



HARIANNA PAULA ALVES DE AZEVEDO

**MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE *Coffea*
arabica TRATADAS COM EXTRATOS DE ALGAS**

**LAVRAS – MG
2023**

HARIANNA PAULA ALVES DE AZEVEDO

**MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE *Coffea arabica* TRATADAS
COM EXTRATOS DE ALGAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Prof. Dr. Samuel Pereira Carvalho
Coorientador

Dr. Paulo César Melo
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Azevedo, Harianna Paula Alves de.

Mudas propagadas vegetativamente de *Coffea arabica* tratadas
com extrato de algas / Harianna Paula Alves de Azevedo. - 2023.

73 p. : il.

Orientador(a): Heloisa Oliveira dos Santos.

Coorientador(a): Samuel Pereira Carvalho, Paulo César Melo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Café arábica. 2. Estacas. 3. *Lithothamnium* sp. I. Santos,
Heloisa Oliveira dos. II. Carvalho, Samuel Pereira. III. Melo, Paulo
César. IV. Título.

HARIANNA PAULA ALVES DE AZEVEDO

**MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE *Coffea arabica* TRATADAS
COM EXTRATOS DE ALGAS**

**VEGETATIVELY PROPAGATED SEEDLINGS OF *Coffea arabica* TREATED WITH
ALGAE EXTRACTS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 28 de julho de 2022.

Dra. Janine Magalhães Guedes EPAMIG

Dra. Dalyse Toledo Castanheira UFLA

Dra. Renata Silva Mann UFS

Dra. Francislei Vitti Raposo UFLA

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Prof. Dr. Samuel Pereira Carvalho
Coorientador

Dr. Paulo César Melo
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

*Aos meus pais, Ivone e Paulo, por sempre acreditarem em mim,
e me mostrarem que com Deus nada é impossível.
À minha irmã Larissa, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, à Nossa Senhora D'Ajuda e ao Beato Padre Victor, por guiarem minhas decisões e colocarem sempre em meu caminho pessoas especiais.

Ao Vô Juquinha, Vô Chico, e à Vó Cecília, que mesmo não estando mais fisicamente comigo, deixaram tantos ensinamentos, e estão sempre olhando por mim.

À Vó Evanildes, pelas orações e desejos que tudo desse certo em meu caminho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura por proporcionarem essa oportunidade única em minha vida, que fizeram com que eu me apaixonasse pela minha profissão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e aos seus docentes, pelos conhecimentos transmitidos durante o início da minha graduação.

Ao Professor Samuel Pereira de Carvalho, pela orientação, ensinamentos, e pela confiança em meu trabalho junto ao Núcleo de Estudos em Melhoramento e Clonagem (NEMEC).

À Professora Heloisa Oliveira dos Santos, pelas orientações, ensinamentos, conselhos e paciência.

À secretária da Pós-graduação do DAG, Marli dos Santos Túlio, pelo auxílio indispensável.

Ao Núcleo de Estudos em Melhoramento e Clonagem (NEMEC) por todo o aprendizado compartilhado.

À InovaCafé e seus funcionários, em especial à Débora, Alexandre e Felipe, pela ajuda e ensinamentos no experimento em casa de vegetação.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir o caminho que eu escolhi.

Aos meus amigos de Três Pontas e do EJC, que estão sempre me apoiando e orando por mim.

Aos amigos do InovaCafé, por terem feito meus dias de trabalho e lazer mais felizes.

Aos meus amigos Daiane, Cassio, Samuel e Luciane, pela ajuda indispensável na condução do experimento e avaliações, e por tornarem esse trabalho mais prazeroso e divertido.

Às meninas do Laboratório de Anatomia, por ajudarem na condução das avaliações do trabalho.

Aos meus amigos queridos de Lavras, Mariana, Nicole, Isadora, Luiza, Nagla, Bárbara, Daiane e Samuel, que sempre me apoiaram e deixaram meus dias de lazer mais felizes.

Aos membros da banca pelas valiosas contribuições na defesa.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

Muito obrigada!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

RESUMO

A cafeicultura é de suma importância para todo o mundo. No Brasil, destacou-se econômica e socialmente desde a chegada das primeiras mudas e sementes. Com boa e rápida adaptação ao solo e clima, o café brasileiro tomou grandes proporções na balança comercial internacional. Porém, com as mudanças nos hábitos do consumidor, se tem buscado alternativas para os cultivos mais sustentáveis. Uma opção para esses cultivos é o uso de bioestimulantes que são de origem natural, como os extratos de algas. Assim, o objetivo foi avaliar o desenvolvimento de mudas de café arábica propagadas assexuadamente, quando tratadas com extratos de algas. O trabalho foi composto por dois experimentos independentes, conduzidos no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, utilizando de mudas pré-formadas propagadas assexuadamente, da cultivar Mundo Novo. O primeiro foi estabelecido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 3, com quatro dosagens (0; 2,5; 5 e 10 mL.L⁻¹) de extratos das algas *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. e *Kappaphycus* spp. O segundo experimento foi estabelecido em blocos casualizados, testando a mistura desses extratos na dose de 5 mL.L⁻¹. Em ambos foram avaliadas a altura do broto, área foliar, matéria seca foliar, matéria seca do caule, número de folhas, níveis relativos de clorofilas a, b e total, condutância estomática foliar, densidade e funcionalidade estomática. Para as avaliações radiculares determinou-se a massa seca da raiz, comprimento, volume e área superficial radicular, e o diâmetro da raiz. Para a dose de 5 mL.L⁻¹ houve melhores resultados para os três extratos de algas, *Ascophyllum nodosum* e *Lithothamnium* spp. com os melhores resultados para as principais características de parte aérea. Houve resultados satisfatórios para *Ascophyllum nodosum* e *Lithothamnium* spp. no enraizamento na dose de 5 a 10 mL.L⁻¹. Para *Kappaphycus* spp. o efeito foi negativo. As combinações dos extratos de algas não exercem efeito em mudas de café arábica.

Palavras-chave: Café arábica. Estacas. *Lithothamnium* sp. *Kappaphycus* sp. *Ascophyllum nodosum*.

ABSTRACT

Coffee growing is of enormous importance to the whole world. Brazil, it stood out economically and socially since the arrival of the first seedlings and seeds. With good and quick adaptation to the soil and climate, Brazilian coffee has taken significant proportions in the international trade balance. However, with changes in consumption habits, alternatives have been sought for crops more sustainable. A option for these crops is using of plant biostimulants, which are of natural origin, such as algae extracts. Thus, the objective was to evaluate the development of arabica coffee seedlings propagated via cuttings, when treated with algae extracts. The work consists of two independent experiments, which were conducted in the Coffee Sector of the Department of Agriculture, using pre-formed seedlings propagated via cuttings, of the cultivar Mundo Novo. The first was set up in a randomized block design, being a 4 x 3 factorial, with four dosages (0; 2.5; 5 and 10 ml.L⁻¹) of the 3 extracts of the algae *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. and *Kappaphycus* spp. The second was also in randomized blocks, testing the mixture of these extracts at a dose of 5ml.L⁻¹. In both, shoot height, leaf area, dry leaf matter, dry stem matter, number of leaves, relative levels of chlorophyll a, b and total, leaf stomatal conductance, stomatal density and functionality, and root data were evaluated. Root dry mass, length, volume, surface area, and root diameter. The dose of 5 ml.L⁻¹ was the one that presented the best results for the 3 algae extracts, and the algae *Ascophyllum nodosum* and *Lithothamnium* spp. were the ones that presented the best results for the main aerial part characteristics. There were satisfactory results for the algae *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. in rooting at a dose of 5 to 10 ml.L⁻¹. For algae *Kappaphycus* spp. the effect was negative. The combinations of seaweed extracts did not affect on arabica coffee seedlings. New studies should be conducted to draw better conclusions about the effect on culture.

Keywords: Arabica coffee. Cuttings. *Lithothamnium* spp. *Kappaphycus* spp. *Ascophyllum nodosum*.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO..... 13
2	REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1	Cultura do café..... 15
2.1.1	Importância socioeconômica..... 15
2.1.2	A planta do cafeeiro..... 16
2.1.3	Propagação do café 17
2.2	Insumos alternativos: bioestimulantes..... 19
2.3	Algas na agricultura 21
2.3.1	<i>Ascophyllum nodosum</i>..... 22
2.3.2	<i>Lithothamnium</i> spp. 24
2.3.3	<i>Kappaphycus</i> spp. 25
	REFERÊNCIAS..... 27
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS* 34
	ARTIGO 1 EXTRATOS DE ALGAS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE <i>COFFEA ARABICA</i> L..... 35
1	INTRODUÇÃO..... 36
2	MATERIAL E MÉTODOS 37
2.1	Avaliações vegetativas 38
2.2	Avaliações de clorofila 38
2.3	Avaliações estomáticas 39
2.4	Análises estatísticas..... 39
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 40
4	CONCLUSÃO..... 43
	REFERÊNCIAS..... 43
	ARTIGO 2 ENRAIZAMENTO DE MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE <i>COFFEA ARABICA</i> L. TRATADAS COM EXTRATO DE ALGAS 46
1	INTRODUÇÃO..... 47
2	MATERIAL E MÉTODOS 49
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 50
4	CONCLUSÃO..... 54

	REFERÊNCIAS.....	55
	ARTIGO 3 DESENVOLVIMENTO DE MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE <i>COFFEA ARABICA</i> L. SUBMETIDAS ÀS APLICAÇÕES DE BIOESTIMULANTES À BASE DE ALGAS MARINHAS..	58
1	INTRODUÇÃO.....	59
2	MATERIAL E MÉTODOS	60
2.1	Avaliações radiculares.....	61
2.2	Avaliações vegetativas	61
2.3	Avaliações clorofila	61
2.4	Avaliações estomáticas	61
2.5	Análises estatísticas.....	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	69
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como maior produtor e exportador de café no mundo. A estimativa para a safra de 2022, é de 53,43 milhões de sacas beneficiadas, sendo cerca de 35,71 de café arábica e 17,72 de café conilon, levando em conta que esse ano é de bienalidade positiva. Neste ano, a área destinada à cultura chegou a 2,24 milhões de hectares, sendo 1,84 milhão de hectares destinados à produção de café e 401 mil hectares em condição de formação, que considera plantios novos e áreas esqueletadas ou recepadas (CONAB, 2022).

As mudas para o plantio da cultura do café são imprescindíveis que sejam de qualidade, uma vez que a cultura é perene e bastante longeva. Para o arábica, as mudas são oriundas de sementes, pois a espécie possui alto nível de autogamia, produzindo mudas uniformes (CARVALHO *et al.*, 1993). A propagação vegetativa para o café arábica é minimamente empregada, porém, é uma boa alternativa em alguns aspectos que podem ser explorados, como o fato de os programas de melhoramento genético explorar genótipos superiores em menor tempo de desenvolvimento, além de conseguirem explorar a heterozigose de materiais em interesse (SONDAHL; MONACO; SHARP, 2000).

Ainda que o café no Brasil seja cultivado em larga escala há muitos anos, e possua boas condições para ser produzido, há uma mudança no comportamento dos consumidores da bebida. Estes estão cada vez mais ligados em quesitos sensoriais da bebida do café, e exigentes em qualidade. Além disso, os consumidores também estão se atentando para questões ambientais que estão levando-os a procurar certificações sustentáveis para suas lavouras (RIBEIRO-DUTHIE; GALE; MURPHY-GREGORY, 2020).

Dentre algumas opções de insumos tidos como sustentáveis, tem-se os bioestimulantes de plantas, que podem apresentar substâncias puras, compostos e diversas formulações, com microrganismos, reguladores de crescimento de plantas, enzimas, oligoelementos, extratos de algas, dentre outros. O mercado de produtos agrícolas de origem biológica está em franca ascensão, movimentando em 2020, 5 bilhões de dólares e tem crescido aproximadamente 14,4% ao ano (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020). Esses produtos são capazes de estimular os processos naturais da planta, assim, aumentam a eficiência na absorção de nutrientes e o aproveitamento, melhoram a qualidade e vigor das plantas, além de aumentar a tolerância aos estresses abióticos e bióticos (EBIC, 2022). Um dos preferidos no meio agrícola são à base de algas marinhas, e trouxe uma expansão no setor contribuindo com mais de um terço do total do mercado global de bioestimulantes (AL-JUTHERY *et al.*, 2020).

A agricultura pautada na conservação do meio ambiente é uma preocupação relativamente recente, porém, a utilização das algas marinhas ocorre há milênios, principalmente em plantios costeiros, elas podem ser utilizadas diretamente ou após realizada a compostagem. Algumas espécies são utilizadas para correções do solo e, principalmente, para aumentar a fertilidade e conseqüentemente a produtividade das culturas (KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE 2011).

As algas marinhas também causam um efeito positivo na germinação e estabelecimento de sementes, atuam como promotores de crescimento de plantas, melhoram a floração, produção de frutos e vida útil pós-colheita, outro fator interessante é o aumento na tolerância a estresses bióticos e abióticos (RAYORATH *et al.*, 2008; KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE, 2011; MATTNER *et al.*, 2013).

Diversas espécies são utilizadas comercialmente, o extrato da espécie *Ascophyllum nodosum* está entre os produtos bioestimulantes à base de algas mais utilizados (ALI; RAMSUBHAG; JAYARAJ, 2018). As algas do gênero *Lithothamnium* são utilizadas há bastante tempo na agricultura como corretivos de acidez de solo (EVANGELISTA *et al.*, 2016), devido à presença de carbonato de cálcio e magnésio em sua composição. Os extratos de algas do gênero *Kappaphycus* possuem bom potencial bioestimulante de plantas, sendo utilizados contra estresses abiótico (TRIVEDI *et al.*, 2018) e bióticos em diversas culturas (AGARWAL *et al.*, 2016).

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi testar extratos de 3 espécies de algas (*Lithothamnium* spp., *Kappaphycus* spp., *Ascophyllum nodosum*) em diferentes dosagens, e, também, avaliar a combinação destes extratos como possível insumo sustentável para a cafeicultura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do café

2.1.1 Importância socioeconômica

O café se destaca como um dos principais produtos de exportação do Brasil, dentre diversas espécies do gênero *Coffea*, duas se destacam em produção, *Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre. No mercado mundial, representam 60 e 40% da produção respectivamente (VOSSEN; BERTRAND; CHARRIER; 2015).

No ano de 2020, no Brasil, foram mais de 3,7 milhões de toneladas produzidas. A exportação do café se manteve em altos níveis neste ano, sendo mais de 2,37 milhões de toneladas. Assim, movimentando quase 5 bilhões de dólares (FAO, 2022). Nesta safra, a produção e exportação foi recorde, quando comparada aos anos anteriores (CONAB, 2022).

Na safra de 2021, a produção foi inferior ao ano anterior, devido ao ciclo bienal, ao qual o cafeeiro se submete, com alternância de produções, um ano com as produções altas e no ano seguinte mais baixas. E, além da bienalidade negativa, houve várias adversidades climáticas afetando a produção. Com isso, a produção foi de pouco mais de 2,8 milhões de toneladas, 24,4% menor que a safra anterior (CONAB, 2022).

A cafeicultura no Brasil, em 2021, utilizou de 2.200 mil hectares, com lavouras em formação e produção. Sendo 1.789,4 mil hectares, que corresponde a 81,3%, para a produção de café arábica e o restante para o café canéfora. Nas áreas destinadas à cafeicultura tem havido uma diminuição, com isso, o incremento em produtividade tem sido, principalmente, pelas novas tecnologias empregadas e os insumos (CONAB, 2022).

Atualmente o café é fonte imprescindível de receita para centenas de municípios, além de ser um dos principais geradores de postos de trabalho na agropecuária nacional. A importância do café na economia brasileira é tamanha, tanto que o Ministério da Agricultura disponibiliza os recursos do Fundo de Defesa da Economia Cafeeira (Funcafé), com linhas de crédito para financiamentos dos tratamentos culturais da lavoura, armazenagem, comercialização e aquisição do produto, capital de giro para indústrias e cooperativas de produção, e ainda para recuperação de cafezais danificados por chuvas de granizo, geadas, vendavais ou outros fenômenos climáticos (MAPA, 2018).

Embora o café seja cultivado e bem produzido no país desde as épocas imperiais, tem ocorrido mudanças no modo na forma do consumo e, em consequência, produção. Os consumidores estão cada dia mais atentos aos quesitos sensoriais da bebida do café, e exigentes em qualidade. Aliado a isso, tem as questões ambientais que estão levando os produtores a procurar certificações para suas lavouras (RIBEIRO-DUTHIE *et al.*, 2020).

A cafeicultura está presente nos mais variados biomas brasileiros. Quanto às questões ambientais e sociais, a cafeicultura brasileira é uma das mais exigentes do mundo, buscando o equilíbrio entre flora, fauna e o café. A produção cafeeira é desenvolvida com base em rígidas legislações trabalhistas e ambientais. Essas leis respeitam a biodiversidade e todas as pessoas envolvidas na cafeicultura, e pune rigorosamente qualquer tipo de trabalho escravo e infantil nas lavouras (MAPA 2018).

2.1.2 A planta do cafeeiro

As espécies do gênero *Coffea* pertencem à família Rubiaceae, e são plantas perenes de porte arbustivo. O *Coffea arabica* possui centro de origem nas terras altas da Etiópia, zona climática tropical e subtropical do continente africano (VOSSEN; BERTRAND; CHARRIER; 2015).

A planta pode chegar a três metros de altura, e é unicaule, assim, os ramos ortotrópicos podem dar origem a folhas e ramos plagiotrópicos que produzem folhas e botões florais. As folhas são de coloração escura quando totalmente expandidas, lisas e brilhantes. Os frutos são drupas com coloração amarelada ou avermelhada após a maturação, são ovalados, possuem mucilagem, e ficam aderidos aos ramos. Apresenta uma raiz pivotante profunda e raízes secundárias ramificadas, até 30 cm de profundidade (GRANER; GODOY JÚNIOR, 1967).

O cafeeiro é uma planta tetraploide, predominantemente autógama, podendo ocorrer de 7 a 15% de alogamia. A temperatura ótima para a produção de café arábica é em torno de 18 a 22 °C. Apresenta teor de cafeína em cerca de 1,1%, pouco teor de sólidos solúveis, é uma bebida mais aromática (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002).

A planta de café se caracteriza por ser uma cultura bienal, pois completa seu ciclo produtivo em dois anos, passando pelas fases de vegetação e formação das gemas foliares; indução e maturação das gemas florais; floração; formação e maturação dos frutos (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Outra característica que interfere na produção do café é a florada, que pode apresentar mais de uma no ano, isso causa uma desuniformidade de maturação dos frutos. Cafés com diferentes maturações pode afetar a qualidade do produto, sendo importante conhecer o melhor momento para iniciar a colheita, sem que haja prejuízos na qualidade (CARVALHO JUNIOR, *et al.*, 2003).

A colheita ideal é feita com o fruto no estágio ‘cereja’, denominado assim devido ao seu aspecto avermelhado quando maduro e por seu tamanho (cerca de 10 a 15 mm de diâmetro). Recomenda-se que se inicie quando o percentual de grãos verdes for igual ou inferior a 5%. Porém, em anos de maturação muito desuniforme, tolera-se teores de até 20%, apesar de afetar a qualidade do café colhido (VILELA; PEREIRA, 1998). Com o mercado cada dia mais exigente, boas práticas de colheita e pós-colheita asseguram que o café tenha alta qualidade de bebida.

Quanto ao metabolismo da planta, as condições ambientais também podem afetar alguns processos, como a fotossíntese, as aberturas estomáticas, dentre outros (PINHEIRO; CHAVES, 2011). Vários autores mostraram que em cafeeiro acontecem essas modificações nas estruturas anatômicas e fisiológicas (BALIZA *et al.*, 2012; GAMA *et al.*, 2017; VIANA *et al.*, 2018), porém, ainda são necessários estudos mais aprofundados a respeito dessas características em cafeeiros, para comprovar a utilização dessas características.

2.1.3 Propagação do café

As lavouras para a produção de café, em geral, são formadas a partir de mudas pré-formadas em viveiros. A produção de mudas é umas das etapas mais importantes, por ser uma cultura perene e bastante longeva, as mudas saudáveis e bem formadas são imprescindíveis para o sucesso da lavoura (GUIMARÃES *et al.*, 1998).

A propagação do café arábica atualmente ainda é feita quase que na totalidade por sementes (FIGURA 1). Por ser uma espécie predominantemente autógama, consegue-se boa uniformidade na produção das mudas (CARVALHO *et al.*, 1993).

A clonagem do café (FIGURA 2) tem sido uma alternativa para produção de mudas, porém ainda pouco empregada para o arábica. A principal característica dessa propagação é manter a genética idêntica à planta mãe (BRAGANÇA *et al.*, 1995; PAULINO *et al.*, 1987). Tem-se buscado adequar as metodologias para esse tipo de propagação, a dificuldade ainda está em se obter diferentes respostas ao enraizamento de acordo com as cultivares (CARVALHO *et al.*, 2008).

Figura 1- Propagação de café arábica via sementes.



Fonte: Perfect Daily Grind (2021).

Figura 2 - Clonagem de café arábica por estaquia.



Fonte: Da autora (2022).

O principal ponto para uma muda de qualidade é o sistema radicular bem desenvolvido. O cafeeiro possui uma raiz pivotante, curta e grossa, podendo atingir até 50 cm em profundidade no solo. Desta se ramificam as raízes axiais que têm crescimento vertical descendente abaixo do tronco, alcançando profundidades de 2,5 a 3,0 metros, ramificando-se em todas as direções. Possuem também raízes da placa superficial do solo, que crescem de forma paralela à superfície, se distanciam de 1,3 a 2,0 metros do tronco. Além dessas, ainda possuem as raízes fora da placa superficial, que, em geral, se aprofundam mais que as anteriores, ramificando-se uniformemente no solo e tornando-se verticais (NUTMAN, 1933; CLIFFORD; WILLSON, 1985).

Problemas como a torção da raiz pivotante (pião torto) são recorrentes na produção de mudas, isso ocorre quando a raiz pivotante entorta ou se bifurca, levando a uma menor capacidade de absorção de nutrientes e à resistência à seca. Em lavouras implantadas com esse tipo de problema, ocorre a morte das plantas após a primeira produção, pois se exige muito do sistema radicular e a planta não suporta a carga pendente (RENA; MAESTRI, 1986). Quando se utiliza a propagação vegetativa por estacas, as mudas não apresentam a raiz pivotante, pois é a raiz que origina no embrião da semente. Com isso, não ocorre esse tipo de problema em malformação das mudas.

A grande questão em se encontrar um protocolo eficiente de propagação vegetativa está na indução do enraizamento inicial das estacas, para isso tem-se utilizado hormônios vegetais (ONO *et al.*, 1994). Os reguladores de crescimento mais utilizados para este fim são os do grupo das auxinas, pois estimulam a síntese de etileno, e favorecem a emissão de raízes (NORBERTO *et al.*, 2001). Dentre os reguladores mais utilizados para estimular o enraizamento e emissão de brotações tem-se o ácido naftaleno-acético (ANA), ácido indol-acético (AIA) e ácido indol-butírico (AIB), sendo o último, preferencial, por ser atóxico e efetivo para a maioria das espécies (PIRES; BIASI, 2003).

2.2 Insumos alternativos: bioestimulantes

Os bioestimulantes de plantas, também chamados de bioestimulantes agrícolas são várias substâncias e microrganismos que estimulam e promovem o crescimento vegetal. Eles estimulam os processos naturais da planta, assim, aumentam a absorção de nutrientes e o aproveitamento destes, melhoram a qualidade de colheita, beneficiando o rendimento e o vigor das plantas, além de aumentar a tolerância aos estresses abióticos e bióticos (EBIC, 2022).

Estes produtos podem apresentar substâncias puras, compostos e diversas formulações, com microrganismos, reguladores de crescimento de plantas, enzimas, oligoelementos, extratos de algas, dentre outros. O mercado de produtos agrícolas de origem biológica está em franca ascensão, movimentando em 2020, 5 bilhões de dólares e tem crescido 14,4% ao ano (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020). Em 2021, foram registrados 92 produtos de baixo impacto, principalmente à base de agentes biológicos ou microbiológicos e extratos vegetais, número bastante expressivo, em 2020 houve o recorde com 95 produtos registrados (MAPA, 2021).

Os bioestimulantes de plantas estão sendo largamente empregados na agricultura. Dentre eles, os inoculantes microbianos são uma opção, uma vez que são largamente utilizados como biopesticidas, porém, também apresentam outros efeitos como biofertilizantes, auxiliando na promoção do crescimento de plantas. Aquelas que têm sido amplamente pesquisadas e apresentado melhores resultados são as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (KLOEPPER; LIFSHITZ; ZABLOTOWICZ, 1989) e bactérias promotoras de crescimento de plantas, ambas são de vida livre isoladas principalmente da rizosfera (BASHAN *et al.*, 2014).

Outros produtos bioestimulantes em ascensão são as substâncias húmicas, que são os principais componentes da matéria orgânica do solo (NARDI *et al.*, 2002). São constituídas de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (BERBARA; GARCÍA 2014). O efeito mais relatado do efeito das substâncias húmicas é em relação ao sistema radicular, estimulando um melhor desenvolvimento (CANELLAS *et al.*, 2011; TAHIR *et al.*, 2011). Alguns autores também atestaram melhorias no rendimento e qualidade de colheita (MORARD *et al.*, 2011; BEFROZ FAR *et al.*, 2013).

Os hidrolisados de proteínas e aminoácidos também são produtos utilizados na agricultura como bioestimulantes de plantas, em alguns estudos, o efeito no crescimento de plantas e maior tolerância a estresses bióticos e abióticos tem sido relatado. São originados da hidrólise de uma variedade de resíduos animais e vegetais (DE LUCIA; VECCHIETTI, 2012; ERTANI *et al.*, 2013; GRABOWSKA *et al.*, 2012). A maioria dos estudos supõem que as raízes podem absorver de forma mais fácil os aminoácidos e peptídeos, além da absorção foliar também ser uma opção (STIEGLER *et al.*, 2013).

Por fim, os extratos de algas também podem ser empregados como bioestimulantes na agricultura, as algas são um componente importante dos ecossistemas aquáticos costeiros. Elas são subdivididas em três categorias com base em sua pigmentação: Phaeophyta (marrom), Rhodophyta (vermelho) e Chlorophyta (Verde) (KHAN *et al.*, 2009). Dentre elas, a mais

pesquisada é a espécie *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (UGARTE; SHARP; MOORE, 2006). Outros gêneros de algas como *Lithothamnium* e *Kappaficus* também têm sido amplamente estudados para a utilização na agricultura sustentável.

2.3 Algas na agricultura

Os bioestimulantes à base de algas marinhas podem ser empregados na produção agrícola e auxiliar nas questões de sustentabilidade, que está cada dia mais sendo visada pelos produtores (RONGA *et al.*, 2019). A Organização das Nações Unidas propôs 17 objetivos de desenvolvimento sustentável a serem cumpridos até 2030, dentre eles, acabar com a fome e agricultura sustentável estão entre os primeiros (ONU, 2022).

Embora a agricultura sustentável seja uma preocupação recente, as algas marinhas vêm sendo empregadas na agricultura há milênios, podendo ser diretamente ou utilizadas após realizada a compostagem. São utilizadas para a correção do solo e, principalmente, para aumentar a fertilidade e, conseqüentemente, a produtividade (KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE, 2011).

Além da melhoria da fertilidade do solo, as algas marinhas têm efeitos positivos na germinação e estabelecimento das sementes, melhoram o crescimento de plantas, o rendimento, a floração, produção de frutos e vida útil pós-colheita. Outro fator interessante atribuído ao efeito da aplicação das algas é o aumento na tolerância aos estresses bióticos e abióticos (MANCUSO *et al.*, 2006; NORRIE; KEATHLEY, 2006; HONG *et al.*, 2007; RAYORATH *et al.*, 2008; KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE, 2011; MATTNER *et al.*, 2013).

Os extratos de algas são preparados como líquidos ou formulação seca (STEPHENSON, 1974), e podem ser utilizados puros ou misturados aos fertilizantes (MILTON, 1964; CRAIGIE, 2011). Por serem ativos como bioestimulantes, baixas concentrações bastam para que seus efeitos sejam observados, por isso, são realizadas diluições na ordem de 1:1000 ou mais. Com isso, exclui-se a possibilidade de os efeitos serem associados à uma função de nutrição direta como a dos fertilizantes (CROUCH; VAN STADEN, 1993, KHAN *et al.*, 2009).

Ademais, extratos a base de algas marinhas são uma mistura complexa de compostos, podendo variar com diversos fatores, como a fonte da alga, local e época de coleta, e o processo de extração que foi utilizado (KHAN *et al.*, 2009; RIOUX *et al.*, 2009; SHARMA *et al.*, 2012; SHEKHAR *et al.*, 2012).

Para a produção de mudas de café, a utilização de extratos de algas foi eficiente para o desenvolvimento das plantas, mantendo o substrato úmido e fértil, além de atuar na manutenção do pH do solo, reduzindo assim, o uso excessivo de fertilizantes químicos nesta etapa (PAUDEL; KANG, 2018). Fertilizantes foliares a base de algas, têm se mostrado boas alternativas, rendendo bons resultados em parte aérea e radicular (MOREIRA; FERRAZ-ALMEIDA, 2021).

2.3.1 *Ascophyllum nodosum*

A alga da espécie *Ascophyllum nodosum* (FIGURA 3) é uma das algas marrons mais abundantes no Oceano Atlântico, dentre os produtos bioestimulantes à base de algas utilizados na agricultura hoje, ela é a mais utilizada (ALI *et al.*, 2018). O Extrato de *A. nodosum* possui nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro, magnésio, zinco, sódio e enxofre (RAYORATH *et al.*, 2009), além de reguladores naturais de crescimento de plantas, incluindo citocininas, auxinas, betaínas, oligossacarídeos e outros compostos orgânicos (JAYARAJ; ALI 2015; SHUKLA *et al.*, 2019; ALI *et al.*, 2021).

Figura 3 - Alga *Ascophyllum nodosum*.



Fonte: The Seaweed Site (2022).

Vários autores encontraram os resultados benéficos do uso de extrato de *A. nodosum* na agricultura, com melhorias no crescimento das plantas, produtividade, vigor, tolerância a pragas e doenças em várias culturas (JAYARAJ *et al.*, 2008; ALI *et al.*, 2019), isso se deve ao fato de possuírem compostos orgânicos complexos (HANKINS; HOCKEY, 1990; NORRIE; KEATHLEY, 2006; JAYARAJ *et al.*, 2011; ALI *et al.*, 2021a; DOOKIE *et al.*, 2021).

A *A. nodosum* é capaz de melhorar a qualidade do solo. Hoje, se busca a construção da fertilidade do solo, para manter um equilíbrio na biosfera (solo, água e ar), e garantir a produtividade com sistemas bem manejados (DORAN; ZEISS, 2000). Os extratos atuam como quelantes naturais no solo (KHAN *et al.*, 2009), isso se explica pela presença de alginatos, assim, aumentando a disponibilidade de minerais, aeração do solo, além da retenção de água (SPINELLI *et al.*, 2010; CRAIGIE, 2011; DU JARDIN, 2015; ILLERA-VIVES *et al.*, 2015). Esse estímulo à rizogênese e consequente crescimento radicular foi confirmado por alguns autores (PACHOLCZAK; NOWAKOWSKA; PIETKIEWICZ, 2016; VERNIERI *et al.*, 2006).

Os extratos de *A. nodosum* possuem citocininas, diversas betaínas, e alguns outros compostos análogos às betaínas, sendo responsáveis por aumentar os teores de proteínas e clorofilas nas folhas (ALI *et al.*, 2019; SHUKLA *et al.*, 2019).

Estudos com extrato de *A. nodosum* com várias culturas mostraram que são capazes de ativar os genes de síntese hormonal, indicando poder haver influência na síntese endógena de hormônios via ativação dos respectivos genes (REITZ; TRUMBLE, 1996; ŽIŽKOVÁ *et al.*, 2015; ALI *et al.*, 2019; 2021). Explicando assim, alguns dos seus efeitos bioestimulantes.

2.3.2 *Lithothamnium* spp.

As algas do gênero *Lithothamnium* (FIGURA 4) são classificadas como algas vermelhas, extraídas de depósitos sedimentares carbonáticos (KUNZ, 1952). São utilizadas há bastante tempo na agricultura, como corretivos de acidez de solo (EVANGELISTA *et al.*, 2016), devido à presença de carbonato de cálcio e magnésio em sua composição.

Além disso, apresenta um grande potencial adsorptivo de íons metálicos, como o Níquel (VENEU *et al.*, 2019), o Cádmiu (VENEU *et al.*, 2018) e ferro (ALMEIDA *et al.*, 2021), podendo ser utilizada em remediações de solo e água.

Figura 4 - Alga *Lithothamnium* spp.



Fonte: Oceana (2022).

Há hipótese de que essas algas calcificadas ao sedimentarem no fundo dos oceanos, poderiam sofrer decomposições semelhantes às que acontecem nos solos, formando matéria orgânica rica em substâncias húmicas (DIAS, 2000). E, essas substâncias conferem ao extrato de *Lithothamnium* spp. o efeito bioestimulante de plantas (AMATUSSI *et al.*, 2020). Esse efeito

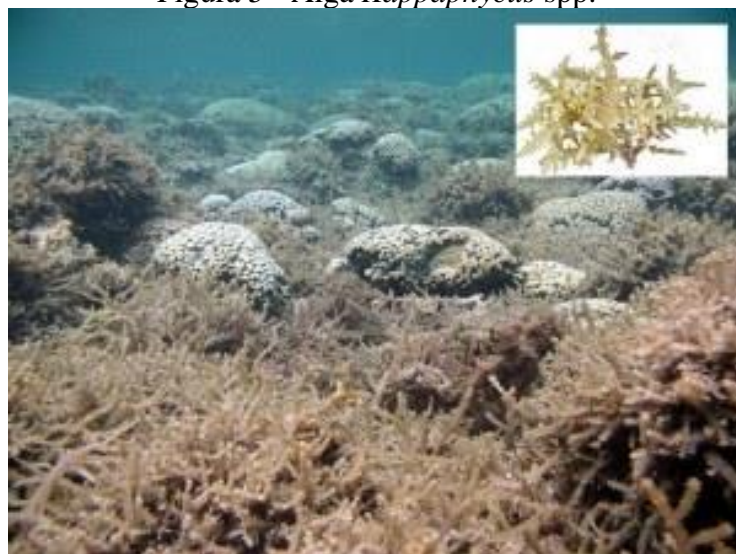
das substâncias húmicas foi bem relatado, sendo relacionado à ação das auxinas no metabolismo vegetal (NARDI *et al.*, 2016, 2018).

As algas do gênero *Lithothamnium* foram mais estudadas quanto aos efeitos de condicionadores de solo, e os efeitos bioestimulantes de plantas ainda faltam dados científicos, não estão totalmente explorados.

2.3.3 *Kappaphycus* spp.

As algas do gênero *Kappaphycus* (FIGURA 5) são classificadas como algas vermelhas, sendo um grupo de grande importância encontrado em abundância na grande costa da Índia (BIXLER; PORSE, 2011). Os extratos dessas algas possuem bom potencial bioestimulante de plantas, sendo utilizados contra estresses abiótico (TRIVEDI *et al.*, 2018) e bióticos em diversas culturas (AGARWAL *et al.*, 2016). A utilização destes produtos tem trazido benefícios em produtividade e qualidade de produtos (SHAH *et al.*, 2013; PRAMANICK *et al.*, 2016).

Figura 5 - Alga *Kappaphycus* spp.



Fonte: OCEANA (2022).

Um dos fatores que contribuem para que essa espécie de alga se destaque é a presença de reguladores de crescimento de plantas, como ácido indol-acético (IAA), ácido giberélico (GA3) e citocininas (SINGH *et al.*, 2016), além de ser rica em macro e micronutrientes, especialmente o potássio, fósforo, zinco e cobre (SAHAI, 2008; AGARWAL *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2022). Os bioestimulantes formulados com *Kappaphycus* aumentam a absorção

de nutrientes pela raiz, assim, o sistema radicular se torna mais eficiente, melhorando o crescimento e vigor das plantas (PANDA *et al.*, 2012).

Alguns autores confirmaram os efeitos na fisiologia das plantas, como o controle na abertura estomática durante a fotossíntese, a síntese de ATP, o transporte dos fotoassimilados pelos vasos de floema, crescimento de tecidos meristemáticos (PRASAD, 2007), fatores que são controlados pelo potássio.

Os mecanismos de ação e os efeitos da aplicação de hormônios exógenos ainda precisam ser melhores elucidados nas pesquisas com extratos de algas, como cada constituinte pode apresentar diferentes efeitos em diferentes culturas, ainda se faz necessário realizar mais pesquisas a respeito.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, P. *et al.* Insights into the role of seaweed *Kappaphycus alvarezii*. sap towards phytohormone signalling and regulating defence responsive genes in *Lycopersicon esculentum*. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2529-2537, 2016.
- AL-JUTHERY, H.W.A. *et al.* Plant biostimulants, seaweeds extract as a model. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Al-Qadisiyah, Iraq, v. 533, 2020.
- ALI, O., RAMSUBHAG, A.; JAYARAJ, J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. **MDPI-Plants**, [S.l.], v. 10, p. 531, 2021.
- _____. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 14, p. 140-155, 2019.
- _____. *Ascophyllum nodosum* - seaweed extract improves seed germination in tomato and sweet pepper under NaCl-induced salt stress. **Tropical Agriculture**, [S.l.], v. 95, p. 141-148, 2018.
- ALMEIDA, A.E. *et al.* Iron removal by fixed-bed adsorption with thermochemically treated *Lithothamnium calcareum* algae. **Environmental Technology & Innovation**, [S.l.], v. 24, 2021.
- AMATUSSI, J.O. *et al.* Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 32, p. 2023-2030, 2020.
- BALIZA, D.P. *et al.* Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Agrária**, Recife, v. 7, p. 37-43, 2012.
- BASHAN, Y. *et al.* Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology-formulations and practical perspectives (1998 – 2013). **Plant and Soil**, [S.l.], v. 378, p. 1-33, 2014.
- BEFROZ FAR, M.R. *et al.* Vermicompost, plant growth promoting bacteria and humic acid can affect the growth and essence of basil (*Ocimum basilicum* L.). **Annals of Biological Research**, [S.l.], v. 4, p. 8-12, 2013.
- BERBARA R.L.L., GARCÍA A. C. Humic substances and plant defense metabolism. *In*: AHMAD, P.; WANI, M.R. (Eds.) Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: volume 1. **Springer Science+Business Media**, New York, 2014, p. 297-319.
- BIXLER, H.J.; PORSE, H.A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 23, p. 321–335, 2011.
- BRAGANÇA, S.M. *et al.* Formação de mudas. *In*: _____. **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p. 19-28.

- CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, [S.l.], v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CANELLAS, L.P. *et al.* Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 159, p. 202-211, 2011.
- CARVALHO JUNIOR, C. *et al.* Influência de diferentes sistemas de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, [online], v. 27, n. 5, p. 1089-1096, 2003.
- CARVALHO, A. *et al.* (Ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. v.1. 76 p.
- CARVALHO, M. *et al.* Comportamento em pós plantio de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 108-114, jul./dez. 2008.
- CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café – Safra 2022**, v. 9. n. 2 - Terceiro Levantamento, Brasília, p. 1-76, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 30 maio 2022.
- CRAIGIE, J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 23, p. 371-393, 2011.
- CROUCH, I.J.; VAN STADEN, J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. **Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 13, p. 21-29, 1993.
- DE LUCIA, B.; VECCHIETTI, L. Type of bio-stimulant and application method effects on stem quality and root system growth in L.A. Lily. **European Journal of Horticultural Science**, [S.l.], v. 77, p. 10-15, 2012.
- DIAS, G.T. Granulados bioclásticos-algas calcárias. **Brazilian Journal of Geophysics**. [S.l.], 18, p. 307-318, 2000.
- DOOKIE M. *et al.* Flowering gene regulation in tomato plants treated with brown seaweed extracts. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 276, p. 109715, 2021.
- DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, [S.l.], v. 15, p.3-11, 2000.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 3-14, 2015.
- EBIC. European Biostimulants Industry Council. **Plant biostimulants contribute to climate-smart agriculture**. Disponível em: <https://biostimulants.eu/issue/plant-biostimulants-contribute-to-climate-smart-agriculture/2022>. Acesso em: 30 mar. 2022.

- ERTANI, A. *et al.* Use of meat hydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [S.l.], v. 176, p. 287–296, 2013.
- EVANGELISTA, A.W. *et al.* Irrigation and *Lithothamnium* fertilization in bell pepper cultivated in organic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, p. 830–835, 2016.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Rankings Commodities production by country**. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity 2022. Acesso em: 30 maio 2022.
- FONTES, E.M.G; VALADARES-INGLIS, M.C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020.
- GAMA, T.C.P. da *et al.* Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de cafeeiros em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 42-48, jan./mar. 2017.
- GRABOWSKA, A. *et al.* The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. **Vegetable Crops Research Bulletin**, [S.l.], v. 77, 37-48, 2012.
- GRANER, E.A, GODOY JR, C. **Culturas da fazenda brasileira**. 4. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1967. 461 p.
- GUIMARÃES, P.T.G. *et al.* A produção de mudas de cafeeiros em tubetes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 98-109, maio/jun. 1998.
- GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.; SOUZA, C.A.S. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317 p.
- HONG, D.D.; HIEN, H.M.; SON, P.N. Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 19, p. 817-826, 2007.
- ILLERA-VIVES, M. *et al.* Mineralization dynamics in soil fertilized with seaweed–fish waste compost. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.l.], v. 95, p. 3047-3054, 2015.
- JAYARAJ, J.; ALI, N. Use of seaweed extracts for disease management of vegetable crops. *In*: SANGEETHA, S.; KURUCHEVE, V.; JAYARAJ, J (Eds.) **Sustainable crop disease management using natural products**. CABI publications, 2015. p. 160-183.
- JAYARAJ, J.; NORRIE, J.; PUNJA, Z.K. Commercial extract from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* reduces fungal diseases in greenhouse cucumber. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 23, p. 353-361, 2011.
- JAYARAJ, J. *et al.* Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. **Crop Protection**, [S.l.], v. 27:1360-1366, 2008.
- KHAN, W. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 28, p. 386-399, 2009.

KLOEPPER J.W.; LIFSHITZ R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. **Trends in Biotechnology**, [S.l.], v. 7, p. 39-44, 1989.

KUMAR, K.S; SUSHMA, K.; SUBBA RAO, P.V. Studies on nutritional composition of three colour forms of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 18-25, jan. 2022.

KUNZ, J.L. La Plataforma continental ante el derecho. **American Journal of International Law**, [S.l.], v. 46, p. 167, 1952.

MANCUSO, S. *et al.* Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. **Advances in Horticultural Science**, [S.l.], v. 20, p. 156-161, 2006.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café: Saiba mais**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>. Acesso em: 18 fev. 2022.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Novos produtos de baixo impacto para o controle de pragas têm registro publicado**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/novos-produtos-de-baixo-impacto-para-o-controle-de-pragas-tem-registro-publicado>. Acesso em: 30 maio 2022.

MATTNER, S.W. *et al.* The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. **Biological Agriculture & Horticulture**, [S.l.], v. 29, p. 258-270, 2013.

MILTON, R.F. Liquid seaweed as a fertilizer. **Proceedings of the International Seaweed Symposium**, [S.l.], v. 4, p. 428-431, 1964.

_____. The production of compounds of heavy metals with organic residues. **British Patent**, [S.l.], v. 902, n. 563, p.3, 1962.

MORARD, P. *et al.* Direct effects of humic-like substance on growth, water, and mineral nutrition of various species. **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 34, p. 46-59, 2011.

MOREIRA, W.L.; FERRAZ-ALMEIDA, R. Development of coffee seedlings with biostimulants. **Coffee Science**, [S.l.], v. 16, p. e161896, 2021.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; ERTANI, A. Hormone-like activity of the soil organic matter. **Applied Soil Ecology**, [S.l.], v. 123, p. 517-520, 2018.

NARDI, S. *et al.* Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 34, 1527-1536, 2002.

NORBERTO, P.M. *et al.* Efeito da época de estaquia e do AIB no enraizamento de estacas de figueira (*Ficus carica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, p. 533-541, 2001.

- NORRIE, J.; KEATHLEY, J. P. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to “Thompson seedless’ grape production. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 727, p. 243-247, 2006.
- NUTMAN, F.J. The root system of *Coffea arabica* – I: root system in typical soils of British East Africa. **Empire journal of Experimental Agriculture**, Oxford, v. 1, p. 271-284, 1933.
- OCEANA. *Lithothamnium*. **Eyes of The Reef Hawai’i. Marine Invasive Species**. Disponível em: <http://oceanaminerals.com/lithothamnium/>.2022. Acesso em: 10 maio 2022.
- ONO, E.O. *et al.* Enraizamento de estacas de *Platanus acerifolia*, tratadas com auxinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 1373-1380, 1994.
- ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- PACHOLCZAK, A.; NOWAKOWSKA, K.; PIETKIEWICZ, S. The effects of synthetic auxin and a seaweed-based biostimulator on physiological aspects of rhizogenesis in ninebark stem cuttings. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, [S.l.], v. 44, p. 85-91, 2016.
- PANDA, D; PRAMANIK, K.; NAYAK, B.R. Use of seaweed extracts as plant growth regulators for sustainable agriculture. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, [S.l.], v. 3, p. 481-488, 2012.
- PAUDEL, N.; KANG, W.H. Establishment of algae as bio-fertilizer for coffee plant. **International Journal of Scientific Reports**, [S.l.], v. 4, n. 6, p. 153-157, 2018.
- PAULINO, A.J. *et al.* **Cultura do café conillon: instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil**. Rio de Janeiro: MIC- IBC-DIPRO, 1987. 43 p.
- PERFECT DAILY GRIND. **Como escolher a muda de café perfeita?** Disponível em: <https://perfectdailygrind.com/pt/2021/09/03/como-escolher-a-muda-de-cafe-perfeita/> 2021. Acesso em: 15 out. 2022.
- PINHEIRO, C.; CHAVES, M.M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.
- PIRES, E.J.P.; BIASI, L.A. Propagação da videira. *In*: POMMER, C.V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. p. 295-350.
- PRAMANICK, B. *et al.* Effect of seaweed sap derived from two marine algae *Kappaphycus* and *Gracilaria* on growth and improvement of blackgram. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, [S.l.], v. 45, n. 6, p. 789-794, 2016.
- PRASAD, R. **Crop nutrition—principles and practices**. New Delhi: New Vishal, 2007. p. 104-114, 2007.

RAYORATH, P. *et al.* Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, [S.l.], v. 230, 135-147, 2009.

RAYORATH, P. *et al.* Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 20, p. 423-429, 2008.

REITZ, S.R.; TRUMBLE, J.T. Effects of cytokinin-containing seaweed extract on *Phaseolus lunatus* L.: Influence of nutrient availability and apex removal. **Botanica Marina**, [S.l.], v. 39, p. 33-38, 1996.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. *In*: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 13-66.

RIBEIRO-DUTHIE, A.C.; GALE, F.; MURPHY-GREGORY, H. The innovation of the fair trade movement to foster sustainability aims. World Symposium on Sustainability Proceedings. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 996-1010, maio 2020.

RIOUX, L-E.; TURGEON, S.L.; BEAULIEU, M. Effect of season on the composition of bioactive polysaccharides from brown seaweed *Saccharina longicuris*. **Phytochemistry**, [S.l.], v. 70, p. 1069-1075, 2009.

RONGA, D. *et al.* Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. **Agronomy**, [S.l.], v. 9, p. 192, 2019.

SAHAI, V. N. **Fundamentals of soil**. Kalyani, New Delhi, 2008.

SHAH, M.T. *et al.* Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v. 36, p. 192-200, 2013.

SHARMA, S.H.S. *et al.* Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigna mungo* L.) and pak choi (*Brassica rapa chinensis* L.). **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], p. 24, p. 1081-1091, 2012.

SHEKHAR, S.H.S. *et al.* Brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of seaweed species and biostimulant formulations by rapid instrumental methods. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 24, p. 1141-1157, 2012.

SHUKLA, P.S. *et al.* *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 10, p. 665, 2019.

SINGH, S. *et al.* Sustainable enhancement in yield and quality of rain-fed maize through *Gracilaria edulis* and *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2099-2112, 2016.

- SONDAHL, M. R.; MONACO, L. C.; SHARP, W. R. In vitro methods applied to coffee. *In: THORPE, T. A. (Ed.). Plant tissue culture: methods and applications in agriculture.* New York: Academic, 2000. p. 325-348.
- SPINELLI, F. *et al.* A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], 125, 263-269, 2010.
- STEPHENSON, W. A. **Seaweed in agriculture & horticulture.** 3rd edition. B and G Rateaver (Eds.). Pauma Valley, CA, 1974.
- STIEGLER, J.C. *et al.* Foliar absorption of various inorganic and organic nitrogen sources by creeping bentgrass. **Crop Science**, [S.l.], v. 52, p. 1148-1152, 2013.
- TAHIR, M.M. *et al.* Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. **Pedosphere**, [S.l.], v. 2, p. 124-131, 2011.
- THE SEAWEED SITE: Information On Marine Algae. ***Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis.** Disponível em: https://www.seaweed.ie/descriptions/ascophyllum_nodosum.php. 2022. Acesso em: 20 abr. 2022.
- TRIVEDI, K. *et al.* Differential growth, yield and biochemical responses of maize to the exogenous application of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract, at grain-filling stage under normal and drought conditions. **Algal Research**, [S.l.], v. 35, p. 236-244, 2018.
- UGARTE, R.A., SHARP, G.; MOORE, B. Changes in the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum* L.) Le Jol. Plant morphology and biomass produced by cutter rake harvests in southern New Brunswick, Canada. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 18, p. 351-359, 2006.
- VENEU, D.M. *et al.* Cadmium removal by bioclastic granules (*Lithothamnium calcareum*): Batch and fixed-bed column systems sorption studies. **Environmental Technology**, [S.l.], v. 39, p. 1670-1681, 2018.
- VENEU, D.M. *et al.* Nickel sorption using bioclastic granules as a sorbent material: equilibrium, kinetic and characterization studies. **Journal of Materials Research and Technology**, [S.l.], v. 8, p. 840-852, 2019.
- VERNIERI, P. *et al.* Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 718, p. 477-484, 2006.
- VIANA, M.T R. *et al.* Variabilidade genética em genótipos de café resistentes à ferrugem utilizados em programas de melhoramento. **Scientia agraria Paranaensis**, [S.l.], v. 17, p. 81-89, 2018.
- VILELA, E.R.; PEREIRA, R.G.F.A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: pós-colheita e qualidade do café. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27.*, Poços de Caldas. **Anais[...]**. Poços de Caldas, 1998. p. 219-274, 1998.

VOSSEN, H.V.D.; BERTRAND, B.; CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Euphytica**, [S.l.], v.2 04, p. 243-256, 2015.

ŽIŽKOVÁ, E. *et al.* Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) SIIPT3 and SIIPT4 isopentenyl transferases mediate salt stress response in tomato. **BMC Plant Biology**, [S.l.], v. 15, p. 132-140, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1 EXTRATOS DE ALGAS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE *COFFEA ARABICA* L.

RESUMO

Uma boa opção para os cultivos orgânicos é o uso de bioestimulantes de plantas que são de origem natural, como por exemplo, os extratos de algas. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, utilizando de mudas pré-formadas propagadas via estacas, da cultivar Mundo Novo. Foi montado em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 3, com quatro dosagens dos 3 extratos das algas *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* ssp. e *Kappaphicus* spp. Foram avaliados a altura do broto, área foliar, matéria seca foliar, matéria seca do caule, número de folhas, níveis relativos de clorofilas a, b e total, condutância estomática foliar, densidade e funcionalidade estomática, e dos dados radiculares demassa seca da raiz, comprimento, volume e área superficial radicular, e diâmetro. A dose de 5 ml.L⁻¹ foi a que apresentou os melhores resultados para os 3 extratos de algas, e as algas *Ascophyllum nodosum* e *Lithothamnium* ssp. foram as que apresentaram os melhores resultados para as principais características significativas.

Palavras-chave: Café arábica, Estacas. *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* ssp. *Kappaphicus* spp.

ABSTRACT

A good option for organic crops is using plant biostimulants, which are of natural origins, such as algae extracts. The propagation experiment was carried out at the Coffee Growing Department of the Coffee Growing Sector, using the propagation preforms of the Mundo Novo cultivars. It was set up in a randomized block design, using a 4 x 3 factorial scheme, with four dosages of the three extracts of the algae *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* ssp., and *Kappaphicus* spp. root separation areas, total dryness at leaf broth height, leaf matter, stem matter, chlorophyll a reference number, relative levels of chlorophyll a, leaf data conductance, density and functionality of leaf data, root dry mass, length, volume, and root surface area, and root diameter. The dose of 5 ml.L⁻¹ was the one that presented the best results for the three algae extracts, and the algae *Ascophyllum nodosum* and *Lithothamnium* ssp. were presented as the best results for the main significant characteristics.

Keywords: *Arabica coffee*. Cuttings, *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* ssp. *Kappaphicus* spp.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é de suma importância para todo o mundo. No Brasil, destacou-se econômica e socialmente desde a chegada das primeiras mudas e sementes de café. Com boa e rápida adaptação ao solo e clima, o café brasileiro tomou grandes proporções na balança comercial internacional, tornando o Brasil o maior produtor e exportador dos grãos. O *Coffea arabica* L. é responsável por aproximadamente 70% da produção e comercialização de todo o café no mundo (ICO, 2022).

As lavouras cafeeiras são formadas a partir de mudas, uma vez que é uma cultura perene. Portanto, mudas saudáveis e bem desenvolvidas constituem um dos fatores básicos para o sucesso (GUIMARÃES *et al.*, 1998). No caso de genótipos arábica, as mudas, geralmente, são formadas via sementes, por ser uma espécie com aproximadamente 90% de autogamia (CARVALHO *et al.*, 1993).

A propagação vegetativa vem sendo uma alternativa para diversas culturas, e para o café arábica pode ser uma boa alternativa, pois mantém as características da planta matriz (BRAGANÇA *et al.*, 1995; PAULINO *et al.*, 1987), porém, ainda é pouco utilizada devido ao fato de se obter diferentes respostas de enraizamento de acordo com as cultivares, sendo difícil estabelecer uma metodologia (CARVALHO *et al.*, 2008). Com isso, pesquisadores têm buscado estabelecer um protocolo confiável para a propagação por estaquia, visando, além da formação de lavouras, auxiliar os programas de melhoramento genético, que são muito onerosos, a explorar genótipos com características superiores, bem como para a manutenção de materiais de interesse ainda em heterozigose (SONDAHL; MONACO; SHARP, 2000).

Os cafés orgânicos e certificados em países onde há o hábito do consumo de café, são cada vez mais requisitados. Com a ascensão dos produtos rastreados, os consumidores estão conseguindo avaliar melhor as questões de boas práticas agrícolas, trabalhistas e a agricultura, sem causar danos ao meio ambiente (ACOB, 2022).

O bom manejo das lavouras de café orgânico é possível, aliando boas condições físicas e químicas do solo, assim, além de tratamentos com a estrutura do solo, emprega-se em larga escala a adubação com esterco bovino, avícola e compostos orgânicos oriundos de compostagens controladas (ALIXANDRE *et al.*, 2020).

Outra boa opção para os cultivos orgânicos é o uso de bioestimulantes de plantas, que são de origem natural, como por exemplo, os extratos de algas. Vários estudos atestaram para os efeitos benéficos do uso desses extratos, como o aumento do crescimento vegetativo,

aumento da produção, rendimento e qualidade das culturas, melhorias na tolerância aos estresses abióticos e bióticos, além do aumento da vida útil pós-colheita (BLUNDEN, 1991; KHAN *et al.*, 2009; NORRIE; KEATHLEY, 2006). O Extrato de *Ascophyllum nodosum* possui nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro, magnésio, zinco, sódio e enxofre (RAYORATH *et al.*, 2009), além de reguladores naturais de crescimento de plantas (JAYARAJ; ALI, 2015; SHUKLA *et al.*, 2019; ALI *et al.*, 2021). As algas do gênero *Lithothamnium*, por possuírem carbonato de cálcio e magnésio em sua composição, são usadas nas produções agrícolas há muitos anos como corretivos de acidez do solo (EVANGELISTA *et al.*, 2016). As algas do gênero *Kappaphycus* se destacam como bioestimulantes por possuírem reguladores de crescimento de plantas (SINGH *et al.*, 2016), além de ser rica em nutrientes (AGARWAL *et al.*, 2016).

Visando buscar alternativas para auxiliar no desenvolvimento de mudas propagadas vegetativamente, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito na parte aérea das mudas de café arábica, de três tipos de extratos de algas, em quatro dosagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, que está situada a 913,9 m de altitude e com coordenadas geográficas 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste de Greenwich.

Na produção das mudas de café arábica por estaquia, os ramos ladrões foram coletados em lavoura da cultivar mundo novo em janeiro de 2020. Posteriormente, seguiu-se a metodologia proposta por Rezende *et al.* (2017), para o enraizamento. Após 100 dias, quando as raízes passaram a aparecer no fundo dos tubetes, fez-se a montagem do experimento em viveiro, com irrigação em sistema de aspersão, selecionando as mudas mais vigorosas e homogêneas.

Fez-se a lavagem das raízes e o transplântio para saquinhos de polietileno de dimensão 10 x 20 cm, contendo somente vermiculita como substrato. Após, fez-se a aplicação dos tratamentos (TABELA 1) via solo, até a saturação do substrato, sendo realizada a cada 15 dias, durante 90 dias.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO/DOSE VIA SOLO
T1	0 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp.
T2	2,5 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp.
T3	5 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp.
T4	10 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp.
T5	0 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp.
T6	2,5 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp.
T7	5 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp.
T8	10 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp.
T9	0 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>
T10	2,5 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>
T11	5 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>
T12	10 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>

Fonte: Da autora (2022).

O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizados, com 4 plantas por parcela, sendo um fatorial 4 x 3, com quatro dosagens dos 3 extratos das algas *Ascophyllum nodosum* (ASC), *Lithothamnium* ssp. (LIT) e *Kappaficus* spp. (KAP). Aos 105 dias, ao final do experimento, realizou-se as avaliações.

2.1 Avaliações vegetativas

A medição da altura do broto (AB) foi feita com o auxílio de uma régua. Na medição do diâmetro do broto (DB) utilizou-se paquímetro digital, feita entre os dois primeiros entrenós. A área foliar (AF) foi determinada pelo método de dimensões foliares descrito por Barros *et al.* (1973). A parte aérea foi lavada, separadas as folhas do caule, as quais foram secas à temperatura de 70 °C, em estufa com circulação de ar, por 72 horas, para a obtenção das respectivas matérias secas e posterior realização da pesagem em uma balança de precisão, sendo quantificada a matéria seca foliar (MSF) e matéria seca do caule (MSC). Também se realizou a contagem do número de folhas (NF) presentes nas mudas.

2.2 Avaliações de clorofila

Os níveis relativos de clorofilas a, b e total foram medidos a partir de um medidor de clorofila portátil ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece dados de acordo com a absorvância da clorofila, denominados de Índices de Clorofila Falker (FCI) (BARBIERI JÚNIOR *et al.*, 2012).

2.3 Avaliações estomáticas

A avaliação da condutância estomática foliar - CEF - ($\text{CE} \cdot \text{mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) foi realizada utilizando-se o porômetro (SC-1, Decagon Devises), na face abaxial das folhas.

As secções paradérmicas, foram obtidas a partir da técnica de impressão da epiderme (SEGATTO *et al.*, 2004), colocando uma gota de adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre uma lâmina de vidro e, posteriormente, a parte central da folha, permitindo assim, a separação da epiderme da mesma.

As lâminas foram observadas e microfotografadas em microscópio óptico, modelo Red 200, marca Kasvi/Motic, acoplado à câmera digital modelo D-Moticam 5MP marca Motic. Posteriormente, as imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool, onde se fez a contagem do número de estômatos, e mediu-se o diâmetro polar dos estômatos e diâmetro equatorial dos estômatos. Assim, calculando a densidade estomática - DEN - (número de estômatos por mm^2) e funcionalidade estomática - FUN - (considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

2.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise da normalidade Shapiro-Wilk. Para os caracteres vegetativos que tiveram algum indício de fuga da distribuição normal dos resíduos, procedeu-se a transformação de Box-Cox, e o caracteres fisiológicos foram transformados por meio da raiz quadrada dos dados, objetivando a adequação dos resíduos à distribuição normal. Em seguida, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando observadas diferenças significativas, foi realizada a análise de regressão para doses variáveis, e o teste de agrupamento de média Scott-Knott para avaliações qualitativas. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R (R CORE TEAM, 2021), com utilização dos pacotes Expdes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2014) e MASS (VENABLES; RIPLEY 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância não se mostrou significativa para os caracteres AB, AF, DEN, FUN, CON, CLa, CLb e CLT. As características MSC, MSF, NF e DB apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste F para as diferentes dosagens testadas. Somente a característica MSC apresentou significância para a interação entre os extratos de algas e as dosagens. O experimento apresentou boa precisão, com o coeficiente de variação (CV) de 4,48 a 28,48% (TABELA 2). MARADIAGA RODRIGUEZ *et al.* (2017) encontraram resultados semelhantes de CV estudando extrato de alga em mudas de café arábica propagadas por sementes.

Carvalho *et al.* (2019), estudando extratos de algas em uvas de mesa, encontraram resultados positivos para os caracteres fisiológicos, houve melhoria da taxa fotossintética líquida, a condutância estomática, a eficiência do uso da água e a eficiência da carboxilação. Indo em contraponto a este trabalho com café arábica.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância das características avaliadas.

FV	GL	Quadrados médios					
		Massa seca do caule	Massa seca foliar	Número de folhas	Altura do broto	Diâmetro do broto	Área foliar
Algas	2	0,0043	0,0361	1,2679	0,1865	0,0488	0,0235
Doses	3	0,0446*	0,6678*	14,8711*	1,1743	0,3959*	5,5143
A*D	6	0,0394*	0,1043	1,6033	0,1020	0,0161	1,5380
Bloco	3	0,0921*	0,9042*	7,0955*	2,2370*	0,2807*	11,8490*
Resíduo	22	0,0123	0,1694	1,0437	0,5838	0,0293	3,1664
CV(%)		16,65	18,60	17,33	28,48	7,64	23,47

FV	GL	Quadrados médios					
		Densidade estomática	Funcionalidade estomática	Condutância estomática	Teor de clorofila	Teor de clorofila	Teor de clorofila total
Algas	2	1,726E-05	0,0046	0,0690	0,9395	0,1575	0,8775
Doses	3	2,798E-05	0,0042	2,5920	6,4350	9,3403	13,4240
A*D	6	2,179E-05	0,0018	0,8450	0,8300	1,7380	1,8770
Bloco	3	4,981E-05	0,0027	6,2123	1,2707	1,8783	2,5820
Resíduo	22	1,625E-05	0,0032	2,4920	4,3187	5,3278	8,4505
CV(%)		17,37	4,48	13,64	11,71	22,97	14,24

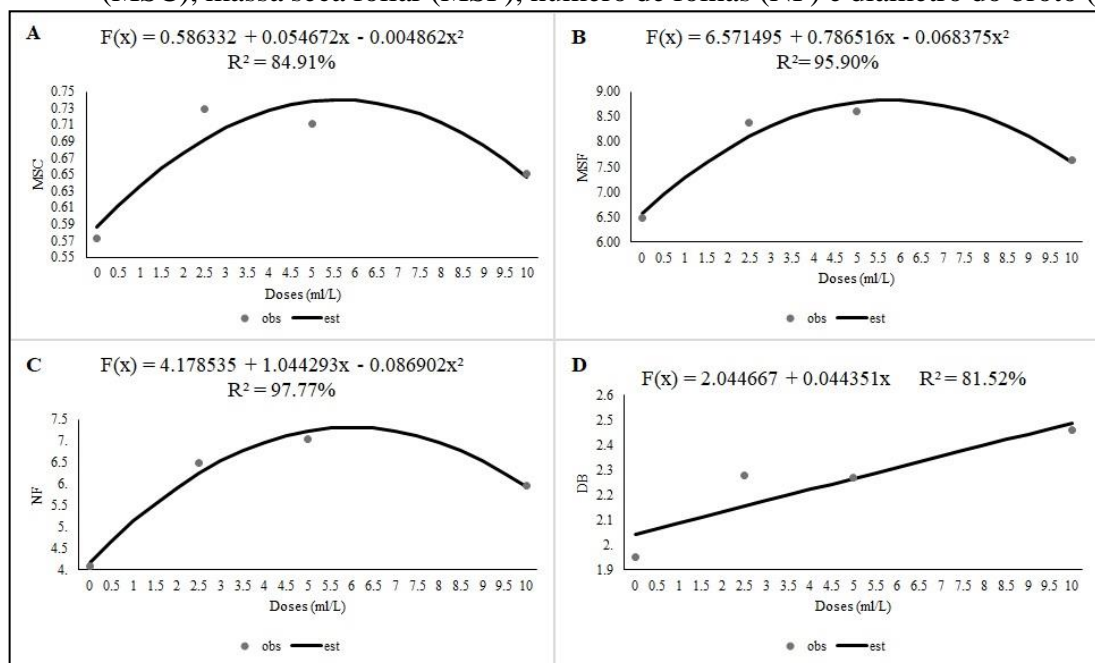
*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Da autora (2022).

As características Massa seca do caule, Massa seca foliar, Número de folhas e Diâmetro do broto são fundamentais para entender o desenvolvimento das plantas. A Massa seca do caule, Massa seca foliar e Número de folhas apresentaram curvas quadráticas para o efeito das doses,

sendo o ápice por volta da dose de 5 ml/L. A característica NB apresentou uma curva linear, sendo que o diâmetro do broto aumentou com as maiores dosagens de extrato de algas. Os efeitos positivos no crescimento e desenvolvimento das plantas podem estar atrelados aos componentes químicos presentes nos extratos de algas (KHAN *et al.*, 2009). No caso das características de desenvolvimento vegetativo os efeitos bioestimulantes são reais, pois mesmo em baixas concentrações gerou um resultado satisfatório. A utilização de extratos de algas como bioestimulantes de plantas via solo tem sido bem relatada para estímulos de desenvolvimento da parte aérea de algumas culturas como girassol, nabo forrageiro e mamona (EVANGELISTA *et al.*, 2015).

Figura 1 – Efeito das dosagens de extratos de algas nas características massa seca do caule (MSC), massa seca foliar (MSF), número de folhas (NF) e diâmetro do broto (DB).



Fonte: Da autora (2022).

Para a massa seca do caule, quando se utilizou a dosagem de 10ml/L, o extrato de *Lithothamnium* ssp. apresentou maior média que os demais extratos (TABELA 3). A massa seca do caule apresentou um aumento linear com o aumento das dosagens de *Lithothamnium* ssp. (FIGURA 3C). O interessante do extrato de *Lithothamnium* ssp. é que em baixas dosagens ela se comporte como condicionador de solo à base de cálcio, e quando em maiores doses, como corretivo de acidez do solo (ORTIZ; TEIXEIRA, 2021). Embora a massa seca do caule esteja aumentando com as doses, em sistemas de produção, a utilização deste extrato deve levar em consideração que doses muito elevadas podem levar à indisponibilidade de alguns micronutrientes devido à elevação do pH do solo.

Novos estudos com as algas do gênero *Lithothamnium* têm atestado suas ações como bioestimulantes nas plantas, trazendo melhoria em produtividade como reflexo da promoção de crescimento das plantas (MÓGOR *et al.*, 2021). A maioria das respostas encontradas ao utilizar esses extratos é a presença de ácido húmico, que são responsáveis por melhorar a aquisição e aproveitamento de nutrientes (CANELLAS *et al.*, 2015; DU JARDIN, 2015).

Tabela 3 – Médias da característica massa seca do caule, na dosagem 10 ml/L, submetidas aos tratamentos com *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium ssp.* e *Kappaphicus spp.*

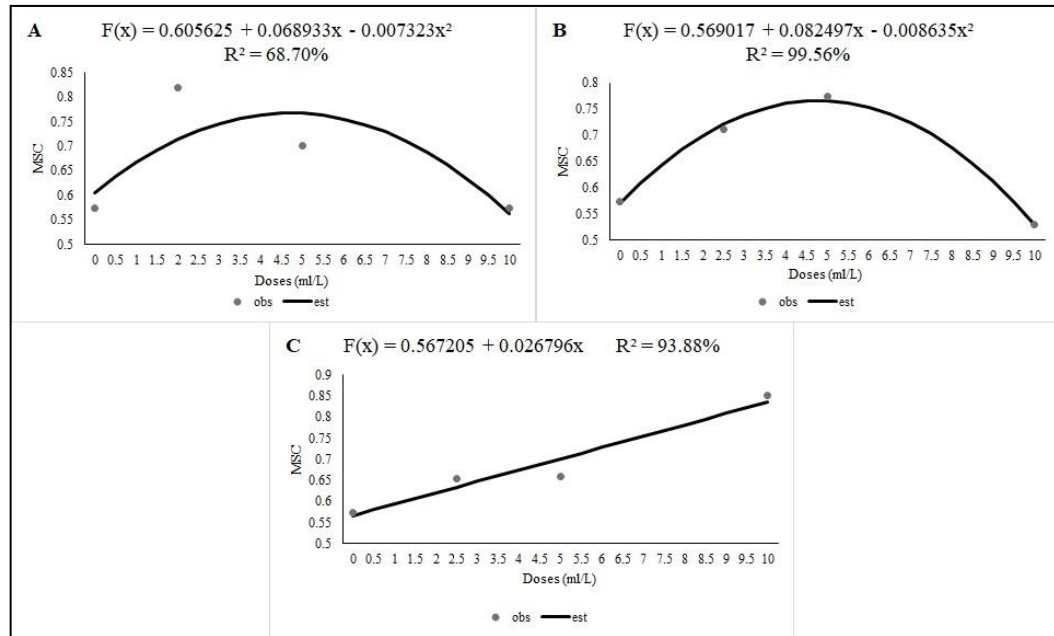
ALGAS	Massa seca do caule
	10
<i>Ascophyllum nodosum</i>	0,57 b
<i>Lithothamnium ssp</i>	0,85 a
<i>Kappaphicus spp.</i>	0,53 b

As médias seguidas pela mesma letra na vertical não se diferenciam entre si pelo Teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

A massa seca do caule apresentou curva quadrática com pico aproximadamente nas dosagens de 5 ml/L tanto no tratamento com extrato de *A. nodosum* (FIGURA 3A), quanto com extrato de *Kappaphicus spp.* (FIGURA 3B). O extrato de *A. nodosum* melhora a absorção e assimilação de nutrientes, principalmente de nitrogênio (FAN *et al.*, 2013). Além de possuir na composição, auxinas, citocininas, giberelinas e ácido abscísico, que contribuem para o crescimento e desenvolvimento das plantas (ROUPHAEL; COLLA, 2018; DE SAEGER *et al.*, 2020). A presença de microelementos e reguladores de crescimento no extrato de *Kappaphicus spp.* pode estar ligada também a um melhor aproveitamento dos nutrientes levando a um aumento nos parâmetros de crescimento (PRAMANICK; BRAHMACHARI; GHOSH, 2014).

Figura 3 – Massa seca do caule (MSC) com doses de *Ascophyllum nodosum* (A), doses de *Kappaphicus spp.* (B) e doses de *Lithothamnium ssp.* (C)



Fonte: Da autora (2022).

4 CONCLUSÃO

A dose de 5 ml.L⁻¹ foi a que apresentou os melhores resultados para os 3 extratos de algas, e as algas *Ascophyllum nodosum* e *Lithothamnium* ssp. foram as que apresentaram os melhores resultados para as principais características significativas.

Devido aos poucos estudos com as espécies de café, ainda são necessárias a realização de outras pesquisas para entender melhor o efeito dos extratos de algas no cafeeiro.

REFERÊNCIAS

ACOB. Associação de Cafés Orgânicos e Sustentáveis do Brasil (ACOB). **Mercado café orgânico**. Disponível em: <http://www.cafeorganicobrasil.org/mercado>. Acesso em: 30 mar. 2022.

AGARWAL, P. *et al.* Insights into the role of seaweed *Kappaphycus alvarezii*. sap towards phytohormone signalling and regulating defence responsive genes in *Lycopersicon esculentum*. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2529-2537, 2016.

ALI, O.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAJ, J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. **MDPI-Plants**, [S.l.], v. 10, p. 531, 2021.

ALIXANDRE, F.T. *et al.* **Cafeicultura sustentável: boas práticas agrícolas para o café arábica**. Vitória, ES: Incaper, 2020. (Incaper Documentos 269).

BARBIERI JÚNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tofton 85. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 42, p. 2242-2245, 2012.

BARROS, R.S. *et al.* Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.

BLUNDEN, G. Agricultural uses of seaweeds and seaweed extracts. *In*: GUIRY, M.D.; BLUNDEN, G. (Eds.) **Seaweed resources in Europe: uses and potential**. Wiley: Chichester, 1991. p. 65-81.

BRAGANÇA, S.M. *et al.* Formação de mudas. *In*: _____. **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p. 19-28.

CANELLAS, L.P. *et al.* Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 159, p. 202-211, 2011.

CARVALHO, A. *et al.* (Ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. V. 1. 76 p.

CARVALHO, M. *et al.* Comportamento em pós plantio de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 108-114, jul./dez. 2008.

CARVALHO, R.P. *et al.* "Niágara Rosada" table grape cultivated with seaweed extracts: physiological, nutritional, and yielding behavior. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 31, p. 2053-2064, 2019.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

DE SAEGER, J. *et al.* Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 32, p. 573-597, 2020.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 3-14, 2015.

EVANGELISTA, A. *et al.* Desenvolvimento inicial da mamoneira, girassol e nabo forrageiro adubados com *Lithothamnium*. **Global Science and Technology**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 40-48, 2015.

EVANGELISTA, A.W. *et al.* Irrigation and *Lithothamnium* fertilization in bell pepper cultivated in organic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, p. 830–835, 2016.

FAN, D. *et al.* A commercial extract of Brown Macroalga (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of Spinach in vitro. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S.l.], v. 44, p. 1873-1884, 2013.

FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, [S.l.], v. 5, p. 2952-2958, 2014.

ICO. Internacional Coffee Organization. **Estatísticas do comércio**. 2022. Disponível em: https://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp. 2022. Acesso em: 10 fev. 2022.

GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* A produção de mudas de cafeeiros em tubetes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 98-109, maio/jun. 1998.

JAYARAJ, J.; ALI, N. Use of seaweed extracts for disease management of vegetable crops. *In*: SANGEETHA, S.; V. JAYARAJ, K.J (Eds.) **Sustainable crop disease management using natural products**. CABI publications, 2015. p.160-183.

KHAN, W. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 28, p. 386-399, 2009.

MARADIAGA RODRIGUEZ, W.D. *et al.* Growing of coffee seedlings on different substrates and fertilized with *Lithothamnium*. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, [S.l.], v. 70, n. 2, p. 8177-8182, 2017.

MÓGOR, A.F. *et al.* Biostimulant action of *Lithothamnium* sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 33, p. 1905-1913, 2021.

NORRIE, J.; KEATHLEY, J. P. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to “Thompson seedless’ grape production. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 727, p. 243-247, 2006.

ORTIZ, E; TEIXEIRA, N. T. Algas calcárias nas propriedades químicas do solo. **Ecossistema**, [S.l.], v. 41, n. 1, 2021.

PAULINO, A.J. *et al.* **Cultura do café conillon**: instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil. Rio de Janeiro: MIC- IBC-DIPRO, 1987. 43 p.

PRAMANICK, B. *et al.* Effect of seaweed sap derived from two marine algae *Kappaphycus* and *Gracilaria* on growth and improvement of blackgram. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, [S.l.], v. 45, n. 6, p. 789-794, 2016.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

RAYORATH, P. *et al.* Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, [S.l.], v. 230, 135-147, 2009.

REZENDE, T.T. *et al.* Vegetative propagation of coffee by mini-cutting. **Coffee Science**, , [S.l.], v. 12, n. 1, p. 91–99, 2017.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 9, p. 1655, 2018.

SEGATTO, F.B. *et al.* Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, set./out. 2004.

SHUKLA, P.S. *et al.* *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 10, p. 665, 2019.

SINGH, S. *et al.* Sustainable enhancement in yield and quality of rain-fed maize through *Gracilaria edulis* and *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2099-2112, 2016.

SONDAHL, M. R.; MONACO, L. C.; SHARP, W. R. In vitro methods applied to coffee. In: THORPE, T. A. (Ed.). **Plant tissue culture: methods and applications in agriculture**. New York: Academic, 1981. p. 325-348, 2000.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. **Modern Applied Statistics with S**. New York: Springer, Fourth, 2002.

ARTIGO 2 ENRAIZAMENTO DE MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE *COFFEA ARABICA* L. TRATADAS COM EXTRATO DE ALGAS

RESUMO

O emprego de bioestimulantes da agricultura tem crescido devido aos bons resultados nas culturas, sendo bons aliados da agricultura sustentável. Dentre eles, os extratos de algas possuem grande destaque em diversos aspectos, principalmente formação de raízes. Uma muda de cafeeiro com qualidade possui, sobretudo, o sistema radicular bem desenvolvido. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento radicular de mudas de café arábica propagadas via estacas, quando tratadas com diferentes doses e extratos de algas. O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 3, com quatro dosagens (0; 2,5; 5 e 10 mL.L⁻¹) dos 3 extratos das algas *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. e *Kappaphicus* spp. Houve resultados satisfatórios para as algas *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. no enraizamento na dose de 5 a 10 mL.L⁻¹. Para a alga *Kappaphicus* spp. o efeito foi negativo. Novos estudos devem ser realizados para tirar melhores conclusões a respeito do efeito na cultura.

Palavras-chave: Raiz. Café arábica. Estacas. *Ascophyllum nodosum*. *Lithothamnium* spp. *Kappaphicus* spp.

ABSTRACT

The use of agricultural biostimulants has grown due to the good results in cultures, being good allies of sustainable agriculture. Among them, algae extracts have great prominence in several aspects, mainly root formation. A quality coffee seedling has, above all, a well-developed root system. Thus, this work aimed to evaluate the root development of arabica coffee seedlings propagated via cuttings when treated with different doses and algae extracts. The experiment was set up in a randomized block design, in a 4 x 3 factorial scheme, with four dosages (0; 2.5; 5, and 10 mL.L⁻¹) of the three extracts of the algae *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. and *Kappaphicus* spp. There were satisfactory results for the algae *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. in rooting at a dose of 5 to 10 mL.L⁻¹. For algae *Kappaphicus* spp. the effect was negative. Further studies should be conducted to draw better conclusions about the effect on culture.

Keywords: Root. *Arabica coffee*. Cuttings. *Ascophyllum nodosum*. *Lithothamnium* spp. *Kappaphicus* spp.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de o café, desde as épocas imperiais, ser produzido em grandes quantidades e com eficiência, há uma grande necessidade de mudanças nos processos de produção. O perfil nacional e internacional dos consumidores de café está mais exigente em questões sensoriais de qualidade da bebida do café. Além disso, a atenção aos impactos ambientais está levando os produtores a procurarem certificações sustentáveis para suas lavouras (RIBEIRO-DUTHIE *et al.*, 2020).

A cafeicultura possui lavouras que persistem em produção por vários anos, portanto, mudas bem desenvolvidas para a formação delas são de suma importância. A propagação do café arábica ainda é feita quase que na totalidade por sementes, porém, a propagação vegetativa, embora pouco empregada, pode ser uma boa opção, uma vez que mantém as características da planta matriz (BRAGANÇA *et al.*, 1995; PAULINO *et al.*, 1987). No setor dos programas de melhoramento genético é interessante para explorar genótipos superiores em menor tempo de desenvolvimento, além de conseguira heterozigose de materiais de interesse (SONDAHL; MONACO; SHARP, 2000).

Uma muda de qualidade possui, sobretudo, o sistema radicular bem formado. Um dos grandes problemas nesta etapa é o pião torto na raiz, quando acontece de entortar a raiz pivotante, o que pode ser sanado quando se faz a propagação vegetativa, uma vez que esse tipo de muda não possui raiz pivotante (RENA; MAESTRI, 1986). Jesus *et al.* (2006) comparando mudas propagadas por semente e vegetativa, encontraram melhor desenvolvimento radicular em mudas de ano formadas por estacas.

O emprego de bioestimulantes da agricultura tem crescido devido aos bons resultados nas culturas. São bons aliados da agricultura sustentável uma vez que estão sendo cada dia mais procurados pelos produtores (RONGA *et al.*, 2019). São diversos os tipos de fontes de bioestimulantes de plantas disponíveis no mercado atualmente, e, vem se destacando, aqueles que são à base de extratos de algas. As algas marinhas são utilizadas na agricultura muito antes de surgir essas questões de impactos ambientais de agroquímicos, pois são capazes de corrigir o pH do solo e, principalmente, para aumentar a fertilidade e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE, 2011).

Os extratos de algas marinhas possuem diversos compostos bioativos como nutrientes minerais, fitohormônios, polissacarídeos, ácidos graxos e vitaminas (BATTACHARYYA *et al.*, 2015), podendo estimular a rizogênese e o desenvolvimento radicular tanto em plantas oriundas de sementes quanto de estacas (PACHOLCZAK *et al.*, 2016; VERNIERI *et al.*, 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento radicular de mudas de café arábica propagadas via estacas, quando tratadas com diferentes doses e extratos de algas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, que está situada a 913,9 m de altitude e com coordenadas geográficas 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste de Greenwich.

As estacas para a produção das mudas foram obtidas a partir de brotações ortotrópicas coletadas em lavoura da cultivar Mundo Novo, em janeiro de 2020. A metodologia para formação de mudas por estaquia foi a proposta por Rezende *et al.* (2017). Após 100 dias, quando as raízes passaram a aparecer no fundo dos tubetes, fez-se a montagem do experimento selecionando as mudas mais vigorosas e homogêneas.

Realizou-se a lavagem das raízes e o transplântio para saquinhos de polietileno de dimensão 10 x 20 cm, contendo somente vermiculita como substrato. Foi conduzido viveiro com irrigação por aspersão. Fez-se a aplicação dos tratamentos (TABELA 1) dissolvidos em água, via solo, até a saturação do substrato, sendo realizada a cada 15 dias, durante 90 dias.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Alga	Dose via solo
T1		0 ml.L ⁻¹
T2	<i>Lithothamnium</i> ssp.	2,5 ml.L ⁻¹
T3		5 ml.L ⁻¹
T4		10 ml.L ⁻¹
T5		0 ml.L ⁻¹
T6	<i>Kappaficus</i> ssp.	2,5 ml.L ⁻¹
T7		5 ml.L ⁻¹
T8		10 ml.L ⁻¹
T9		0 ml.L ⁻¹
T10	<i>Ascophyllum nodosum</i>	2,5 ml.L ⁻¹
T11		5 ml.L ⁻¹
T12		10 ml.L ⁻¹

Fonte: Da autora (2022).

O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizados, com 4 plantas por parcela, sendo um fatorial 4 x 3, com quatro dosagens dos 3 extratos das algas *Ascophyllum nodosum* (ASC), *Lithothamnium* ssp. (LIT) e *Kappaphicus* spp. (KAP). Corridos 105 dias do

início das aplicações, finalizou-se o experimento, avaliando o comprimento radicular com auxílio de uma régua graduada em centímetros. Para análise de área superficial, volume e diâmetro da raiz, foram feitas fotografias das mudas para posterior análise no software SAFIRA, 2010 – Sistema para Análise de Fibras e Raízes (JORGE; SILVA, 2010). A parte radicular foi lavada e separada da parte aérea, e foi seca à temperatura de 70 °C, em estufa com circulação de ar, por 72 horas, para a obtenção da matéria seca radicular.

Os dados foram submetidos à análise da normalidade Shapiro-Wilk. Para os caracteres que tiveram algum indício de fuga da distribuição normal dos resíduos, procedeu-se a transformação de Box-Cox, objetivando a adequação dos resíduos à distribuição normal. Em seguida, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando observadas diferenças significativas, foi realizada a análise de regressão para doses, e o teste de agrupamento de média Scott-Knott para avaliações qualitativas. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R (R CORE TEAM, 2021), com utilização dos pacotes Expdes (FERREIRA; CAVALCANT, 2014) e MASS (VENABLES; RIPLEY 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância não se mostrou significativa somente para a variável massa seca da raiz. As variáveis comprimento radicular, volume, área superficial e diâmetro da raiz R apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, para os diferentes extratos de algas. A interação entre os extratos e as doses aplicadas se mostrou significativa para as características volume e área superficial. O experimento apresentou boa precisão, com o coeficiente de variação de 3.44 a 18.76% (TABELA 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância das estimativas de massa seca de raiz, comprimento radicular, volume radicular, área superficial radicular e diâmetro da raiz.

FV	G L	Quadrados médios				
		Massa seca de raiz	Comprimento radicular	Volume radicular	Área superficial radicular	Diâmetro da raiz
Algas (A)	2	0.0170158	10,4797*	0.5387*	1.93089 *	1,14187*
Doses (D)	3	0.0023849	1,5472	0.09101	0.34658	0,18592
A*D	6	0.0144924	4,4642	0.18153*	0.60035*	0,44438
Bloco	3	0.0170660	3,2623	0.09206	0.23032	0,20052
Resíduo	2	0.0122297	2,2446	0.06267	0.18143	0,21669
CV(%)		3.44	11.12	3.67	3.86	18.76

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Da autora (2022).

Para as variáveis Comprimento radicular, Área superficial radicular e Diâmetro da raiz apresentaram as maiores médias quando submetidas ao tratamento com as algas *A. nodosum* e *Lithothamnium* ssp. Vários trabalhos atestaram o poder bioestimulante dos extratos de algas, refletindo de forma positiva, no desenvolvimento radicular (PACHOLCZAK *et al.*, 2016; VERNIERI *et al.*, 2006). Os extratos de algas que possuem maiores quantidade de polissacarídeos tem alta atividade promotora de crescimento das raízes (HERNÁNDEZ-HERRERA *et al.*, 2016). Scaglia *et al.* (2016), identificaram vários compostos orgânicos pequenos, como aminoácidos, ácidos carboxílicos lineares e ácido carboxílico aromático, capazes de induzir respostas do tipo auxina em plantas como o aumento de crescimento da raiz.

Tabela 3 – Médias das características comprimento radicular, volume radicular, área superficial radicular e diâmetro da raiz, submetidas aos tratamentos com *Ascophyllum nodosum* (ASC), *Lithothamnium* ssp. (LIT) e *Kappaficus* ssp. (KAP).

ALGAS	MÉDIA			
	Comprimento radicular	Volume radicular	Área superficial radicular	Diâmetro da raiz
<i>Ascophyllum nodosum</i>	14.26 a	7.00 a	11.39 a	2.79 a
<i>Lithothamnium</i>	13.69 a	6.89 a	11.10 a	2.49 a
<i>Kappaficus</i> ssp.	12.43 b	6.59 b	10.60 b	2.17 b

As médias seguidas pela mesma letra na vertical não se diferenciam entre si pelo Teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Nas interações, as variáveis volume radicular, área superficial radicular foram significativas somente para as dosagens de 5 e 10 ml/L de extrato de algas. O volume não apresentou diferenças entre as médias das três algas testadas na dose de 5 ml.L⁻¹ pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Na dose de 10 ml.L⁻¹, as algas *A. nodosum* e *Lithothamnium* ssp. apresentaram as maiores médias. A área superficial obteve média maior quando se utilizou a alga *A. nodosum* a 5 ml.L⁻¹, quando se utilizou 10 ml.L⁻¹, as algas *A. nodosum* e *Lithothamnium* ssp. apresentaram as maiores médias (TABELA 4).

Extratos de *A. nodosum* possuem reguladores naturais de crescimento de plantas, incluindo citocininas, auxinas, betaínas, oligossacarídeos e outros compostos orgânicos (JAYARAJ; ALI, 2015; SHUKLA *et al.*, 2019; ALI *et al.*, 2021). Vale lembrar, que as citocininas são conhecidas por estimular a divisão e diferenciação celular, e a giberelina é responsável pelo alongamento e expansão da raiz (ALAM; CHONG, 2006). Esses reguladores naturais presentes nos extratos promovem uma melhoria na nutrição das plantas como consequência de um sistema radicular mais vigoroso, com maior área superficial e volume para absorção de água e nutrientes (ALAM *et al.*, 2013).

Maradiaga Rodriguez *et al.* (2017) analisaram os efeitos de fertilizantes enriquecidos com a alga *Lithothamnium* ssp. para a cultura do café e encontraram melhores resultados no enraizamento nas dosagens de 5,25 kg.m⁻³, o que equivale a dose de 5 ml.L⁻¹ utilizada neste trabalho. Essa alga é usada há muitos anos como condicionadora de solos, e corretora de pH, por possuir carbonato de cálcio e magnésio (EVANGELISTA *et al.*, 2016). Recentemente, Amatussi *et al.* (2020) encontraram um alto grau de substâncias húmicas em extratos de *Lithothamnium* ssp. contendo um bioativo com atividade semelhante ao hormônio auxina, importante no enraizamento de plantas. Mógor *et al.* (2021) encontraram resultados semelhantes mostrando que os extratos dessa alga têm ação bioestimulante. Isso se deve à presença de ácido húmico, que é responsável por melhorar a absorção e aproveitamento de nutrientes (CANELLAS *et al.*, 2015; DU JARDIN, 2015).

Tabela 4 – Médias das estimativas de volume radicular, área superficial radicular e massa seca do caule, nas dosagens de 5 e 10 mL.L⁻¹, submetidas aos tratamentos com *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* ssp. (LIT) e *Kappaficus* ssp. (KAP).

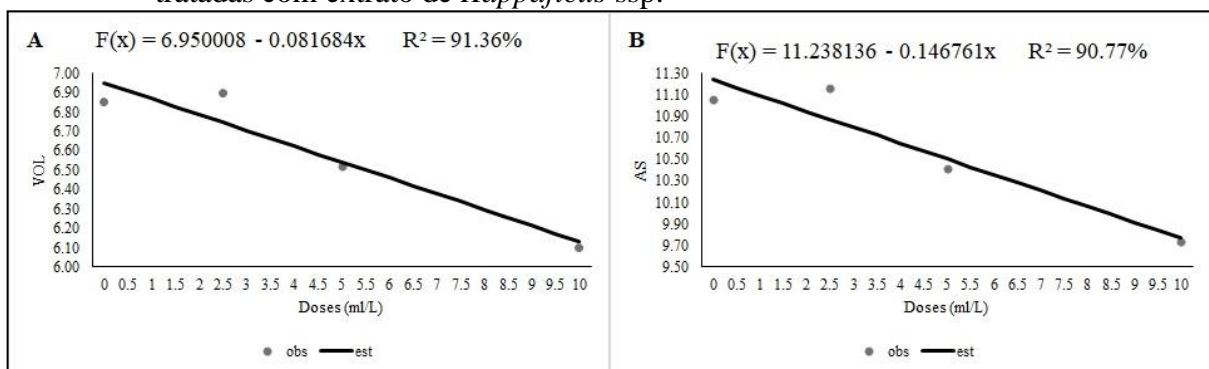
ALGAS	Volume radicular		Área superficial radicular	
	5	10	5	10
<i>Ascophyllum nodosum</i>	7,09 a	7,02 a	11,68 a	11,31 a
<i>Lithothamnium</i> ssp.	6,81 a	7,00 a	10,99 b	11,26 a
<i>Kappaficus</i> ssp.	6,52 a	6,10 b	10,42 b	9,74 b

As médias seguidas pela mesma letra na vertical não se diferenciam entre si pelo Teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Somente o extrato da alga *Kappaficus* ssp. mostrou significância para as dosagens, sendo que apresentou uma queda linear no volume e na área superficial com o aumento das doses. Embora seja um extrato em que possua níveis consideráveis de macro e micronutrientes (AGARWAL *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2022), além de compostos como ácido indol-acético (AIA), ácido giberélico (GA3) e citocininas (SINGH *et al.*, 2016), que atuam no desenvolvimento do sistema radicular, em mudas de café arábica propagadas por estacas, não houve efeitos positivos, contradizendo estudos com diversas culturas, como trigo, milho, berinjela, dentre outros (PATEL; AGARWAL; AGARWAL, 2018; TRIVEDI *et al.*, 2018; YUSUF *et al.*, 2021; TRIVEDI *et al.*, 2022).

Figura 2 – Volume radicular - VOL - (A) e área superficial radicular - AS - (B) das mudas tratadas com extrato de *Kappaficus* ssp.



Fonte: Da autora (2022).

4 CONCLUSÃO

Para mudas propagadas vegetativamente de *Coffea arabica* L. há resultados satisfatórios para as algas *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* ssp. no enraizamento na dose de 5 a 10 ml.L⁻¹. Para alga *Kappaphicus* spp. o efeito foi negativo. Novos estudos devem ser realizados para tirar melhores conclusões a respeito do efeito na cultura.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, P. *et al.* Insights into the role of seaweed *Kappaphycus alvarezii*. sap towards phytohormone signalling and regulating defence responsive genes in *Lycopersicon esculentum*. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2529-2537, 2016.
- ALAM, M.Z.; CHONG, C. Rooting of cuttings and role of pH. In: TEXEIRA DA SILVA, J. A. (Ed.) **Floriculture, ornamental and plant biotechnology: Advances and topical issues**. 1st ed. p.1-11 London, UK: Global Science Books, 2006. V. III.
- ALAM, M.Z. *et al.* Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. **Canadian Journal of Plant Science**, [S.l.], v. 93, p. 23-36, 2013.
- ALI, O., RAMSUBHAG, A.; JAYARAJ, J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. **MDPI-Plants**, [S.l.], v. 10, p. 531, 2021.
- AMATUSSI, J.O. *et al.* Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 32, p. 2023-2030, 2020.
- BATTACHARYYA, D. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 39-48, 2015.
- BRAGANÇA, S.M. *et al.* Formação de mudas. In: _____. **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p. 19-28.
- CANELLAS, L.P. *et al.* Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 15-27, 2015.
- CRAIGIE, J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 23, p. 371–393, 2011.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 3-14, 2015.
- EVANGELISTA, A.W. *et al.* Irrigation and *Lithothamnium* fertilization in bell pepper cultivated in organic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, p. 830–835, 2016.
- FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, [S.l.], v. 5, p. 2952-2958, 2014.
- HERNÁNDEZ-HERRERA, R.M. *et al.* Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2549-2560, 2016.

- JAYARAJ, J.; ALI, N. Use of seaweed extracts for disease management of vegetable crops. *In: SANGEETHA, S.; V. JAYARAJ, K.J (Eds.) Sustainable crop disease management using natural products.* CABI publications, 2015. p.160-183.
- JESUS, A.M.S. *et al.* Comparação entre sistemas radiculares de mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por estaquia e por sementes. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 14-20, abr./jun. 2006.
- JORGE, L.A. de C.; RODRIGUES, A.F. de O. **Safira**: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos: Boletim de pesquisa e desenvolvimento EMBRAPA, 2010. p. 20.
- KHAN, W. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 28, p. 386-399, 2009.
- KUMAR, K.S; SUSHMA, K.; SUBBA RAO, P.V. Studies on nutritional composition of three colour forms of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 18-25, jan. 2022.
- MARADIAGA RODRIGUEZ, W.D. *et al.* Growing of coffee seedlings on different substrates and fertilized with *Lithothamnium*. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, [S.l.], v. 70, n. 2, p. 8177-8182, 2017.
- MÓGOR, A.F. *et al.* Biostimulant action of *Lithothamnium* sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 33, p. 1905-1913, 2021.
- PACHOLCZAK, A.; NOWAKOWSKA, K.; PIETKIEWICZ, S. The effects of synthetic auxin and a seaweed-based biostimulator on physiological aspects of rhizogenesis in ninebark stem cuttings. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, [S.l.], v. 44, p. 85-91, 2016.
- PATEL, K.; AGARWAL, P.; AGARWAL, P.K. *Kappaphycus alvarezii* sap mitigates abiotic-induced stress in *Triticum durum* by modulating metabolic coordination and improves growth and yield. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 30, p. 2659-2673, 2018.
- PAULINO, A.J. *et al.* **Cultura do café conillon**: instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil. Rio de Janeiro: MIC- IBC-DIPRO, 1987. 43 p.
- R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiología do cafeeiro. *In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.* Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 13-66.
- REZENDE, T.T. *et al.* Vegetative propagation of coffee by mini-cutting. **Coffee Science**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 91-99, 2017.

RIBEIRO-DUTHIE, A.C.; GALE, F.; MURPHY-GREGORY, H. The innovation of the fair trade movement to foster sustainability aims. World Symposium on Sustainability Proceedings. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 996-1010, maio 2020.

RONGA, D. *et al.* Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. **Agronomy**, [S.l.], v. 9, p. 192, 2019.

SCAGLIA, B. *et al.* Investigating organic molecules responsible of auxinlike activity of humic acid fraction extracted from vermicompost. **Science of the Total Environment**. [S.l.], v. 562, p. 289-295, 2016.

SHUKLA, P. S. *et al.* Ascophyllum nodosum-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 10, p. 665, 2019.

SINGH, S. *et al.* Sustainable enhancement in yield and quality of rain-fed maize through *Gracilaria edulis* and *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2099-2112, 2016.

SONDAHL, M. R.; MONACO, L. C.; SHARP, W. R. In vitro methods applied to coffee. In: THORPE, T. A. (Ed.). **Plant tissue culture: methods and applications in agriculture**. New York: Academic, 1981. p. 325-348, 2000.

TRIVEDI, K. *et al.* Differential growth, yield and biochemical responses of maize to the exogenous application of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract, at grain-filling stage under normal and drought conditions. **Algal Research**, [S.l.], v. 35, p. 236-244, 2018.

TRIVEDI, K. *et al.* Role of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract and its active constituents, glycine betaine, choline chloride, and zeatin in the alleviation of drought stress at critical growth stages of maize crop. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 34, p. 1791-1804, 2022.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. **Modern Applied Statistics with S**. New York: Springer, Fourth, 2002.

VERNIERI, P. *et al.* Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 718, p. 477-484, 2006.

YUSUF, R. *et al.* Application of local seaweed extracts to increase the growth and yield eggplant (*Solanum melongena* L.). **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.l.], v. 681, p. 012019, 2021.

ARTIGO 3 DESENVOLVIMENTO DE MUDAS PROPAGADAS VEGETATIVAMENTE DE *COFFEA ARABICA* L. SUBMETIDAS ÀS APLICAÇÕES DE BIOESTIMULANTES À BASE DE ALGAS MARINHAS

RESUMO

O cafeeiro é uma planta perene, e uma lavoura bem formada no início e com o manejo correto, garante boas produções durante muitos anos. A busca por alternativas para melhor produzir mudas tem sido uma busca constante entre os pesquisadores de café. Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar as misturas entre os extratos de *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. e *Kappaficus* spp., e também as correlações entre as variáveis analisadas de acordo com cada um dos extratos. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, utilizando mudas pré-formadas propagadas via estacas, da cultivar Mundo Novo. Foi montado em delineamento de blocos casualizados, testando extrato de 3 algas (*Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. e *Kappaficus* spp.) e algumas misturas entre eles. A análise de variância não se mostrou significativa para todas as variáveis analisadas. Porém, ao analisar os extratos nas redes de correlações, apresentaram um bom equilíbrio entre as variáveis analisadas para os extratos das 3 algas testadas. Ainda são necessários outros estudos acerca dos efeitos destes bioestimulantes em café arábica.

Palavras-chaves: Café arábica. Estacas. Correlação. *Ascophyllum nodosum*. *Lithothamnium* spp. *Kappaficus* spp.

ABSTRACT

The coffee tree is a perennial plant and a well-formed crop at the beginning, and with the correct management, it guarantees good production for many years. The search for alternatives to better produce seedlings has been a constant search among coffee researchers. The work was carried out to analyze mixtures of extracts of *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp., *Kappaficus* spp., as well as correlations of the variables according to each of the extracts. The experiment was carried out in the Coffee Sector of the Department of Agriculture, using pre-formed seedlings propagated via cuttings of the Mundo Novo cultivar. It was set up in a randomized block design, testing extracts of 3 algae (*Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp., and *Kappaficus* spp.) and some mixtures between them. The analysis of variance was not significant for all the variables analyzed. However, when analyzing the extracts in the correlation networks, they showed a good balance between the variables analyzed for the extracts of the three tested algae. Further studies on the effects of these biostimulants on arabica coffee are still necessary.

Keywords: Arabica coffee. Cuttings. Correlation. *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. *Kappaficus* spp.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* possui diversas espécies, porém, no comércio mundial, duas se destacam, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, e representam 60 e 40% da produção respectivamente (VOSSSEN; BERTRAND; CHARRIER; 2015). O Brasil é o maior produtor de café, sendo a safra de 2022 estimada em aproximadamente 53,43 milhões de sacas beneficiadas, incluindo as duas espécies (CONAB, 2022).

O cafeeiro é uma planta perene, e uma lavoura bem formada no início, e com o manejo correto, garante boas produções durante muitos anos. Para tanto, a etapa de formação de mudas é de extrema importância. Os viveiros comerciais propagam o café arábica por sementes e por ser uma espécie com altos níveis de autogamia se consegue que as mudas fiquem uniformes. No entanto, tem aumentado as pesquisas com a propagação vegetativa para essa espécie, utilizando diversas modalidades, mas, principalmente, a estaquia (OLIVEIRA *et al.*, 2011; REZENDE *et al.*, 2017; DOMINGHETTI *et al.*, 2016).

A cafeicultura brasileira está sofrendo uma série de mudanças, sobretudo no que diz respeito às questões ambientais, buscando o equilíbrio entre a lavoura, a fauna e a flora. Com isso, tem levado os produtores a procurar maneiras para a produção de café sustentável, assim, adequando às diversas exigências das certificações (RIBEIRO-DUTHIE *et al.*, 2020).

Dentre os diversos produtos tidos como sustentáveis hoje no mercado, os bioestimulantes de plantas têm se destacado. Eles são formulações de substâncias e microrganismos que estimulam os processos naturais da planta, assim, aumentam a absorção de nutrientes e o aproveitamento destes, melhoram a qualidade de colheita, beneficiando o rendimento e vigor das plantas, além de aumentar a tolerância aos estresses abióticos e bióticos (EBIC, 2021).

Os bioestimulantes à base de algas marinhas estão em alta no mercado, não somente por serem produtos de origem orgânica, mas por seus efeitos positivos nas culturas. A espécie *Ascophyllum nodosum* é a mais utilizada nos dias de hoje (ALI; RAMSUBHAG; JAYARAJ 2018). Algumas espécies já são utilizadas há muitos anos pelos efeitos de fertilizantes, corretivos e corretores de pH de solo, como é o caso da *Lithothamnium* spp. Outras, como é o caso da *Kappaficus* spp., mesmo utilizadas em menor escala, ainda apresentam bons efeitos bioestimulantes (AGARWAL *et al.*, 2016; TRIVEDI *et al.*, 2018).

Por possuírem diferentes compostos de acordo com as espécies, a combinação entre elas pode fazer uma complementação entre os efeitos. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar

as misturas entre os extratos de *Ascophyllum nodosum*, *Lithothamnium* spp. e *Kappaficus* spp., e também as correlações entre as variáveis analisadas de acordo com cada um dos extratos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, que está situada a 913,9 m de altitude e com coordenadas geográficas 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste de Greenwich.

As estacas para a produção das mudas foram obtidas a partir de brotações ortotrópicas coletadas em lavoura da cultivar Mundo Novo, em janeiro de 2020. A metodologia para a formação de mudas por estaquia foi a proposta por Rezende *et al.* (2017). Após 100 dias, quando as raízes passaram a aparecer no fundo dos tubetes, fez-se a montagem do experimento selecionando as mudas mais vigorosas e homogêneas.

Fez-se a lavagem das raízes e o transplântio para saquinhos de polietileno de dimensão 10 x 20 cm, contendo somente vermiculita como substrato. Foi conduzido viveiro com irrigação por aspersão. Fez-se a aplicação dos tratamentos (TABELA 1) via solo, até a saturação do substrato, sendo realizada a cada 15 dias, durante 90 dias. O experimento foi montado em delineamento de blocos casualizados, com 4 plantas por parcela.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO/DOSE VIA SOLO
T1	Testemunha/Controle
T2	5 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp.
T3	5 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp.
T4	5 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>
T5	5 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp.+ 5 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp.
T6	5 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp. + 5 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>
T7	5 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i> + 5 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp
T8	5 ml.L ⁻¹ <i>Lithothamnium</i> ssp. + 5 ml.L ⁻¹ <i>Kappaficus</i> ssp + 5 ml.L ⁻¹ <i>Ascophyllum nodosum</i>

Fonte: Da autora (2022).

Corridos 105 dias do início das aplicações, finalizou-se o experimento, e foram feitas as devidas avaliações.

2.1 Avaliações radiculares

Comprimento radicular (CR) com auxílio de uma régua graduada em centímetros. Para análise de área superficial (AS), volume (VOL) e diâmetro da raiz (DR), foram feitas fotografias das mudas para posterior análise no software SAFIRA, 2010 – Sistema para Análise de Fibras e Raízes (JORGE; RODRIGUES, 2010). A parte radicular foi lavada e separada da parte aérea, e foi seca à temperatura de 70 °C, em estufa com circulação de ar, por 72 horas, para a obtenção da matéria seca radicular (MSR).

2.2 Avaliações vegetativas

A medição da altura do broto (AB) foi feita com o auxílio de uma régua. A medição do diâmetro do broto (DB) utilizando paquímetro digital, foi feita entre os dois primeiros entrenós. A área foliar (AF) foi determinada pelo método de dimensões foliares descrito por Barros *et al.* (1973). A parte aérea foi lavada, separadas as folhas do caule, as quais foram secas à temperatura de 70 °C, em estufa com circulação de ar, por 72 horas, para a obtenção das respectivas matérias secas e posterior realização da pesagem em uma balança de precisão, sendo quantificada a matéria seca foliar (MSF) e matéria seca do caule (MSC). Também foi realizada a contagem do número de folhas (NF) presentes na muda.

2.3 Avaliações clorofila

Os níveis relativos de clorofilas a, b e total, foram medidos a partir de um medidor de clorofila portátil ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece dados de acordo com a absorvância da clorofila, denominados de Índices de Clorofila Falker (FCI) (BARBIERI JÚNIOR *et al.*, 2012).

2.4 Avaliações estomáticas

A avaliação da condutância estomática foliar - CEF - ($\text{CE} \cdot \text{mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) foi realizada utilizando-se o porômetro (SC-1, Decagon Devises), na face abaxial das folhas. As secções paradérmicas, foram obtidas a partir da técnica de impressão da epiderme (SEGATTO *et al.*, 2004), colocando-se uma gota de adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre

uma lâmina de vidro e, posteriormente, a parte central da folha, permitindo assim, a separação da epiderme da mesma.

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Red 200, marca Kasvi/Motic, acoplado à câmera digital modelo D-Moticam 5MP marca Motic. Posteriormente, as imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool, onde se fez a contagem do número de estômatos, e mediu-se o diâmetro polar dos estômatos e diâmetro equatorial dos estômatos. Assim, calculando a densidade estomática - DEN - (número de estômatos por mm^2) e funcionalidade estomática - FUN - (considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise da normalidade Shapiro-Wilk. Para os caracteres que tiveram algum indício de fuga da distribuição normal dos resíduos, procedeu-se a transformação pela raiz quadrada, objetivando a adequação dos resíduos à distribuição normal. Em seguida, foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foram realizadas análises de correlação de Pearson para as variáveis ($P \leq 0,05$) que foram submetidas ao tratamento com *Lithothamnium* ssp., *Kappaficus* ssp. e *Ascophyllum nodosum* separadamente, foram produzidas através do pacote estatístico corrplot (WEI; SIMKO, 2017), e as redes de correlações, pelo pacote qgraph (EPSKAMP *et al.*, 2012). As correlações positivas foram coloridas em verde escuro, já as correlações negativas foram coloridas em vermelho. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R (R CORE TEAM, 2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância não se mostrou significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, para todas as variáveis analisadas. Os blocos foram significativos somente nas características NF e AF. O experimento apresentou boa precisão, com coeficientes de variação de 7.65 a 26.76%. Esses valores corroboram com outros trabalhos realizados com café e extrato de algas (MARADIAGA RODRIGUEZ *et al.*, 2017).

Tabela 2 – Análise de variância das características massa seca de raiz (MSR), comprimento radicular (CR), volume radicular (VOL), área superficial radicular (AS) e diâmetro da raiz (DR), massa seca do caule (MSC), massa seca foliar (MSF), número de folhas (NF), altura do broto (AB), diâmetro do broto (DB), área foliar (AF), densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (FUN), condutância estomática (CON), teores de clorofila a (CLa), b (CLb) e total (CLT).

FV	GL	Quadrados médios					
		MSR	CR	VOL	AS	DR	
Algas	7	0,0227	5,1920	335,57	1307,56	0,0206	
Bloco	2	0,0044	1,8401	559,46	1750,50	0,0724	
Resíduo	14	0,0214	3,2174	206,07	637,62	0,0393	
CV(%)	23	26,76	13,63	17,47	17,24	12,26	

FV	GL	Quadrados médios					
		MSC	MSF	NF	AB	DB	AF
Algas	7	0,0080	0,0138	0,1954	0,0371	0,0600	2,3028
Bloco	2	0,0208	0,0013	0,2714 *	0,0730	0,0473	8,3698 *
Resíduo	14	0,0067	0,0104	0,0717	0,0724	0,0302	2,1509
CV(%)	23	10,13	25,79	10,73	16,42	7,7	21,37

FV	GL	Quadrados médios					
		DEN	FUN	CON	CLa	CLb	CLT
Algas	7	1,20E-05	0,0289	763,14	3266,9	2,7957	5,0358
Bloco	2	1,15E-05	0,0036	1178,63	563,0	0,7105	0,9236
Resíduo	14	1,69E-05	0,0140	858,15	3842,9	3,4704	6,1095
CV(%)	23	17,99	7,65	20,13	19,61	18,26	12,09

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Da autora (2022).

Levando em conta que o extrato de algas marinhas são uma mistura complexa de compostos como polissacarídeos, ácidos graxos, vitaminas, fitohormônios e nutrientes minerais (BATTACHARYYA *et al.*, 2015), pode haver também, a incompatibilidade entre alguns compostos presentes nos extratos, induzindo a não reagirem da maneira esperada.

Para o crescimento de raízes, Rouphael *et al.* (2017) encontraram resultados semelhantes com a aplicação de extratos de algas marinhas não apresentando efeitos significativos. Outras questões para essas faltas de efeitos, pode estar ligado às diferenças químicas devido ao tipo de alga, época de colheita, método de extração, época e nível de aplicação, fenologia da planta, condições ambientais, e diversos outros fatores.

Quando se utiliza os extratos de algas marinhas espera-se resultados satisfatórios devido ao fato dos ativos bioestimulantes apresentarem efeitos em baixíssimas dosagens, assim, realiza-se diluições na ordem de 1:1000 ou mais (KHAN *et al.*, 2009). O extrato de *Ascophyllum nodosum* é rico em nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro, magnésio, zinco, sódio e enxofre (RAYORATH *et al.*, 2009). Já o de *Lithothamnium* ssp. em carbonato de cálcio e magnésio

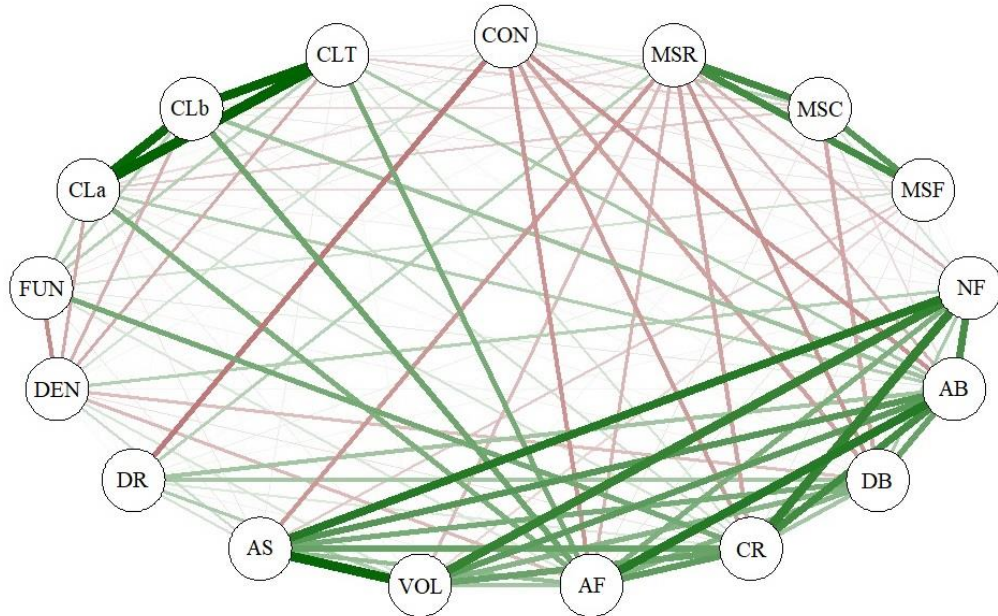
(EVANGELISTA *et al.*, 2016), e o de *Kappaficus* ssp. possui em maiores quantidades potássio, fósforo, zinco e cobre (SAHAI, 2008; AGARWAL *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2022). Porém, nesse caso, exclui-se a possibilidade de associar os extratos à fertilização do solo devido às extremas diluições (KHAN *et al.*, 2009).

A análise das redes de correlações facilita na identificação dos padrões de correlação indicativos em uma matriz de correlação que seria dificilmente identificada quando os valores são expressos somente numericamente (EPSKAMP *et al.*, 2012). Nessas redes, a espessura da linha indica a força da correlação entre dois caracteres, que são representados como nós (SILVA *et al.*, 2016). As correlações quando positivas, indicam que uma variável aumenta quando a outra interligada também aumenta, nas negativas ocorre o contrário, uma aumenta enquanto a outra diminui.

Para a utilização do extrato de *Lithothamnium* ssp., as características MSR, MSC e MSF correlacionaram entre si de maneira positiva. NF, AB, DB, AF, CR, VOL e ASR também apresentaram correlações positivas. AF correlacionou positivamente com as clorofilas (CLa, CLb e TCL). A CON correlacionou negativamente com DIA, AF, CR, DB e AB (FIGURA 1).

A *Lithothamnium* ssp. é uma alga extraída de sedimentos carbonáticos (KUNZ, 1952), bastante usada na agricultura para corrigir a acidez do solo (EVANGELISTA *et al.*, 2016). Recentemente, Amatucci *et al.* (2020) relatou a presença de ácido húmico altamente reativo para uso como bioestimulante de plantas nos extratos dessa espécie. O ácido húmico é a principal fração das substâncias que são abundantes na matéria orgânica do solo. A bioatividade dos ácidos húmicos está ligada a moléculas com efeitos semelhantes aos das auxinas, fitormônio atuante em diversas fases de desenvolvimento das plantas, estimula a fisiologia relacionada a formação de raízes laterais e adventícias, e a expansão do tecido vegetal (CANELLAS; OLIVARES, 2014). Essa atividade auxínica pode explicar as correlações encontradas neste estudo.

Figura 1 – Rede de correlações das características massa seca de raiz (MSR), comprimento radicular (CR), volume radicular (VOL), área superficial radicular (AS) e diâmetro da raiz (DR), massa seca do caule (MSC), massa seca foliar (MSF), número de folhas (NF), altura do broto (AB), diâmetro do broto (DB), área foliar (AF), densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (FUN), condutância estomática (CON), teores de clorofila a (CLa), b (CLb) e total (CLT) das mudas de café arábica tratadas com extrato de *Lithothamnium* ssp.



A espessura da linha é proporcional a magnitude da correlação. As linhas vermelhas representam correlação negativa e as linhas verdes representam correlações positivas.

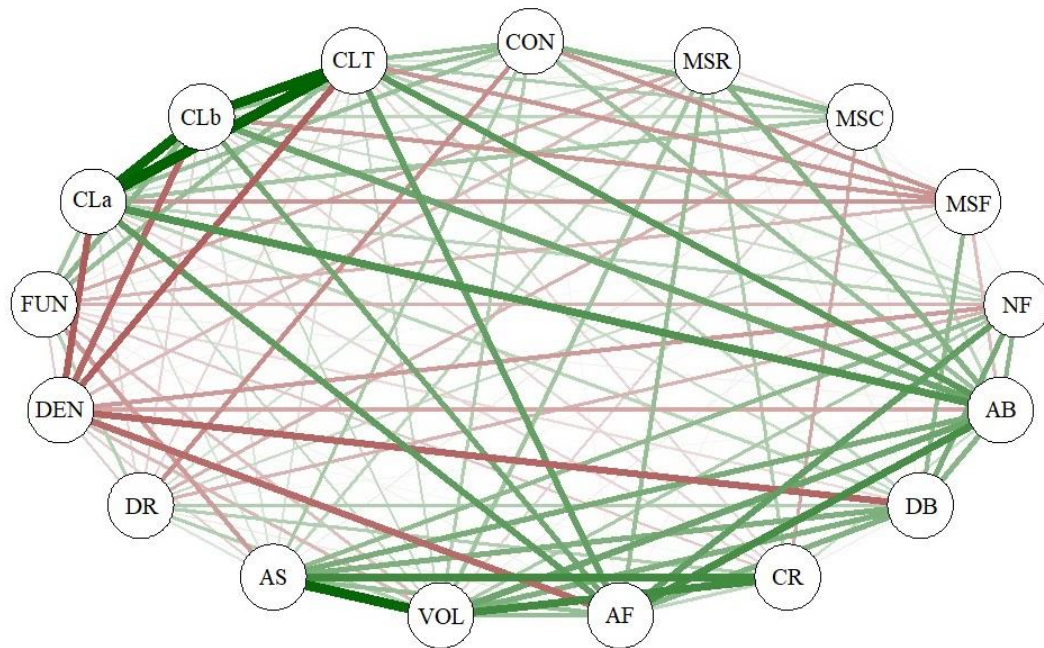
Fonte: Da autora (2022).

Na Figura 2, utilizando o extrato de *Kappaficus* ssp., a AF teve correlação positiva com as clorofilas (CLa, CLb e CLT), com NF, AB, CR e VOL. A AB teve correlação positiva com as clorofilas (CLa, CLb e CLT), AF, MSR, AS e VOL. AS, VOL e CR apresentaram correlações positivas entre si. A DEN apresentou correlação negativa com as clorofilas (CLa, CLb e CLT), AF e DB.

O destaque deste substrato é a presença de reguladores de crescimento de plantas, como ácido indol-acético (IAA), ácido giberélico (GA3) e citocininas (SINGH *et al.*, 2016). O IAA é uma auxina envolvida no alongamento celular diferencial, atuando em tecidos jovens radiculares e parte aérea (SIMON; PETRÁŠEK, 2011). O GA3 é um fitormônio envolvido em diversos processos nas plantas, promovendo o crescimento do caule, a expansão e a divisão celular, e acentuar a expressão da dominância apical em plantas. As citocininas têm grande influência no desenvolvimento dos vegetais atuando em diferentes processos, e são sintetizadas nas plantas tanto em raízes quanto brotações, porém, o controle da divisão celular é o processo central no crescimento de plantas (TAIZ *et al.*, 2017).

Auxinas e citocininas podem atuar como pares antagônicos, principalmente quando diz respeito à proporção parte aérea e raiz, assim, enquanto a citocinina promove a parte aérea e inibe o crescimento da raiz, a auxina atua ao contrário, esse controle permite adaptações de crescimento, melhor aproveitamento de água e nutrientes no solo (KUREPA; SMALLE, 2022). Na rede de correlações da *Kappaficus ssp.*, aparentemente houve um bom equilíbrio entre essas substâncias.

Figura 2 – Rede de correlações das características massa seca de raiz (MSR), comprimento radicular (CR), volume radicular (VOL), área superficial radicular (AS) e diâmetro da raiz (DR), massa seca do caule (MSC), massa seca foliar (MSF), número de folhas (NF), altura do broto (AB), diâmetro do broto (DB), área foliar (AF), densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (FUN), condutância estomática (CON), teores de clorofila a (CLa), b (CLb) e total (CLT) das mudas de café arábica tratadas com extrato de *Kappaficus ssp.*



A espessura da linha é proporcional a magnitude da correlação. As linhas vermelhas representam correlação negativa e as linhas verdes representam correlações positivas.

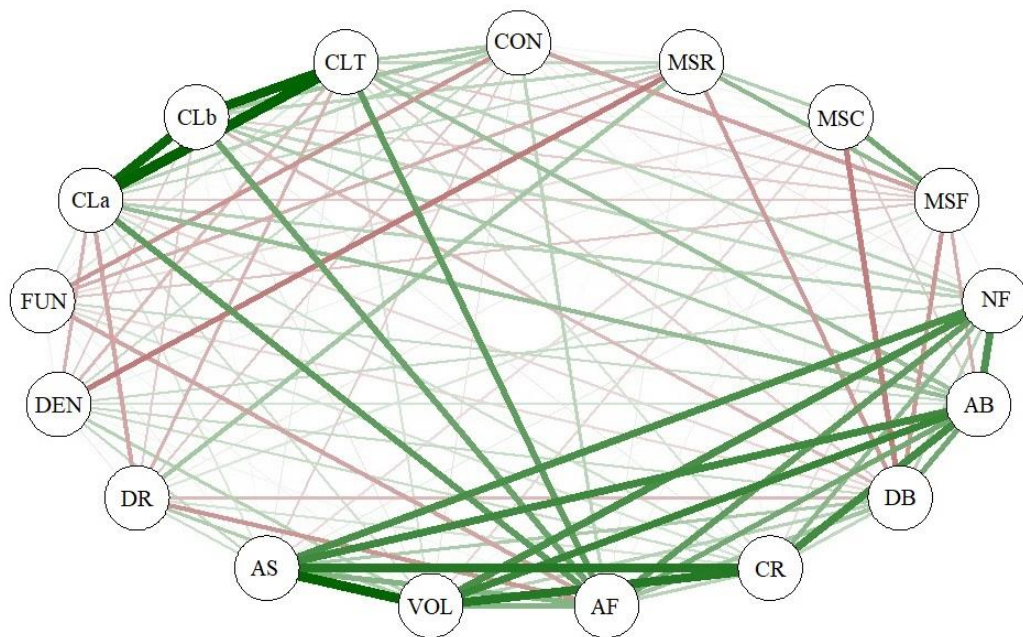
Fonte: Da autora (2022).

Para os tratamentos com *Ascophyllum nodosum*, na Figura 3 mostra-se que as clorofilas (CLa, CLb e CLT) tiveram correlação positiva com a AF, AS, VOL, AF, CR, DB, AB e NF tiveram correlações positivas entre si. A DEN teve uma correlação negativa com a MSR. O DB teve correlação negativa com a MSR, MSC, MSF. A FUN teve correlação negativa com a CON.

Ascophyllum nodosum é uma das algas marrons mais utilizadas como bioestimulantes de plantas, está entre as mais pesquisadas, e possui diversos reguladores naturais de crescimento de plantas, incluindo citocininas, auxinas, betaínas, oligossacarídeos e outros compostos

orgânicos (JAYARAJ; ALI 2015; SHUKLA *et al.*, 2019; ALI *et al.*, 2021). As betaínas são compostos de amônio quaternário de ocorrência natural e atuam como osmólitos, moléculas orgânicas que dão estabilidade a proteínas, e assim, podem afetar a expressão gênica (BLUNDEN *et al.*, 2009; MACKINNON *et al.*, 2010). Os extratos de algas marinhas enriquecidos com oligo e polissacarídeos apresentam alta atividade de promoção de crescimento de raízes, formando raízes mais longas (HERNÁNDEZ-HERRERA *et al.*, 2016). Com a utilização de *Ascophyllum nodosum*, as variáveis de parte aérea e radicular apresentaram um bom equilíbrio de desenvolvimento.

Figura 3 – Rede de correlações das características massa seca de raiz (MSR), comprimento radicular (CR), volume radicular (VOL), área superficial radicular (AS) e diâmetro da raiz (DR), massa seca do caule (MSC), massa seca foliar (MSF), número de folhas (NF), altura do broto (AB), diâmetro do broto (DB), área foliar (AF), densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (FUN), condutância estomática (CON), teores de clorofila a (CLa), b (CLb) e total (CLT) das mudas de café arábica tratadas com extrato de *Ascophyllum nodosum*.



Legenda: a espessura da linha é proporcional a magnitude da correlação. As linhas vermelhas representam correlação negativa e as linhas verdes representam correlações positivas.

Fonte: Da autora (2022).

4 CONCLUSÃO

As combinações dos extratos de algas não surtiram efeito em mudas de café arábica propagadas vegetativamente. Porém, ao analisar os extratos nas redes de correlações, apresentaram um bom equilíbrio entre as variáveis analisadas para os extratos das 3 algas testadas. Ainda são necessários outros estudos acerca dos efeitos destes bioestimulantes em café arábica.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, P. *et al.* Insights into the role of seaweed *Kappaphycus alvarezii*. sap towards phytohormone signalling and regulating defence responsive genes in *Lycopersicon esculentum*. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2529-2537, 2016.
- ALI, O.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAJ, J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. **MDPI-Plants**, [S.l.], v. 10, p. 531, 2021.
- _____. *Ascophyllum nodosum* - seaweed extract improves seed germination in tomato and sweet pepper under NaCl-induced salt stress. **Tropical Agriculture**, [S.l.], v. 95, p. 141-148, 2018.
- AMATUSSI, J.O. *et al.* Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 32, p. 2023-2030, 2020.
- BARBIERI JÚNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tofton 85. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 42, p. 2242-2245, 2012.
- BARROS, R.S. *et al.* Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- BATTACHARYYA, D. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 39-48, 2015.
- BLUNDEN, G. *et al.* Variations in betaine yields from marine algal species commonly used in the preparation of seaweed extracts used in agriculture. **Phycology**, [S.l.], v. 76, n. 14, 2009.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, [S.l.], v. 1, n. 3, 2014.
- CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café – Safra 2022**, v. 9. n. 2 - Terceiro Levantamento, Brasília, p. 1-76, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 30 maio 2022.
- DOMINGHETTI, A.W. *et al.* Tolerance to drought of coffee trees produced by cuttings and somatic embryogenesis. **Coffee Science**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 117-126, 2016.
- EBIC. European Biostimulants Industry Council. **Plant biostimulants contribute to climate-smart agriculture**. Disponível em: <https://biostimulants.eu/issue/plant-biostimulants-contribute-to-climate-smart-agriculture/2022>. Acesso em: 30 mar. 2022.

- EPSKAMP, A. *et al.* Qgraph: Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, [S.l.], v. 48, n. 4, p. 1-18, 2012.
- EVANGELISTA, A.W. *et al.* Irrigation and *Lithothamnium* fertilization in bell pepper cultivated in organic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, p. 830–835, 2016.
- HERNÁNDEZ-HERRERA, R.M. *et al.* Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 28, p. 2549-2560, 2016.
- JAYARAJ, J.; ALI, N. Use of seaweed extracts for disease management of vegetable crops. *In*: SANGEETHA, S.; KURUCHEVE, V.; JAYARAJ, J (Eds.) **Sustainable crop disease management using natural products**. CABI publications, 2015. p. 160-183.
- JORGE, L.A. de C.; RODRIGUES, A.F. de O. **Safira**: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento EMBRAPA, 2010. p. 20.
- KHAN, W. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 28, p. 386-399, 2009.
- KUMAR, K.S.; SUSHMA, K.; SUBBA RAO, P.V. Studies on nutritional composition of three colour forms of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 18-25, jan. 2022.
- KUNZ, J.L. La Plataforma continental ante el derecho. **American Journal of International Law**, [S.l.], v. 46, p. 167, 1952.
- KUREPA, J.; SMALLE, J.A. Auxin/Cytokinin Antagonistic Control of the Shoot/Root Growth Ratio and Its Relevance for Adaptation to Drought and Nutrient Deficiency Stresses. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 23, p. 1933, 2022.
- MACKINNON, S.A. *et al.* Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 22, p. 489-494, 2010.
- MARADIAGA RODRIGUEZ, W.D. *et al.* Growing of coffee seedlings on different substrates and fertilized with *Lithothamnium*. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, [S.l.], v. 70, n. 2, p. 8177-8182, 2017.
- OLIVEIRA, D.H. *et al.* Influence of cutting length and environment on the growth of coffee seedlings obtained by rooting. **Coffee Science**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 183-189, 2011.
- R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- RAYORATH, P. *et al.* Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, [S.l.], v. 230, p. 135-147, 2009.

REZENDE, T.T. *et al.* Vegetative propagation of coffee by mini-cutting. **Coffee Science**, , [S.l.], v. 12, n. 1, p. 91–99, 2017.

RIBEIRO-DUTHIE, A.C.; GALE, F.; MURPHY-GREGORY, H. The innovation of the fair trade movement to foster sustainability aims. World Symposium on Sustainability Proceedings. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 996-1010, maio 2020.

ROUPHAEL, Y. *et al.* Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. **Journal of Applied Phycology**, [S.l.], v. 29, p. 459-470, 2017.

SAHAI, V. N. **Fundamentals of soil**. New Delhi: Kalyani, 2008.

SEGATTO, F.B. *et al.* Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, set./out. 2004.

SHUKLA, P.S. *et al.* *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 10, p. 665, 2019.

SILVA, A.R.D. *et al.* Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chilli pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 51, n. 4, p. 372-377, 2016.

SIMON, S.; PETRÁŠEK, J. Why plants need more than one type of auxin. **Plant Science**, [S.l.], v. 180, n. 3, p. 454-60, mar. 2011.

SINGH, S. *et al.* Sustainable enhancement in yield and quality of rain-fed maize through *Gracilaria edulis* and *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap. **Journal of Applied Phycology**. [S.l.], v. 28, p. 2099-2112, 2016.

TAIZ, L. *et al.* **A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TRIVEDI, K. *et al.* Differential growth, yield and biochemical responses of maize to the exogenous application of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract, at grain-filling stage under normal and drought conditions. **Algal Research**, [S.l.], v. 35, p. 236-244, 2018.

VOSSSEN, H.V.D.; BERTRAND, B.; CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Euphytica**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 243-256, 2015.

WEI, T.; SIMKO, V. **R Package “Corrplot”**: Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84). 2017. Disponível em: <https://github.com/taiyun/corrplot>. Acesso em: 20 set. 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado de insumos agrícolas busca sempre opções de baixo custo para as formulações dos produtos. O uso de bioestimulantes tem mostrado ser uma boa alternativa para diversos cultivos, incluindo o café arábica. O fato de serem eficientes em baixas concentrações auxilia no desenvolvimento de produtos. No caso de extratos de algas é um produto que pode ser aliado na fertirrigação, uma vez que são solúveis em água.

Foi notável a melhoria no desenvolvimento das plantas, seja em parte aérea, mas principalmente no sistema radicular. Vale lembrar que o trabalho foi realizado em mudas, em viveiros com irrigação controlada. É de extrema importância que sejam realizadas outras pesquisas em cafeeiros em campo, e em produção, para tirar melhores conclusões acerca da utilização na cultura.