J., 2012. Cultivo experimental en el mar del alga roja *Hypnea Musciformis* en el área de Santa Marta. **Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR**, 41(1), p.29–46.

CARVALHO FILHO, J. Algas uma alternativa para as comunidades costeiras **Panorama da Aqüicultura**, v. 84, p.53-56, 2004.

CARVALHO, L. R.; ROQUE, N. F. Fenóis halogenados e/ou sulfatados de macroalgas marinhas. **Química Nova**, v. 23, p.757-764, 2000.

CASSOLATO, J. E. F. Determinação da estrutura química de xilogalactanas sulfatadas e xilanas neutras isoladas das algas vermelhas *Amansia multifida* e *Osmundaria obtusiloba* (Ceramiales, Rhodomelaceae). **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Bioquímica da UFPR, Curitiba, 2004.

CHEN, B. *et al.*, 2016. Effects of CO₂ levels and light intensities on growth and amino acid contents in red seaweed *Gracilaria lemaneiformis*. **Aquaculture Research**, p.1–8. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/are.13100>.

CHOPIN, T., & SAWHNEY, M. Seaweeds and their mariculture. In: Steele JH, Thorpe SA, Turekian KK (Eds.) **The Encyclopedia of Ocean Sciences**. Elsevier, Oxford: p.4477 – 4487, 2009.

CUNHA, S.R. *et al.*, 1999. Potencial de crescimento de macroalgas cultiváveis presentes na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, SC): avaliação preliminar. **Notas técnicas Facimar**, 3, p.17–25.

DE GÓES, H.G. & REIS, R.P., 2011. An initial comparison of tubular netting versus tie-tie methods of cultivation for *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) on the south coast of Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of Applied Phycology**, 23(3), p.607–613.

DE GÓES, H.G. & Reis, R.P., 2012. Temporal variation of the growth, carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivated at Sepetiba bay, southeastern Brazilian coast. **Journal of Applied Phycology**, 24(2), p.173–180.

EL GAMAL, A.A., 2010. **Biological importance of marine algae**. Saudi Pharmaceutical Journal, 18(1), p.1–25. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsps.2009.12.001>.

- EL GAMAL, A.A., 2012. Biological Importance of marine algae. In: **Kim, S.-K. (Ed.), Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology And Applied Phycology**. John Wiley & Sons, p. 567
- ESTEVEZ, F. A. Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 11, p.3-28, 1988.
- ESTEVEZ, J.M.; CIANCIA, M.; CERESO, A.S. The system of galactans of the red seaweed *Kappaphycus alvarezii* with emphasis on its minor constituents. **Carbohydr Res**, v. 339, p.2575-2592, 2004.
- EVANS, F.D., CRITCHLEY, A.T., 2014. Seaweeds for animal production use. **J. Appl. Phycol.** 26, 891-899
- FAO, 2014. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014**, Available at: <http://www.fao.org/3/d1eaa9a1-5a71-4e42-86c0-f2111f07de16/i3720e.pdf>.
- FONG, P. Macroalgal-Dominated Ecosystems. In: CAPONE, D. G.; BRONK, D. A.; MULHOLLAND, M. R.; CARPENTER, E. J. **Nitrogen in the marine environment**. Elsevier, 2ed. 2008. p. 917-947.
- FURTADO, M.R. Alta lucratividade atrai investimentos em hidrocolóides. **Química e Derivados**: 21-29, 1999.
- FURTADO, M. R. Desequilíbrio climático abre mercado para novos hidrocolóides. **Química e Derivados**, 430, 2004.
- GERLING, C. et al., 2016. **Manual de ecossistemas marinhos e costeiros para educadores**, p.65.
- GÓMEZ-ORDÓÑEZ, E.; JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; RUPÉREZ, P. Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast. **Food Res Int.** v.43, p. 2289-2294, 2010.
- GRAHAM, L.E., GRAHAM, J.M., WILCOX, L.W. 2009. Algae. **Benjamin Commings**.
- GUIRY, M.D., GUIRY, G.M., 2014. Algaebase. World-wide Electronic Publication, **National University of Ireland**, Galway.
- GUIRY, M.D., 2014. The Seaweed Site: Information On Marine Algae. **Seaweed.ie**.
- HAFTING, J.T. et al., 2012. On-land cultivation of functional seaweed products for human usage. **Journal of Applied Phycology**, 24(3), p.385–392.
- HANISAK, M. D. The use of *Gracilaria tikvahiae* (Gracilariales, Rhodophyta) as a model system to understand the nitrogen of cultured seaweed. **Hydrobiologia**, v. 204/205, p.79-87, 1990.
- HARVEY, W. Cracking open marine algae. Biological Treasure Chest. **Biotechnology**, v.6, n.5, p.487-493, 1988.

HAYASHI, L. *et al.*, 2013. Cultivation of red seaweeds: a Latin American perspective. **Journal of Applied Phycology**, 26(2), p.719–727.

HEYDARI, M. *et al.*, 2014. **Optimization of the Yield and Quality of Agar from *Gracilariopsis persica***. , 3(February), p.33–40.

HURD, C., 2000. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. **J. Phycol.** n.472, p.453–472.

HURTADO, A.Q. *et al.*, 2013. Cultivation of tropical red seaweeds in the BIMP-EAGA region. **Journal of Applied Phycology**, p.1–12.

HWANG, E.K., BAEK, J.M. & PARK, C.S., 2007. Assessment of optimal depth and photon irradiance for cultivation of the brown alga, *Sargassum fulvellum* (Turner) C. Agardh. **Journal of Applied Phycology**, 19(6), p.787–793.

LAHAYE, M.; ROCHAS, C. 1991. Chemical structure and physico-chemical properties of agar. **Hydrobiologia**, v. 221, p.137-148.

LECHAT, H.; AMAT, M.; MAZOYER, J.; BULÉON, A.; LAHAYE, M. Structure and distribution of glucomannan and sulfated glucan in the cell walls of the red alga *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). **Journal of Phycology**, v.36, n.5, p.891-902, 2000.

LOBBAN CS, HARRISON PJ (1997) Seaweed Ecology and Physiology. **Cambridge University Press**, New York, 366 p.

LÜNING, K. & PANG, S., 2003. Mass Cultivation of Seaweed: Current Aspects and Approaches. **Journal of Applied Phycology**, 15(2-3), p.115–119.

MAKKAR, H.P.S. *et al.*, 2016. Seaweeds for livestock diets: A review. **Animal Feed Science and Technology**, 212, p.1–17.

MARINHO-SORIANO, E. & BOURRET, E., 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). **Bioresource Technology**, 90(3), p.329–333.

MARINHO-SORIANO, E. Cultivo experimental de *Gracilaria* no Rio Grande do Norte. **Anais da X Reunião Brasileira de Ficologia**. Salvador 2004. Rio de Janeiro, Museu Nacional, p.115-124, 2005.

MARTINS, A.P., (2007) Efeitos da disponibilidade do nitrato no metabolismo do nitrogênio em variantes pigmentares de *Hypnea musciformis* (Wulfen in Jacqu.) J.V.Lamour. (Gigartinales, Rhodophyta). Dissertação de mestrado, **Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente**, São Paulo, 131 p.

MASIH NETO, T. *et al.* Cultivo Experimental da Alga *Hypnea musciformis* In: **XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca**, Fortaleza, 2005.

MCHUGH, D. J. A guide to the seaweed industry. **FAO Fisheries Technical Paper**. Rome, v.441, p.150, 2003.

MILLERO, F.J., *Chemical Oceanography*, **Hardcover**, ed. 2 496p. 1996.

MURPHY, J.T., JOHNSON, M.P. & VIARD, F., 2016. A modelling approach to explore the critical environmental parameters influencing the growth and establishment of the invasive seaweed *Undaria pinnatifida* in Europe. **Journal of Theoretical Biology**, 396, p.105–115. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2016.01.038>.

NOSEDA, M.D., CERESO, A.S. Alkali modification of carragenans – II. The cyclization of model compounds containing non-sulfated β -D-galactose units. **Carbohydrate Polymers**, v. 26, p. 1-3, 1995.

OLIVEIRA, S.R.C. **Implantação de cultivo experimental de algas marinhas da espécie *Gracilaria cornea* (Rhodophyta, Gracilariales) nas comunidades de Galeão e Garapuá, Cairu – Ba**. Monografia apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia, como exigência para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas, modalidade Zoologia: Organismos Aquáticos. Salvador – Bahia, dezembro, 2005.

ORBITA, M.L.S., 2013. **Growth rate and carrageenan yield of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivated in Kolambugan, Lanao del Norte, Mindanao, Philippines**. AAB Bioflux, 5(3), p.128–139. Available at: <http://www.aab.bioflux.com.ro>.

PAINTER, T. J. Algal polysaccharides. **The polysaccharides**, Academic Press Ed.; N.Y.; II: 195p, 1983.

PELLIZZARI, F. & REIS, R.P., 2011. Seaweed cultivation on the southern and Southeastern Brazilian coast. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, 21(2), p.305–312.

PÉREZ, G. R.; RESTREPO, J. J. R. **Fundamentos de limnologia neotropical**. 2ª. Ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2008. 442 p.

PETEIRO, C. & FREIRE, O, 2011. Effect of water motion on the cultivation of the commercial seaweed *Undaria pinnatifida* in a coastal bay of Galicia, Northwest Spain. **Aquaculture**, 314(1-4), p.269–276. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.009>.

PHANG, S. et al., 2016. **Marine algae of the South China Sea bordered by Indonesia, Malaysia**, 7600(34), p.13–59.

PILSON, M.E.Q., *An Introduction to the Chemistry of the Sea*, **Prentice Hall**, 1 ed. 431p. 1998.

POTTER, J. **Cooking for Geeks Real Science**, Great Hacks, and Goog Food. Ed. O'Reilly Media. 2010, 311-312.

RAVEN, P.H. *Biologia vegetal*, 2001, New York, **New York and Basingstoke**, 6ª ed. 874 pg.

REIS, R.P. et al. Potencial para maricultura da carragenófito *Hypnea musciformis* (*Wulfen*) *J.V. Lamour*. (Gigartinales - Rhodophyta) na Ilha da Marambaia, Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Acta bot. bras**, v.20(4), p.763-769, 2006.

REIS, R.P. et al., 2005. Cultivo de algas vermelhas de interesse comercial na ilha da marambaia, rio de janeiro, brasil. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FICOLOGIA, 10.**, 2004, Salvador. Museu Nacional. p. 289-300. Org. Sociedade Brasileira de Ficologia.

ROBLEDO, D.; FREILE_PELLEGRÍN, Y. Prospects for the cultivation of economically important carrageenophytes in southeast Mexico. **J. Appl. Phycology**, v.23, n.3, p.415-419, 2010.

SAITO, R. M. M. **Extração e propriedades físicas e químicas do colóide de uma alga brasileira (*Gracilariopsis tenuifrons* - Rhodophyta)**. Dissertação (Mestrado em Farmácia). São Paulo, Universidade de São Paulo. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. 1997. 80p.

SAITO, R. M.; OLIVEIRA, E. C. Chemical screening of Brazilian marine algae producing carrageenans. **Hydrobiology**, v. 204/205, p.585-588, 1990.

SAJID, I.K. AND S.B SATAM. Seaweed maricultura: scope and potential in In **Aquaculture Ásia** 8 (4): p.26-28, 2003.

SANTELICE, B. Algas marinas de Chile. Universidade Católica de Chile. **Ed. Santiago de Chile**. p.399, 1989.

SALLES, J.P. et al., 2010. Cultivation of native seaweed *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta) in Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 53(3), p.633-640.

SANTOS, J.P. **Avaliação do teor e análise qualitativa do ágar das espécies *gelidiella acerosa* (forsskål) feldmann and g. Hamel (gelidiales, rhodophyta) e *gracilaria domingensis* (kützing) sonder ex dickie em costões rochosos dos municípios de ilhéus e uruçuca**. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011

SILVA, C.A.R., *Oceanografia Química*. **Interciência**. 1 Ed, Brasil. 198 p. 2011.

SOUTH, G.R.; WHITTICK, A. 1987, Introduction to Phycology. **Blackwell Scientific Publications**, v.3, 341 p.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. A practical handbook of seawater analysis. **Fisheries Research Board of Canada**. 2 Ed, Ottawa: Bulletin 167. P.311. 1972

STENGEL, D. B.; CONNAN, S.; POPPER, Z.A. Algal chemodiversity and bioactivity: Sources of natural variability and implications for commercial application. **Biotechnology Advances**, v. 29, p.483-501, 2011.

STORTZ, C.A.; CERESO, A.S. Novel findings in carragenans, agaroids and “hybrid” red seaweed galactans. **Curr Top Phytochem**, v. 4, p. 121-134, 2000.

SZE, P. **A Biology of the algae**. 3. Ed. New York: McGraw-Hill. 1997. 278p.

TEIXEIRA, D. I. A. *et al.* Cultivo da alga marinha *Gracilaria* sp nas praias de Flecheiras e Guajiru-Ceará-Brasil. **IX Reunião Brasileira de Ficologia**, Santa Cruz-Aracruz-ES, 2002.

THURMAN, H.V. 1994. Introductory oceanography. **Macmillan Publishing Co.** USA, 7 ed,550 p.

TITLYANOV, E. A. & TITLYANOVA, T. V., 2010. Seaweed cultivation: Methods and problems. **Russian Journal of Marine Biology**, 36(4), p.227–242.

USOV, A.I. NMR Spectroscopy of red seaweed polysaccharides: agars, carragenanas and xylans, **Bot Mar**. v.27, p. 189-202, 1983.

VALERI, S.V. *et al.* Efeitos da omissão de nutrientes em plantas de *Caesalpinia echinata*. **Cerne Lavras**, v. 20, n. 1, p. 73-80 p.73–80, 2014.

VAN DE VELDE, F. *et al.* 1 H and 13C high resolution NMR spectroscopy of carrageenans: application in research and industry. **Food Science & Technology**, v. 13, p. 73-92, 2002.

VIDOTTI, E.C.; ROLLEMBERG, M.C.E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. Maringá-PR, **Quím. Nova**, vol.27, n.1, janeiro/fevereiro, 2004.

WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G.O. Agar In G. O. PHILLIPS; P. A.; PHILLIPS (Eds), Handbook of hydrocolloids. **Cambridge, England: CRC Press**, pp. 21-40, 2000.

YANG, Y.F. *et al.*, 2006. Growth of *Gracilaria lemaneiformis* under different cultivation conditions and its effects on nutrient removal in Chinese coastal waters. **Aquaculture**, 254(1-4), p.248–255.

YOSHIMURA, C.Y., CUNHA, S.R. & CABRAL, E., 2006. Avaliação da viabilidade de cultivo em campo de *Gracilaria domingensis* (Gracilariales , Rhodophyta) na Armação do Itapocoroy , Penha , SC . **Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável**: estudos de caso em Penha, SC, p.211–226.