

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

Karina Bruch de Albuquerque

**Potencial de Remoção de Carbono e Nitrogênio por *Ulva* spp. em uma Lagoa
de Decantação de Efluentes de Maricultura**

Florianópolis

2021

Karina Bruch de Albuquerque

Potencial de Remoção de Carbono e Nitrogênio por *Ulva* spp. em uma Lagoa de Decantação de Efluentes de Maricultura

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia

Orientador: Dr. Leonardo Rubi Rörig

Coorientador: Dr. José Bonomi Barufi

Florianópolis

2021

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

Albuquerque, Karina Bruch de
Potencial de Remoção de Carbono e Nitrogênio por *Ulva*
spp. em uma Lagoa de Decantação de Efluentes de Maricultura
/ Karina Bruch de Albuquerque ; orientador, Leonardo Rubi
Rörig, coorientador, José Bonomi Barufi, 2021.
60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Fitorremediação. 3. *Ulva spp.*. 4.
Biorremediação. 5. Maricultura . I. Rörig, Leonardo Rubi .
II. Barufi, José Bonomi. III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Karina Bruch de Albuquerque

**Potencial de Remoção de Carbono e Nitrogênio por *Ulva* spp. em uma Lagoa
de Decantação de Efluentes de Maricultura**

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

Florianópolis, 09 de setembro de 2021

Alessandra Larissa D' Oliveira Fonseca

Coordenadora do Curso de Graduação em Oceanografia

Banca Examinadora:

Prof. Leonardo Rubi Rörig

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. José Bonomi Barufi

Coorientador

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Ms(a). Ana Gabriela Itokazu Canzian da Silva

Avaliadora

Instituição Auburn University

Ms(a). Thaís Fávero Massocato

Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus amigos do LAFIC, aos colegas do curso de Oceanografia e à minha família.

AGRADECIMENTOS

À minha segunda casa em Florianópolis, o Laboratório de Ficologia da UFSC, muito obrigada por todas as experiências que pude vivenciar em todos os anos que fiz parte do laboratório

Agradeço à minha amiga Ariane Paulutti Vaz, que esteve comigo durante toda a graduação e vou levar para a minha vida. Agradeço à Luana Aimi Azevedo, que me ajudou enormemente durante meus projetos, além de ser uma faísca de luz e positividade ambulante. Agradeço também à Ana Gabriela Itokazu, uma das pessoas mais incríveis e inteligentes que já conheci. Não poderia deixar de mencionar também a Danielly Oliveira, Eduardo de Oliveira Bastos, Thaís Fávero Massocato, Willia e tantos outros que passaram pelo laboratório e contribuíram de alguma forma com este trabalho.

Muito obrigada ao professor José Bonomi Barufi, que proporcionou minha primeira experiência em um projeto de pesquisa e concordou em ser meu coorientador neste trabalho. Ao professor Leonardo Rubi Rörig, que praticamente virou “meu estagiário” durante a execução deste projeto devido às dificuldades da pandemia, muito obrigada por todo o seu trabalho como orientador e também como professor e defensor da ciência.

Agradeço também ao CNPq pela concessão da Bolsa PIBIC no ciclo 2020/2021, que permitiu o desenvolvimento deste projeto. Obrigada aos professores do curso de Oceanografia, profissionais excelentes que nos inspiram a sermos bons profissionais com muita ética, comprometimento e inovação.

Obrigada à UFSC por esse ambiente incrível que é a universidade. A diversidade de pessoas e histórias que existe neste lugar me enriqueceu como estudante e como pessoa. Acredito que nosso país ainda há de reconhecer a importância e o alcance da atuação das universidades federais.

Finalmente, obrigada aos meus pais e ao meu irmão, que financiaram toda essa caminhada e várias vezes me convenceram a seguir em frente quando as dificuldades e dúvidas pesaram demais em mim. Obrigada aos meus amigos, Caroline Rosa Leão, Caetano Villa Pinheiro, Juana Gerevini Bozzeto, Junior Romanatto, Lorenzo Augusto Gazzi, Nyels Rosa, Victória Silvestre Côrrea, ao GAV, pessoal da coll e muitos outros que sempre souberam como deixar tudo mais leve e divertido. Ao Marcus Vinícius Aragão Silva, te amo. Muito obrigada por ser minha fortaleza e ter escolhido me acompanhar nessa aventura.

É divertido acordar todos os dias sem saber se será um daqueles que mudarão sua vida para sempre. (SUZUKI, TOSHIO; O MUNDO SECRETO DE ARRIETY, 2010)

RESUMO

Ulva é um gênero de algas verdes que apresenta uma reprodução acelerada devido ao seu caráter oportunista e alta capacidade de absorção e armazenamento de nutrientes. No presente projeto, buscou-se a avaliação do potencial de remoção de nitrogênio e carbono por *Ulva* spp. em uma lagoa de efluentes de maricultura localizada na Estação de Maricultura da Barra da Lagoa, onde essas algas crescem espontaneamente. Nesse processo, buscou-se ainda esboçar um possível plano de manejo para que a lagoa de decantação torne-se uma lagoa de alta taxa de produção de *Ulva* spp. O crescimento da biomassa de *Ulva* durante as coletas realizadas de novembro de 2020 a fevereiro de 2021, apresentou um crescimento variável por conta da variação de condições ambientais importantes para o seu crescimento como radiação solar, salinidade e temperatura. Os valores de massa totais de carbono, nitrogênio e enxofre durante o período foram de 6080,60 g, 971,38 g e 625,56 g, respectivamente. Como estratégia de manejo, recomenda-se o monitoramento mais detalhado da lagoa, principalmente quanto ao volume e características do efluente, bem como da qualidade da própria lagoa, além de medidas de remoção periódica da biomassa macroalgal.

Palavras-chave: biorremediação, ficorremediação, biofiltração, maricultura, biomassa.

ABSTRACT

Ulva is a genus of green algae that has an accelerated reproduction due to its opportunistic features and high capacity for absorption and storage of nutrients. In the present project, we evaluated the potential for nitrogen and carbon removal by *Ulva* spp. in a mariculture effluent pond located at Barra da Lagoa mariculture station, where these algae grow spontaneously. In this process, we have also elaborated a possible management plan so that the decanting pond becomes a high-rate pond of *Ulva* spp production. The growth of *Ulva* biomass during the collections carried out from November 2020-February 2021 showed a variable growth caused by the variation of important environmental conditions such as solar radiation, salinity, nutrients and temperature. At the end of the period the total mass values of carbon, nitrogen and sulfur were 6080,60 g, 971,38 g and 625,56 g, respectively. The management strategy recommendations include monitoring the lagoon, especially regarding the volume and characteristics of the effluent, as well as the water quality of the pond itself and monitoring the growth of macroalgae with periodic removal of the biomass.

Keywords: bioremediation, phycoremediation, biofiltration, mariculture, biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado das etapas de geração do efluente do Laboratório de Moluscos Marinhos (UFSC) captado pela lagoa de decantação. Modificado de Noronha, 2013.....	18
Figura 2 – Imagens de satélite de Florianópolis e da lagoa de decantação localizada no campus da UFSC na Barra da Lagoa. Imagens obtidas através do software <i>Google Earth Pro</i>	20
Figura 3 – Visão aérea (A) e desenho esquemático (B) da lagoa de decantação localizada em Florianópolis, SC.....	21
Figura 4 – Oxímetro utilizado durante as coletas de amostras para medição do oxigênio dissolvido presente na água da lagoa de decantação.....	22
Figura 5 – Diferentes espécies e/ou morfotipos de <i>Ulva</i> spp. coletados na área de estudo. A) Filamentosas; B) <i>Ulva intestinalis</i> ; C) Filamentosas; D) <i>Ulva</i> spp.....	23
Figura 6 – Amostras de água da lagoa de decantação em processo de análise do teor de amônio.....	25
Figura 7 – Gráfico de salinidade e temperatura em cada setor da lagoa de decantação (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.....	29
Figura 8 – Gráfico de oxigênio dissolvido (em mg/l) e saturação do oxigênio dissolvido (%) em cada setor da lagoa de decantação (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.....	30
Figura 9 - Gráfico de pH em cada setor da lagoa (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.....	30
Figura 10 – Gráfico de ficocianina <i>in vivo</i> (RFU) e clorofila-a <i>in vivo</i> (RFU) em cada setor da lagoa de decantação (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.....	31
Figura 11 – Gráfico de ortofosfato (mg/L) e amônio (mg/L) em cada setor (1, 2 e 3) da lagoa de decantação para cada dia de coleta	32
Figura 12 – Gráfico da densidade de biomassa de <i>Ulva</i> spp. em cada setor da lagoa de decantação (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.....	33
Figura 13 – Progressão da cobertura da lagoa de decantação pela biomassa de algas. A) 06/11/20; B) 20/11/20; C) 14/12/20; D) 05/02/21.....	33
Figura 14 - Gráfico da taxa líquida de incremento de biomassa de <i>Ulva</i> spp. na lagoa de decantação onde: a linha representa o perfil da taxa líquida de incremento da biomassa (g/dia). 1) 06/11/20-20/11/20; 2) 20/11/20-14/12/20; 3) 14/12/20-28/12/20; 4) 28/12/20-05/02/21.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medidas de profundidade total e de coluna da água (em cm) da lagoa de decantação.....	29
Tabela 2 – Espécies e/ou morfotipos de <i>Ulva</i> spp. e outras espécies de algas verdes identificados durante as coletas na lagoa de decantação no período de novembro/2020 a fevereiro/2021.....	28
Tabela 3 - Massas de carbono, nitrogênio e enxofre obtidos a partir da massa seca da biomassa de <i>Ulva</i> spp.....	35
Tabela 4 - Análise de correlação multivariada entre os parâmetros ambientais e densidade de biomassa.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

LAFIC Laboratório de Ficologia

LMM Laboratório de Moluscos Marinhos

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	17
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2	AMOSTRAGENS.....	21
3.3	PÓS-PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS.....	23
3.4	PLANO DE MANEJO.....	26
3.5	ANÁLISE DE DADOS.....	26
4	RESULTADOS.....	26
4.1	BATIMETRIA E DIMENSÕES DA LAGOA.....	26
4.2	CATEGORIZAÇÃO DA BIOMASSA.....	27
4.3	VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	28
4.4	BIOMASSA.....	32
5	DISCUSSÃO.....	36
5.1	PLANO DE MANEJO.....	42
6	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
	APÊNDICE A.....	53
	APÊNDICE B.....	54
	APÊNDICE C.....	56
	APÊNDICE D.....	58
	APÊNDICE E.....	59
	APÊNDICE F.....	60

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma prática de produção de bens de consumo como alimentos, suplementos vitamínicos e cosméticos (FAO, 2020; Gellenbeck, 2012), através do manejo tecnológico de cultivos de crustáceos, moluscos, peixes e algas, configurando um dos setores que mais cresce economicamente no mundo atual (FAO, 2020). O cultivo desses recursos pode ser feito de duas maneiras principais: em terra, na forma de tanques, ou diretamente no ambiente (*in situ*). O cultivo em terra é dominante em relação a prática *in situ*, e só em 2016 foram produzidos 51,4 milhões de toneladas em aquicultura terrestre (FAO, 2018). No entanto, como qualquer atividade antrópica, a prática de aquicultura também possui impactos ambientais associados, especialmente no caso de cultivo de animais. Na prática *in situ*, o principal problema que se observa é a eutrofização local devido ao aumento de material orgânico particulado e material dissolvido disponíveis na coluna da água, provenientes do alimento ofertado aos cultivos (Shpigel *et al.*, 1993). A prática em terra possui problemas parecidos, uma vez que os efluentes dos cultivos podem ser diretamente despejados em rios e lagos, ou seja, também podem causar eutrofização. É importante destacar que a eutrofização é um processo de enriquecimento nutricional exacerbado de um corpo d'água que pode ocorrer naturalmente, mas frequentemente é induzido por conta do despejo de resíduos no ambiente pelas atividades humanas (Wetzel, 2001). Os efeitos da eutrofização podem modificar completamente o funcionamento de um ecossistema, já que devido à quantidade de nutrientes dissolvidos e material particulado inserido no sistema de forma crônica ou aguda, ocorre um desbalanceamento entre a produção e a metabolização de matéria orgânica, alteração da produção primária, disponibilidade de oxigênio dissolvido e clorofila-a presentes na coluna da água (Cloern, 2001).

Uma estratégia de mitigação do impacto da eutrofização de corpos aquáticos e que pode ser adotada durante a prática de atividades aquícolas, é a utilização de lagoas de estabilização ou lagoas de decantação. As lagoas de decantação retêm os materiais e nutrientes existentes nos efluentes, e são bastante eficientes na remoção de material em suspensão, volatilização de compostos nitrogenados, degradação da biomassa vegetal e redução da demanda bioquímica de oxigênio (Nunes, 2002). No entanto, os materiais dissolvidos não são eficientemente removidos pela lagoa de decantação, sendo necessária a adoção de outras estratégias que auxiliem na

remoção desse material como o uso de organismos biofiltradores no sistema (Cohen & Neori, 1991).

A biofiltração é um processo realizado por organismos que, durante suas atividades metabólicas, reduzem a concentração de compostos poluentes ou indesejáveis do ambiente (Moura e Silva *et al.*, 2013). Nesse sentido, as algas são um ótimo exemplo de organismos biofiltradores aquáticos de sistemas eutrofizados (Salvi *et al.*, 2021). As macroalgas, facilmente encontradas habitando costões rochosos e leitos de lagunas, e as microalgas, habitando praticamente qualquer corpo aquático em todos os lugares do mundo. Ambas são peças-chave para a produção primária nos ecossistemas onde estão inseridas (Chisti, 2004). Também contribuem com o ciclo do carbono, já que retiram CO₂ durante a fotossíntese, liberando oxigênio ao final do processo (Neori *et al.* 2004). As macroalgas do gênero *Ulva*, pertencentes ao grupo das Chlorophyta e que estão inseridas na Classe Ulvophyceae, são comumente encontradas em águas marinhas e estuarinas por todo o globo (Ogawa *et al.*, 2013). Elas possuem uma grande capacidade de absorção e armazenamento de nutrientes (Martinez-Aragon *et al.*, 2002) e devido a seu modo de vida R-estrategista, em momentos onde há grande disponibilidade de nutrientes na coluna da água, tais algas estocam esse material e se reproduzem muito rapidamente (DeBusk *et al.*, 1986). Essas características da *Ulva* spp. podem representar uma situação problemática em corpos de água, uma vez que podem impulsionar o processo de eutrofização devido à liberação dos nutrientes acumulados no tecido algal quando o organismo entra na fase de senescência e redução da entrada de radiação solar na coluna da água, causando o aumento de turbidez e diminuição do oxigênio dissolvido (Wetzel, 2001). Por outro lado, possibilita seu uso como ferramenta de biorremediação devido à sua capacidade de rápida assimilação de fósforo e nitrogênio inorgânicos (Bastos, 2019; Neori *et al.*, 2004). Em um estudo desenvolvido em 2010 por Yokoyama & Ishihi com a cepa *Ulva ohnoi*, foram observadas altas taxas de fixação de nitrogênio (4,2-13,9 mg N g MS⁻¹ dia⁻¹) em uma fazenda de peixes na costa japonesa. Outros estudos utilizando a cepa *Ulva lactuca* demonstraram que a alga pode remover até 90% da amônia produzida em um tanque de peixes (Cohen & Neori, 1991; Neori *et al.*, 2003).

No entanto, a proliferação de macroalgas, macrófitas e bactérias, contribuem para o assoreamento da lagoa, diminuindo sua eficiência de remoção (Cunha *et al.*, 2005). Além disso, sem a remoção da biomassa crescida, todos os nutrientes absorvidos e carbono fixado são liberados de volta no ambiente, incrementando o

processo de eutrofização (Carpenter & Adams 1977; Pompêo, 2017). Assim, é necessário o monitoramento e manejo sustentável da biomassa em ambientes aquáticos como o da lagoa de decantação, para que não haja prejuízos para os usos da lagoa e o potencial biotecnológico da biomassa possa ser aproveitado (Cuomo *et al.*, 1993; Cuomo *et al.*, 1995). Nesse sentido, lagoas de alta taxa, sistemas rasos que têm o objetivo de maximizar o tratamento de águas residuais através da criação das condições ideais para o crescimento de algas e produção de oxigênio, são uma excelente alternativa que pode ser aplicada na lagoa de decantação já que aliam o tratamento das águas residuais do LMM à utilização da biomassa de *Ulva* spp. (Young *et al.*, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar quantitativamente o potencial de remoção de carbono e nitrogênio por *Ulva* spp. em uma lagoa de decantação de efluentes de maricultura.

2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir as dimensões gerais e compartimentais da lagoa de decantação de efluentes de maricultura do LMM da UFSC;

- Estimar a biomassa e o crescimento das populações de *Ulva* spp. na lagoa de decantação do LMM-UFSC;

- Estimar o potencial de remoção de carbono e nitrogênio pela lagoa de decantação do LMM-UFSC;

- Elencar possíveis rotinas de manejo da lagoa de decantação do LMM-UFSC visando torná-la funcional como uma lagoa de alta taxa de produção de *Ulva* spp.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Laboratório de Moluscos Marinhos (LMM), da Estação de Maricultura Professor Elpídio Beltrame, do Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), está localizado na Barra da Lagoa, em Florianópolis, Santa Catarina (Figura 1, 27°35'4.00"S; 48°26'30.97"O). O desenvolvimento de um projeto de cultivo de moluscos marinhos como alternativa não extrativista de produção de recursos marinhos vem sendo realizado desde 1991 pelo LMM. Essa iniciativa possibilitou que Santa Catarina se tornasse o maior produtor

nacional de bivalves marinhos graças à distribuição de sementes de ostras para os produtores locais e à transferência de tecnologia. O LMM utiliza-se da produção de moluscos em tanques *indoor* e despeja os efluentes oriundos dos cultivos em uma lagoa de decantação, onde anualmente ocorre uma colonização por *Ulva* spp. O Laboratório de Ficologia (LAFIC) da UFSC, por sua vez, vem desempenhando nos últimos anos alguns estudos envolvendo as *Ulva* spp. que ocorrem nessa lagoa de decantação (Salvi *et al.*, 2021; Silva, 2018).



Figura 1. Imagens de satélite de Florianópolis e da lagoa de decantação localizada no campus da UFSC na Barra da Lagoa. Imagens obtidas através do software *Google Earth Pro*.

Na produção praticada no LMM é realizado o cultivo de 4 espécies de moluscos: *Perna perna*, *Crassostrea gigas*, *Crassostrea* sp. (ostra nativa) e *Nodipecten nodosus*. O ciclo de produção desses recursos é realizado de setembro a junho de acordo com a demanda dos produtores. Por isso, a composição e volume do efluente despejado na lagoa de decantação é diversificada ao longo do ano com o pico de produção acontecendo no período de verão, entre os meses de janeiro a abril. Os cultivos das microalgas para alimentação dos moluscos contam com as espécies: *Chaetoceros muelleri*, *Chaetoceros calcitrans*, *Isochrysis* sp., *Pavlova luteri*, *Tetraselmis suecica* e *Nannochloropsis oculata*. As microalgas são cultivadas utilizando-se água salgada filtrada e esterilizada com luz ultravioleta com adição de macronutrientes (nitrato de sódio, fosfato de sódio, silicato de sódio neutro, sulfato de ferro, EDTA (ácido etilendiaminotetracético), trisaminometano (TRIS), ácido bórico), micronutrientes,

(cloreto de manganês, cloreto de zinco, cloreto de cobalto, sulfato de cobre, molibdato de amônia) e vitaminas (Tiamina B1, biotina H e cianocobalamina B12). Os demais compartimentos do laboratório são voltados para larvicultura, assentamento e engorda dos recursos.

Segundo Noronha (2013), a água salgada utilizada nos tanques dos cultivos é esterilizada e filtrada, devido à necessidade do baixo teor de material em suspensão já que os organismos cultivados são filtradores. Além disso, não há aporte de ração nos cultivos para alimentação. Os tanques de cultivos são lavados diariamente com uma solução de limão que possui baixo impacto ambiental e mensalmente faz-se uso de cloro, em baixas concentrações, para limpeza dos reservatórios e canalizações. Na limpeza mensal, quando a concentração do composto se encontra elevada também é adicionado tiosulfato de sódio para neutralização da ação do cloro. Portanto, o efluente descartado é resultado de todos esses processos acima descritos, e tem baixo teor de material em suspensão, sendo caracterizado como um efluente de baixo impacto ambiental e composto basicamente de meios de cultura, fezes e pseudofezes dos moluscos e microalgas. De maneira geral, a composição orgânica das excretas dos moluscos é semelhante à matéria orgânica presente naturalmente em corpos aquáticos (Sewald, et al. 2012).

A lagoa de decantação é o primeiro contato com o efluente gerado no LMM e faz parte de uma cadeia de estabilização (Figura 2) desse efluente para que possa estar enquadrado na legislação vigente (Resoluções CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, Decretos nº 14.250 de 5 de julho de 1981 e Código Estadual do Meio Ambiente 2009) e ser receptado pela Lagoa da Conceição ao final do processo. O tempo médio de residência do efluente no processo de estabilização é de cerca de 6 dias (Noronha, 2013).

A área de estudo foi dividida em 3 setores, porém não há nenhuma barreira física entre eles, sendo no Setor 1 onde ocorre o despejo dos efluentes do LMM (Figura 3). As dimensões da lagoa foram definidas através de medições de todo o leito da lagoa com utilização de uma trena. Para a batimetria foram feitas medições com régua milimetrada, a cada 2 metros, da profundidade da coluna da água até o início da camada de lodo e profundidade total até o fundo arenoso através de 3 transectos longitudinais. A área da lagoa foi calculada após o fracionamento da lagoa em polígonos regulares, possibilitando calcular por aproximação, através de procedimentos geométricos, a área total da lagoa e área dos setores separadamente.

O volume foi obtido pela multiplicação entre a profundidade média e a área total da lagoa, obtendo-se o volume total e o volume de lodo.

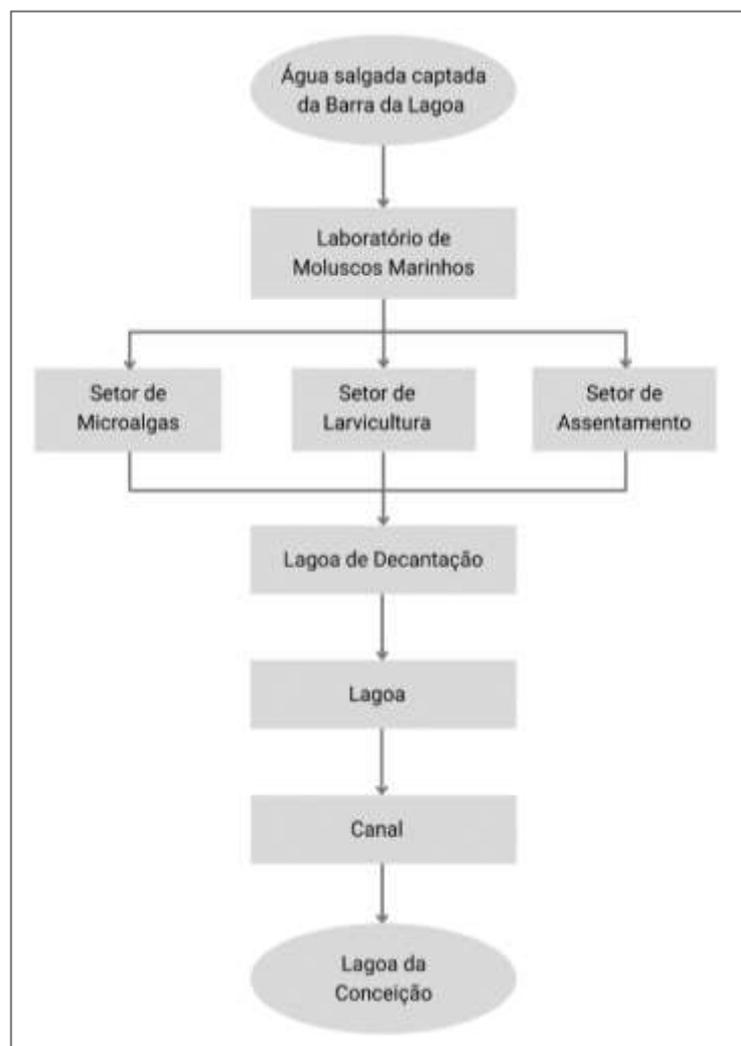


Figura 2. Fluxograma simplificado das etapas de geração do efluente do Laboratório de Moluscos Marinhos (UFSC) captado pela lagoa de decantação. Modificado de Noronha, 2013.

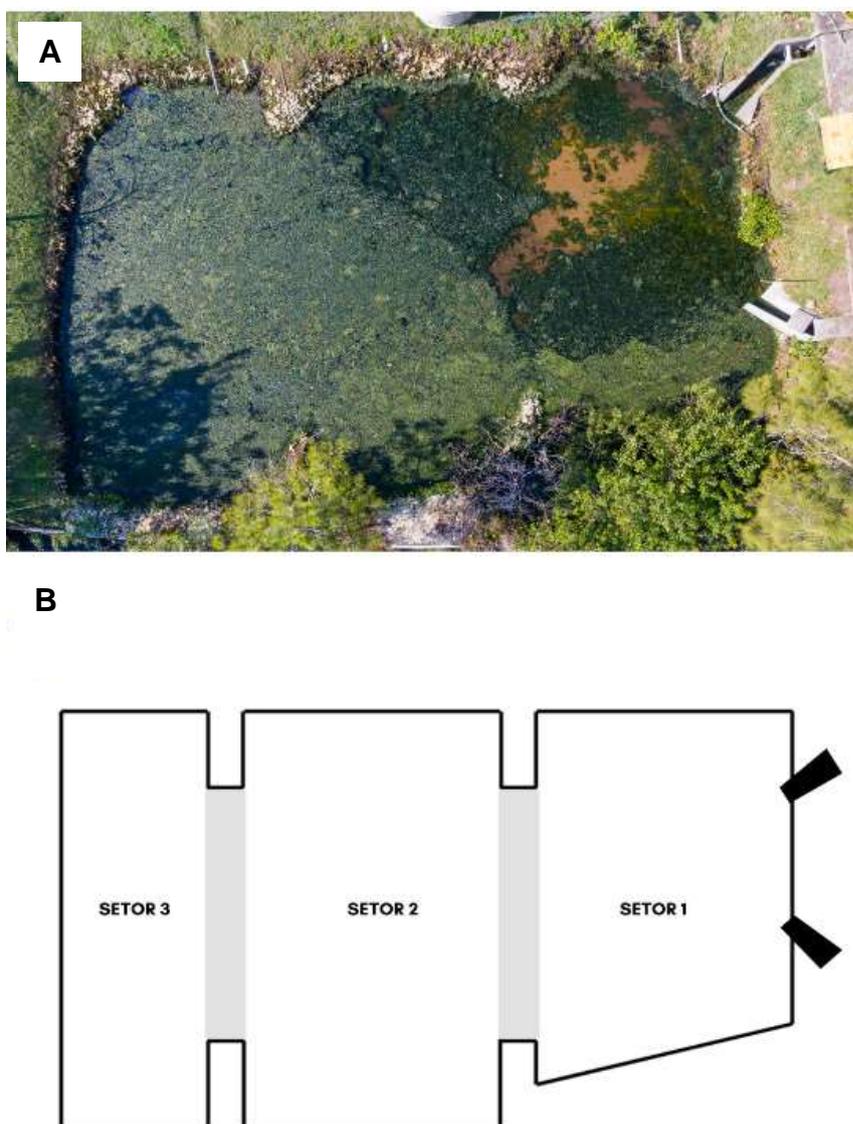


Figura 1. Visão aérea (A) e desenho esquemático (B) da lagoa de decantação localizada em Florianópolis, SC.

3.2 AMOSTRAGENS

Foram realizadas 5 coletas de amostras no período de novembro de 2020 a fevereiro de 2021 nos dias 6/11/2020, 20/11/2020, 14/12/2020, 28/12/2020 e 05/02/2021, envolvendo as estações de primavera e verão. Durante as amostragens foram realizadas medições *in situ* de pH com Papel Indicador de pH *Merck*, temperatura usando termômetro de mercúrio, oxigênio dissolvido através de oxímetro

(Figura 4, modelo *YSI 5500 YellowSpring*), salinidade usando um refratômetro manual (*BEL Equipamentos Analíticos*) e fluorescência *in vivo* de clorofila-a e ficocianina utilizando fluorímetro de mão (*Turner Hand Fluorometer*). Os dados de radiação solar e pluviosidade durante o período das coletas foram obtidos no banco de dados Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) captados pela Estação A806, localizada em São José, na Grande Florianópolis.



Figura 2. Oxímetro utilizado durante as coletas de amostras para medição do oxigênio dissolvido presente na água da lagoa de decantação.

As amostras de água para análises de nutrientes foram coletadas manualmente em cada setor da área de estudo através da utilização de garrafas. Após a amostragem, as garrafas foram acondicionadas em caixas de isopor para serem transportadas até o laboratório onde foram filtradas com filtros de fibra de vidro com porosidade $0,7 \mu\text{m}$, armazenadas e congeladas.

O procedimento para a amostragem da biomassa foi realizado de forma que toda a biomassa na superfície era recolhida manualmente dentro de um quadrado de $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ($0,04 \text{ m}^2$). A biomassa foi armazenada em sacos identificados por setor e acondicionada em caixas de isopor, transportada ao LAFIC e então lavada com água doce. Neste processo de lavagem, pedras, galhos e outros itens macroscópicos que não eram de interesse foram descartados. Além disso, as macroalgas foram identificadas, quando possível, quanto ao seu gênero e/ou espécie, ou por morfotipo (Figura 5). Após esta etapa, a biomassa teve seu excesso de água removido com

papéis absorventes para ser pesada em balança analítica. Após a pesagem, as amostras foram armazenadas novamente em sacos plásticos e congeladas.

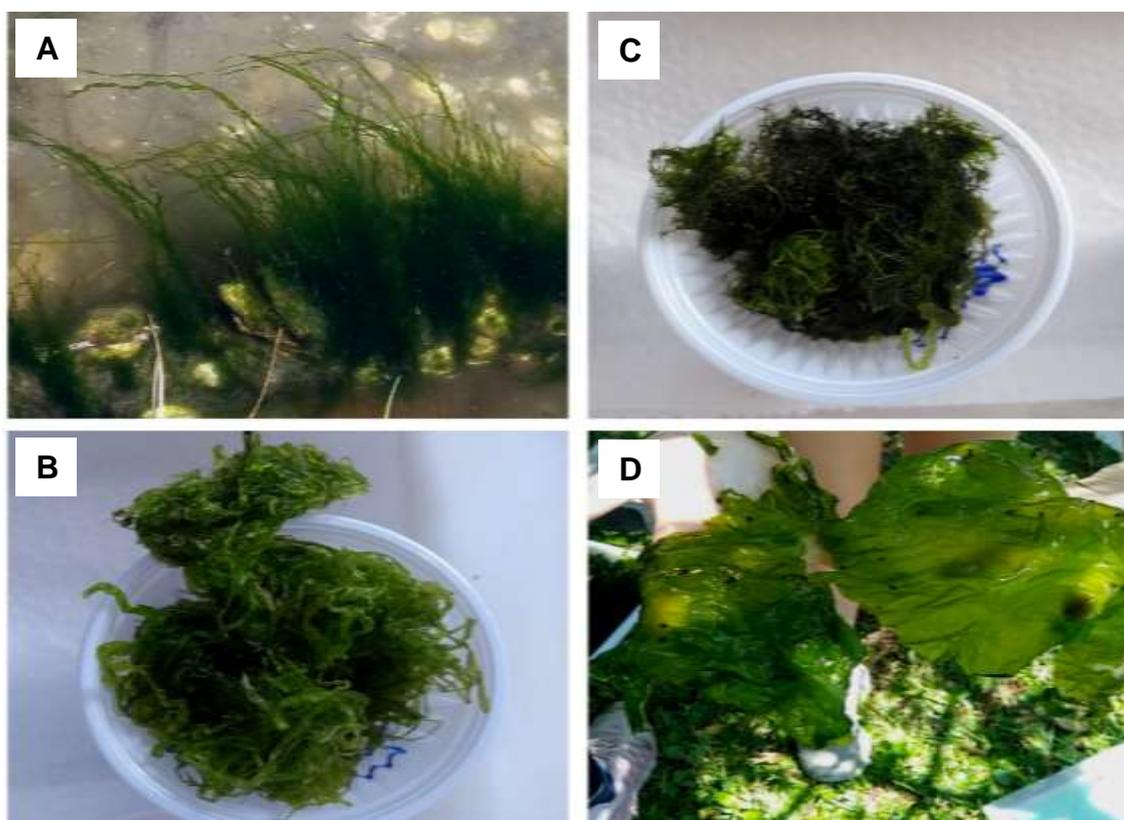


Figura 3. Diferentes espécies e/ou morfotipos de *Ulva* spp. coletados na área de estudo. A) Filamentosas; B) *Ulva intestinalis*; C) Filamentosas; D) *Ulva* spp.

3.3 PÓS-PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

A densidade de biomassa algal superficial foi estimada através de um cálculo onde se relacionou a biomassa coletada no quadrado de coleta, área do setor ou da lagoa, porcentagem de cobertura do setor e porcentagem de cobertura de toda a lagoa (Equação 1). As porcentagens de cobertura pelas macroalgas foram definidas através de observações empíricas na lagoa durante os momentos de coleta e foram registradas através de fotografias.

$$B_s = \left(\frac{m_q}{0,04} \right) \times (DCA) \times (PMS) \quad (1)$$

Onde **B_s** representa a densidade de biomassa superficial do setor (g massa úmida m⁻²), **m_q** é a biomassa de alga no quadrado (g massa úmida), 0,04 é a área do quadrado, **DCA** é a densidade de cobertura de algas na mancha (0 - 1), **PMS** é a proporção superficial da mancha algal no setor (0 - 1). A densidade superficial da lagoa inteira (g m⁻²) vem a ser a média dos valores por setor, e o estoque instantâneo de biomassa úmida (**EI**) foi calculado multiplicando a densidade superficial de biomassa da lagoa pela área total da lagoa (191,62 m²).

As taxas líquidas de incremento de biomassa úmida foram estimadas com base na diferença entre estoque final (**EI_f**) e o estoque inicial (**EI_i**) ao longo do tempo entre coletas (Equação 2). Esses cálculos foram feitos entre os dias de coleta mais próximos e também entre o primeiro e o último dia de coleta para calcular a taxa de incremento global de biomassa na lagoa.

$$TLIB = \frac{EI_f - EI_i}{t \text{ (dias)}} \quad (2)$$

Onde **TLIB** é a taxa líquida de incremento de biomassa (em g/dia), **EI_f** é o Estoque final de biomassa (g), **EI_i** é o Estoque inicial de biomassa (g) e **t** é o intervalo de dias entre as biomassas.

As amostras de água foram analisadas quanto ao seu conteúdo de amônio e ortofosfato utilizando o método descrito por Grasshoff *et al.* (1983) com utilização de espectrofotômetro UV-visível (*Global Analyzer*) para a leitura das amostras (Figura 6). O resultado da leitura dessas amostras nos fornece informações na unidade de medida de μmolar ou μmol/L e em relação aos compostos analisados. Através de equações de conversão, podemos calcular a quantidade de nitrogênio presente nas leituras de amônio e a quantidade de fósforo presente nas leituras de ortofosfato, ambos em mg/L, conforme as Equações 3 e 4:

$$N-NH_4(\text{mg/L}) = NH_4(\mu\text{mol}) \cdot 0,014 \quad (3)$$

$$P-PO_4(\text{mg/L}) = PO_4(\mu\text{mol}) \cdot 0,031 \quad (4)$$

As análises quanto ao conteúdo de carbono, nitrogênio e enxofre da biomassa algal seca não foram realizadas neste projeto em virtude das restrições de acesso aos laboratórios como medida de segurança contra a COVID-19. Por conta disso, foram utilizados dados previamente obtidos em um estudo realizado com as algas presentes na lagoa de decantação entre março e junho de 2020. Foi utilizado um analisador elemental LECO CHNS 932 localizado na *Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación* (SCAI) da Universidade de Málaga, onde a técnica utilizada baseia-se na oxidação completa e instantânea da amostra através de uma combustão com oxigênio puro, a uma temperatura aproximada de 1000°C. Para essa análise também foi utilizado EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), uma solução padrão que tem seu conteúdo de carbono e nitrogênio conhecidos. Por fim, as estimativas dos valores de conteúdo em carbono, nitrogênio e enxofre da biomassa seca de *Ulva* spp. foram obtidos a partir da média de 9 amostras aleatórias de biomassa.



Figura 4. Amostras de água da lagoa de decantação em processo de análise do teor de amônio.

Para a obtenção da biomassa seca, porções homogêneas de biomassa úmida foram pesadas em balança analítica e depois secas em estufa de secagem (*Centrallab Maestro*) a 70°C por 24h, seguidas de nova pesagem em balança analítica. Com isso foi calculada a porcentagem média de massa seca presente em massa úmida e então relacionar com o conteúdo de carbono, nitrogênio e enxofre obtidos anteriormente. Para obtenção da massa de carbono, nitrogênio e enxofre fixados por dado de estoque de biomassa, o valor do estoque (g) foi multiplicado pela proporção de massa seca e

em seguida pela proporção de carbono, nitrogênio e enxofre na massa seca (Equação 5).

$$M_{C,N,S} = EI \times PBS \times PE_{C,N,S} \quad (5)$$

onde $M_{C,N,S}$ é a massa de carbono, nitrogênio ou enxofre no estoque (g); EI é o estoque de algas em massa úmida (g); **PBS** é a proporção de biomassa seca na biomassa úmida (0 – 1) e **PE_{C,N,S}** é a proporção de carbono, nitrogênio ou enxofre na biomassa seca (0 – 1).

3.4 PLANO DE MANEJO

Com os dados gerados das etapas anteriores e revisão bibliográfica da literatura, foi desenvolvida uma estratégia de manejo a ser aplicado na lagoa de decantação, de modo que se torne uma lagoa de alta taxa de produção de *Ulva* spp.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

As análises dos dados foram feitas utilizando os softwares *Statistica* v.7.0 (StatSoft, inc) e *Excel 365*. Após a verificação da normalidade dos dados, foram realizados Teste-t de *Student* com o valor-p < 0,05 para comparações pareadas, entre os dias de coleta e entre os setores da lagoa para todas as variáveis físico-químicas e de biomassa, além de uma análise multivariada da correlação entre todos as variáveis ambientais e os dados de biomassa.

4 RESULTADOS

4.1 BATIMETRIA E DIMENSÕES DA LAGOA

Com base nos três transectos longitudinais realizados, foi observado que a profundidade média de água livre da lagoa de decantação é de 30,37 cm, profundidade média total de 46 cm e camada de lodo média de 15,86 cm. Na Tabela 1, nota-se que a maior profundidade é de 45 cm de coluna da água e 85 cm de coluna da água até o fundo da camada de lodo. O mínimo de profundidade para as duas medições é de 15 cm. Em média, a diferença entre as duas lâminas é de 13 cm.

A área total da lagoa é de 191,62 m² com volume total de 88,6 m³. O volume total de lodo é de 30,39 m³ e volume de água livre 58,21 m³.

Tabela 1. Medidas de profundidade total e de coluna da água (em cm) da lagoa de decantação.

Transecto	Distância (m)	Profundidade da coluna da água (cm)	Profundidade com sedimento (cm)	Coordenadas
1	0	0	0	48° 26' 30,842''' W;27° 35' 4,345''' S;
1	1,5	35	50	48° 26' 31,270''' W;27° 35' 3,874''' S
1	3	30	50	48° 26' 31,239''' W;27° 35' 3,927''' S
1	5	15	15	48° 26' 31,206''' W;27° 35' 3,964''' S
1	8	35	60	48° 26' 31,175''' W;27° 35' 4,016''' S
1	10	30	40	48° 26' 31,134''' W;27° 35' 4,080''' S
1	11	30	35	48° 26' 31,075''' W;27° 35' 4,158''' S
1	13	20	23	48° 26' 31,029''' W;27° 35' 4,220''' S
1	15	27	45	48° 26' 30,983''' W;27° 35' 4,291''' S
1	17	28	40	48° 26' 30,950''' W;27° 35' 4,343''' S
1	21	0	0	48° 26' 30,934''' W;27° 35' 4,374''' S
2	0	0	0	48° 26' 30,842''' W;27° 35' 4,345''' S;
2	1,8	30	65	48° 26' 30,878''' W;27° 35' 4,281''' S
2	3	35	85	48° 26' 30,913''' W;27° 35' 4,232''' S
2	5	35	50	48° 26' 30,949''' W;27° 35' 4,170''' S
2	7	35	40	48° 26' 30,996''' W;27° 35' 4,099''' S
2	10	40	60	48° 26' 31,035''' W;27° 35' 4,037''' S
2	12	30	45	48° 26' 31,071''' W;27° 35' 3,979''' S
2	14	20	35	48° 26' 31,108''' W;27° 35' 3,927''' S
2	16	18	28	48° 26' 31,144''' W;27° 35' 3,871''' S
2	19	30	35	48° 26' 31,179''' W;27° 35' 3,821''' S
2	23	0	0	48° 26' 31,214''' W;27° 35' 3,764''' S
3	0	0	0	48° 26' 31,087''' W;27° 35' 3,735''' S
3	2	45	70	48° 26' 31,054''' W;27° 35' 3,781''' S
3	5	40	50	48° 26' 31,021''' W;27° 35' 3,831''' S
3	7	30	40	48° 26' 30,992''' W;27° 35' 3,880''' S
3	9	35	50	48° 26' 30,963''' W;27° 35' 3,931''' S
3	10	35	65	48° 26' 30,930''' W;27° 35' 3,987''' S
3	11	35	55	48° 26' 30,900''' W;27° 35' 4,037''' S
3	13	30	40	48° 26' 30,865''' W;27° 35' 4,095''' S
3	15	25	30	48° 26' 30,838''' W;27° 35' 4,147''' S
3	16	23	55	48° 26' 30,793''' W;27° 35' 4,219''' S
3	17	25	30	48° 26' 30,774''' W;27° 35' 4,255''' S
3	19	35	55	48° 26' 30,814''' W;27° 35' 4,183''' S
3	21	0	0	48° 26' 30,9958''' W;27° 35' 3,7409''' S

4.2 CATEGORIZAÇÃO DA BIOMASSA

Neste projeto, foram identificados diferentes morfotipos de *Ulva* spp. durante as coletas, apresentados na Tabela 2. Há incidência de algumas algas que puderam ser identificadas quanto ao seu gênero e/ou espécie como *Cladophora* sp., uma macroalga pertencente a classe das Ulvophyceae, porém de ordem e família distintas. *Cladophora* sp. teve sua ocorrência identificada nos dias 20/11/20 e 28/12/20. Contudo, devido à grande predominância de *Ulva* spp., a biomassa dessa espécie não foi diferenciada nos cálculos envolvendo a biomassa macroalgal. Outra alga identificada foi *Ulva intestinalis*, uma espécie cosmopolita que pode formar florações

em ambientes eutróficos (Cohen & Fong, 2004). Além disso, *U. intestinalis* é bastante tolerante às mudanças de condições ambientais e se prolifera rapidamente (Bäck, et al., 2000).

Tabela 2. Espécies e/ou morfotipos de *Ulva* spp. e outras espécies de algas verdes identificados durante as coletas na lagoa de decantação no período de novembro/2020 a fevereiro/2021.

Coleta	Setor	Algas Identificadas
06/11/2020	1	Filamentosas
	2	<i>U. intestinalis</i>
	3	Filamentosas
20/11/2020	1	Ulva foliácea, <i>U. intestinalis</i>
	2	<i>Cladophora</i> sp., <i>U. intestinalis</i>
	3	<i>U. intestinalis</i>
14/12/2020	1	Ulva foliácea, <i>U. intestinalis</i> , filamentosas
	2	Ulva foliácea, <i>U. intestinalis</i> , filamentosas
	3	Ulva foliácea, <i>U. intestinalis</i> , filamentosas
28/12/2020	1	Ulva foliácea
	2	Ulva foliácea, <i>Cladophora</i> sp.
	3	Ulva foliácea
05/02/2021	1	Ulva foliácea
	2	Ulva foliácea
	3	Ulva foliácea

4.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Durante as coletas, a temperatura permaneceu numa faixa de 23-29°C com média de 26°C. Houve diferença significativa de temperatura entre a coleta do dia 06/11/20 em relação a todas as outras datas e nos dias 20/11/20 – 14/12/20 e 14/12/20 - 28/12/20. O aumento de temperatura da água pode ser atribuído ao aumento da incidência de radiação solar já que não há entrada de massas de águas que pudessem causar a mudança de temperatura além do deságue de efluente.

A salinidade variou de de 23-34 ao longo do período de coleta, com média de 30. As coletas dos dias 14/12/20 e 28/12/20 apresentaram diferença significativa em relação às outras datas e entre si, provavelmente devido a um grande volume de

chuva nos dias anteriores à coleta (ANEXO B), associado a um aumento de temperatura da água e conseqüente aumento da evaporação.

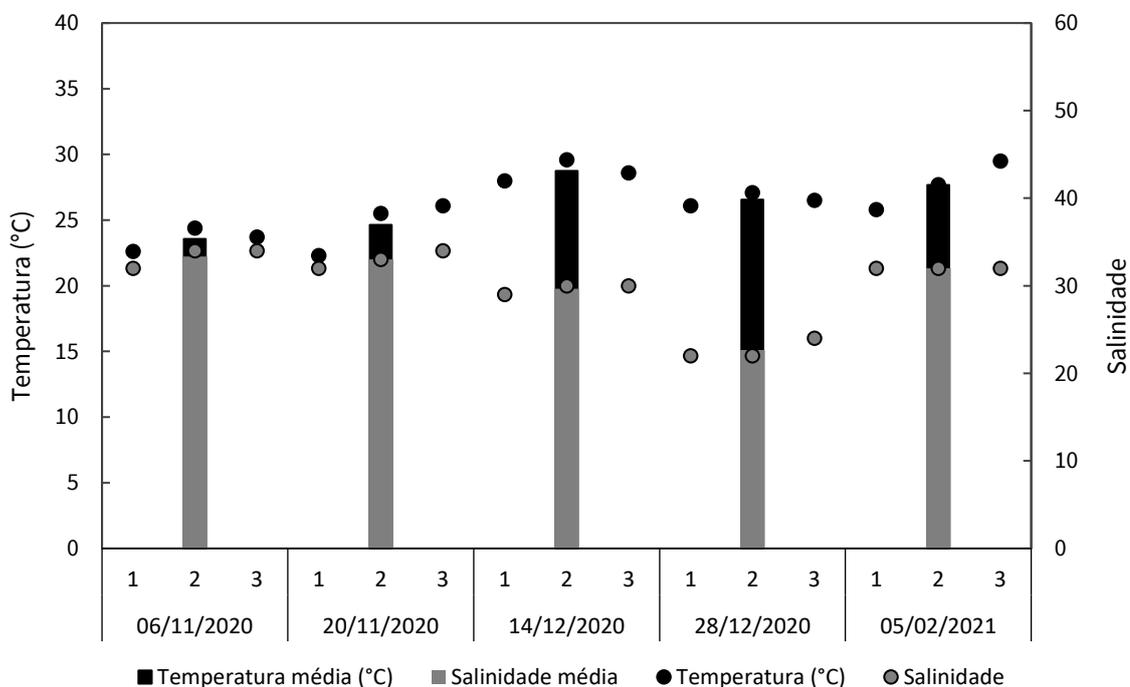


Figura 7. Gráfico de salinidade e temperatura em cada setor da lagoa de decantação (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.

Na Figura 8, podemos ver que os valores de oxigênio dissolvido (OD) tiveram perfis semelhantes em todos os setores em todo o período, com exceção do dia 20/11/20 no setor 3, que apresentou um pico em relação aos outros setores e também em relação ao próprio setor em outros dias de coleta. No entanto, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os dias de coleta ou setores da lagoa. Os valores médios diários de OD foram de 10,09 mg/L a 12,61 mg/L com saturação de 120,66% a 156,9%, valores superiores aos registrados por Noronha *et al.* (2013) na mesma área de estudo e aos encontrados na região norte da Lagoa da Conceição e Canal da Barra da Lagoa (Pereira, *et al.* 2015).

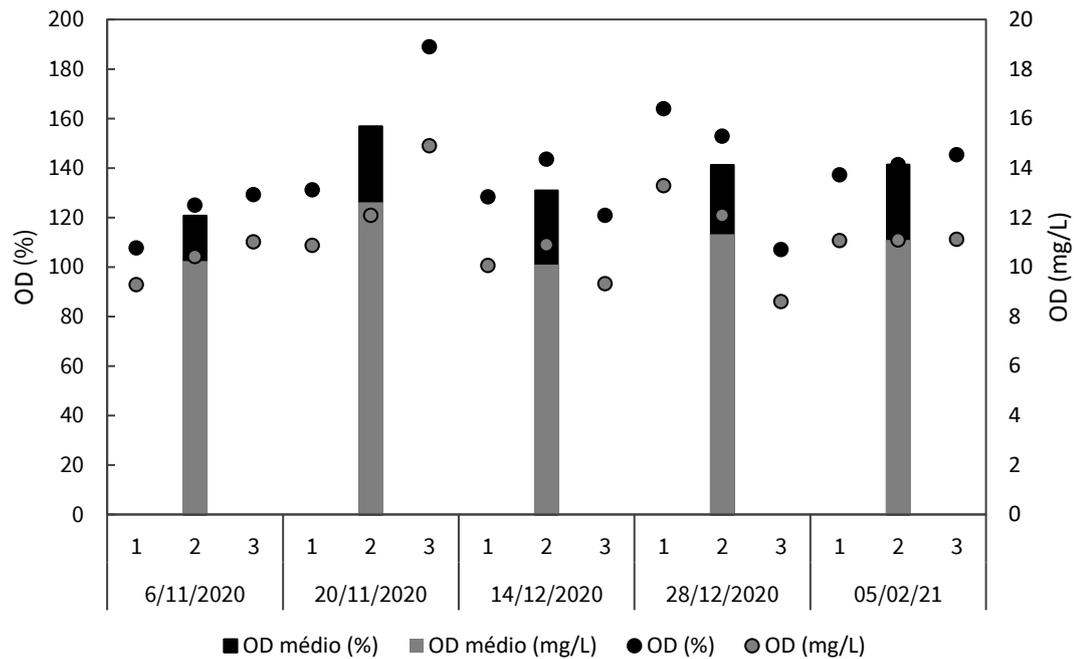


Figura 8. Gráfico de oxigênio dissolvido (mg/l) e saturação do oxigênio dissolvido (%) em cada setor da lagoa (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.

O pH apresentado pela lagoa oscilou de 6,8 a 7,8, com média de 7,32 (Figura 9), caracterizando uma coluna de água neutra a levemente alcalina (Holdren *et al.*, 2001). Não houve diferença estatisticamente significativa entre os dias de coleta com exceção entre os dias 28/12/20 e 05/02/21. Também não houve diferença significativa entre os setores.

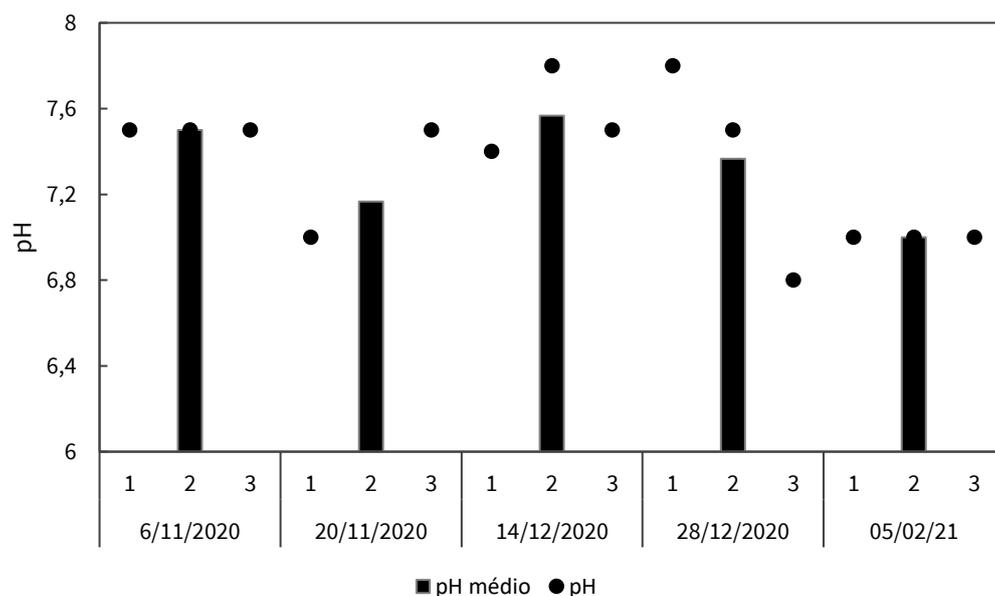


Figura 9. Gráfico de pH em cada setor da lagoa (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.

Os perfis de clorofila-a foram semelhantes em todos os setores com um pico no Setor 1 no dia 06/11/20 (Figura 10). O valor mínimo de clorofila-a registrado foi 100,3 RFU com valor máximo em 1051 RFU. Também não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) entre os dias ou setores da lagoa.

Os valores de ficocianina medidos estão na forma de unidade bruta de fluorescência (RFU) por conta do equipamento utilizado não ter sido calibrado para que fosse feita sua conversão em $\mu\text{g/l}$ e variaram de 9,56 – 31,87 RFU (Figura 10). Os valores oscilaram mais nos setores 1 e 2, porém não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os setores. Ao longo das coletas, houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas entre os dias 06/11/20-20/11/20 e 06/11/20-14/12/20.

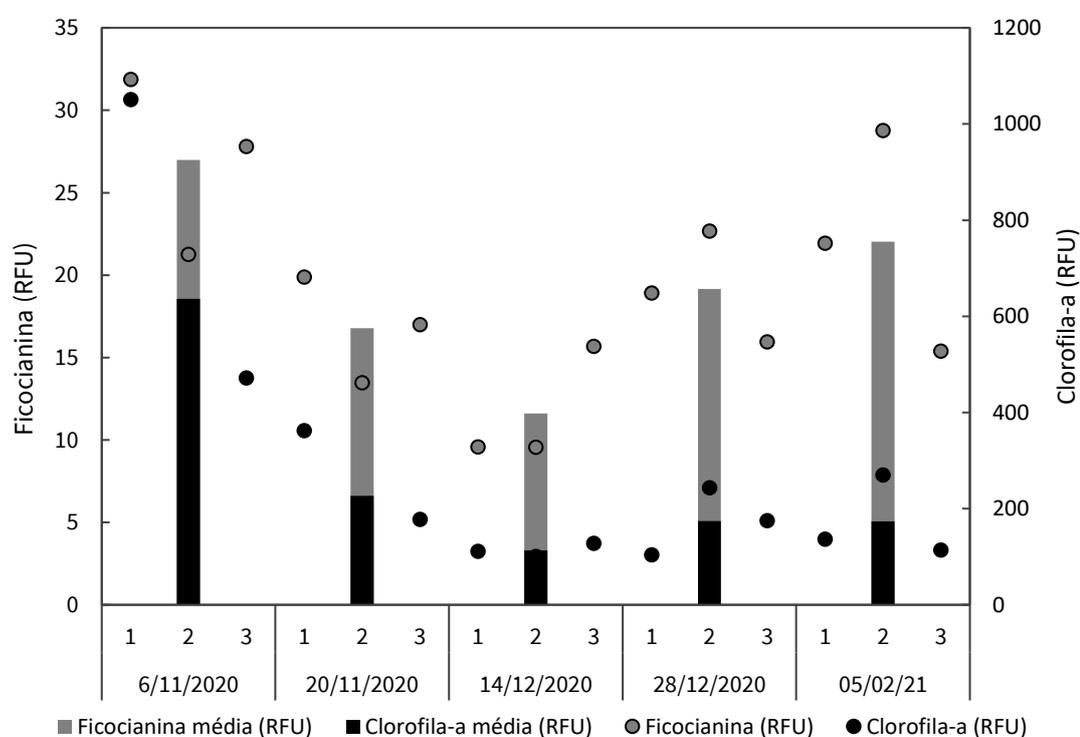


Figura 10. Gráfico de ficocianina *in vivo* (RFU) e clorofila-a *in vivo* (RFU) em cada setor da lagoa (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.

Com base na Figura 11, não é possível observar um padrão claro do comportamento de N-NH_4 e P-PO_4 ao longo das coletas. A interpretação dos dados também é prejudicada devido à ausência dos dados de nutrientes do dia 14/12/20 e do Setor 1 do dia 28/12/20. De modo geral, os valores de ortofosfato se encontraram abaixo de 0,1 mg/L em todos os setores e com média total de 0,031 mg/L. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) ao longo do tempo. No entanto, houve diferença

significativa entre os setores 1 e 2, possivelmente em virtude da ausência de dados do Setor 1 no dia 28/12/20, afetando a média de dados do grupo.

Os valores de amônio variaram entre 0-0,73 mg/L (Figura 11), com média de 0,11 mg/L e apresentaram um pico no dia 05/02/21, no Setor 1. É provável que o pico de 0,73 mg/L seja decorrente de contaminação de amostra ou erro metodológico no momento da análise visto que não parece estar relacionada à alguma variável responsável por essa variação tão abrupta ou que corrobore esse resultado. A média de amônio foi menor do que a encontrada por Noronha *et al.* (2013) e os valores obtidos encontram abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA nº 357/2005 para corpos receptores de efluente.

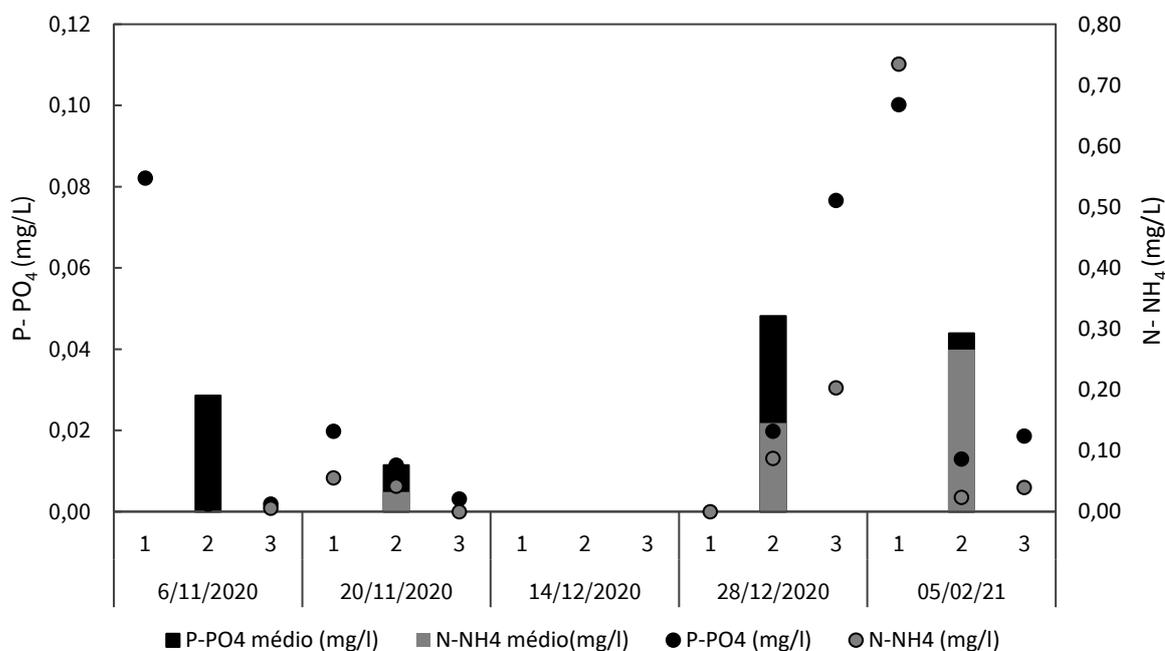


Figura 11. – Gráfico de ortofosfato (mg/L) e amônio (mg/L) em cada setor (1, 2 e 3) da lagoa de decantação para cada dia de coleta.

4.4 BIOMASSA

A densidade de biomassa de *Ulva* spp. (Figura 12) oscilou ao longo das coletas e teve seu valor máximo nos três setores ao fim do período, em 05/02/2021. Houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as coletas, exceto entre os dias 20/11/20-28/12/20 e 14/12/20-28/12/20. No entanto, não houve diferença significativa entre os setores. É importante lembrar que o morfotipo foliáceo de *Ulva*, o principal componente da biomassa amostrada durante as coletas, tem forma de vida

flutuante, ou seja, sua distribuição dentro da lagoa pode variar em decorrência da direção do vento ou circulação do corpo de água. Na Figura 13, também é possível constatar visualmente a progressão de cobertura da densidade de biomassa de macroalgas na lagoa ao longo das coletas.

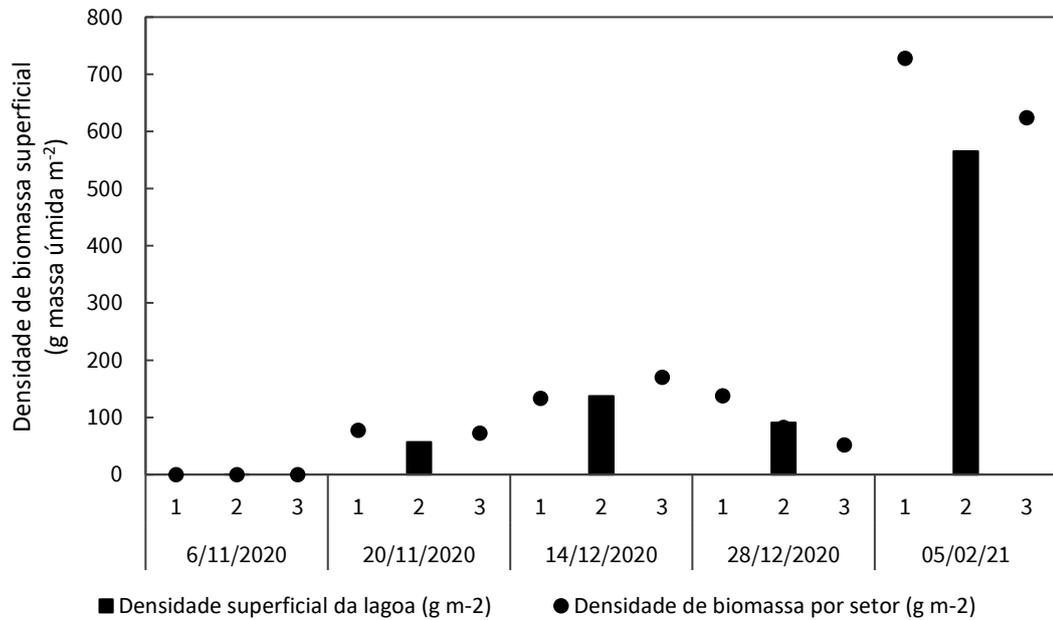


Figura 12. Gráfico da densidade de biomassa de *Ulva* spp. em cada setor da lagoa de decantação (1, 2 e 3) para cada dia de coleta.

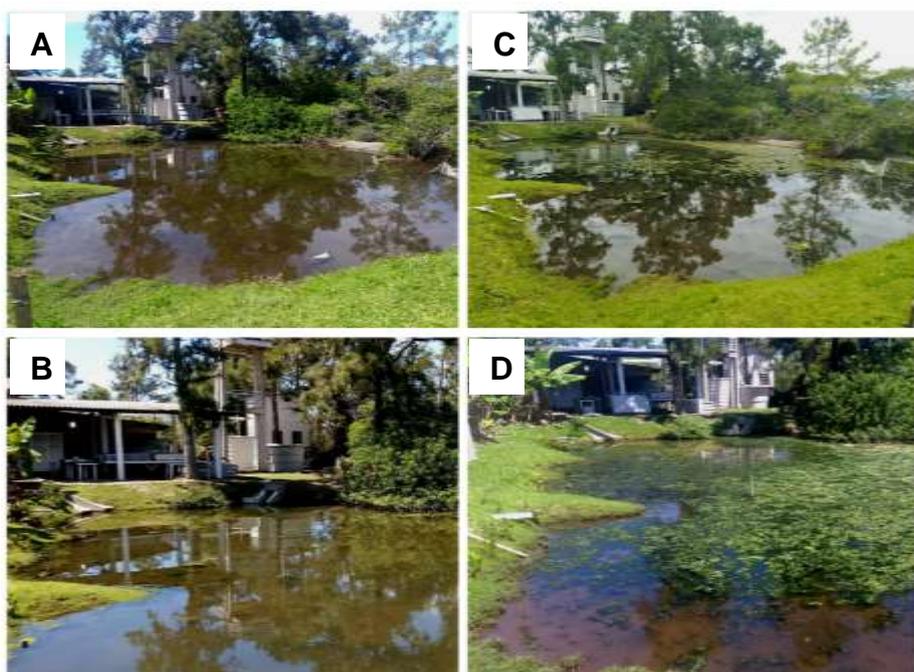


Figura 13. Progressão da cobertura da lagoa de decantação pela biomassa de algas. A) 06/11/20; B) 20/11/20; C) 14/12/20; D) 05/02/21.

Na Figura 14, considerando um ponto zero na primeira coleta onde não havia biomassa expressiva cobrindo a lagoa, no período de 06/11/20 a 20/11/20 temos uma taxa de 779,18 g/dia, seguida de uma pequena redução entre as coletas 20/11/20 e 14/12/20, resultando numa taxa líquida de 640,49 g/dia. Entre os dias 14/12/20 e 28/12/20 houve uma taxa negativa de -636,07 g/dia, seguida de um incremento de 2333,61 g/dia. A taxa líquida de incremento de biomassa global foi de 1191,06 g/dia.

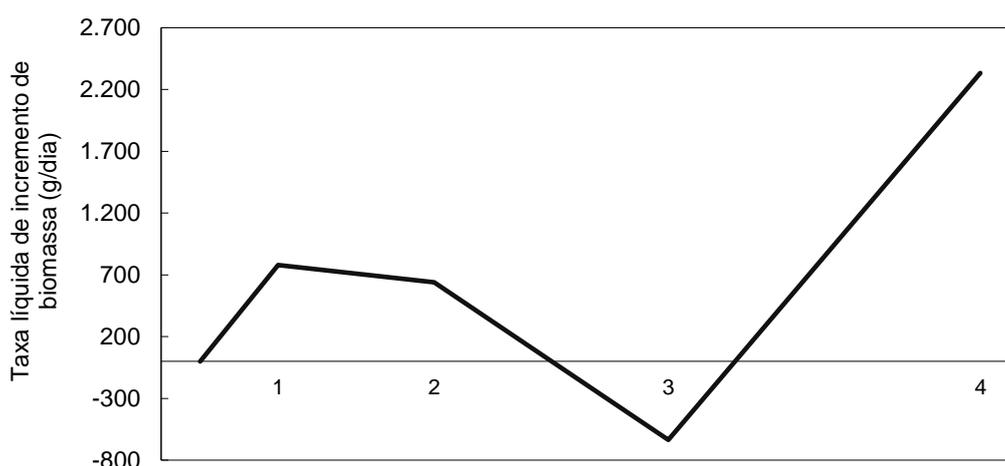


Figura 14. Gráfico da taxa líquida de incremento de biomassa de *Ulva* spp. na lagoa de decantação onde a linha representa o perfil da taxa líquida de incremento da biomassa (g/dia). 1) 06/11/20-20/11/20; 2) 20/11/20-14/12/20; 3) 14/12/20-28/12/20; 4) 28/12/20-05/02/21.

A massa de carbono obteve valor máximo de 4043,93 g e valor mínimo de 0,24 g. O valor máximo da massa de nitrogênio foi de 646,02 g e valor mínimo de 0,04 g. Por fim, o enxofre apresentou valor máximo de massa de 0,03 g e valor máximo de 416,03 g. Os valores de massa totais de carbono, nitrogênio e enxofre durante o período foram de 6080,60 g, 971,38 g e 625,56 g, respectivamente.

Tabela 3. Massas de carbono, nitrogênio e enxofre obtidos a partir da massa seca do estoque de biomassa de *Ulva* spp.

Data	El (g)	Massa de carbono no estoque (g)	Massa de nitrogênio no estoque (g)	Massa de enxofre no estoque (g)
6/11/20	6,55	0,24	0,04	0,03
20/11/20	10915,15	407,22	65,05	41,89
14/12/20	26287,07	980,72	156,67	100,89
28/12/20	17382,08	648,49	103,60	66,72
05/02/21	108393,04	4043,93	646,02	416,03

O resultado da análise de correlação multivariada se encontra na Tabela 4 e sua versão mais detalhada se encontra no APÊNDICE F. As maiores correlações foram entre as variáveis de pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido, ortofosfato e radiação (acumulada de 15 dias).

Tabela 4. Análise de correlação multivariada entre os parâmetros ambientais e densidade de biomassa.

	pH	T°C	Salinidade	OD	Ficocianina	PO ₄	NH ₄	Radiação (15 dias)
T°C	0,946							
Salinidade	0,839	0,796						
OD	0,885	0,807	0,771					
Ficocianina	0,582		0,581	0,578				
Clorofila-a			0,521		0,763			
NH₄						0,904		
Biomassa							0,618	0,968
Radiação (7 dias)		0,545						

5 DISCUSSÃO

Segundo Nunes (2002), não há como estabelecer medidas fixas para as dimensões de lagoas de decantação, visto que elas dependem de alguns fatores como a área individual dos tanques, a taxa de renovação das águas, tempo de retenção do efluente na lagoa, estratégia da despesca, cronograma de despesca, profundidade da bacia e área total da operação. No entanto, o autor recomenda que as lagoas de decantação possuam uma profundidade mínima de 1,5 m visando otimizar a capacidade de armazenamento do sistema já que a lagoa deve ser capaz de armazenar o volume de água resultante da renovação diária dos tanques de cultivo e do esvaziamento de, pelo menos, um viveiro, caso haja despesca. Retomando a Tabela 1, percebemos que a lagoa de decantação não possui 1,5 m de profundidade em nenhum ponto dos transectos. No entanto, como o cronograma de cultivo do LMM é menos intenso que uma fazenda de produção de maricultura comercial, o volume despejado na lagoa de decantação é bem suportado pelo sistema. Além disso, o efluente tem tempo de retenção de 6 dias (Noronha *et al.*, 2013), o qual é suficiente para a remoção dos sólidos inorgânicos por conta das próprias características do efluente (baixo impacto ambiental) e também pelo fato da lagoa de decantação fazer parte de uma cadeia de estabilização. Dessa forma, o efluente final atende os parâmetros ideais para ser despejado no ambiente natural (Noronha, 2013).

As macroalgas do gênero *Ulva* são bastante diversas quanto ao seu morfotipo e podem possuir talo fixo a um substrato, como a que vemos comumente em costões rochosos ou pode ter modo livre, flutuando próxima ou na superfície da água (Cormaci,

et al., 2014). Foi possível notar certa transição da comunidade macroalgal ao longo das coletas, onde temos a biomassa composta principalmente por filamentosas no início do período de coletas e ao final, temos biomassa composta principalmente por *Ulva* spp. de formato foliáceo. Para o gênero *Ulva*, há ocorrência de 3 morfotipos principais: tubular, foliáceo e tubular foliáceo (Rybak, 2018). A morfologia macroalgal é uma característica importante já que ela pode influenciar diretamente na atividade fotossintética e absorção de nutrientes do organismo (Littler & Arnold, 1982). Segundo Rybak (2018), os morfotipos de *Ulva* spp. podem ser utilizados como bioindicadores de salinidades, onde algas de morfotipo tubular, em geral, possuem uma tolerância maior de salinidades e crescem bem em ambientes mesohalinos (5-18 PSU) a euhalinos (30-40 PSU), enquanto as de morfotipo foliáceo crescem melhor em ambientes polihalinos (18-30 PSU) a euhalinos (30-40 PSU). Dito isso, a salinidade de um corpo aquático como o da lagoa de decantação, pode ser alterado por meio de evaporação ou aporte significativo de águas salinas. É possível que com o aumento de temperatura, ocorreu um aumento da evaporação e conseqüente aumento da salinidade e paralelamente isso, o aumento de temperatura atingiu o valor preferido para crescimento das cepas foliáceas que ocorrem na lagoa. No entanto, não é possível afirmar o gatilho principal responsável por essa dinâmica sem que haja um acompanhamento da biomassa, das variáveis ambientais e do efluente do LMM ao longo de todo o ano. A dominância do morfotipo foliáceo sobre o tubular também pode ser explicado por conta do crescimento vegetativo ser mais rápido, melhor absorção de nutrientes e possuir altas taxas de fotossíntese, devido a sua maior razão superfície/volume (Odum *et al.*, 1958, Littler & Arnold 1982). Além disso, nesse morfotipo ocorre a diminuição do autossombreamento proveniente da estrutura pouco espessa desses organismos e paredes celulares finas, otimizando o posicionamento do aparato fotossintético para a captação da luz em relação à posição das outras organelas ou estruturas da própria alga (Littler, 1980).

Temperatura, nutrientes e salinidade são fatores muito importantes no crescimento e no ciclo de vida das algas (Kalita & Tytlianov, 2003; Mantri *et al.*, 2011). Esses fatores alteram a forma do talo das algas, atuam na liberação de esporos e no brotamento e crescimento dos propágulos (Mantri *et al.*, 2011; Favot, 2017). A salinidade pode afetar as macroalgas causando estresse osmótico, estresse salino causado pela perda ou absorção de íons resultando num efeito tóxico de Na⁺ na estrutura celular e mudança nas razões iônicas celulares devido à permeabilidade

seletiva de íons na membrana (Kirst 1990; Karsten et al., 1991, Rybak, 2018). Na lagoa de decantação, as condições de salinidade e temperatura observadas durante o período de coleta são condizentes com as requeridas para o crescimento da biomassa de *Ulva* spp. Para *U. fasciata* as temperaturas e salinidade ótimas de crescimento estão entre 25-30°C e 30, respectivamente (Mantri et al., 2011), enquanto para *U. rigida* e *U. curvata* as temperaturas ótimas estão entre 15-20°C e salinidade de 23 a 27 (Taylor et al., 2001). Já para *U. intestinalis*, a salinidade de 15-24 é que favorece mais o crescimento da alga (Martins et al., 1999). Para *U. Ohnoi*, as temperaturas de crescimento ótimo estão entre 20-28 °C (Notoya, 1999; Ohno, 1988), enquanto o intervalo de salinidades ótimas para o crescimento é entre 25 e 40 (Angell et al., 2015). Em geral, temperaturas mais altas favorecem a produção de zoósporos (Favot, 2017), esporos assexuais que fazem parte da estratégia de reprodução de *Ulva* spp. (Castelar, et al., 2014) e contribuem para a propagação da alga

Os valores de OD são característicos de corpos da água com presença de algas (Sperling, 2005), caracterizando uma situação de supersaturação, muito comum em corpos de água eutrofizados (Piveli & Kato, 2006) já que a atividade fotossintética contribui para o aumento da saturação de oxigênio. As trocas gasosas com a atmosfera também podem atuar na variação de OD, onde aumentos de temperatura diminuem a solubilidade do oxigênio na água e a turbulência por ação do vento, por exemplo, pode incrementar sua dissolução (Wetzel, 2001).

As variações de pH estão associadas principalmente à concentração de carbono inorgânico dissolvido (CO₂) que, por sua vez, é retirado da água por organismos fotossintetizantes e inserido por processos de respiração de decomposição (Wetzel, 2001). O perfil de pH complementa o perfil da biomassa de *Ulva* spp. que será apresentado adiante (Figura 12), indicando que a principal razão das variações obtidas se deve aos organismos fotossintetizantes presentes na lagoa de decantação já que os menores valores de densidade de biomassa convergiram com os maiores valores de pH (menor disponibilidade de CO₂). Isso pode ser comprovado também pela diferença significativa entre os dias 28/12/20 e 05/02/21, que também apresentaram valores de densidade de biomassa com diferença estatisticamente significativa.

A clorofila-a é o pigmento presente em todos os organismos fotossintéticos, inclusive em cianobactérias (Barsanti & Gualtieri, 2006) provavelmente devido à baixa população de macroalgas nesta data já que quando não há predominância de

macroalgas e macrófitas, a comunidade fitoplanctônica passa a dominar o sistema (Lee, 2008). Parte da clorofila-*a* também pode ser proveniente do efluente do LMM por conta das microalgas que são utilizadas como alimento dos cultivos de moluscos. No entanto, os picos de clorofila-*a* são acompanhados por picos de ficocianina, contribuindo para o cenário de predominância da comunidade fitoplanctônica formada por cianobactérias. A ficocianina, pigmento fluorescente produzido pelas cianobactérias, é um parâmetro utilizado como monitoramento da qualidade das águas em um corpo aquático, já que as cianobactérias apresentam espécies capazes de produzir substâncias tóxicas nocivas à biota e/ou ao ser humano seja por contato direto ou ingestão (Silva, 2016).

O fósforo (P) e o nitrogênio (N) fazem parte dos nutrientes essenciais para a atividade biológica em ambientes aquáticos, sendo categorizados como macronutrientes já que são necessários em grandes quantidades pelos organismos e quando encontram-se escassos, limitam o crescimento destes (Júnior, et al., 2010). O fósforo normalmente é o elemento limitante visto que está disponível em menor abundância em comparação com outros macronutrientes e é encontrado principalmente na forma de ortofosfato (PO_4^{3-}) (Wetzel, 2001). Na lagoa de decantação, as principais fontes de fósforo são provenientes do efluente proveniente do LMM, da lixiviação do entorno provocado pelas chuvas e do processo de adubação interna decorrente da decomposição cíclica da biomassa algal. Uma vez inseridos dentro do sistema da lagoa de decantação, esses nutrientes participam de processos químicos que ocorrem no sedimento, água e dentro das células dos organismos pelo qual são assimilados (Pereira Filho & Rörig, 2015).

Utilizando o critério de Thomann e Mueller (1987) para estimar preliminarmente se o crescimento das algas em um corpo aquático está sendo limitado por nitrogênio ou fósforo, fazemos a relação N/P onde:

- Para grandes lagos, com predominância de fontes não pontuais: Se $\text{N/P} > 10$, ocorre limitação por fósforo;
- Pequenos lagos, com predominância de fontes pontuais: Se $\text{N/P} < 10$, ocorre limitação por nitrogênio.

Como analisamos apenas a forma de nitrogênio na forma de amônio e não temos o N total do sistema, não podemos dizer com certeza se ocorre limitação por nitrogênio ou fósforo. No entanto, algas do gênero *Ulva* são tipicamente limitadas por nitrogênio já que absorvem e estocam mais nitrogênio do que precisam para suas

atividades metabólicas (Oliveira, *et al.* 2016). Para *U. fenestrata*, por exemplo, em situações onde a razão N/P < 16, ocorre limitação do crescimento por nitrogênio (Kalita & Tytlianov, 2003).

O crescimento da biomassa de *Ulva* spp. está intimamente atrelado à temperatura, salinidade, luz ótima de irradiação e disponibilidade de nutrientes (Coffaro & Sfriso, 1997; Kalita & Tytlianov, 2003). Como a lagoa de decantação está exposta ao ambiente, essas variáveis oscilam bastante e afetam a taxa de crescimento das algas. Apesar de *Ulva* spp. ser especialista em colonizar rapidamente um ambiente, suas taxas de crescimento são bastante afetadas pelas variáveis ambientais as quais está submetida (Ramus & Venable, 1987). Naturalmente, como a última coleta foi realizada no dia 05/02/21, em um intervalo de tempo maior em relação às outras coletas, o pico pronunciado de densidade de biomassa nessa data também é afetado por conta disso. É possível que por conta do volume de chuvas prévio à coleta (até 15 dias antes) do dia 28/12/20, a alteração de salinidade afetou negativamente a taxa de crescimento de *Ulva* spp. já que, como mencionado anteriormente, existem faixas de salinidade ótima para o crescimento dessas macroalgas (Mantri *et al.*, 2011). Atuando juntamente com a salinidade, disponibilidade de nutrientes e temperatura, a radiação solar é um dos principais parâmetros físicos responsáveis pela regulação do crescimento algal (Lobban & Harrison, 1994; Lüning, 1990; Taylor *et al.* 2001) devido à característica fotossintética das algas, por isso é possível que a variação da radiação solar contribuiu para diminuição da taxa de crescimento que resultou numa diminuição da densidade de biomassa (APÊNDICE D). Como mencionado anteriormente, as variações de pH seguiram o perfil da biomassa devido a relação que existe entre pH e disponibilidade CO₂, utilizado para a realização do processo de fotossíntese. É possível que devido a uma redução da disponibilidade CO₂ também seja responsável pela redução na biomassa de macroalgas nas coletas anteriores ao dia 05/02/21 já que a lagoa de decantação não é um ambiente muito dinâmico em termos de fluxo de água.

A fixação de carbono ocorre devido à atividade fotossintética que utiliza CO₂ para produzir carboidratos e por isso, é um dos elementos com maior percentual de composição no tecido macroalgal (Barsanti & Gualtieri, 2006). *Ulva* spp. são excelentes na remoção nitrogênio da coluna da água porque assimilam e estocam este elemento para crescimento e também para atividades metabólicas (Lawton *et al.* 2013; Oliveira *et al.*, 2016). As atividades metabólicas incluem a taxa de crescimento

da alga que, por sua vez, está associada também a temperatura e nitrogênio já que com o aumento de temperatura, o percentual de nitrogênio necessário para manter uma determinada taxa de crescimento diminui (Duke *et al.*, 1989). No entanto, mesmo após suprir a demanda por nitrogênio de seu metabolismo, ainda ocorre a assimilação de nitrogênio que é estocado no tecido da macroalga. Além disso, essas algas possuem afinidade com amônio e preferem esta forma de nitrogênio dentre outras disponíveis, como nitrito e nitrato (DeBusk *et al.*, 1986; D'Elia and DeBoer 1978). As macroalgas convertem enxofre inorgânico, através da redução de sulfato (SO_4^{2-}) ou outra forma inorgânica, em sulfeto por ação catalítica. Esse sulfeto é utilizado na produção de aminoácidos. No entanto, o papel do enxofre está além de suprir necessidades metabólicas dos indivíduos, está associado aos processos de decomposição da matéria orgânica e pode afetar o ciclo de outros nutrientes, produtividade do sistema e a distribuição da biota. As fontes de enxofre em ambientes aquáticos incluem solubilização de rochas, fertilizantes e precipitação atmosférica e deposição seca (Wetzel, 2017).

O pH apresentou correlação significativa e positiva com temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e ficocianina *in vivo*. A correlação com a temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido pode ser explicada pelo maior pH associado à águas de maior salinidade, devido ao efeito tampão das águas marinhas, e possivelmente com a fotossíntese. No caso da ficocianina, a correlação pode estar indicando uma maior importância de cianobactérias na fotossíntese fitoplanctônica, sendo necessário analisar as amostras de fitoplâncton para confirmar essa hipótese. A temperatura também mostrou correlação positiva com a irradiância integrada dos últimos 7 dias anteriores às coletas, o que mostra a relação do aquecimento com a luz solar. Porém, não mostrou correlação significativa com a irradiância integrada de 15 dias, mostrando que o regime de luz dos dias mais próximos à coleta interfere de forma mais efetiva. A salinidade, por sua vez, além da correlação significativamente positiva com o oxigênio dissolvido, já comentada, exibiu também correlação positiva com clorofila-*a in vivo* e ficocianina *in vivo*, evidenciando a origem marinha do fitoplâncton, relacionada à saída de água dos cultivos de microalgas marinhas usados na alimentação de moluscos no LMM. Como esperado, clorofila-*a in vivo* também mostrou forte correlação positiva com a ficocianina, evidenciando a origem comum

desses pigmentos, sendo a clorofila-a um indicativo do fitoplâncton em geral e ficocianina um indicativo de cianobactérias, como já descrito no tópico 4.3.

Em relação aos nutrientes, foi verificada correlação fortemente positiva entre ortofosfato e amônio, além de uma correlação positiva do amônio com a biomassa, o que faz sentido pelo fato de que *Ulva* spp. absorvem preferencialmente amônio como nutriente nitrogenado, explicando em boa parte o incremento de biomassa dessa alga na lagoa. As irradiâncias acumuladas mostraram correlação positiva entre si, o que já era esperado. Por fim, a pluviosidade acumulada de 15 dias mostrou correlação positiva com as irradiâncias acumuladas de 7 e 15 dias, provavelmente devido à tendência de chuva após vários dias de insolação e calor intenso.

5.1 PLANO DE MANEJO

Segundo Pômpeo (2017), a aplicação de planos de manejo atrelados a planos de monitoramento são necessários para que haja manutenção do ambiente sem que haja redução na qualidade das águas, sedimentos e serviços ecossistêmicos fornecidos pelo sistema. Ao plano de manejo cabem ações de controle dos atributos ambientais ou das comunidades biológicas, com o objetivo de atingir um objetivo definido (Holdren *et al.*, 2001). Como a lagoa de decantação faz parte de uma cadeia de estabilização de efluente para que possa ser desaguado na Lagoa da Conceição sem causar impactos negativos no ambiente natural, o objetivo deste plano de manejo é garantir que a lagoa de decantação mantenha essa função de forma mais eficaz através do uso da biomassa de *Ulva* spp, crescida naturalmente na lagoa durante o ano devido ao seu potencial biofiltrante.

A legislação brasileira obriga o monitoramento relacionado às cianobactérias e coliformes (CONAMA nº 357/2005, CONAMA nº 247/2000; Portaria MS nº 2.914/2011 – Brasil, 2011) em reservatório que são utilizados como abastecimento público de água além de evitar a contaminação e desenvolvimento de substâncias tóxicas prejudiciais a saúde humana (Pompêo, 2017). No entanto, não há normativas específicas sobre o monitoramento de macrófitas e/ou macroalgas no Brasil, apesar de serem um componente importante na ecologia de sistemas hídricos. Há apenas medidas de controle. O controle de crescimento de algas em reservatórios se dá principalmente pelo controle químico através da adição de sulfato de cobre, peróxido de hidrogênio 50% e o agrotóxico fluridone (Mancuso, 1987; Pompêo, 2017), conforme a Resolução CONAMA nº 467/2015 que “dispõe sobre critérios para a

autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos em corpos hídricos superficiais para controle da poluição e do crescimento desordenado ou indesejável de organismos da flora e da fauna”.

Pômpeo (2017) argumenta que o monitoramento é uma medida que deve ser realizada antes mesmo do plano de manejo para que as medidas de controle sejam coerentes com a situação do reservatório ou corpo de água em questão, e após aplicadas as medidas de controle, é necessária a continuidade do monitoramento para que seja comprovada a eficácia das medidas tomadas e para o planejamento de ações futuras. Um dos parâmetros importantes para o monitoramento na lagoa de decantação é conhecer detalhadamente os fluxos e características químicas do efluente (Santiago, 2013). Atrelado a isso, também é recomendável o acompanhamento da qualidade de água da lagoa em si e verificação do volume exato da lagoa (Holdren *et al.*, 2001; Pio & Henriques, 2000). Apesar de termos calculado o volume neste projeto, o volume resultante é baseado em cálculos estimativos e não é um resultado muito preciso.

A biomassa de *Ulva* spp. é majoritariamente do morfotipo das flutuantes livres, com aspecto foliáceo e cobrem a superfície de boa parte da lagoa nas estações mais quentes e com mais incidência de radiação solar. Durante seu ciclo de vida, essas macroalgas absorvem nutrientes da coluna da água para crescimento e reprodução, contribuindo com a biofiltração da coluna da água, sendo esse um fator muito interessante quando precisamos estabilizar um efluente. No entanto, ao final do seu ciclo de vida, quando se encontra senescente, a alga irá afundar e liberar novamente na coluna da água os nutrientes que estavam fixados em seu tecido celular, além de se transformar em matéria orgânica particulada, intregando-se a camada de lodo da lagoa (Carpenter & Adams 1977; Pompêo, 2017). O aumento da camada de lodo ocasiona a perda de volume de água livre, portanto a lagoa de decantação perde capacidade de aporte de volume de efluente além de afetar a dinâmica de ciclagem dos nutrientes (Lee & Olsen, 1985; Pompêo, 2017). Adicionalmente, a areia que é veiculada juntamente com os efluentes dos laboratórios também causa assoreamento (Holdren *et al.*, 2001). Por conta disso, uma das ações a serem tomadas inicialmente incluem dragagem da lagoa e homogeneização de sua profundidade para que a camada de lodo possa ser reduzida e a remoção dos nutrientes dissolvidos seja otimizada (Santiago, 2013). Além disso, a implantação de um sistema de decantação

de areia nas saídas do efluente seria recomendável, visto que reduz também a carga de sedimentos despejados na lagoa e contribui para a conservação da sua batimetria.

Especificamente em relação a biomassa, recomenda-se o acompanhamento do crescimento das algas através da instalação de unidades com 1m² e acompanhamento da radiação com utilização de sensores de luz e temperatura em fluxo contínuo. O monitoramento da radiação solar é importante não só por influenciar o crescimento das algas mas também por exercer um papel importantíssimo na dinâmica química da própria lagoa por conta da sua influência na temperatura que, por sua vez, regula equilíbrios iônicos, pH e solubilidade de gases (Bouterfas *et al.*, 2002). Aliado a isso, também seria necessário a remoção e medição periódica da biomassa. Com a remoção da biomassa, faz-se necessário também a destinação dessa biomassa (Lenzi *et al*, 2003; Souza, 2018), a qual possui vários usos potenciais a serem explorados.

Em síntese, pode-se descrever os procedimentos de manejo em dois ambientes a serem considerados no sistema da lagoa de decantação: (1) Ambiente de Entrada, que seriam operações a serem conduzidas antes de os efluentes entrarem na lagoa, e (2) Corpo da Lagoa, que seriam as operações a serem realizadas diretamente no corpo principal da lagoa. Essas pode ser divididas em (2.1) operações de regulação e melhoria da lagoa, e (2.2) operações de monitoramento e manutenção da lagoa. Não consideramos um “Ambiente de Saída” da lagoa porque esse se constitui de fluxos difusos de água, em geral por via subterrânea, onde as águas da lagoa percolam e se dispersam para o lençol freático de entorno ou para a lagoa maior adjacente. Eventualmente também ocorre fluxo por transbordamento para a lagoa maior adjacente. Portanto:

1) Operações recomendadas para o Ambiente de Entrada:

- a) Definir, programar e/ou registrar os períodos de atividade do laboratório onde há geração de fluxos (efluentes) para a lagoa;
- b) Quantificar as cargas de efluente e suas características (volume de água, concentração de nutrientes);
- c) Identificar períodos com uso mais intenso de produtos de descontaminação e limpeza (suco de limão, cloro, detergentes);
- d) No caso de cloro, neutralizar antes com tiosulfato de sódio para diminuir impacto sobre as populações algais;

e) Construir uma caixa de areia em concreto (decantador/sedimentador) para retenção de areia e outros particulados na saída do efluente e possibilitar na mesma unidade a neutralização de cloro com tiosulfato, quando necessário.

2) Operações recomendadas para o Corpo da Lagoa:

2.1) Operações de regulação e melhoria da lagoa:

a) Remoção do excesso de lodo acumulado, causador de anaerobiose e adubação interna, através de caminhões limpa fossa.

b) Desassoreamento da lagoa através de remoção do excesso de areia próximo às entradas de fluxo da lagoa;

c) Uniformização da profundidade da lagoa para atingir entre 50 e 70 cm, permitindo adequada penetração de luz até o fundo e também volume adequado de retenção hidráulica.

d) Dispor redes flutuantes para assentamento de inóculos algais, preferencialmente em unidades de dimensões manejáveis (ex.: 1 m²) afixadas com poitas e cabos que permitam fixação e também aportamento à margem onde a biomassa algal possa ser adequadamente removida.

e) Construir rampa na margem distal da lagoa para adequada remoção da biomassa.

f) Instalação de régua de nível calibrada para leitura de volume da lagoa e suporte para sensores (ex.: temperatura e luz).

2.2) Operações de monitoramento e manutenção da lagoa:

a) Fazer medições de variáveis ambientais da água (salinidade, pH, oxigênio dissolvido, nutrientes, pigmentos, fitoplâncton, matéria orgânica [TOC]) em periodicidade semanal, se possível.

b) Fazer monitoramento contínuo de irradiância e temperatura no corpo da lagoa.

c) Acompanhar pelo menos mensalmente o crescimento da biomassa das algas (percentual de cobertura do espelho de água, biomassa por metro quadrado).

d) Determinar periodicamente (mensal ou bimensal) a biomassa seca, cinzas e composição elementar (CHN+P) da biomassa.

e) Remover o excedente de biomassa sempre que a densidade de cobertura atingir o limite recomendado.

- f) Lavar e secar a biomassa colhida para processamento a diferentes usos.
- g) Determinar as taxas de remoção de carbono (CO₂), nitrogênio e fósforo pelas algas na lagoa a cada colheita.
- h) Fazer quando necessário controle de qualidade da biomassa incluindo: metais pesados, proteínas, carboidratos, lipídeos, pigmentos, ulvanas, entre outras variáveis.

6 CONCLUSÃO

A biomassa de *Ulva* spp. teve um comportamento oscilante durante as coletas visto que está inserida em um sistema sujeito a variações ambientais de condições que afetam diretamente seu crescimento como salinidade, temperatura e radiação solar. Além disso, o deságue de efluentes na lagoa de decantação não é constante, fator que também afeta sua taxa de crescimento. Os valores de massa totais de carbono, nitrogênio e enxofre durante o período foram de 6080,60 g, 971,38 g e 625,56 g, respectivamente. O plano de manejo inclui operações no ambiente de entrada, no corpo da lagoa e monitoramento e manutenção da lagoa. As recomendações indicam o monitoramento detalhado do efluente quanto a frequência de geração, volume e concentração dos nutrientes. Assim como a manutenção da batimetria da lagoa através da remoção da camada de lodo e desassoreamento com instalação de inóculos algais de tamanho pré-determinado, para acompanhamento do crescimento e composição CHN+P da biomassa, monitoramento de variáveis ambientais e irradiância, entre outras medidas.

REFERÊNCIAS

- ANGELL, A.R., MATA, L., de NYS, R., PAUL, N.A. Indirect and direct effects of salinity on the quantity and quality of total amino acids in *Ulva ohnoi* (Chlorophyta). *Journal of Phycology*, nº 51, p. 536–545, 2015.
- BARSANTI, L., GUALTIERI, P. *Algae - Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2006.
- BASTOS, E. DE O. Desenvolvimento de Bases Biotecnológicas para Utilização da Alga Verde *Ulva ohnoi* (Chlorophyta). 2019.
- BÄCK, S., LEHVO, A., & BLOMSTER, J. Mass occurrence of unattached *Enteromorpha intestinalis* on the Finnish Baltic Sea coast. *Annales Botanici Fennici*, nº 37, p. 155–161. 2000.
- BERGHEIM, A., TYVOLD, T., SEYMOUR, E.A. Effluent loadings and sludge removal from land-based salmon farming tanks. *European Aquaculture Society*, nº 14, p. 27, 1991.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos da água. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.
- BRASIL, Portaria MS n. 2.914/2011, MINISTÉRIO DA SAÚDE, Série E. Legislação de Saúde, Brasília, DF, 2012.
- CARPENTER, STEPHEN R.; ADAMS, MICHAEL S. The macrophyte tissue nutrient pool of a hardwater eutrophic lake: Implications for macrophyte harvesting. *Aquatic Botany*, v. 3, p. 239-255. 1977.
- CASTELAR, B., REIS, R. P., & DOS SANTOS CALHEIROS, A. C. *Ulva lactuca* and *U. flexuosa* (Chlorophyta, Ulvophyceae) cultivation in Brazilian tropical waters: Recruitment, growth, and ulvan yield. *Journal of Applied Phycology*, 26(5), 1989–1999. 2014
- CHENEY, E.W., KINCAID, D.R. *Numerical Mathematics and Computing*. Brooks/Cole. 678p. 2013.
- CHISTI, Y. Microalgae: our marine forests. *Biotechnology Advances*, nº 22, p. 565-567. 2004
- CLOERN, James E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, v.210, p. 223–253, 2001.
- COHEN, I. NEORI, A. *Ulva lactuca* Biofilters for Marine Fishpond Effluents I: Ammonia Uptake Kinetics and Nitrogen Content. *Botanica Marina*, v. 34, pp. 475-482, 1991.
- COHEN, R. A., & FONG, P. Physiological responses of a bloom-forming green macroalga to short-term change in salinity, nutrients, and light help explain its ecological success. *Estuaries*, 27(2), p. 209–216. 2004.

CORMACI, M., FURNARI, G., & ALONGI, G. Flora marina bentonica del Mediterraneo: Chlorophyta. Bollettino dell'Accademia Gioenia Di Scienze Naturali, 47(377), 11–436, 2014.

CRIPPS, S.J. Comparison of methods for the removal of suspended particles from aquaculture effluent. European Aquaculture Society, nº 14, p. 80, 1991.

CUNHA, P. E. V., SILVA, G. H. R., SCATENA, L. M., GALHARTE, C. A., DUARTE, R. G. II-327-Lagoas De Decantação no Tratamento de Efluentes de Carcinicultura. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). 2005.

DEBUSK, T. A., BLAKESLEE, M., & RYTHER, J. H. Studies on the Outdoor Cultivation of *Ulva lactuca* L. Botanica Marina, 29(5), p. 381–386. 1986.

D'ELIA, C. F., & DEBOER, J. A. Nutritional Studies of Two Red Algae. Ii. Kinetics of Ammonium and Nitrate Uptake. Journal of Phycology, 14(3), p. 266–272. 1978.

DUKE, C. S., LITAKER, W., & RAMUS, J. Effect of temperature on nitrogen-limited growth rate and chemical composition of *Ulva curvata* (Ulvales: Chlorophyta). Marine Biology, 100(2), p. 143–150. 1989.

FAVOT, G. Production and identification of *Ulva* sp. in multitrophic aquaculture in earth ponds. Tese de Mestrado em Biologia Marinha. Universidade do Algarve, Faro, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of The World Fisheries and Aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals. Roma, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of The World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Roma, 2020.

GELLENBECK, K. W. Utilization of algal material for nutraceutical and cosmeceutical applications – what do manufacturers need to know? J. Appl. Phycol., nº 24, p. 309–313. 2012.

GOWEN, R.J., ROSENTHAL, R., MAKINEN, T., EZZI, I. Environmental impact of aquaculture activities. EAS (European Aquaculture Society) nº 10, p. 300, 1989.

GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M., KREMLING, K. Methods of Seawater Analysis. 2 ed., Verlag Chemie, Weinheim, 1983.

HOLDREN, C. JONES, W. TAGGART, J. Managing Lakes and Reservoirs. North American Lake Management Society e Terrene Institute. Madison, WI. 3ed. 2001.

JÚNIOR, R. F. do V., ABDALA, V. L., GUIDOLINI, J. F., ALMEIDA, R. F., & SOUZA, M. A. da S. C. Ortofosfato como parâmetro indicador de qualidade da água em diferentes pontos de coleta na bacia do Rio Uberaba. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, 7(2), p. 1–7. Goiânia, 2010.

KALITA T. L., TYTLIANOV E. A. Effect of temperature and illumination on growth and reproduction of the green alga *Ulva fenestrata*. Russ J Mar Biol 29:316–322, 2003.

KARSTEN, U., WIENCKE, C., & KIRST, G. The effect of salinity changes upon the physiology of eulittoral green macroalgae from Antarctica and southern Chile. *Journal of Experimental Botany*, 42(245), p. 1533–1539, 1991.

KIRST, G. O. Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 41(1), p. 21–53, 1990.

LAPOINTE, B. E., & TENORE, K. R. Experimental outdoor studies with *Ulva fasciata* Delile. I. Interaction of light and nitrogen on nutrient uptake, growth, and biochemical composition. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 53(2–3), 135–152. 1981.

LAWTON, R. J., MATA, L., DE NYS, R., & PAUL, N. A. (2013). Algal Bioremediation of Waste Waters from Land-Based Aquaculture Using *Ulva*: Selecting Target Species and Strains. PLOS ONE, 8(10). 2013.

LEE, R. E. Basic characteristics of the algae. Phycology. 2008

LEE, V., OLSEN, S. Eutrophication and management initiatives for the control of nutrient inputs to Rhode Island coastal lagoons. Estuaries, 8(2), p. 191–202. 1985.

LENZI, M., PALMIERI, R., & PORRELLO, S. (2003). Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): Water quality management. Marine Pollution Bulletin, 46(12), p. 1540–1548. 2003.

LITTLER, M. M., ARNOLD, K. E. Primary Productivity of Marine Macroalgal Functional-Form Groups From Southwestern North America¹. Journal of Phycology, v. 18, n^o 3, p. 307–311. 1982.

LITTLER, M. M. Morphological Form and Photosynthetic Performances of Marine Macroalgae: Tests of a Functional/Form Hypothesis. Botanica Marina, v. 23, n^o 3, p. 161–166. 1980.

LOBBAN, C. S. AND P. J. HARRISON. Seaweed Ecology and Physiology. Cambridge University Press. pp. 366. 1994

LÜNING, K. Seaweeds: Their Environment, Biogeography and Ecophysiology. Wiley-Interscience, New York. pp. 527. 1990.

MANCUSO, C.S. Controle do desenvolvimento de algas em águas de abastecimento público, Revista DAE, v. 47, n^o 149, p. 151-156, 1987

MANTRI, V. A., SINGH, R. P., BIJO, A. J., KUMARI, P., REDDY, C. R. K., JHA, B. Differential response of varying salinity and temperature on zoospore induction, regeneration and daily growth rate in *Ulva fasciata* (Chlorophyta, Ulvales). Journal of Applied Phycology, v. 23, n. 2, p. 243-250, 2011.

MARTINEZ-ARAGON, J.F. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters: 1. Phosphate. *J. Appl. Phycol.*, v. 14, p. 365–374, 2002.

MARTINS, I., OLIVEIRA, J. M., FLINDT, M. R., & MARQUES, J. C. The effect of salinity on the growth rate of the macroalgae *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) in the Mondego estuary (west Portugal). *Acta Oecologica*, 20(4), 259–265. 1999

MOURA E SILVA, M. S. G., LOSEKANN, M. E., & HISANO, H.. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 39. 2013

NEORI, Amir et al. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, v. 231, p. 361-391, 2004.

NOTOYA, M. Utilization of *Ulva* spp. and environmental restoration. Seizandou, Tokyo. 1999.

NORONHA, F. C. Estudo da Conformidade Ambiental (ECA), para a obtenção da Licença Ambiental de Operação (LAO) de Correção do Laboratório de Moluscos Marinhos. Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso. Florianópolis, 2013.

NUNES, A. J. P. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. *Panorama da Aquicultura*. Rio de Janeiro, v. 12, n. 71, p.27-39, 2002.

ODUM, E. P., KUENZLER, E. J. BLUNT, S. M. X. Uptake of P32 and Primary in Marine Benthic Algae. 1958

OGAWA, T., OHKI, K., KAMIYA, M. Differences of spatial distribution and seasonal succession among *Ulva* species across salinity gradients. *Phycologia*, v. 52 (6), p. 637-651. 2013

OHNO, M., 1988. Seasonal Changes of the Growth of Green Algae, *Ulva* sp. in Tosa Bay, Southern Japan. *Mar. fouling* 7, 13–17. <https://doi.org/10.4282/sosj1979.7.13>

OLIVEIRA, V. P., MARTINS, N. T., GUEDES, P. D. S., POLLERY, R. C. G., & Enrich-Prast, A. Bioremediation of nitrogenous compounds from oilfield wastewater by *Ulva lactuca* (Chlorophyta). *Bioremediation Journal*, 20(1), p. 1–9. 2016.

PEREIRA FILHO, J., RÖRIG, L. R. Balanço de massa para nutrientes inorgânicos (N e P) no Estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(1), p. 168–187. 2016.

PIO, S., HENRIQUES, A. G. O estado ecológico como critério para a gestão sustentável das águas de superfície. Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, 2000.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T.i. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. Uiversidade de São Paulo, 2006.

POMPÊO, M. Monitoramento E Manejo De Macrófitas Aquáticas. In Oecologia Australis, v. 12, nº 3. 2017.

POMPÊO, M. O Controle da Flora e Fauna Aquáticas pela Resolução CONAMA 467: Considerações Sobre a Normativa Brasileira. Geography Department University of Sao Paulo, 33, 24. 2017.

RESOLUÇÃO CONAMA n. 274, de 29 de novembro de 2000, Publicada no DOU n. 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, p. 70-71,

RESOLUÇÃO CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005, Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, p. 58- 63,

RESOLUÇÃO CONAMA n. 467, de 17 de julho de 2015, Publicada no DOU nº 135, seção 1, p. 70 a 71.

RYBAK, A. S. Species of *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) as indicators of salinity. Ecological Indicators, v. 85, p. 253–261, 2018.

SALVI, K.P., DA SILVA OLIVEIRA, W., HORTA, P.A., RÖRIG, L.R. AND DE OLIVEIRA BASTOS, E. A new model of Algal Turf Scrubber for bioremediation and biomass production using seaweed aquaculture principles. Journal of Applied Phycology, pp.1-10. 2021

SANTIAGO, A. DA F. Avaliação Do Desempenho De Lagoas De Alta Taxa No Tratamento De Esgoto Pré-Desinfectado Submetidas a Diferentes Níveis De Radiação Solar. Universidade Federal de Viçosa, 1(1), 159. 2013

SEWALD, A. M.; RAU, M; RUDORFF, N. M.; BONETTI, C.; MADUREIRA, L. A. S. Caracterização Química do Extrato Orgânico de Sedimentos em Áreas de Cultivo de Ostras e Mexilhões na Baía Sul de Florianópolis, SC. Rev. Virtual Quim., 4 (4), p. 413-433. Florianópolis, 2012.

SHPIGEL, M., NEORI, A., POPPER, D. M., GORDIN, H. A proposed model for “environmentally clean” land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. Aquaculture, v. 117, p. 115-128. Amsterdã, 1993.

SILVA, A. G. I. C. Implantação e avaliação de um Algal Turf Scrubber para remoção de nutrientes. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

SILVA, L. V. DA. Inferência de pigmentos fitoplanctônicos opticamente ativos para o estudo da ocorrência de cianobactérias. Monografia de Conclusão de Curso de Especialização. Brasília, DF, 2016.

SOUZA, F. B. DE. Produção de biomassa de algas e macrófitas em lagoas de tratamento de efluentes sanitários. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2018.

TAYLOR, R., FLETCHER, R. L., RAVEN, J. A. Preliminary studies on the growth of selected 'green tide' algae in laboratory culture: Effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate. *Botanica Marina*, v. 44, n. 4, p. 327-336. 2001

THOMANN, R.V. & MUELLER, J. A. Principles of surface water quality modeling and control. Harper International Edition. 644 p. 1987

UNESCO. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis. Intergovernmental Oceanographic Commission, 2010.

VANDERMEULEN, H., & GORDIN, H. Ammonium uptake using *Ulva* (Chlorophyta) in intensive fishpond systems: mass culture and treatment of effluent. *Journal of Applied Phycology*, 2(4), p. 363–374. 1990.

WETZEL, Robert G. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3 ed. Academic Press, Elsevier, 2001.

YOKOYAMA, H., & ISHIHI, Y. Bioindicator and biofilter function of *Ulva* spp. (Chlorophyta) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm — potential role in integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, 310(1–2), 74–83. 2010

YOUNG, P; TAYLOR, M. & FALLOWFIELD, H.J. Mini-review: high rate algal ponds, flexible systems for sustainable wastewater treatment. *World J Microbiol Biotechnol.* 33(6): p. 104-117. 2017.

APÊNDICE A – TABELA DE DADOS DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Data	Setor	Nível de água (cm)	pH	T (°C)	Salinidade	OD (mg/L)	OD (%)	Ficocianina (RFU)	Clorofila-a (RFU)	PO4 (μmol)	NH4 (μmol)
6/11/2020	1	31	7,5	22,62	32	9,28	107,70	31,87	1051	2,65	0,00
6/11/2020	2	31	7,5	24,4	34	10,42	125,00	21,26	385,5	0,06	0,00
6/11/2020	3	31	7,5	23,7	34	11,01	129,30	27,8	471,6	0,06	0,38
20/11/2020	1	35	7	22,3	32	10,87	131,20	19,87	362,1	0,64	3,96
20/11/2020	2	35	7	25,5	33	12,08	150,50	13,46	141,3	0,37	2,98
20/11/2020	3	35	7,5	26,1	34	14,90	189,00	17	177,2	0,10	3,15
14/12/2020	1	30,5	7,4	28	29	10,06	128,30	9,57	110,8	0,00	0,00
14/12/2020	2	30,5	7,8	29,6	30	10,90	143,60	9,56	100,3	0,00	0,00
14/12/2020	3	30,5	7,5	28,6	30	9,33	120,90	15,68	127,7	0,00	0,00
28/12/2020	1	34	7,8	26,1	22	13,29	164,00	18,91	104	0,00	0,00
28/12/2020	2	34	7,5	27,1	22	12,09	152,90	22,66	243	0,64	6,23
28/12/2020	3	34	6,8	26,5	24	8,60	107,00	15,94	175,1	2,47	14,52
05/02/2021	1	30	7	25,8	32	11,07	137,28	21,93	136,2	3,23	52,47
05/02/2021	2	30	7	27,7	32	11,09	141,40	28,76	269,7	0,42	1,68
05/02/2021	3	30	7	29,5	32	11,12	145,30	15,39	113,8	0,60	2,82

APÊNDICE B – GRÁFICOS DE PLUVIOSIDADE (7 DIAS)

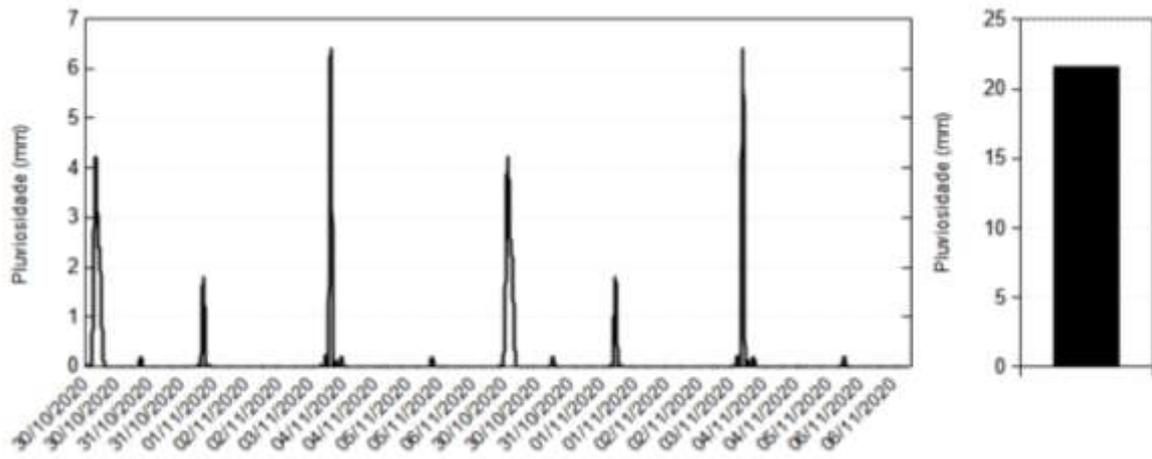


Figura 1. Pluviosidade 7 dias antes da data de coleta de 06/11/2020 a partir de dados do INMET - Estação A806.

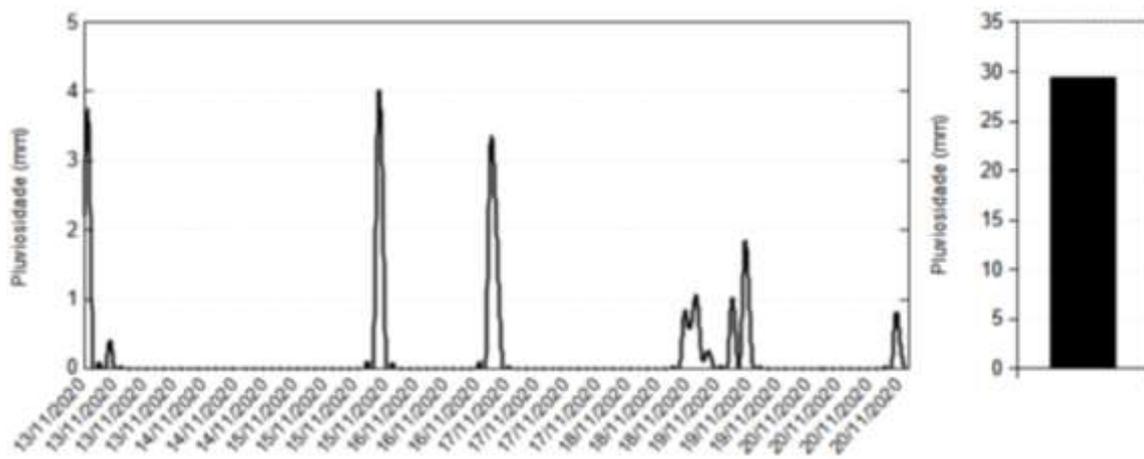


Figura 2. Pluviosidade 7 dias antes da data de coleta de 20/11/2020 a partir de dados do INMET - Estação A806.

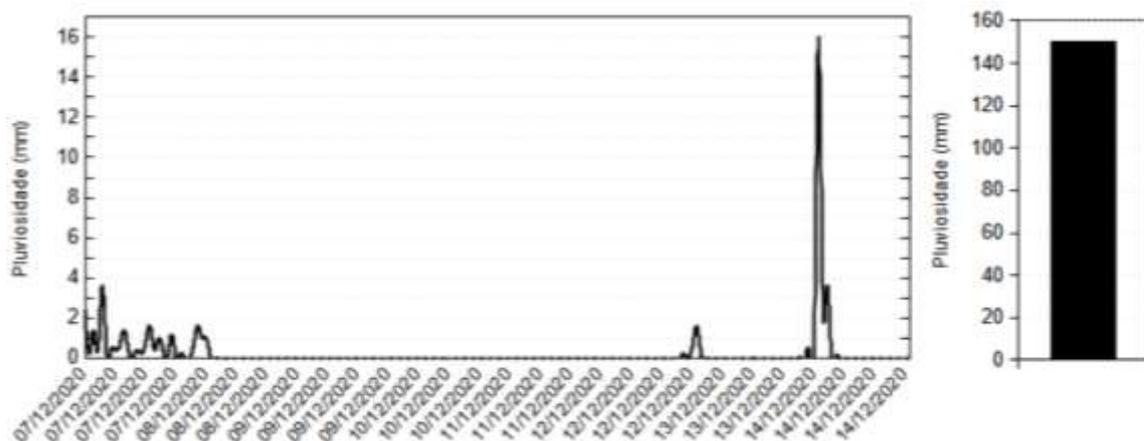


Figura 3. Pluviosidade 7 dias antes da data de coleta de 14/12/2020 a partir de dados do INMET - Estação A806.

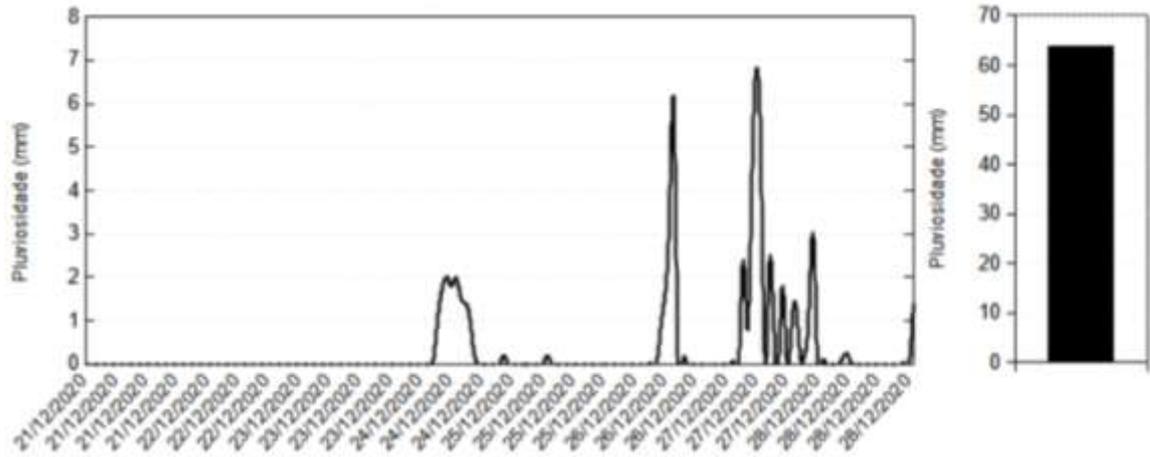


Figura 4. Pluviosidade 7 dias antes da data de coleta de 28/12/2020 a partir de dados do INMET - Estação A806.

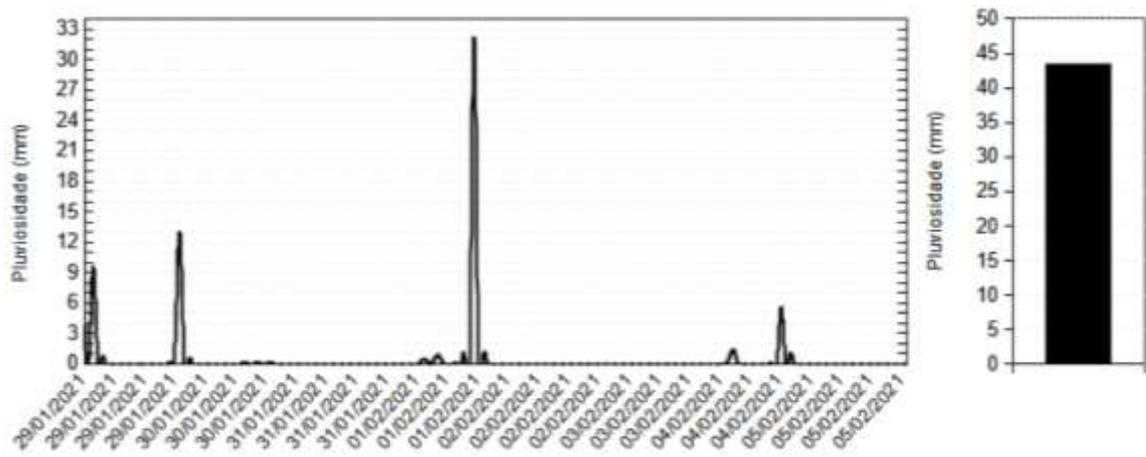


Figura 5. Pluviosidade 7 dias antes da data de coleta de 05/02/2021 a partir de dados do INMET - Estação A806

APÊNDICE C – GRÁFICOS DE PLUVIOSIDADE (15 DIAS)

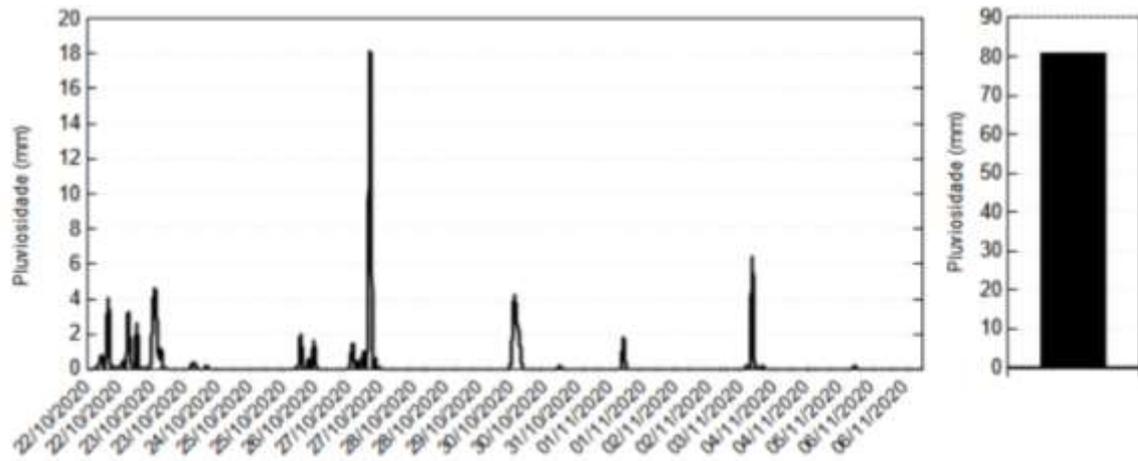


Figura 1. Pluviosidade 15 dias antes da data de coleta de 06/11/2020 a partir de dados do INMET - Estação A806.

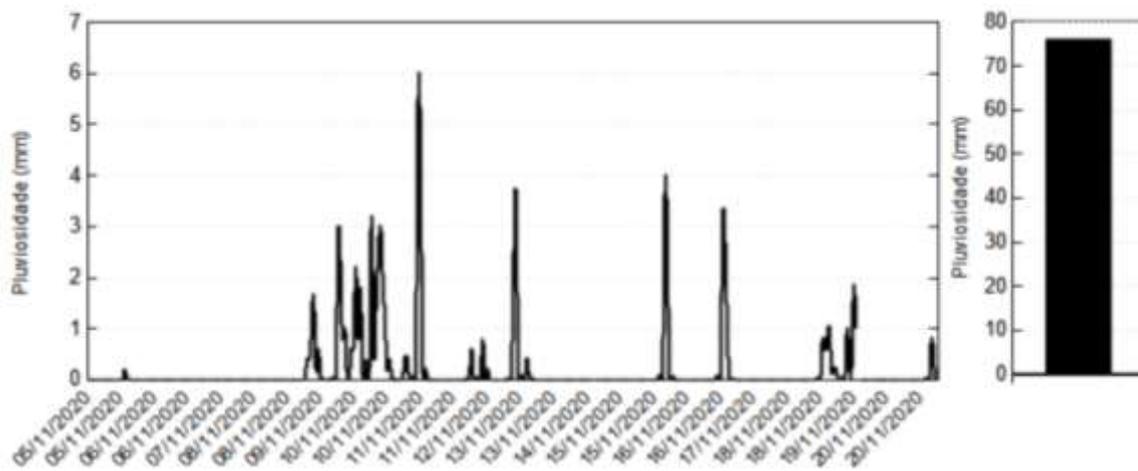
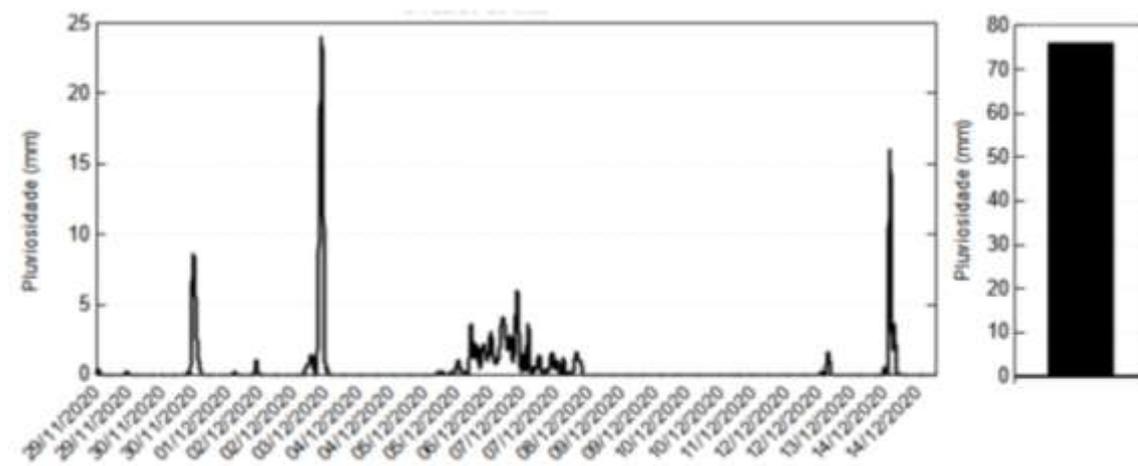
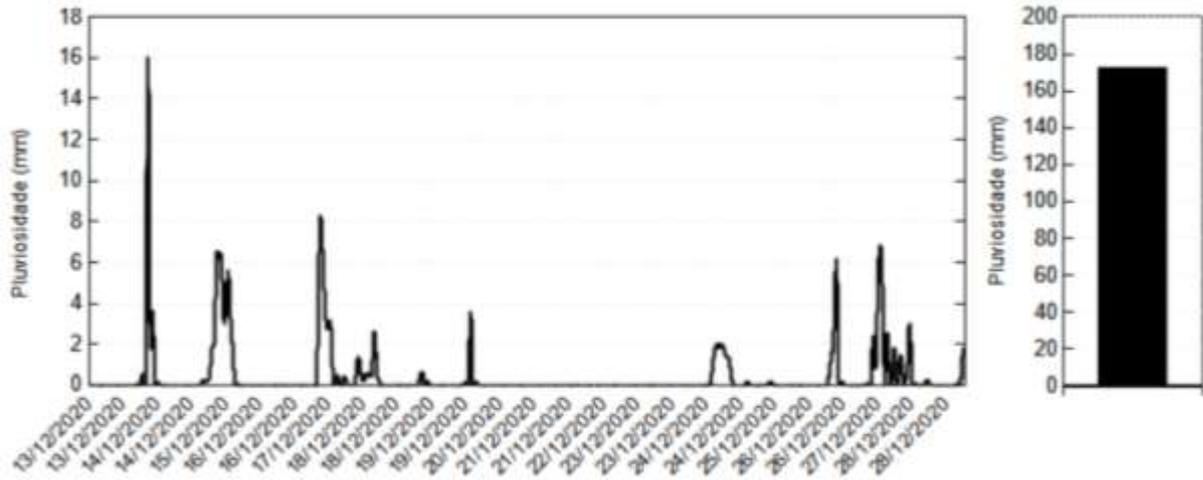
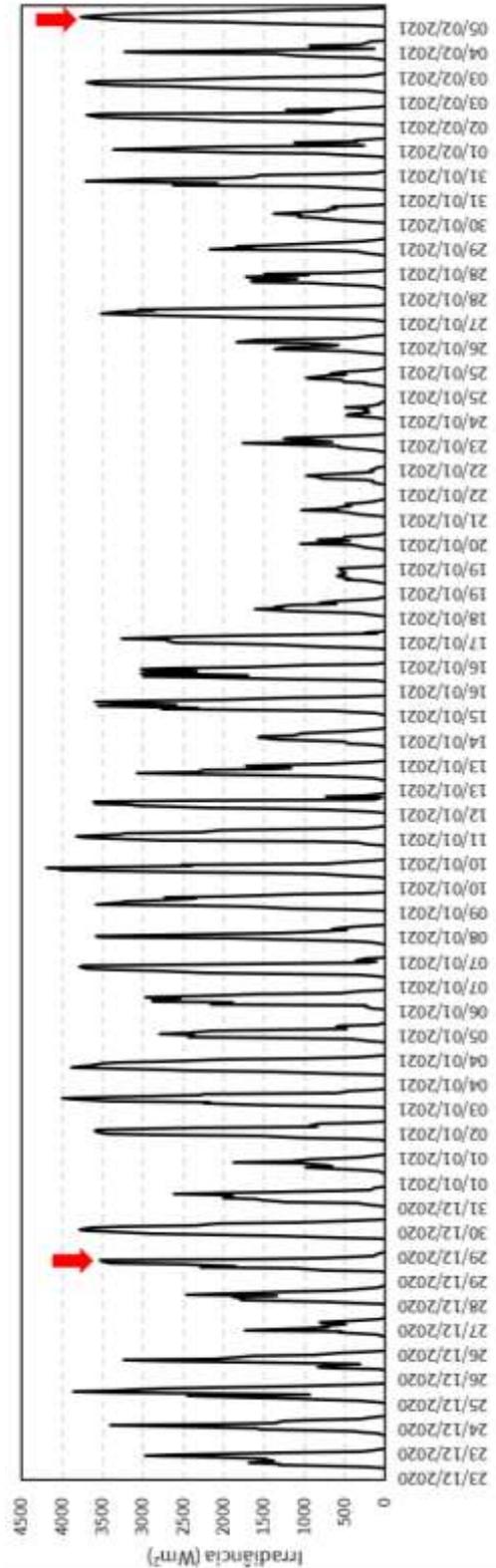
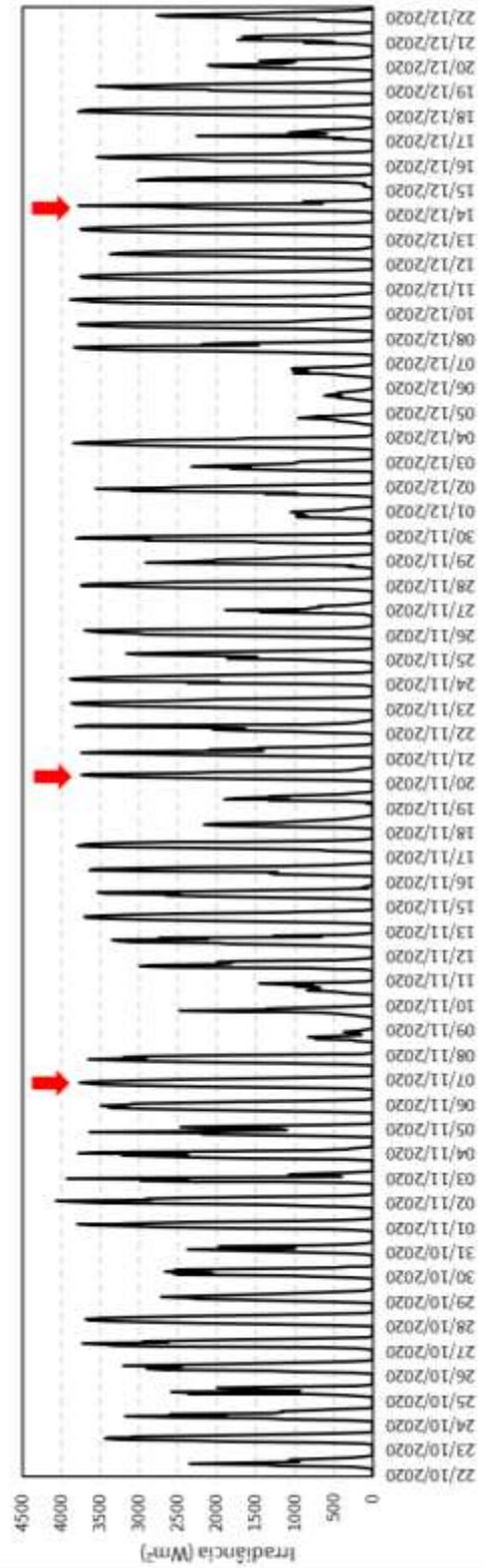


Figura 2. Pluviosidade 15 dias antes da data de coleta de 20/11/2020 a partir de dados do INMET - Estação A806.





APÊNDICE D – GRÁFICOS DA RADIAÇÃO SOLAR DE 22/10/2020 A 05/02/2021



APÊNDICE E – TABELAS DE DADOS DE BIOMASSA

Tabela 1. Dados de massa seca, massa úmida, conteúdos de carbono, nitrogênio e enxofre e densidade de estocagem da biomassa de *Ulva* spp.

Data	EI (g)	Massa seca (g)	Massa de carbono no estoque (g)	Massa de nitrogênio no estoque (g)	Massa de enxofre no estoque (g)
6/11/20	6,55	0,71	0,24	0,04	0,03
20/11/20	10915,15	1186,47	407,22	65,05	41,89
14/12/20	26287,07	2857,40	980,72	156,67	100,89
28/12/20	17382,08	1889,43	648,49	103,60	66,72
05/02/21	108393,04	11782,32	4043,93	646,02	416,03

Tabela 2. Resultado da análise de conteúdo CNS.

Amostra	Peso (mg)	% C	% N	% S
12	2,052	37,742	5,42	2,293
13	2	38,926	5,582	2,674
14	2	39,192	5,605	2,505
15	2,031	38,415	5,512	2,653
16	2,035	38,697	5,544	2,581
17	2,059	37,682	5,407	2,247
18	2,148	25,098	5,266	5,343
19	2,047	27,362	5,708	5,536
20	1,924	25,782	5,306	5,949
	Média	34,322	5,483	3,531
	Desvio padrão	6,22744295	0,1449284	1,5728915

APÊNDICE F – RESULTADO DA CORRELAÇÃO MULTIVARIADA

	pH	T °C	Salinidade	OD	Ficocianina	Clorofila-a	PO ₄	NH ₄	Biomassa	Chuva (15 dias)	Chuva (7 dias)	Radiação (15 dias)	Radiação (7 dias)
pH		0,001	0,009	0,01	0,023	0,138	0,808	0,888	0,793	0,43	0,277	0,329	0,222
T °C	0,946		0,0004	0,0003	0,075	0,481	0,952	0,774	0,96	0,094	0,122	0,064	0,036
Salinidade	0,839	0,796		0,0008	0,023	0,046	0,923	0,695	0,438	0,667	0,859	0,596	0,744
OD	0,885	0,807	0,771		0,024	0,241	0,719	0,837	0,693	0,649	0,965	0,392	0,335
Ficocianina	0,582	0,473	0,581	0,578		0,001	0,623	0,465	0,885	0,412	0,208	0,326	0,451
Clorofila-a	0,401	0,197	0,521	0,322	0,763		0,69	0,7	0,441	0,267	0,134	0,273	0,192
PO ₄	-0,069	0,017	-0,027	-0,102	0,138	-0,112		0,037	0,102	0,111	0,476	0,07	0,101
NH ₄	0,04	0,081	0,111	0,058	0,204	-0,109	0,904		0,014	0,097	0,599	0,076	0,136
Biomassa	-0,074	0,014	0,217	0,111	0,041	-0,215	0,439	0,618		0,108	0,295	0,093	0,327
Chuva (15 dias)	0,22	0,448	0,121	0,128	0,229	-0,306	0,429	0,444	0,432		0,292	0	0,005
Chuva (7 dias)	0,3	0,417	0,05	0,012	-0,34	-0,405	-0,199	-0,148	-0,29	0,292		0,453	0,196
Radiação (15 dias)	0,271	0,49	0,149	0,239	0,272	-0,303	0,48	0,472	0,449	0,976	0,21		0,0003
Radiação (7 dias)	0,335	0,545	0,092	0,267	0,211	-0,357	0,44	0,403	0,272	0,931	0,354	0,968	