



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI – UFSJ
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* COMO
MATÉRIA-PRIMA PARA FORMULAÇÃO DE FERTILIZANTES
ORGANOMINERAIS**

Paula Resende Vieira

Orientador: Prof. Dr. Brener Magnabosco Marra

Ouro Branco - MG
Junho/2016

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* COMO
MATÉRIA-PRIMA PARA FORMULAÇÃO DE FERTILIZANTES
ORGANOMINERAIS**

Paula Resende Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado em cumprimento às exigências
do Curso de Bacharelado em Engenharia de
Bioprocessos da Universidade Federal de
São João Del Rei.

Orientador: Prof. Dr. Brener Magnabosco Marra

Ouro Branco - MG
Junho/2016

*“Isto sabemos
Todas as coisas estão ligadas
como o sangue que une uma família.
Tudo o que acontece com a Terra,
Acontece com os filhos e filhas da Terra.
O homem não tece a teia da vida;
Ele é apenas um fio.
Tudo o que faz à teia,
Ele faz a si mesmo.”*

Capra, F.

DEDICATÓRIA

Ao Senhor Deus por estar comigo.

Aos familiares e amigos pelo incentivo e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar a oportunidade de realizar este sonho, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, Regina e Antônio, por todo o apoio, carinho e dedicação incondicional. Eu não poderia ter pedido pais melhores.

Às minhas irmãs, Sarah e Sofia, que terão sempre um lugar mais que especial no meu coração.

Aos meus familiares, por acreditarem no meu potencial.

Ao meu namorado, Bruno, por estar ao meu lado, por todo amor e incentivo que têm me dado.

Ao meu orientador, Brenner Magnabosco Marra, pelo apoio, confiança e pelos ensinamentos.

Aos amigos, Vinícius, Raissa, Leonardo e Thaís, por terem tornado essa jornada menos árdua, cada momento ficará gravado para sempre no meu coração.

Às irmãs que a faculdade me presenteou, República SóFadinhas, que sempre me apoiaram e alegraram cada um dos meus dias durante este período. Independente da distância vocês estarão sempre no meu coração.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

Para atender às altas demandas alimentares, oriundas do crescimento acelerado da população mundial, a agricultura convencional é frequentemente empregada. O modelo se baseia na utilização de fertilizantes e defensivos sintéticos, capazes de acarretar graves danos ao meio ambiente quando usados de forma indiscriminada. Contrapondo-se a esse modelo, esforços recentes estão sendo canalizados a fim de se obter alternativas renováveis e sustentáveis capazes de aumentar a produtividade da plantação e a qualidade dos alimentos. Neste contexto, os fertilizantes organominerais à base de extratos de algas marinhas surgem como uma alternativa aos fertilizantes sintéticos convencionais, capazes de promover um crescimento melhorado das plantas, desencadear vias de resposta a doenças, aumentando a tolerância ao estresse e a saúde do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do extrato da macroalga marinha *Kappaphycus alvarezii* como matéria-prima para a formulação de fertilizante organomineral aplicado via tratamento de sementes de milho. Para a formulação do fertilizante, concentrações variadas de nutrientes minerais foram acrescidas ao extrato ou à fonte de carbono e utilizados no tratamento de sementes de milho DSS – 1001, conduzidos segundo as Regras para Análise de Sementes – RAS. Testes de germinação, do comprimento da raiz primária e da biomassa, foram realizados. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo Teste Tukey a 5% de significância quando houve significância no Teste F. As análises demonstraram que o fertilizante à base de extrato da macroalga proporcionou um aumento no comprimento da raiz primária das sementes tratadas. Mostrando seu bom potencial como fertilizante organomineral de ação bioestimulante no desenvolvimento radicular.

Palavras – chave: *Kappaphycus alvarezii*, fertilizante organomineral, macroalgas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE SÍMBOLOS	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 FERTILIZANTE ORGANOMINERAL	15
3.2 MACROALGAS MARINHAS	16
3.2.1 <i>KAPPAPHYCUS ALVAREZII</i>	18
3.2.2 EXTRATO DE ALGAS COMO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL 20	
3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 OBTENÇÃO DO EXTRATO DA MACROALGA.....	25
4.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	26
4.2.1 FORMULAÇÃO DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS	27
4.2.2 TRATAMENTO DE SEMENTES.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 OBTENÇÃO DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS	35
5.2 TRATAMENTO DE SEMENTES.....	37
6 CONCLUSÃO	41
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXO A	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção mundial de algas cultivadas em fazendas marinhas. Fonte: Costa, (2015).	18
Figura 2 – Cultivo tie –tie (Góes, 2007).....	20
Figura 3 - Representação esquemática dos efeitos fisiológicos provocados por extratos de algas e possíveis mecanismos de bioatividade. Fonte: adaptado de Khan <i>et al.</i> (2009).	22
Figura 4 – <i>Kappaphycus alvarezii</i> . Fonte: Prof. Brenner Marra.	25
Figura 5 – Cultivo em redes tubulares. Fonte: Prof. Brenner Marra.	26
Figura 6 – Desenvolvimento do trabalho experimental.	27
Figura 7 – Amostras 1, 3, 4, 5 e 7, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.....	35
Figura 8 - Amostras 2, 6, 9, 10, 11 e 12, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.....	35
Figura 9 - Amostras 16, 17, 18 e 19, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.....	36
Figura 10 - Amostras 8, 13, 14 e 15, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.....	36
Figura 11 – Estudo 2, amostras 1 e 2, e Estudo 3, amostras 3.1 e 3.2, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.	36
Figura 12 - Valores médios do comprimento da raiz primário (cm) de plântulas de milho.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química aproximada das algas marinhas.	17
Tabela 2 - Constituintes químicos do extrato de <i>Kappaphycus alvarezii</i>	21
Tabela 3 – Fitohormônios presentes na <i>Kappaphycus alvarezii</i>	23
Tabela 4 – Ensaios realizados juntamente com suas composições.....	27
Tabela 5 – Tratamento das sementes.	34
Tabela 6 – Análise de variância para a variável porcentagem de germinação, sob os tratamentos descritos na Tabela 5.....	38
Tabela 7 - Análise de variância para a variável comprimento da raiz.....	39
Tabela 8 – Análise de variância para a variável biomassa.	40
Tabela 9 – Formulações químicas comerciais utilizadas durante o experimento.....	46

LISTA DE SÍMBOLOS

AIA	Ácido indolacético
COT	Carbono Orgânico Total
MAP	Fosfato Monoamônico Cristal
NHT	Nanopartículas de Alta Tecnologia (Grupo Bio Soja)
Mn	Manganês
S	Enxofre
Mo	Molibdênio
Zn	Zinco
P₂O₅	Pentóxido de Fósforo
N	Nitrogênio
C	Carbono
Cu	Cobre
Co	Cobalto
ABA	Ácido Abscísico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

1 INTRODUÇÃO

A população mundial crescente evidenciou a necessidade de um aumento expressivo na produção de alimentos. Para atender a estas altas demandas alimentares a agricultura convencional é frequentemente empregada. O modelo é descrito como um conjunto de técnicas produtivas que surgiram em meados do século XIX, que se baseou na utilização de fertilizantes e defensivos sintéticos (Bhardwaj *et al.*, 2014). Os fertilizantes sintéticos são industrialmente manipulados, compostos de quantidades conhecidas de nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes, no entanto sua utilização indiscriminada acarreta danos ambientais, degradação da fertilidade do solo, erosão e contaminação da água, prejuízos nas plantações e danos para a saúde da população (Koyama *et al.*, 2012). Contrapondo-se a esse modelo, esforços recentes estão sendo canalizados a fim de se obter alternativas renováveis e sustentáveis capazes de aumentar a produtividade da plantação e a qualidade dos alimentos (Bhardwaj *et al.*, 2014).

Neste contexto, as macroalgas vêm demonstrando alto potencial na obtenção de produtos para uso agrícola, permitindo a substituição parcial de fertilizantes sintéticos convencionais (Zodape, 2001; Khan *et al.*, 2009; Zodape *et al.*, 2010). Diversos produtos comerciais à base de extratos de algas já estão disponíveis para uso na agricultura e horticultura, e são comercializados como fertilizantes líquidos. De acordo com Khan *et al.* (2009), as análises químicas das algas e dos seus extratos têm revelado a presença de uma grande variedade de substâncias promotoras do crescimento de plantas, tais como auxinas, citocininas e betaínas. Apesar da crescente evidência para a funcionalidade única, altamente específica e complexa das diversas moléculas presentes nos extratos, os seus modos de ação ainda não são claros (Arioli *et al.*, 2015).

Por serem fontes de um amplo espectro de compostos bioativos, o cultivo das macroalgas marinhas vem se fortalecendo e ganhando novo impulso ao redor do mundo (De Góes e Reis, 2009). Diante das macroalgas cultivadas em escala comercial, a *Kappaphycus alvarezii* apresenta-se como potencial fonte de biomassa para obtenção de diversos compostos de expressivo interesse industrial (Hayashi, 2007).

O extrato da alga vermelha *Kappaphycus alvarezii*, identificado como rico em nutrientes, dentre eles hormônios (AIA, giberelinas, zeatinas, citocininas); vitaminas e minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, zinco, manganês, molibdênio, sódio, ferro), é capaz de promover um maior rendimento da cultura, melhoria das estruturas da raiz e no desenvolvimento das plantas, como floração, desenvolvimento

foliar e frutificação, maior tolerância a doenças e estresses climáticos, como frio ou seca. Incluem-se ainda melhorias na estrutura do solo, na capacidade de retenção de água no solo e na microbiologia presente no mesmo (Khan *et al.*, 2009; Arioli *et al.*, 2015).

Embora tais efeitos benéficos da aplicação do extrato de macroalgas como fertilizantes organominerais tenham sido comprovados em diferentes culturas, tais como feijão (Rosolem, 1997; Sivasankari *et al.*, 2006; Zodape *et al.*, 2010), trigo (Zodape *et al.*, 2009), algodoeiro (Vieira, 2005) e soja (Rathore *et al.*, 2009), sua utilização na agricultura ainda é bastante divergente, o que mostra a necessidade de novas pesquisas para melhor avaliar seus efeitos, uma vez que as respostas das plantas variam em função da espécie, do estágio de desenvolvimento, da concentração do extrato e da interação entre reguladores vegetais e fatores ambientais, como temperatura e umidade (Koyama *et al.*, 2012).

Com base no exposto, o presente trabalho busca avaliar o potencial agrônômico do extrato da macroalga marinha *Kappaphycus alvarezii* como matéria-prima na formulação de fertilizante organomineral aplicado via tratamento de sementes de milho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o potencial agronômico da macroalga marinha *Kappaphycus alvarezii* como matéria-prima para a formulação de fertilizante organomineral aplicado via tratamento de sementes de milho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o uso do extrato líquido da macroalga marinha *Kappaphycus alvarezii* como matéria-prima para formulação de fertilizantes organominerais no tratamento de sementes de milho;
- Desenvolver formulações de fertilizantes organominerais utilizando diferentes nutrientes minerais: Mn, S, Mo, Zn, P₂O₅, N, C, Cu e Co;
- Testar formulações selecionadas quanto à germinação de sementes, comprimento da raiz e biomassa produzida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FERTILIZANTE ORGANOMINERAL

Na agricultura convencional, os fertilizantes sintéticos vêm sendo usados sem a devida observação da complexidade de fatores que interagem no ecossistema, se tornando a maior causa de desequilíbrios ambientais. Segundo Ramya *et al.* (2015), os fertilizantes podem desencadear degradação da fertilidade do solo, tornando-o ácido e inadequado para o cultivo das plantações, resistência aos pesticidas, ressurgimento e desencadeamento de pragas secundárias e quebra da cadeia alimentar devido à eliminação de inimigos naturais. O uso intensivo destes insumos tem ocasionado ainda, erosão do solo, contaminação da água, envenenamento por pesticidas, alagamento e perda de biodiversidade (Medeiros e Lopes, 2006; Ramya *et al.*, 2015).

Medeiros e Lopes (2006) relataram que agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, quando absorvidos pelas plantas são transportados para seu interior tornando-se capazes de interferir na fisiologia vegetal. Essa interferência reduz a proteossíntese, pois desencadeia um acúmulo de aminoácidos livres e açúcares redutores, que são utilizadas pelas pragas e agentes fitopatogênicos.

Como uma alternativa à agricultura convencional atual surgem os fertilizantes organominerais, revelando-se uma alternativa sustentável para a suplementação de nutrientes em plantações e controle de fitopatógenos (Zodape *et al.*, 2010; Porto, 2011).

O fertilizante organomineral apresenta em sua composição elementos nutricionais necessários ao desenvolvimento vegetal (Santos, 1991), funcionando como promotor de crescimento, através do equilíbrio nutricional, e como elicitores na indução de resistência sistêmica da planta (Medeiros e Lopes, 2006). Sua importância reside ainda na melhoria das condições físicas e biológicas do solo, contribuindo para um melhor aproveitamento dos nutrientes aplicados. Em sua constituição, apresentam uma combinação entre fertilizantes orgânicos e minerais, passíveis de exercer funções fitohormonais e auxiliar no controle biológico de pragas e doenças (Scher *et al.*, 2003).

Por apresentarem em sua composição uma gama de elementos nutricionais e fitohormonais, as macroalgas apresentam um grande potencial para uso agrícola. Apesar de já serem utilizadas como fertilizantes há séculos, principalmente nas regiões litorâneas do hemisfério Norte, somente nos últimos anos passaram a ser comercializadas com objetivo de melhorar a taxa de germinação de sementes, crescimento do sistema radicular, produção de flores, frutificação e indução de

resistência às pragas e doenças, e estimular respostas a condições de estresse, principalmente o hídrico (Porto, 2011; Ramya *et al.*, 2015).

Atualmente, mais de 15 milhões de toneladas de produtos à base de alga são usados como suplementos nutricionais na agricultura e horticultura, comercializados na forma seca ou extrato líquido (Zodape *et al.*, 2010; Ramya *et al.*, 2015).

3.2 MACROALGAS MARINHAS

As macroalgas marinhas são formações vegetais existentes nos mares e oceanos capazes de realizar fotossíntese, servindo de alimento e abrigo para muitas espécies de organismos aquáticos (Khan *et al.*, 2009). Essa biomassa compõe um grupo muito diverso de organismos, fotossintéticos não vasculares, providos de estruturas reprodutivas desprotegidas, produtoras de esporos e desprovidas de flores e sementes. São denominadas plantas inferiores (talófitas), por não apresentarem uma estrutura vegetal diferenciada em raiz, caule e folhas (Khan *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2014).

Em termos bioquímicos e fisiológicos, estes organismos são semelhantes em muitos aspectos às outras plantas, tendo as mesmas vias bioquímicas básicas. Possuem como pigmento fotossintético a clorofila A, carotenóides (β -caroteno e fucoxantina), ficocianina e ficoeritrina como pigmentos acessórios. Os polissacarídeos e as proteínas biossintetizados, presentes nas algas, são também comparáveis aos das plantas superiores (Hargreaves, 2013).

As algas são um importante elo da cadeia alimentar, por possuírem um papel fundamental na manutenção da vida marinha. Esses organismos possuem importância não só do ponto de vista econômico, mas ambiental e social por diversas razões: são responsáveis pela elevada taxa de fotossíntese do bioma marinho; importantes produtoras de oxigênio e matéria orgânica; proporcionam alimento e abrigo aos organismos aquáticos, suportando a continuidade da fauna existente (Hargreaves, 2013).

De acordo com Khan *et al.* (2009), estima-se que existem cerca de 9000 espécies de macroalgas amplamente classificadas em três grupos principais com base na sua pigmentação, como algas castanhas (*Phaeophyta*), algas vermelhas (*Rhodophyta*) e algas verdes (*Chlorophyta*). Suas composições químicas médias são indicadas na tabela 1.

Reconhecidas como organismos promissores (Ramya *et al.*, 2015), as algas desenvolveram estratégias de defesa para sobreviver em um ambiente altamente

competitivo, resultando em níveis significantes de diversidade química-estrutural, a partir de diferentes vias metabólicas (Cardozo *et al.*, 2007; Craigie, 2011). Por serem fontes de um amplo espectro de compostos bioativos, são capazes de ser utilizadas nas indústrias alimentícias, farmacêuticas, de cosméticos, e na agricultura, como fertilizantes e bioestimulantes (Santos *et al.*, 2014).

Tabela 1 - Composição química aproximada das algas marinhas.

Componentes	Algas castanhas	Algas vermelhas	Algas verdes
	(%)	(%)	(%)
Água¹	75 -90	70 – 80	70 – 85
Minerais²	30 – 50	25 – 35	10 – 25
Carboidratos	30 – 50 ³	30 – 60 ⁴	25 – 50 ⁵
Proteínas	7 – 15	7 – 15	10 – 15
Lipídeos	2 – 5	1 – 5	1 – 5
Celulose	2 – 10	2 – 10	20 – 40

¹do peso fresco; ²do peso seco; ³principalmente alginato e fucose; ⁴poligalactanas sulfatadas e xilanas; ⁵celulose e amido principalmente.

Fonte: Hargreaves (2013).

Dentre os compostos extraídos de macroalgas, se destacam aminoácidos, vitaminas, citocininas, auxinas e ácido abscísico (ABA) (Stirk *et al.*, 2003), que atuam como promotores do desenvolvimento vegetal, proteção contra fitopatógenos e indução de resistência nos vegetais (Porto, 2011).

O interesse pelo potencial biotecnológico dos compostos provenientes das algas marinhas é recente e nas últimas décadas a descoberta de metabólitos com atividade biológica a partir de macroalgas cresceu substancialmente (Dapper *et al.*, 2013).

Nesse contexto, o cultivo de plantas marinhas, que já se apresentava em posição de destaque na aquicultura mundial, vem se fortalecendo e ganhando um novo impulso ao redor do mundo, Figura 1 (De Góes e Reis, 2009).

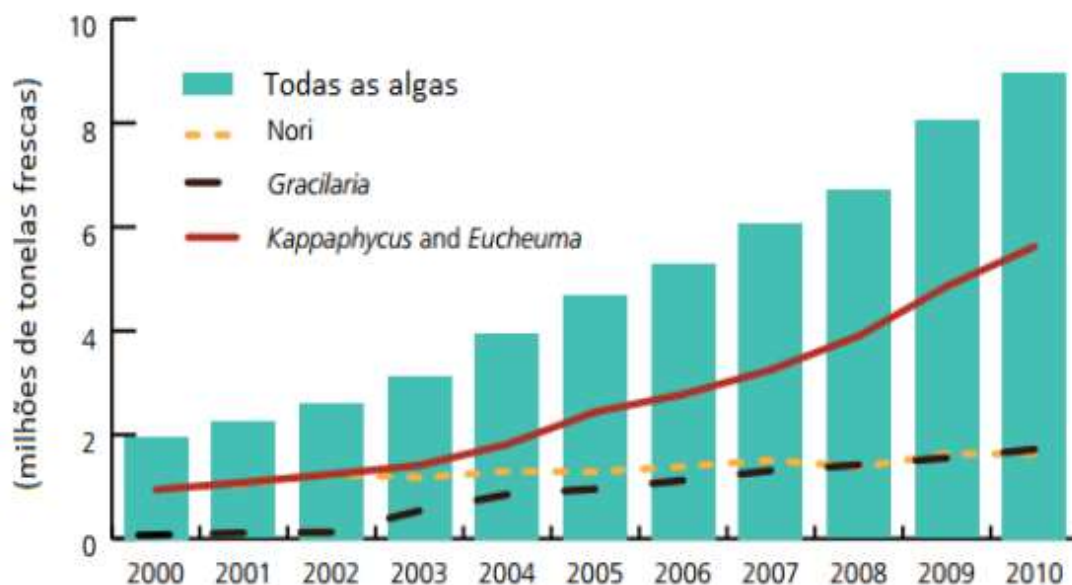


Figura 1 – Produção mundial de algas cultivadas em fazendas marinhas. Fonte: Costa, (2015).

No Brasil, um plano de cultivo foi iniciado em 1995 visando avaliar os riscos ambientais da introdução da macroalga exótica *Kappaphycus alvarezii* e a viabilidade econômica de sua maricultura, em Ubatuba – SP. Os resultados obtidos indicaram que as altas taxas de crescimento e o comportamento previsível de produção de biomassa, sugere a possibilidade de cultivo da espécie em grande parte do litoral brasileiro, particularmente em latitudes menores, com temperaturas mais altas (Faccini, 2007; Santos *et al.*, 2014). Atualmente, a *K. alvarezii* é a única macroalga carragenófito cultivada comercialmente em todo o território brasileiro (De Góes e Reis, 2009).

3.2.1 *KAPPAPHYCUS ALVAREZII*

A macroalga *Kappaphycus alvarezii* é uma espécie Eukaryota, pertencente à divisão Rhodophyta, classe Florideophyceae, ordem Gigartinales, família Areschougaceae e gênero *Kappaphycus* (De Góes e Reis, 2009; Webber, 2010). É descrita como uma espécie perene, com ocorrência natural nas regiões de clima tropical, habitando áreas de recifes de coral da região do Indo-Pacífico, do Leste da África até Guam, China, Japão e ilhas do Sudeste Asiático (Faria, 2012).

As algas vermelhas – Rhodophytas são predominantemente marinhas, apresentam em sua estrutura clorofilas A e D, carotenóides e ficobilinas, ficocianina, aloficocianina e ficoeritrina. São produtoras de compostos halogenados, que variam de peptídeos, policetídeos, indóis, terpenos, acetogeninas e fenóis, aos hidrocarbonetos halogenados voláteis (Costa, 2015). São capazes de sintetizar grandes quantidades de polissacarídeos

sulfatados, constituintes da sua parede celular. Diversas atividades biológicas estão associadas com metabólitos de algas marinhas vermelhas, como antibacteriano, antifúngico, antiviral, anti-inflamatória, citotóxica e propriedades inseticidas (Costa, 2015).

Esta espécie pode atingir até um metro de comprimento com os ramos mais grossos, chegando a pesar mais de um kg (peso úmido). O talo é bem ramificado, com ramos dispostos irregularmente em todos os planos. Os ramos afinam para o ápice, e em geral, terminam em ponta (Hayashi, 2007).

Hargreaves (2013) relata que a *K. alvarezii* é encontrada geralmente em áreas rasas e adapta-se bem a altos níveis de iluminação apresentando elevada taxa de crescimento. Apesar de se mais adaptar a águas claras e limpas, suporta águas turvas causadas por sedimentação em suspensão, quando não são constantes ou por períodos muito prolongados. Cresce a uma temperatura entre 20°C e 32°C, concentrações de amônia e de nitrato de aproximadamente um a dois μmol s e de fósforo de meio a um μmol são suficientes (Hargreaves, 2013).

Diante das macroalgas marinhas cultivadas atualmente em escala comercial, a *Kappaphycus alvarezii* apresenta-se como potencial fonte de biomassa para obtenção de diversos compostos de expressivo interesse industrial (Hayashi, 2007).

O aumento da produção *K alvarezii* a fim de suprir a crescente necessidade do mercado só se tornou possível com o avanço das técnicas de cultivo deste organismo, conhecido como tie-tie. Esta forma de cultivo é um processo baseado no princípio de propagação vegetativa, onde porções do talo são amarradas em cabos de cultivo e esses são mantidos fixos em sistemas flutuantes, como balsas (figura 2) (Costa, 2015). Deste modo, a *K. alvarezii* é capaz de se multiplicar continuamente através de ciclos de cultivo que variam de 40 a 60 dias (Costa, 2015).

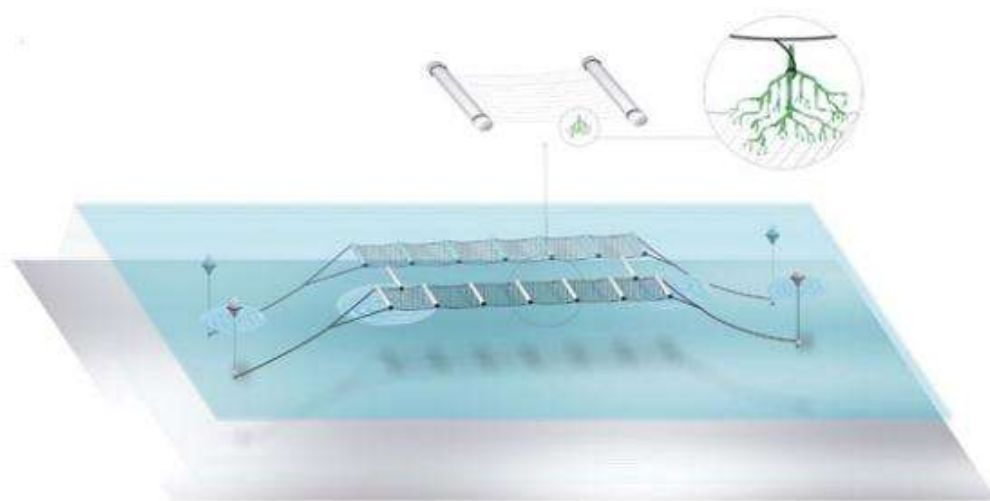


Figura 2 – Cultivo tie –tie (Góes, 2007).

3.2.2 EXTRATO DE ALGAS COMO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL

Nos últimos anos, o uso de extratos líquidos ganhou popularidade devido ao seu potencial sustentável, sua capacidade de aumentar a produtividade e a absorção de nutrientes pelas plantas. Ao contrário dos adubos minerais, extratos derivados de algas marinhas são biodegradáveis, não tóxicos, não poluentes e não perigosos para seres humanos, animais e aves (Rathore *et al.*, 2009).

Uma diversidade de biomassa algal é processada a fim de se obter o extrato utilizando diferentes sistemas de produção, tais como hidrólise ácida ou alcalina, rompimento celular sob pressão ou fermentação (Arioli *et al.*, 2015).

Numerosos estudos têm demonstrado que o efeito benéfico da aplicação desse extrato é resultado da interação sinérgica de uma complexidade de componentes, embora o modo de ação ainda permaneça desconhecido (Khan *et al.*, 2009). Quando analisada a composição química da *K. alvarezii*, podem ser encontradas algumas classes de compostos, tais como: sais solúveis; fibras; sulfatados orgânicos; hormônios (AIA, giberelinas, zeatinas, citocininas); vitaminas; minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, zinco, manganês, molibdênio, sódio, ferro) e polissacarídeos como carragenana (Khan *et al.*, 2009; Zodape *et al.*, 2009), descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Constituintes químicos do extrato de *Kappaphycus alvarezii*.

Constituintes da seiva	Valores
Nitrogênio (%)	0,45 – 0,70
Fósforo (%)	0,007 – 0,01
Potássio (%)	1,60 – 2,10
Matéria orgânica (%)	1,05 – 1,40
Sódio (%)	0,45 – 0,70
Cálcio (%)	0,04 – 0,06
Magnésio (%)	0,06 – 0,07
Manganês (ppm)	6 – 9
Ferro (ppm)	100 – 160
Cobre (ppm)	7 – 11
Zinco (ppm)	19 – 25
Cobalto (ppm)	2 – 5
Molibdênio (ppm)	2
Sulfato (%)	1,06 – 1,20
Cloreto (%)	2,36 – 2,70
AIA (ppm)	25,14
Cinetina (ppm)	8,50
Zeatina (ppm)	20,10
Giberlinas (ppm)	27,11

Fonte: Zodape *et al.* (2009)

Entre os benefícios oriundos da aplicação de extratos de algas (figura 3) incluem-se: maior rendimento da cultura, melhoria das estruturas da raiz, melhoria no desenvolvimento das plantas, como floração, desenvolvimento foliar e frutificação, maior tolerância às doenças e estresses climáticos, como frio ou seca. Incluem-se ainda melhorias na estrutura do solo, na capacidade de retenção de água no solo e na microbiologia presente no mesmo. Tais efeitos podem ser explicados pela interação entre os compostos bioativos presentes nas algas e as plantas (Khan *et al.*, 2009; Arioli *et al.*, 2015).

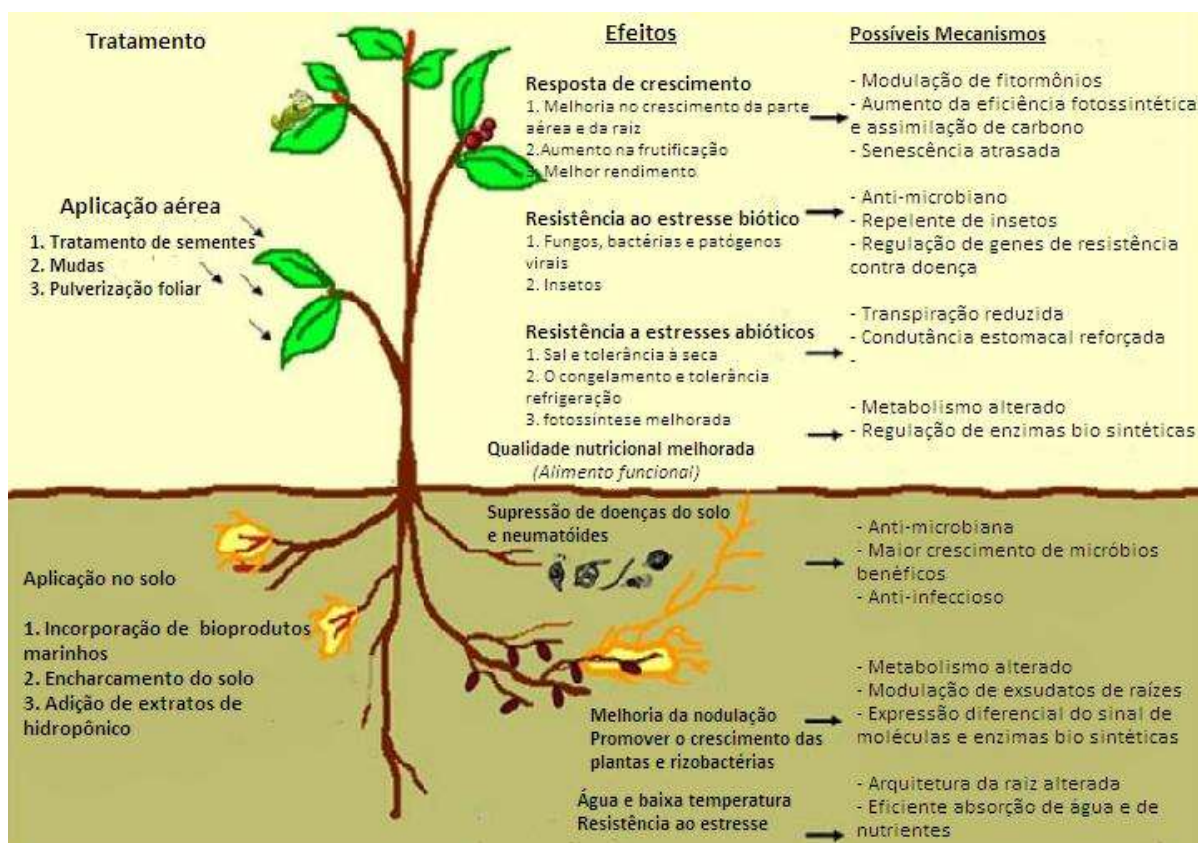


Figura 3 - Representação esquemática dos efeitos fisiológicos provocados por extratos de algas e possíveis mecanismos de bioatividade. Fonte: adaptado de Khan *et al.* (2009).

Uma planta precisa de diversos fatores, internos e externos, para o seu crescimento e desenvolvimento, e isto inclui diferenciar-se e adquirir formas, originando uma variedade de células, tecidos e órgãos (Albrecht *et al.*, 2009). Como fatores externos que afetam o crescimento e desenvolvimento de vegetais, podemos citar luz, dióxido de carbono, água, minerais, temperatura, fotoperíodo, tropismos e contatos com outras plantas ou objetos. Os fatores internos envolvem basicamente compostos químicos, dentre eles os chamados hormônios vegetais ganham maior destaque (Albrecht *et al.*, 2011).

Atualmente, os conhecimentos sobre os fitohormônios presentes nas algas ainda são bastante fragmentados, no entanto, alguns dos hormônios presentes nas algas vermelhas já foram caracterizados, tabela 3 (Tarakhovskaya *et al.*, 2007).

Tabela 3 – Fitohormônios presentes na *Kappaphycus alvarezii*.

Algas	Hormônios	Atividade Fisiológica Básica
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Auxinas (AIA)	Indução do alongamento; diferenciação dos elementos do floema; dominância apical; tropismos; iniciação da formação de raízes.
	Giberlinas	Controle da divisão celular; desenvolvimento do botão e do limbo; senescência tardia;
	Citocininas	Alongamento da haste; início da germinação de sementes.

Fonte: adaptado Tarakhovskaya *et al.* (2007).

A presença de hormônios vegetais nos extratos, presentes em concentrações maiores do que nas plantas, resulta em sistemas de raízes melhoradas capazes de absorver água e nutrientes de forma eficiente, influenciando diretamente no crescimento da planta (Khan *et al.*, 2009).

Produtos à base de algas são capazes ainda de melhorar o conteúdo de clorofila presente (Blunden *et al.*, 1996) e desencadear floração e frutificação precoce (Crouch e Van Staden, 1992).

Além de promover o crescimento das plantas, as algas também afetam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Craigie, 2011). De acordo com Khan *et al.* (2009), os extratos a base de algas melhoram a saúde do solo, a capacidade de retenção da umidade e promovem o crescimento de microorganismos, capazes de secretar substâncias condicionantes benéficas ao solo.

Estresses abióticos, tais como seca, salinidade e temperatura extremas podem reduzir o rendimento das principais culturas, manifestando-se na forma de estresse osmótico e estresse oxidativo. Quando isso ocorre, há acúmulo de espécies reativas do oxigênio, tais como ânion superóxido ($O_2^{\cdot -}$) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Essas espécies são conhecidas por causar danos ao DNA, lipídios, hidratos de carbono e proteínas e erros durante a sinalização celular (Khan *et al.*, 2009).

Estudos revelaram que as substâncias bioativas derivadas das algas são capazes de transmitir tolerância ao estresse e melhorar o desempenho da planta (Khan *et al.*, 2009; Craigie, 2011). Os mecanismos fisiológicos de ação dos compostos que conferem essa tolerância são em grande parte desconhecidos. No entanto, numerosos relatos sugerem que os efeitos benéficos podem estar relacionados com a atividade da citocinina (Khan *et al.*, 2009).

Segundo Allen *et al.* (2001), para se proteger contra a invasão de patógenos as plantas reconhecem moléculas sinalizadoras (indutores) frequentemente encontradas na parede celular do patógeno, tais como: oligossacarídeos, peptídeos, proteínas e lipídeos. O extrato apresenta uma variedade de polissacarídeos que funcionarão como indutores, dentre eles caragenanas, galactanos lineares sulfatados (Mercier *et al.*, 2001), capazes de estimular de forma eficiente a defesa das plantas (Khan *et al.*, 2009).

Por essa razão, quando tratadas com extratos de algas as plantas apresentaram defesa melhorada contra pragas e doenças (Allen *et al.*, 2001) e redução na infestação por neumatóides (Wu *et al.*, 1998).

3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A legislação que trata sobre a produção e comercialização de fertilizantes, corretivos e inoculantes agrícolas é definida pela Lei nº 6.894 de 16/12/1980, alterada pela Lei nº 6.934 de 13/07/1981, as quais estão regulamentadas pelo Decreto nº 86.955 de 18/02/1982 e pelas Portarias MA-84 de 29/03/1982, SNAD-31 de 08/06/1982, SEFIS-01 de 04/03/1983, SEFIS-01 de 24/05/1984, SEFIS de 30/01/1986 e SEFIS-03 de 12/02/1986, todas do Ministério da Agricultura.

Decreto nº 86.955, datada de 1982, contém, pela primeira vez em uma lei, o termo fertilizante organomineral, definida no capítulo I das disposições preliminares como um "adubo resultante de uma mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos" (Costa, 2015).

Segundo a Instrução Normativa nº 23 de 2007 e a nº 25 de 2009, quando os extratos de algas marinhas não atingem as exigências mínimas para registro como fertilizante mineral, orgânico ou organomineral, é reconhecido e autorizado pelo MAPA apenas como aditivos estabilizantes e complexantes para esses próprios produtos (Costa, 2015).

Em meio aos parâmetros solicitados pelo MAPA, para registro dessa classe de produtos, está o conteúdo de carbono orgânico, macro e micronutrientes, dentre outras exigências (Costa, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DO EXTRATO DA MACROALGA

A macroalga *Kappaphycus alvarezii*, figura 4, é produzida no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, utilizando o sistema de cultivo comumente conhecido como rede tubular, semelhante ao sistema de cultivo “tie-tie”, figura 5, com ciclo vegetativo de duração aproximada 40 – 60 dias.

O extrato utilizado é obtido segundo a metodologia descrita por Eswaran *et al.* (2005). A alga fresca sofre primeiramente um processo de lavagem em água corrente, a fim de eliminar possíveis impurezas presentes. Em seguida ocorre a trituração da alga em liquidificador, para liberação da seiva. Por fim a solução gerada é filtrada, originando duas frações: biomassa sólida e extrato líquido. Somente o extrato líquido, no entanto, foi utilizado neste trabalho.



Figura 4 – *Kappaphycus alvarezii*. Fonte: Prof. Brenner Marra.



Figura 5 – Cultivo em redes tubulares. Fonte: Prof. Brener Marra.

4.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O trabalho consiste em duas etapas (figura 6): formulação do fertilizante organomineral e tratamento das sementes. A etapa inicial, formulação do fertilizante organomineral, é caracterizada pela preparação e obtenção dos fertilizantes, empregando o extrato da macroalga *Kappaphycus alvarezii* e adição de formulações químicas comerciais (descritas no Anexo A) essenciais para o crescimento vegetal. Os procedimentos experimentais laboratoriais foram conduzidos no Laboratório Biotecnológico da Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), no período de agosto de 2015 a maio de 2016.

As formulações obtidas (tabela 4) foram observadas quanto à capacidade de solubilização e mistura do extrato da macroalga e do fermentado de mandioca, utilizado como fonte de carbono orgânico total (COT), com os demais nutrientes, quanto à formação de fases e ocorrência de precipitação.

Na fase seguinte, tratamento das sementes, as formulações dos fertilizantes organominerais obtidas na etapa anterior foram utilizadas no tratamento de sementes de milho, variedade DSS -1001.

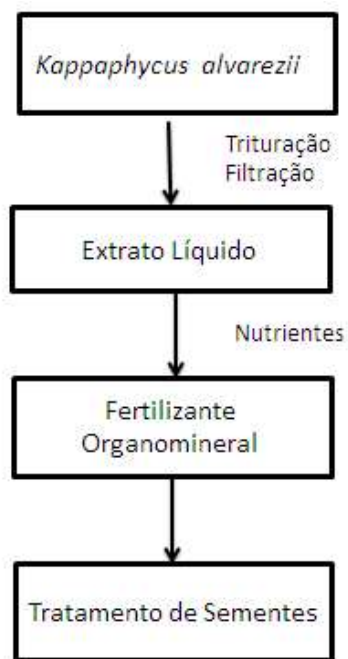


Figura 6 – Desenvolvimento do trabalho experimental.

4.2.1 FORMULAÇÃO DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

De maneira geral, os fertilizantes organominerais foram obtidos através da mistura do extrato da macroalga a concentrações diversificadas de formulações químicas comerciais (Anexo A) com o objetivo de se obter formulações capazes de aumentar o desempenho das misturas e a produtividade. Os ensaios são descritos na tabela 4, juntamente com as concentrações relativas a cada nutriente.

Tabela 4 – Ensaios realizados juntamente com suas composições.

Experimento 1		
Amostras	Formulação	Concentração Final
	Extrato da macroalga	
Amostra 1	COT	10% Carbono

Amostra 2	Extrato da macroalga	
	COT	10% Carbono
	Molibdato de sódio	0,5% Molibdênio
Amostra 3	COT	13,6% Carbono
	Nutrixofre	0,88% Enxofre
	Molibdato de sódio	0,13% Molibdênio
	Quelato de Zinco	0,61% Zinco
	Quelato de Manganês	1,05% Manganês
	Sulfato de Manganês	
	Extrato da macroalga	
Amostra 4	Molibdato de sódio	0,124% Molibdênio
	Quelato de Zinco	0,61% Zinco
	COT	13,6% Carbono
	Quelato de Manganês	1,06% Manganês
	Sulfato de Manganês	
	Extrato da macroalga	
Amostra 5	Magnésio NHT	0,54% Magnésio
	Quelato de Manganês	0,91% Manganês
	MAP purificado	4,85% P ₂ O ₅
	Extrato da macroalga	0,89% Nitrogênio
	COT	13,6% Carbono
Amostra 6	Molibdato de sódio	0,13% Molibdênio
	Zinco NHT	3% Zinco
	Fertilis Express	0,69% Enxofre
	Fertilis Boro	0,3% Boro
	Manganês NHT	2,25% Manganês
	Fulland	0,175% Cobre
	Extrato da macroalga	1% P ₂ O ₅
	COT	10,8% Carbono
Amostra 7	Extrato da macroalga	
	COT	9,9% Carbono
	Ácido fosfórico	0,51% P ₂ O ₅
	COT	19,8% Carbono

Amostra 8	Ácido fosfórico	0,51% P ₂ O ₅
Amostra 9	COT	13,2% Carbono
	Quelato de Manganês	0,87% Manganês
	Quelato de Zinco	0,21% Zinco
	Fulland	0,21% Cobre
	Molibdato de sódio	0,13% Molibdênio
	Magnésio NHT	1,02% Magnésio
	Fertilis Boro	0,12% Boro
	Nutrixofre	1.63% Enxofre
	MAP purificado	1,1% Nitrogênio
		7,2% P ₂ O ₅
Amostra 10	COT	11,4% Carbono
	Fulland	0,21% Cobre
	Magnésio NHT	1% Magnésio
	Fertilis Boro	0,13% Boro
	Zinco NHT	3% Zinco
	Nutrixofre	1,31% Enxofre
	Fertilis Manganês	2,19% Manganês
	Quelato de Manganês	1,1% Nitrogênio
	Molibdato de Sódio	0,15% Molibdênio
	MAP purificado	13,28% P ₂ O ₅
Amostra 11	Quelato de Manganês	0,88% Manganês
	Quelato de Zinco	0,2% Zinco
	Molibdato de Sódio	0,14% Molibdênio
	Magnésio NHT	1% Magnésio
	Fertilis Boro	0,12% Boro
	Nutrixofre	1,61% Enxofre
	MAP purificado	1,1% Nitrogênio
	Fulland	7,22% P ₂ O ₅
	Extrato da macroalga	0,21% Cobre
	MAP purificado	13,27% P ₂ O ₅
	Fulland	1,1% Nitrogênio
	Quelato de Manganês	0,21% Cobre

Amostra 12	Fertilis Manganês	2,2% Manganês
	Zinco NHT	3% Zinco
	Molibdato de sódio	0,12% Molibdênio
	Magnésio NHT	1% Magnésio
	Fertilis Boro	0,13% Boro
	Nutrixofre	1,21% Enxofre
	Extrato da macroalga	
Amostra 13	Molibdato de sódio	0,13% Molibdênio
	Fertilis Boro	0,12% Boro
	Quelato de Zinco	1% Zinco
	Sulfato de Manganês	2% Manganês
	Extrato da macroalga	
Amostra 14	Molibdato de sódio	0,12% Molibdênio
	Fertilis Boro	0,13% Boro
	Quelato de Zinco	1% Zinco
	Sulfato de Manganês	1,98% Manganês
	Nutrixofre	0,82% Enxofre
	Extrato da macroalga	
Amostra 15	Molibdato de Sódio	0,12% Molibdênio
	Fertilis Boro	0,13% Boro
	Quelato de Zinco	1% Zinco
	Sulfato de Manganês	2% Manganês
	Fulland	0,35% P ₂ O ₅
	Extrato da macroalga	0,03% Enxofre 0,06% Cobre
Amostra 16	Molibdato de sódio	0,13% Molibdênio
	Fertilis Boro	0,12% Boro
	Quelato de Zinco	1% Zinco
	Sulfato de Manganês	2% Manganês
	Nutrixofre	0,83% Enxofre
	Fulland	0,34% P ₂ O ₅
	Extrato da macroalga	0,06% Cobre
	Molibdato de Sódio	0,1% Molibdênio

Amostra 17	Fertilis Boro	0,1% Boro
	Quelato de Zinco	0,51% Zinco
	Sulfato de Manganês	1% Manganês
	Nutrixofre	0,38% Enxofre
	Magnésio NHT	1% Magnésio
	Fulland	1,7% P ₂ O ₅
	P ₅₁	0,05% Cobre
	Extrato da macroalga	0,03% Nitrogênio
Amostra 18	Sulfato de Manganês	1,98% Manganês
	Quelato de Zinco	1% Zinco
	Fertilis Boro	0,11% Boro
	Molibdato de sódio	0,099% Molibdênio
	Magnésio NHT	0,99% Magnésio
	COT	12% Carbono
	Fulland	1,69% P ₂ O ₅
	P ₅₁	0,05% Cobre
Amostra 19	Extrato da macroalga	0,028% Nitrogênio 0,025% Enxofre
	Sulfato de Manganês	1,99% Manganês
	Quelato de Zinco	1,01% Zinco
	Fertilis Boro	0,105% Boro
	Molibdato de Sódio	0,097% Molibdênio
	COT	12% Carbono
	Fulland	1,674% P ₂ O ₅
	P ₅₁	0,05% Cobre
Amostra 1	Extrato da macroalga	0,0252% Enxofre 0,027% Nitrogênio 12% Carbono
	Experimento 2	
	Molibdato de Sódio	0,156% Molibdênio
	COT	12% Carbono
Amostra 1	Fulland	0,294% P ₂ O ₅
	Extrato da macroalga	0,026% Enxofre

		0,051% Cobre
	Molibdato de Sódio	0,198% Molibdênio
	COT	12% Carbono
Amostra 2	Sulfato de Cobre	0,36% Cobre
	Extrato da macroalga	0,175% Enxofre
Experimento 3		
	Molibdato de Sódio	0,21% Molibdênio
	Sulfato de Cobalto	0,0632% Cobalto
	Fertilis Boro	0,256% Boro
Amostra 3.1	Quelato de Manganês	0,32% Manganês
	Magnésio NHT	0,528% Magnésio
	COT	15,6% Carbono
	P ₅₁	14,27% P ₂ O ₅
		0,035% Enxofre
		0,28% Nitrogênio
	COT	15,6% Carbono
	Magnésio NHT	1,42% Magnésio
	Quelato de Zinco	0,60% Zinco
Amostra 3.2	Molibdato de Sódio	0,801% Molibdênio
	Sulfato de Cobalto	0,048% Cobalto
	Fulland	0,082% P ₂ O ₅
		0,0334% Enxofre
		0,014% Cobre

4.2.2 TRATAMENTO DE SEMENTES

As sementes utilizadas foram adquiridas comercialmente, empresa DI SOLO, localizada na cidade de São Carlos/SP. As formulações selecionadas, Estudo 2 (Amostra 1), Estudo 2 (Amostra 2), Amostra 3.1 e Amostra 3.2, foram utilizadas para o tratamento de sementes de milho, variedade DSS – 1001, conforme mostrado na tabela

5. A cultivar foi escolhida aleatoriamente e suas características fenotípicas não foram avaliadas neste experimento.

Os experimentos foram conduzidos conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (Mapa, 2009). Foram realizados os seguintes testes: porcentagem de germinação, comprimento e peso das plântulas.

Para o tratamento das sementes, as doses citadas na tabela 5 foram adicionadas (3 mL/Kg de semente), com auxílio de uma pipeta a 166 sementes de milho contidas em sacos plásticos. Cada amostra foi agitada e homogeneizada, com o objetivo de aumentar o contato entre o fertilizante e as sementes. Os sacos foram mantidos por 24 horas em germinador tipo câmara vertical tipo B.O.D. a temperatura constante de 25°C.

Decorrido este tempo, cada amostra foi dividida em três sub amostras contendo o equivalente a 50 sementes em cada. As sementes foram semeadas em cinco folhas de papel toalha, umedecidas com 25 mL de água, embrulhadas em forma de rolo, colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e acondicionadas em germinador tipo câmara vertical tipo B.O.D. a temperatura de 25°C.

As avaliações foram realizadas após quatro dias, sendo computada inicialmente a porcentagem de sementes germinadas. O comprimento das plântulas foi realizado em seguida com auxílio de uma régua milimetrada, sendo utilizadas as dez maiores plântulas de cada triplicada totalizando trinta sementes por tratamento. Após a aferição do comprimento, foi pesada a biomassa das sementes em cada amostra.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste Tukey a 5% de significância quando houve significância no Teste F. Nas análises estatísticas foi empregado o software Past, versão 2.17c.

Tabela 5 – Tratamento das sementes.

Tratamentos	Composição final	Dose (mL)
Água	-	0,3
COT	20% Carbono	0,3
Estudo 3.1	14,27% P ₂ O ₅	0,3
	0,528% Magnésio	
	0,256% Boro	
	0,035% Enxofre	
	0,28% Nitrogênio	
	0,32% Manganês	
	0,21% Molibdênio	
Estudo 3.2	0,0632% Cobalto	0,3
	15,6% Carbono	
	1,42% Magnésio	
	0,801% Molibdênio	
	0,0334% Enxofre	
	0,048% Cobalto	
	0,60% Zinco	
Estudo 2 (Amostra 1)	0,082% P ₂ O ₅	0,3
	0,014% Cobre	
	15,6% Carbono	
	0,156% Molibdênio	
	0,294% P ₂ O ₅	
Estudo 2 (Amostra 2)	0,026% Enxofre	0,3
	0,051% Cobre	
	12% Carbono	
	0,198% Molibdênio	
Estudo 2 (Amostra 2)	0,36% Cobre	0,3
	0,175% Enxofre	
	12% Carbono	

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 OBTENÇÃO DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

As formulações realizadas (tabela 1) são demonstradas nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11.



Figura 7 – Amostras 1, 3, 4, 5 e 7, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.



Figura 8 - Amostras 2, 6, 9, 10, 11 e 12, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.



Figura 9 - Amostras 16, 17, 18 e 19, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.



Figura 10 - Amostras 8, 13, 14 e 15, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.



Figura 11 – Estudo 2, amostras 1 e 2, e Estudo 3, amostras 3.1 e 3.2, antes e depois de um processo de agitação. Fonte: Próprio Autor.

Na figura 8 foi possível observar que as amostras 6, 9 e 11, apresentaram uma solubilização parcial dos componentes, indicando que algum composto adicionado apresenta um teor maior do que seu produto de solubilidade. Nas formulações 10 e 12, ocorreu reação exotérmica após a adição Fertilis Manganês, indicando uma possível incompatibilidade entre os compostos.

Durante a formulação de um fertilizante líquido, a compatibilidade e solubilidade, são aspectos de extrema importância por influenciar diretamente na qualidade do produto gerado e no manejo da fertirrigação. O parâmetro solubilidade se refere aos teores solúveis em água (produto de solubilidade) de cada composto adicionado, já a compatibilidade está relacionada às possíveis reações físicas, químicas e físico-químicas que podem ocorrer durante a mistura de um fertilizante (De Silva *et al.*, 2011). Segundo De Silva *et al.* (2011) a adição de concentrações maiores que seu produto de solubilidade ou a mistura de fontes incompatíveis ocasionará a formação de compostos insolúveis na solução.

Como observado nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11, todas as demais amostras apresentaram formação de fases. No entanto, quando agitadas apresentaram boa capacidade de mistura tanto com o extrato oriundo da *K. alvarezii* quanto com o COT. Por não apresentarem precipitados insolúveis podem ser utilizados na aplicação foliar em plantações.

As amostras 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 foram enviadas para teste em campo. Já as amostras 1 e 2 (estudo 2), 3.1 e 3.2 foram utilizadas para o tratamento das sementes.

5.2 TRATAMENTO DE SEMENTES

Como pode ser observado na tabela 6 os tratamentos não influenciaram a porcentagem de germinação. Entretanto, deve-se ressaltar que muitos fatores estão envolvidos na absorção de bioativos pelas sementes, dentre eles podemos citar: eventos fisiológicos da planta, fatores abióticos, concentração de fitohormônios presentes no extrato e absorção dos mesmos. Esse último depende não só da superfície de contato da semente, mas também da quantidade de água presente, assim como da sua concentração na solução (Moterle *et al.*, 2015).

Moterle *et al.* (2015) relatam ainda que a adição de fitohormônios na superfície da semente não garante sua total absorção. Portanto, o fato dos mesmos não afetarem a

porcentagem de germinação, mas afetarem outras variáveis pode ser explicado pelo estágio do desenvolvimento em que a semente se encontra e a sensibilidade dos tecidos aos fitohormônios. Ambos são capazes de influenciar na concentração de bioativos absorvidos, que consequentemente podem ter comprometido a eficiência do extrato na variável germinação. No entanto, quando a planta se estabelecer no solo, a maior superfície de contato pode influenciar na eficiência de absorção dos bioativos (Moterle *et al.*, 2015).

Tabela 6 – Análise de variância para a variável porcentagem de germinação, sob os tratamentos descritos na Tabela 5.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,00657778	5	0,00131556	1,020689	0,447741835	3,10588
Dentro dos grupos	0,01546667	12	0,00128889			
Total	0,02204444	17				

Na avaliação do comprimento da raiz principal, observou-se que os tratamentos diferiram estatisticamente entre si (tabela 7). Todos os tratamentos diferiram estatisticamente do tratamento com a testemunha negativa (água). Ambas as amostras do estudo 2, amostra 1 e 2, se diferenciaram em relação ao estudo 3.1. A amostra 2 se diferenciou ainda do estudo 3.2.

Os estudos 3.1 e 3.2, como observado na tabela 5, apresentam em sua composição uma maior variedade de nutrientes minerais quando comparados com as amostras 1 e 2 (estudo 2). Por influenciar diretamente no metabolismo das plantas, os minerais são essenciais para o desenvolvimento e crescimento vegetal. Entretanto, apesar de apresentarem menores quantidades de nutrientes, as amostras 1 e 2 (estudo 2) proporcionaram um crescimento melhorado da raiz (figura 12).

Este fato sugere que o extrato da macroalga *K. alvarezii* é capaz de estimular a absorção dos nutrientes disponíveis, mesmo quando presentes em menores concentrações, proporcionando um desenvolvimento acelerado da raiz.

Este resultado vem ao encontro dos obtidos por estudos anteriormente realizados em calêndulas (Aldworth e Vanstaden, 1987; Russo *et al.*, 1993), nos quais houve um crescimento vegetativo significativo com a aplicação de extratos oriundos de algas

marinhas. Resultados semelhantes foram observados em *Canjaus cajan* (L.) Milsp. (Mohan *et al.*, 1994) e *Vigna sinensis* L. (Sivasankari *et al.*, 2006).

Tabela 7 - Análise de variância para a variável comprimento da raiz.

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	112,7733333	5	22,55467	14,270486	1,058E-11	2,266062
Dentro dos grupos	275,0089867	174	1,580511			
Total	387,78232	179				

Segundo Vieira (2005), existe relativamente pouca evidência de que substâncias promotoras do crescimento funcionem como uma chave regulatória na emergência da raiz primária. No entanto, no presente estudo, a melhoria no crescimento ocasionado pela presença do extrato de macroalgas nas formulações de fertilizantes organominerais pode ser explicada pela presença destas substâncias que podem ter influenciado positivamente as reações metabólicas, otimizando a absorção de nutrientes e proporcionando um maior crescimento e rendimento da cultura (Ramya *et al.*, 2015).

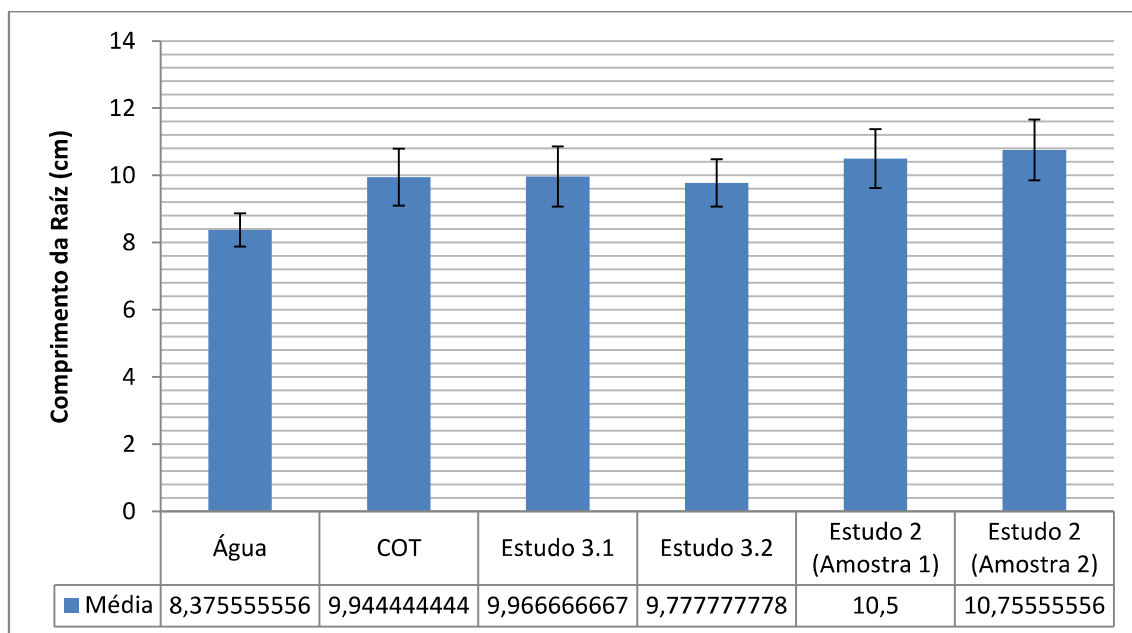


Figura 12 - Valores médios do comprimento da raiz primário (cm) de plântulas de milho.

Por fim, em relação à variável produção de biomassa os tratamentos não divergiram estatisticamente entre si, conforme demonstrado na tabela 8. Entretanto, tal resultado diverge dos obtidos por Rathore *et al.* (2009), em sementes de soja, e Zodape

et al. (2009), em sementes de trigo, mas convergem com os obtidos por Costa (2015) em culturas de soja.

Tabela 8 – Análise de variância para a variável biomassa.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	43,26696111	5	8,65339222	3,099494366	0,050297336	3,105875
Dentro dos grupos	33,50246667	12	2,79187222			
Total	76,76942778	17				

Craigie (2011) relata que a resposta do cultivar ao extrato da macroalga pode variar com a espécie, os eventos fisiológicos em que se encontram e a sensibilidade da membrana celular à absorção de hormônios, comprometendo, dessa forma, a eficácia do fertilizante em alguns aspectos. Diante disso, novos estudos se fazem necessários, avaliando como as características da semente afetam a eficácia do fertilizante, assim como, a aplicação do fertilizante *in situ* influenciará no rendimento da cultura.

6 CONCLUSÃO

As algas marinhas já são usadas na agricultura há séculos, no entanto, somente nos últimos anos os produtos à base de algas são comercializados como suplementos nutricionais para uso agrícola, na forma seca ou como extrato líquido.

Durante a formulação de fertilizantes líquidos, parâmetros como compatibilidade e solubilidade influenciam diretamente na qualidade do produto gerado e no manejo da fertirrigação. As amostras 6, 9 e 11 apresentaram solubilização parcial dos componentes, enquanto nas amostras 10 e 12 houve reação exotérmica, indicando incompatibilidade entre alguns compostos presentes. Em função disso, essas amostras formaram compostos insolúveis, indesejáveis para a pulverização foliar em plantações. Contudo, as demais amostras apresentaram boa capacidade de mistura e solubilização.

O uso do extrato da alga *Kappaphycus alvarezii*, nas condições deste experimento, demonstrou seu bom potencial como fertilizante organomineral de ação bioestimulante no desenvolvimento radicular. Essa melhoria pode ser explicada pela presença de fitohormônios que podem ter influenciado positivamente as reações metabólicas, otimizando a absorção de nutrientes e proporcionando um maior crescimento e rendimento da cultura.

Os resultados deste trabalho demonstram que os benefícios dos extratos de algas marinhas são dependentes de diversos fatores, podendo ser mais evidentes em certas cultivares que em outras. Os mecanismos de ação dos extratos de algas marinhas sobre os cultivos agrícolas ainda não estão totalmente elucidados, e desta forma, pesquisas com esse foco são de grande interesse na melhoria da produção e qualidade dos produtos agrícolas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, L. P.; DE LUCCA, A.; ÁVILA, B. M. R.; BARBOSA, M. C.; RICCI, T. T. APLICAÇÃO DE BIORREGULADOR NA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO E QUALIDADE DE FIBRA1 APPLICATION OF BIOREGULATOR AND PRODUCTION OF THE COTTON PLANT AND QUALITY OF FIBER. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 3, p. 191-198, 2009.

ALBRECHT, L. P.; DE LUCCA, A.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, A. J. P.; RICCI, T. T. Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja= Bioregulators management in parts of production and performance of soybean plants. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, 2011. ISSN 1981-3163.

ALDWORTH, S.; VANSTADEN, J. The effect of seaweed concentrate on seedling transplants. **South African Journal of Botany**, v. 53, n. 3, p. 187-189, 1987. ISSN 0254-6299.

ALLEN, V.; POND, K.; SAKER, K.; FONTENOT, J.; BAGLEY, C.; IVY, R.; EVANS, R.; SCHMIDT, R.; FIKE, J.; ZHANG, X. Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock—A review. **Journal of animal science**, v. 79, n. E-Suppl, p. E21-E31, 2001. ISSN 0021-8812.

ARIOLI, T.; MATTNER, S. W.; WINBERG, P. C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. **Journal of applied phycology**, v. 27, n. 5, p. 2007-2015, 2015. ISSN 0921-8971.

BHARDWAJ, D.; ANSARI, M. W.; SAHOO, R. K.; TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial cell factories**, v. 13, n. 1, p. 1, 2014. ISSN 1475-2859.

BLUNDEN, G.; JENKINS, T.; LIU, Y.-W. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. **Journal of applied phycology**, v. 8, n. 6, p. 535-543, 1996. ISSN 0921-8971.

COSTA, M. A. D. **Avaliação do Potencial da Macroalga Kappaphycus alvarezii como fertilizante orgânico, para uso via tratamento de sementes e pulverização foliar na cultura de soja**

2015. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Paraná

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 371-393, 2011. ISSN 0921-8971.

CROUCH, I.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants. **Journal of applied phycology**, v. 4, n. 4, p. 291-296, 1992. ISSN 0921-8971.

DAPPER, T. B.; PUJARRA, S.; DE OLIVEIRA, A. J.; DE OLIVEIRA, F. G.; PAULERT, R. Potencialidades das Macroalgas Marinhas na Agricultura: Revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, 2013. ISSN 2176-9168.

DE GÓES, H. G.; REIS, R. P. Monitoramento da produção e do rendimento de carragenana da macroalga exótica *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex PC Silva e avaliação de técnicas de produção, em cultivo comercial na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. 2009.

ESWARAN, K.; GHOSH, P. K.; SIDDHANTA, A. K.; PATOLIA, J. S.; PERIYASAMY, C.; MEHTA, A. S.; MODY, K. H.; RAMAVAT, B. K.; PRASAD, K.; RAJYAGURU, M. R. **Integrated method for production of carrageenan and liquid fertilizer from fresh seaweeds**: Google Patents 2005.

FACCINI, A. L. Importância econômica e cultivo de algas marinhas **X SIMPÓSIO DE BIOLOGIA MARINHA DA UNISANTA**, 2007.

FARIA, G. S. M. D. Influência do processo de secagem convectiva na qualidade da carragenana extraída de *Kappaphycus alvarezii*. 2012.

GÓES, R. P. R. M. B. H. G. Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro: subsídios ao monitoramento ambiental da produção em escala industrial. **Panorama da Aquicultura**, 2007.

HARGREAVES, P. I. Produção de etanol a partir de *Kappaphycus alvarezii*-Biocombustível de terceira geração. 2013.

HAYASHI, L. **Contribuição à Maricultura da Alga Vermelha *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) para Produção de Carragenana**. 2007. Universidade de São Paulo

KHAN, W.; RAYIRATH, U. P.; SUBRAMANIAN, S.; JITHESH, M. N.; RAYORATH, P.; HODGES, D. M.; CRITCHLEY, A. T.; CRAIGIE, J. S.; NORRIE, J.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386-399, 2009. ISSN 0721-7595.

KOYAMA, R.; BETTONI, M. M.; RODER, C.; DE ASSIS, A. M.; ROBERTO, S. R. Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis no desenvolvimento vegetativo e na produção do tomateiro. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 4, p. 282-287, 2012. ISSN 2177-8760.

MAPA. Regras para análise de sementes 2009.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. D. S. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola** 2006.

MERCIER, L.; LAFITTE, C.; BORDERIES, G.; BRIAND, X.; ESQUERRÉ-TUGAYÉ, M. T.; FOURNIER, J. The algal polysaccharide carrageenans can act as an elicitor of plant defence. **New Phytologist**, v. 149, n. 1, p. 43-51, 2001. ISSN 1469-8137.

MOHAN, V.; VENKATARAMAN KUMAR, V.; MURUGESWARI, R.; MUTHUSWAMI, S. Effect of crude and commercial seaweed extracts on seed germination and seedling growth in *Cajanus cajan* L. **Phykos**, v. 33, n. 1&2, p. 47-51, 1994.

MOTERLE, L. M.; DOS SANTOS, R. F.; SCAPIM, C. A.; DE LUCCA, A.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Ceres**, v. 58, n. 5, 2015. ISSN 2177-3491.

PORTO, T. **Características produtivas e físico-químicas de frutos de morangueiro orgânico cultivado com o uso de extrato de algas**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 121p.[Links]

RAMYA, S. S.; VIJAYANAND, N.; RATHINAVEL, S. Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 4, n. 3, p. 167-173, 2015. ISSN 2195-3228.

RATHORE, S.; CHAUDHARY, D.; BORICHA, G.; GHOSH, A.; BHATT, B.; ZODAPE, S.; PATOLIA, J. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 351-355, 2009. ISSN 0254-6299.

ROSOLEM, C. Stimulate em tratamento de sementes de feijão. **Botucatu: UNESP, Depto. Agricultura e Melhoramento Vegetal**, 1997.

RUSSO, R.; POINCELOT, R. P.; BERLYN, G. P. The use of a commercial organic biostimulant for improved production of marigold cultivars. **Journal of Home & Consumer Horticulture**, v. 1, n. 1, p. 83-93, 1993. ISSN 1054-4682.

SANTOS, A. D. Efeitos nutricionais e fitossanitários do biofertilizante líquido a nível de campo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, n. 4, p. 275-79, 1991.

SANTOS, C. H. D. A.; LOURENÇO, J. A.; CESAR, M.; WIEGAND, J. M. P.; IGARASHI, M. A. ASPECTOS DO CULTIVO DE ALGAS MARINHAS COM VISTAS A SUSTENTABILIDADE DA ATIVIDADE. 2014.

SCHER, E.; VERONA, L.; SIGNOR, G.; VARGAS, R.; INNOCENTE, B. Produção agroecológica de morango no Oeste catarinense. **Agropecuária Catarinense (Brasil)**, (Mar, v. 16, n. 1, p. 20-24, 2003. ISSN 0103-0779.

SIVASANKARI, S.; VENKATESALU, V.; ANANTHARAJ, M.; CHANDRASEKARAN, M. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of *Vigna sinensis*. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 14, p. 1745-1751, 2006. ISSN 0960-8524.

STIRK, W.; NOVÁK, O.; STRNAD, M.; VAN STADEN, J. Cytokinins in macroalgae. **Plant growth regulation**, v. 41, n. 1, p. 13-24, 2003. ISSN 0167-6903.

TARAKHOVSKAYA, E.; MASLOV, Y. I.; SHISHOVA, M. Phytohormones in algae. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 54, n. 2, p. 163-170, 2007. ISSN 1021-4437.

VIEIRA, E. Stimulate 10 X na germinação de sementes, vigor de plântulas e crescimento inicial de plantas de algodoeiro. V Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador. Anais. Embrapa Algodão, 2005. p.163-163.

WEBBER, V. Extração e caracterização de carragenana obtida de *Kappaphycus alvarezii*. 2010.

WU, Y.; JENKINS, T.; BLUNDEN, G.; VON MENDE, N.; HANKINS, S. D. Suppression of fecundity of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. **Journal of applied phycology**, v. 10, n. 1, p. 91-94, 1998. ISSN 0921-8971.

ZODAPE, S. Seaweeds as a biofertilizer. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 60, n. 5, p. 378-382, 2001. ISSN 0022-4456.

ZODAPE, S.; MUKHERJEE, S.; REDDY, M.; CHAUDHARY, D. Effect of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex silva. extract on grain quality, yield and some yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Plant Production**, v. 3, n. 2, p. 97-101, 2009.

ZODAPE, S.; MUKHOPADHYAY, S.; ESWARAN, K.; REDDY, M.; CHIKARA, J. Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. **J Sci Ind Res**, v. 69, p. 468-471, 2010.