

ANA CAROLINA PEREIRA DE VASCONCELOS

BIOESTIMULANTES CONTENDO SILÍCIO E MICRONUTRIENTES
APLICADOS VIA FOLIAR EM ARROZ DE SEQUEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Coorientador

Prof. Lírias Coelho, Ph.D.

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- V331b Vasconcelos, Ana Carolina Pereira de, 1980
2016 Bioestimulantes contendo silício e micronutrientes aplicados via
foliar em arroz de sequeiro / Ana Carolina Pereira de Vasconcelos. -
2016.
119 p.
- Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Coorientador: Lírias Coelho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.
1. Agronomia - Teses. 2. Arroz de sequeiro - Teses. 3. Adubação
foliar - Teses. 4. Nutrição mineral - Teses. I. Korndörfer, Gaspar
Henrique, 1953-. II. Coelho, Lírias. III. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

ANA CAROLINA PEREIRA DE VASCONCELOS

BIOESTIMULANTES CONTENDO SILÍCIO E MICRONUTRIENTES
APLICADOS VIA FOLIAR EM ARROZ DE SEQUEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2016.

Prof. Lísias Coelho, Ph.D.
(coorientador)

UFU

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UFU

Dr. Héctor Javier Causarano Medina

Centro de Investigación y Desarrollo
del Grupo Roullier en Sudamérica

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

“A fé e o pensamento caminham juntos; e é impossível crer sem pensar”

- John Stott

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois só Ele nos conhece e sabe o que passa dentro de nós, nos dando força para prosseguimos com fé e perseverança. Obrigada meu Pai, por sempre estar ao meu lado, me guiando e protegendo, pelo Seu amor incondicional pude concluir mais esta etapa da minha vida.

Agradeço especialmente a minha filha Ana Clara - luz e alegria da minha vida - pelo amor e compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos foi exclusiva, agradeço pela paciência e força a mim despendida. Seu amor, companheirismo e simplesmente sua existência foram minha inspiração para que eu conseguisse alcançar essa realização. Não tenho palavras para descrever o quanto sou grata por ter você em minha vida.

Aos meus pais, Marcília e Teodulo, ao meu irmão Daniel e a toda minha família que, com muito carinho, me apoiaram, sonharam comigo e não mediram esforços para me ajudar no que fosse preciso.

Ao Thiago que foi um anjo que Deus me enviou e me ajudou imensamente desde que passou a fazer parte da minha vida, dando todo o apoio que necessitava em todos os momentos, todo carinho, amor, respeito e companheirismo e por tornar minha vida mais fácil e cada dia mais feliz. Seu apoio foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Gaspar, por sua competente orientação, assim como pela constante disposição em dirimir dúvidas, pelo auxílio, apoio e atenção dispensada neste momento tão importante da minha vida profissional.

Ao professor Lísias, pela colaboração e excelente coorientação, apoio, compreensão, incentivo e disposição em ensinar.

Ao professor Hamilton, pelo auxílio, orientação, disponibilidade e pelas valiosas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

À Timac Agro e à gerente de marketing de produtos estratégicos Fernanda Weber, pelo apoio, incentivo e colaboração nesse projeto.

À professora Regina, pela frequente orientação, convívio, apoio, amizade, incentivo e auxílio em meu crescimento profissional.

À professora Denise, pela disposição, atenção e orientação, bem como por não medir esforços para auxiliar e sanar dúvidas, estando sempre disposta a ajudar e contribuir para o meu crescimento profissional.

Aos professores Stephan e Maria Amélia, pelo auxílio dispensado em momentos cruciais de desenvolvimento deste trabalho.

Ao MSc. Diego Tolentino, pelo companheirismo e apoio nas análises estatísticas.

Ao Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura” pelo apoio dispendido, especialmente ao colega Bruno Guimarães.

Agradeço também aos meus amigos e colegas que sempre torceram por mim e me apoiaram. Obrigada pelo companheirismo e amizade de vocês.

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Ciências Agrárias e professores pela contribuição para minha formação.

À CAPES pela concessão de bolsa durante todo o período de realização do mestrado e ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa.

A todos que de alguma forma me ajudaram e contribuíram para o meu crescimento e formação profissional.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i	
ABSTRACT.....	ii	
CAPÍTULO 1.....	9	
AGROQUÍMICOS DE CONTROLE HORMONAL NA AGRICULTURA BRASILEIRA.....		9
1 INTRODUÇÃO	11	
2 PANORAMA GERAL	12	
3 REGULADORES VEGETAIS E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	15	
3.1 Hormônios Vegetais / Fitormônios	16	
3.1.1 Auxinas	17	
3.1.2 Citocininas	19	
3.1.3 Interação Citocinina e Auxina	19	
3.1.4 Giberelinas	20	
3.1.5 Etileno.....	21	
3.1.6 Ácido Abscísico.....	22	
3.1.7 Brassinoesteroides	23	
3.1.8 Jasmonatos.....	23	
3.1.9 Salicilicatos.....	24	
4 BIOESTIMULANTES E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	25	
5 BIOATIVADORES E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	26	
6 ÁCIDOS HÚMICOS E ÁCIDOS FÚLVICOS: SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS.....	27	
7 EXTRATO DE ALGAS E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	28	
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30	
REFERÊNCIAS.....	32	
CAPÍTULO 2.....	42	
BIOESTIMULANTE À BASE DE SILICATO DE POTÁSSIO ENRIQUECIDO COM MOLIBDÊNIO APLICADO VIA FOLIAR EM ARROZ DE SEQUEIRO....		42

1 INTRODUÇÃO	44
2 MATERIAL E MÉTODOS	46
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS.....	69
CAPÍTULO 3.....	79
BIOESTIMULANTE CONTENDO SILICATO DE POTÁSSIO ENRIQUECIDO COM ZINCO APLICADO VIA FOLIAR EM ARROZ DE SEQUEIRO	79
1 INTRODUÇÃO	81
2 MATERIAL E MÉTODOS	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
4 CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS.....	104
ANEXO I	117
ANEXO II.....	115

VASCONCELOS, ANA CAROLINA PEREIRA DE. **Bioestimulantes contendo silício e micronutrientes aplicados via foliar em arroz de sequeiro.** 2016. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Concentração em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2016.¹

RESUMO

Na agricultura moderna, apesar de serem empregadas as mais modernas tecnologias de cultivo de plantas e apesar dos progressos que têm sido feitos em programas de melhoramento, o máximo potencial das culturas de interesse agronômico está ainda longe de ser plenamente explorado. Assim, os bioestimulantes – uma categoria de produtos relativamente novos de diversas formulações, os quais afetam positivamente processos vitais de uma planta e apresentam grande potencial para uso na agricultura brasileira – podem ser uma alternativa promissora para os orizicultores. O objetivo deste trabalho foi conceituar e discutir o uso de agroquímicos de regulação hormonal e avaliar a influência de duas fontes bioestimulantes de aplicação foliar com Tecnologia AZAL5 (extrato de *Ascophyllum nodosum*) contendo silicato de potássio e micronutrientes, em aspectos nutricionais e vegetativos, na cultura do arroz de sequeiro. O primeiro capítulo teve a finalidade de, a partir de uma revisão bibliográfica, discutir o uso, os conceitos, os percalços e os benefícios de bioestimulantes, biorreguladores, bioativadores, ácidos húmicos e fúlvicos, bem como extrato de algas na agricultura brasileira. Os capítulos seguintes consistiram de dois experimentos (testes biológicos) em que foram avaliadas as duas fontes bioestimulantes – uma contendo silicato de potássio + molibdênio (Capítulo 2) e outra contendo silicato de potássio + zinco (Capítulo 3) – aplicadas via foliar na cultura do arroz. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, em vasos de 5 kg, com solo classificado como Neossolo Quartzarênico, utilizando-se a cultivar BRS Primavera. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em arranjo 5 x 2. Os tratamentos consistiram de cinco doses (0; 1,50; 3,00; 4,50; 6,00 L ha⁻¹), em dois modos de aplicação (parcelado e não parcelado). Foram avaliados: teores de clorofilas A, B e Total; teores foliares de silício e macro e micronutrientes; massa de matéria seca de raiz e parte aérea. Foram testadas as pressuposições estatísticas dos dados obtidos com os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância e submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Os dados significativos para o fator quantitativo (doses) foram submetidos à análise de regressão. A aplicação da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + molibdênio alterou os teores foliares de K, Ca, S, Zn, Cu e a produção de massa de matéria seca de raiz; porém, não houve alteração nos teores foliares de N, P, Mg, Fe, Mn e Si, nos teores das clorofilas A, B e Total aos 55 DAE e na produção de massa de matéria seca da parte aérea em função das diferentes doses da fonte bioestimulante e dos diferentes modos de aplicação. A aplicação da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + zinco alterou os teores foliares de N, Ca, Mg, S, Zn e Cu e a produção de massa de matéria seca de raiz; contudo, não houve alteração nos teores foliares de Si, P, K, Fe e Mn, na produção de massa de matéria seca de parte aérea e nos teores das clorofilas A, B e Total aos 55 DAE em função das diferentes doses da fonte bioestimulante e dos diferentes modos de aplicação.

Palavras-chave: Agroquímicos de regulação hormonal; adubação foliar; *Ascophyllum nodosum*; nutrição mineral; *Oryza sativa*; silicato de potássio; teste biológico.

¹ Orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

VASCONCELOS, ANA CAROLINA PEREIRA DE. **Foliar application of biostimulants containing silicon and micronutrients to upland rice.** 2016. 119 f. Dissertation (Master degree in Agriculture, Focus on Crop Sciences) – Institute of Agricultural Sciences, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2016.¹

ABSTRACT

Despite the use of the most modern technologies of plant cultivation and the progress in breeding programs, the full potential of crops of agronomic interest is still far from being fully exploited. Biostimulants, a relatively new product category of various formulations, positively affect vital processes of plants and have shown great potential for use in the Brazilian agriculture, especially in the rice agriculture. The aim of this study is to discuss the use of hormonal regulation agrochemicals and assess the agronomic and nutritional efficiency of the foliar application of two biostimulants based on AZAL5 Technology (extract of *Ascophyllum nodosum*) containing potassium silicate and micronutrients. Chapter 1 draws on a review of the literature to discuss uses, concepts, benefits of and obstacles to biostimulants, bioregulators, bio-activators, humic and fulvic acids, as well as seaweed extract in the Brazilian agriculture. The following chapters report on two experiments (biological testing) that assessed both biostimulants – one containing potassium silicate + molybdenum (Chapter 2) and the other containing potassium silicate + zinc (Chapter 3) – applied to upland rice foliage. The experiments were carried out in a greenhouse, using 5-kg vases with Quartzipsamment soil and BRS Primavera cultivar. The experimental design was completely randomized, with four repetitions in a 5 x 2 structure. The treatments consisted of five doses (0; 1.50; 3.00; 4.50; 6.00 L ha⁻¹) used in two modes of application (single application or in portions). The following parameters were evaluated: concentrations of chlorophyll A, B and Total; leaf content of macro and micronutrients and Si; and dry matter of root and aerial part. Statistical assumptions were assessed for the obtained data using Kolmogorov-Smirnov normality test and Levene's test for homogeneity of variances, both set at 1%. Tukey's test was used for analysis of variance and set at 5% significance. The significant data for the quantitative factor (doses) were included in a regression analysis. The application of biostimulant containing potassium silicate + molybdenum significantly changed the leaf content of K, Ca, S, Zn and Cu, as well as the production of dry matter of root. However, the leaf content of N, P, Mg, Fe, Mn and Si, the concentrations of chlorophyll A, B and Total, and the production of dry matter of aerial part were not significantly influenced by the different doses of said biostimulant and modes of application. The application of biostimulant containing potassium silicate + zinc significantly impacted on the leaf content of N, Ca, Mg, S, Zn and Cu, and on the production of dry matter of root. However, the leaf content of Si, P, K, Fe, and Mn, the production of dry matter of aerial part and the concentrations of chlorophyll A, B and Total were not significantly influenced by the different doses of said biostimulant applied in different modes.

Keywords: Hormonal regulation agrochemicals; leaf fertilization; *Ascophyllum nodosum*; mineral nutrition; *Oryza sativa*; potassium silicate; biological test.

¹ Supervisor: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

CAPÍTULO 1

AGROQUÍMICOS DE CONTROLE HORMONAL NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Ana Carolina Pereira de Vasconcelos¹; Gaspar Henrique Korndörfer²

RESUMO: Novas tecnologias e sistemas de produção sustentáveis vêm sendo estudados, desenvolvidos e adotados nas várias regiões do país, visando alcançar maiores produtividades sem aumentar a abertura para exploração de novas áreas. Associados a esses sistemas, tem-se observado o uso crescente de agroquímicos de controle hormonal. No entanto, no Brasil ainda existe alta resistência dos agricultores mais tradicionais em adotar novas tecnologias. Levando em conta a fisiologia da planta, intensificaram-se estudos sobre os efeitos de substâncias orgânicas modificadoras do desenvolvimento vegetal, capazes de aumentar significativamente a produtividade vegetal. Esse emprego, na agricultura, vem se tornando prática viável, com o objetivo de explorar o potencial produtivo das culturas. Não obstante, a fisiologia vegetal é um dos campos da ciência agronômica que têm promovido grandes avanços nos últimos anos, por meio do desenvolvimento de técnicas modernas, como a produção de plantas por cultura de tecidos, manipulação genética e biotecnologia. Com o desenvolvimento dessa biotecnologia, da bioquímica e da fisiologia vegetal, novos compostos têm sido identificados nos vegetais, sendo que os avanços tecnológicos têm propiciado a síntese de novas moléculas, que, aplicadas às plantas, mostram-se eficientes para a sua proteção e geração de aumentos em produtividade.

Palavras-chave: Ácido húmico; bioativador; bioestimulante; extrato de algas; fertilização; nutrição de plantas; regulador hormonal

² Mestranda em Fitotecnia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

³ Doutor, Professor Titular, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

HORMONAL REGULATION AGROCHEMICALS IN THE BRAZILIAN AGRICULTURE

ABSTRACT: New technologies and sustainable production systems have been studied, developed and adopted across Brazil to promote greater productivity without opening new production areas. Such systems have been associated with increasing use of agrochemicals for hormonal regulation. However, Brazilian traditional farmers in general have been resistant to adopting new technologies. Focusing on plant physiology, a growing number of studies have tapped into on the effects of organic substances that modify the vegetable development and may lead to significant increases in productivity. The use of such substances has become a viable practice in agriculture to exploit the productive potential of crops. In addition, the plant physiology is one of the fields of agricultural science that has promoted major advances in recent years through the development of modern techniques, such as the production of plants using tissue culture, genetic engineering, and biotechnology. With the development of biotechnology, biochemistry and plant physiology, new compounds have been identified in plants, and the technological advances have enabled the synthesis of new molecules, which are effective when applied in plants, improving their protection and productivity.

Keywords: Humic acid; bio-activator; plant biostimulant; seaweed extract; fertilization; plant nutrition; plant growth regulator.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta expressivo crescimento no agronegócio internacional, consolidando sua posição como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos para mais de 200 países (BRASIL, 2015). No primeiro trimestre de 2015, as exportações brasileiras do agronegócio somaram US\$ 18,43 bilhões e, como resultado do desempenho das vendas e aquisições externas, o saldo na balança comercial do agronegócio foi de US\$ 14,57 bilhões no período (BRASIL, 2015).

De acordo com um estudo realizado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 2011, o Brasil já apresentava índices de desenvolvimento agrícola acima da média mundial naquele ano e liderava a produtividade agrícola na América Latina e Caribe. Atualmente, o agronegócio representa mais de 23% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (BRASIL, 2015), com potencial de ser o único setor com crescimento mais expressivo diante da indústria claudicante e dos serviços em processo de exaustão.

Diante desse cenário, novas tecnologias e sistemas de produção sustentáveis vêm sendo estudados, desenvolvidos e adotados nas várias regiões do país, visando alcançar maiores produtividades sem aumentar a abertura para exploração de novas áreas. Associados a esses sistemas, tem-se observado o uso crescente de agroquímicos de controle hormonal. Levando em conta a fisiologia da planta, intensificaram-se estudos sobre os efeitos de substâncias orgânicas modificadoras do desenvolvimento vegetal, capazes de aumentar significativamente a produtividade vegetal. Esse emprego, na agricultura, vem se tornando prática viável com o objetivo de explorar o potencial produtivo das culturas (SILVA et al., 2012).

Assim, a fisiologia vegetal é um dos campos da ciência agronômica que têm promovido grandes avanços nos últimos anos por meio do desenvolvimento de técnicas modernas, como a produção de plantas por cultura de tecidos, manipulação genética e biotecnologia (COSTA, 2010). Com o desenvolvimento dessa biotecnologia, da bioquímica e da fisiologia vegetal, novos compostos têm sido identificados nos vegetais, sendo que os avanços tecnológicos têm propiciado a síntese de novas moléculas, que, aplicadas às plantas, mostram-se eficientes para a sua proteção e para a geração de aumentos em produtividade (CASTRO, 2010).

Segundo Castro (2010), os agroquímicos de controle hormonal, mais conhecidos como biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores, além de fitoquímicos

antiestressantes e complexantes, são condicionadores do sistema solo-planta que têm apresentado crescente importância na agricultura. O não aproveitamento desses produtos pode restringir a evolução do manejo dos cultivos e a maior economicidade do sistema de produção agrícola.

Não obstante, apesar de já terem sido realizados alguns estudos com o uso de bioestimulantes em diferentes culturas, os resultados obtidos até agora têm sido controversos e com pouca base científica. São necessárias, portanto, novas pesquisas para melhor validação dos efeitos desses produtos na agricultura, uma vez que seu uso tem sido propagado em várias regiões do mundo (VASCONCELOS, 2006).

2 PANORAMA GERAL

O estabelecimento de uma agricultura sustentável que preserve o meio ambiente e proporcione segurança alimentar futura é um fator primordial para o desenvolvimento da humanidade ante as mudanças climáticas e o declínio das reservas energéticas não renováveis. Diante das previsões de crescimento populacional mundial, atingindo nove bilhões de habitantes em 2050 (ASH et al., 2010), existe o desafio de criar métodos avançados e eficientes para aumentar a produção de alimentos e energia renovável sem, contudo, esgotar os recursos naturais (CARRER et al., 2010).

A evolução do conhecimento em nutrição de plantas e práticas racionais de adubação tem possibilitado o contínuo crescimento da produtividade dos cultivos e contribuído de forma decisiva para a produção de alimentos com maior qualidade (CASTRO, 2009). Dessa forma, a biotecnologia pode fornecer meios para o aumento da produção agrícola pela aplicação do conhecimento molecular em função dos genes e das redes regulatórias envolvidas na tolerância a estresses, desenvolvimento e crescimento vegetal (TAKEDA; MATSUOKA, 2008).

Diante disso, a agricultura moderna, com o auxílio da biotecnologia, tem utilizado uma série de inovações tecnológicas que tem proporcionado novos estímulos fisiológicos às plantas, auxiliando-as a se tornarem mais tolerantes aos estresses. Essas inovações proporcionam plantas mais habilitadas para resistir às condições adversas. Atualmente, com o alto potencial genético dos cultivares, é de suma importância utilizar essas tecnologias por meio do uso racional de agroquímicos de regulação hormonal, como os bioestimulantes. Essas tecnologias são eficientes principalmente para melhorar o equilíbrio hormonal das plantas, proporcionando ainda, uma melhor relação entre

raízes e parte aérea (Figura 1), visto que todas as espécies vegetais têm seus processos regulados por hormônios.

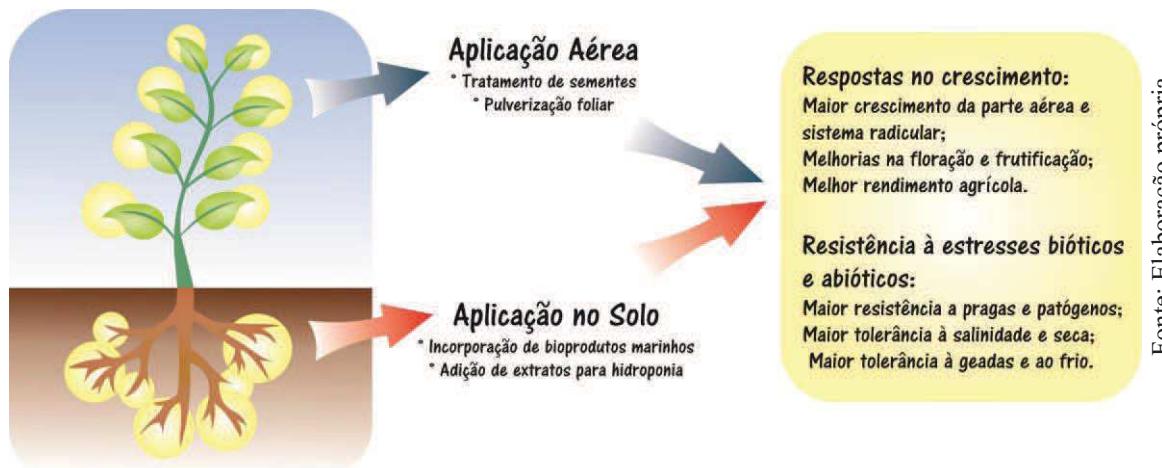


Figura 1 – Modos de aplicação e respostas das culturas à utilização de agroquímicos de regulação hormonal.

Sendo assim, o uso de produtos que contêm reguladores hormonais, em doses adequadas, melhora a eficiência da planta em todos seus processos, conferindo-lhe maior capacidade de expressar todo seu potencial produtivo. Esses agroquímicos de regulação hormonal são, em sua maior parte, substâncias orgânicas complexas capazes de atuar em fatores de transcrição e expressão gênica, em proteínas de membrana (alterando o transporte iônico) e em enzimas metabólicas incidentes sobre o metabolismo secundário, de modo a modificar a nutrição mineral e produzir precursores de hormônios vegetais, levando à síntese hormonal e à resposta da planta a nutrientes e hormônios (CASTRO, 2006).

Em sua maioria, esses produtos são registrados como fertilizantes para aplicação via foliar, via irrigação localizada, aplicação no sulco de plantio ou aplicação nas sementes. Isso se deve ao fato de essas substâncias possuírem entre suas propriedades a capacidade de complexar cátions, a exemplo dos polissacarídeos do ácido algínico e seus grupos carboxílicos. São contempladas como compostos naturais autorizados como aditivos ou agentes quelantes/complexantes para fertilizantes minerais (MÓGOR, 2010).

Ainda, estão enquadrados nesses produtos, os extratos de algas. Na literatura, são inúmeros os trabalhos associando esses compostos naturais a efeitos bioestimulantes (STAMATIADIS et al., 2015; SANGHA et al., 2014; JANNIN et al., 2013; DI FAN et al., 2011; SILVA et al., 2010; DOBROMILSKA et al., 2008). Recentemente, com a

evolução das técnicas que identificam a expressão gênica, os efeitos hormonais de alguns desses compostos têm sido caracterizados.

Os agroquímicos de regulação hormonal têm sido associados também aos micronutrientes, buscando-se melhor estabelecimento de plantas no campo. Os micronutrientes são requeridos pelas plantas em pequenas quantidades, embora a falta de qualquer um possa limitar-lhes o crescimento, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estejam presentes em quantidades adequadas (LOPES, 1989).

No entanto, de forma geral, ainda existe no Brasil elevada resistência dos agricultores mais tradicionais em adotar novas tecnologias (MESQUITA, 2007), em contraste com países mais desenvolvidos, onde o uso de agroquímicos de controle hormonal já é uma prática difundida, principalmente em alguns países com pequena extensão territorial, onde se faz necessário o uso de tecnologia para a obtenção de maiores produtividades com qualidade superior.

Segundo Rodrigues et al. (2015), no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) existem 41 reguladores vegetais registrados no Brasil para utilização em diferentes cultivos, como soja, milho, algodão, cana-de-açúcar, várias frutíferas e hortaliças. Portanto, diversos tipos de reguladores vegetais encontram-se disponíveis na forma de um grupo hormonal específico ou como combinação de diferentes grupos hormonais ou grupos hormonais com minerais (FAGAN et al., 2015).

Apesar de todos os benefícios que podem ser obtidos com a utilização desses agroquímicos de controle hormonal, especificamente o termo “bioestimulante” ainda não é contemplado pela legislação brasileira. Em sua maioria, esses produtos são registrados como fertilizantes para aplicação via foliar, via irrigação localizada, aplicação no sulco de plantio ou aplicação nas sementes (SILVA et al., 2012). No âmbito legal, são qualificados como produtos que contém ingrediente ativo capaz de melhorar, direta ou indiretamente, o desenvolvimento das plantas (BRASIL, 2008). Ademais, os produtos contendo reguladores vegetais sintéticos, ou a sua mistura, são registrados no MAPA na classe “Regulador do Crescimento Vegetal”, seguindo a Legislação dos Agrotóxicos (MÓGOR, 2011).

Nunes (2010) destaca que o registro desses produtos para uso no território nacional é dificultado pela demora, burocracia e grau de exigência dos órgãos governamentais (MAPA, Ibama e Anvisa). Embora produtos compostos por extratos vegetais, extratos de algas, aminoácidos, polissacarídeos, ácidos húmicos e fúlvicos, dentre outros, já estejam classificados na legislação de várias formas, como fertilizantes

minerais, orgânicos, organominerais, agentes quelantes e aditivos, suas propriedades biológicas não podem ser divulgadas por questão de legislação, muito embora estejam liberados para uso pelo MAPA. Tal fato constitui-se em barreira à aplicação dessa técnica no país (SILVA et al., 2012).

3 REGULADORES VEGETAIS E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

Os reguladores vegetais (biorreguladores) são definidos como substâncias naturais ou sintéticas que, quando aplicadas às plantas, possuem ações similares aos compostos vegetais conhecidos, alterando seus processos vitais e estruturais. Assim, são compostos orgânicos, não nutrientes, que aplicados em baixas concentrações, promovem, inibem ou modificam processos morfológicos e fisiológicos dos vegetais. Como resultado da utilização de um regulador vegetal ou por uma mistura de reguladores vegetais (como os bioestimulantes), obtém-se incrementos de produção, melhoria de manejo e facilidade de colheita (LACA-BUENDIA, 1989; CASILLAS et al., 1986).

Tais reguladores podem ser aplicados diretamente às plantas (folhas, sementes, frutos). Quando aplicados nas sementes ou nas folhas, podem interferir em processos como germinação, enraizamento, floração, frutificação e senescência (CASTRO; MELOTO, 1989). De acordo com Castro (1998), o uso dos reguladores vegetais tem possibilitado a resolução de problemas de campo, melhorando qualitativa e quantitativamente a produção agrícola. Dentre os principais grupos de reguladores vegetais com possibilidade de uso exógeno, estão as auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, retardadores e inibidores (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Leite et al. (2003), cada vez mais têm sido utilizadas combinações de reguladores vegetais, pois eles raramente agem isoladamente, sendo necessária a combinação de dois ou mais agentes para produzir efeito fisiológico. Casillas et al. (1986) esclarecem que essas substâncias são eficientes quando aplicadas em pequenas doses, favorecendo o bom desempenho de processos vitais da planta com o objetivo de aumentos na produção.

Vale destacar que as aplicações de reguladores vegetais podem apresentar bons resultados dependendo da região de cultivo e da espécie utilizada. Em virtude de serem produtos que atuam em concentrações muito baixas, qualquer alteração pode modificar

o efeito desejado. Porém, outros fatores também podem interferir no processo de absorção do produto, como estado fisiológico da planta, tipo de equipamento, métodos de aplicação e condições do ambiente (CASTRO; VIEIRA, 2003).

Berrie (1984) verificou que as respostas fisiológicas de substâncias reguladoras, aplicadas simultânea ou sequencialmente, não refletem a interação fisiológica, mas sim as reações químicas entre essas substâncias. Assim, observam-se diferentes taxas de absorção e de ativação do metabolismo em sementes.

Castro e Vieira (2003) verificaram que os benefícios promovidos por essas substâncias têm sido pesquisados com a finalidade de resolver problemas do sistema de produção, melhorando qualitativa e quantitativamente a produtividade. Todavia, os reguladores vegetais podem ser utilizados para vários outros objetivos, como a aplicação em fases iniciais da cultura, para melhorar a germinação, a emergência e o desenvolvimento inicial das plantas. Para esse fim, leva-se em conta que, no momento em que a lavoura está se estabelecendo em campo, diversos fatores podem influenciar negativamente seu desempenho, como não uniformidade de germinação, crescimento lento e desenvolvimento insuficiente do sistema radicular (SEVERINO et al., 2003).

3.1 Hormônios Vegetais / Fitormônios

Os hormônios vegetais são mensageiros químicos que regulam o desenvolvimento normal das plantas, como crescimento de raízes e parte aérea, além de regularem as respostas ao ambiente onde elas se encontram (LONG, 2006). Ademais, segundo Davies (2004), hormônios vegetais são um grupo de ocorrência natural, sendo substâncias orgânicas que influenciam processos fisiológicos em baixas concentrações. Os processos influenciados consistem principalmente no crescimento, diferenciação e desenvolvimento, entretanto, outros processos, como o movimento estomatal, podem ser afetados.

Acreditava-se que o desenvolvimento vegetal era regulado apenas por cinco grupos de hormônios: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico. No entanto, atualmente, há fortes evidências indicando a existência de hormônios vegetais esteroides, os brassinosteroides, que produzem uma ampla gama de efeitos morfológicos no desenvolvimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013). A auxina e o ácido giberélico estimulam o crescimento vegetal, aumentando a extensibilidade da parede

celular, enquanto o ácido abscísico (ABA) e o etileno inibem o crescimento vegetal, causando um decréscimo na extensibilidade (RAVEN et al., 2014).

Segundo Cato e Castro (2006), os hormônios vegetais desempenham um papel importante, podendo uniformizar a germinação, controlar o desenvolvimento vegetativo, aumentar a fixação de flores e frutos, bem como antecipar ou atrasar a maturação dos produtos de interesse comercial. Essas substâncias são sinalizadoras, responsáveis por efeitos marcantes no desenvolvimento, atuando em concentrações bastante pequenas.

Todos os aspectos do desenvolvimento radicular são influenciados pelos hormônios vegetais, com fortes efeitos atribuídos à auxina, à citocinina e ao etileno. Existe grande evidência de que a arquitetura radicular é um aspecto fundamental da produtividade das plantas, especialmente nos ambientes caracterizados por baixa disponibilidade de água e nutrientes (LYNCH, 1995).

Os hormônios vegetais podem ser descritos como uma série de pequenas moléculas orgânicas que existem naturalmente nas plantas, podendo influenciar e participar em processos fisiológicos em baixas concentrações (10^{-4} M) (JUNGLAUS, 2008). Salisbury e Ross (1994) esclarecem que os hormônios vegetais podem agir sobre a regulação do crescimento e do desenvolvimento das plantas, agindo através de processos de natureza química. Assim, a resposta à ação de dado hormônio não depende somente da sua estrutura química, pois esse hormônio pode ocasionar várias respostas em partes da planta ou em diferentes fases do desenvolvimento.

Raven et al. (2014) elucidam que uma única molécula de hormônio pode iniciar o aumento na concentração de muitas outras moléculas, as quais podem ocasionar mudanças de desenvolvimento dentro da célula dos vegetais, além de ajudar na coordenação do crescimento e do desenvolvimento, atuando como mensageiros químicos entre as células. Taiz e Zeiger (2009) destacam ainda que o metabolismo, o crescimento e a morfologia de plantas superiores dependem de sinais transmitidos de uma parte a outra da planta por mensageiros químicos e por hormônios endógenos. Dentre os principais hormônios vegetais estão as auxinas, citocininas, giberelinas, etileno e o ácido abscísico.

3.1.1 Auxinas

O grupo hormonal das auxinas foram os primeiros reguladores químicos a serem descobertos e encontrarem uma aplicação agronômica bastante difundida (FERRI, 1985;

RAVEN et al., 2014). São sintetizadas em ápices de caule, ramos e raízes e transportadas para outras regiões da planta, sendo caracterizadas, principalmente, pela capacidade de estimular o alongamento celular. Também são responsáveis pela formação inicial das raízes, diferenciação vascular, tropismo e desenvolvimento de gemas axilares, flores e frutos (HOPKINS, 1999).

A auxina induz à extrusão de prótons, o que acidifica e afrouxa a parede celular, causando a redução do seu turgor, proporcionando assim, aumento da extensão da célula através da entrada de água. Uma das principais funções da auxina consiste na regulação e promoção de crescimento por alongamento de caules novos e coleóptilos. Além disso, atua no alongamento ou inibição de raízes, nos tropismos, na regulação de dominância apical, na iniciação do crescimento de raízes laterais, na abscisão de folhas, na diferenciação vascular, na formação de gemas florais e no desenvolvimento de frutos. A principal auxina endógena encontrada nas plantas é o ácido indol acético (AIA), transportada de célula a célula até chegar às raízes das plantas pelo floema (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Estudos revelam evidências de que a auxina é formada a partir do aminoácido aromático triptofano, mas experimentos envolvendo o uso de isótopos estáveis ²H ou ¹⁵N indicam a existência de rotas independentes desse aminoácido, a partir de indol ou de indol-3-glicerol fosfato (SRIVASTAVA, 2002). A síntese da auxina se dá primariamente nos primórdios foliares, folhas jovens e sementes em desenvolvimento. Seu transporte é polar ou unidirecional e sempre em direção à base (basípeto) nos caules e folhas e em direção ao ápice nas raízes (acrópeto); contudo, seu movimento é lento, tanto nos ramos como nas raízes, perfazendo somente um centímetro por hora (RAVEN et al., 2014).

As concentrações de auxina podem variar bastante de um tecido para outro, sendo que as mais elevadas geralmente se encontram nos tecidos onde ela é sintetizada e armazenada (MEYER et al., 1997). Vanneste et al. (2005) sugere que a auxina produzida na parte aérea é o principal fator de estímulo à formação de raízes. Woodward e Bartel (2005) propõem a teoria de que as auxinas participam do controle da atividade de genes, podendo ativar proteínas receptoras presentes na membrana celular. Hopkins (1999) destaca que as auxinas são sintetizadas em ápices de caule, ramos e raízes e são transportadas para outras regiões da planta, devido à sua participação no alongamento celular e também devido à formação inicial das raízes, diferenciação vascular, tropismo e desenvolvimento de gemas axilares, flores e frutos.

3.1.2 Citocininas

Outro grupo hormonal que também pode atuar no desenvolvimento das plantas são as citocininas, que participam da regulação de muitos processos na planta. Podem promover divisão celular, mobilização de nutrientes, formação e atividade dos meristemas apicais, desenvolvimento floral, germinação de sementes, quebra de dormência, expansão celular, desenvolvimento de frutos, hidrólise de reservas das sementes, retardamento da senescência e dominância apical, maturação de cloroplastos e abertura estomática (CROCOMO; CABRAL, 1988; SALISBURY; ROSS, 1994).

Os processos de divisão celular, alongamento e diferenciação são incrementados quando as citocininas interagem com auxinas (VIEIRA, 2001). Com isso, podem estimular ou inibir uma variedade de processos metabólicos, fisiológicos e bioquímicos em plantas superiores, atuando na regulação do crescimento e diferenciação, dominância apical, formação de órgãos, retardamento da degradação de clorofila, desenvolvimento dos cloroplastos, senescência das folhas, abertura e fechamento dos estômatos, desenvolvimento das gemas e brotações, metabolismo dos nutrientes e regulação das expressões de genes (VIEIRA; CASTRO, 2002).

As citocininas são derivadas da adenina. A mais comum encontrada nas plantas é a zeatina, que apresenta grande habilidade na indução da divisão celular em culturas de tecido, juntamente com as auxinas. A biossíntese ocorre em raízes e em sementes em desenvolvimento, sendo translocadas, via xilema, das raízes para a parte aérea. Também atrasam a senescência de folhas, incentivam a abertura dos estômatos e, em algumas espécies, promovem o desenvolvimento dos cloroplastos (DAVIES, 2004).

De acordo com Raven et al. (2014), as citocininas são sintetizadas a partir de derivados de N6-adenina ou compostos de feniluréia. Existem quatro tipos de citocininas: as de ocorrência natural, como a zeatina e a citocinina isopenteniladenina (i6 Ade); e as citocininas sintéticas, como a 6-Benzilamino purina (BAP) e a cinetina. Atuam na divisão celular, promoção da formação de gemas em culturas de tecidos e atraso da senescência foliar e podem causar a quebra da dominância apical. A cinetina sozinha tem pouco ou nenhum efeito, mas o AIA com cinetina resulta em rápida divisão celular.

3.1.3 Interação Citocinina e Auxina

Dentre os fatores que regulam o processo germinativo, a presença de hormônios e o equilíbrio entre eles, promotores e inibidores, exercem um papel fundamental

(CATO, 2006). Auxinas, citocininas e interações são consideradas, geralmente, como as mais importantes para a regulação do crescimento e desenvolvimento organizado em culturas de células, tecidos e órgãos de plantas. Essas duas classes de hormônios são geralmente requeridas (GASPAR et al., 1996), pois as auxinas e citocininas atuam sinergicamente para regular a divisão celular e de forma antagônica para controlar a formação de gemas e raízes laterais, sugerindo múltiplos mecanismos de interação (CATO, 2006).

Além da relação auxina/citocinina, o tipo e a concentração de auxina ou citocinina também afetam o crescimento e a produção de metabólitos em cultivos *in vitro* de plantas (RAMACHANDRA; RAVISHANKAR, 2002). As concentrações mais utilizadas desses hormônios, normalmente, giram em torno de 0,5 a 5,0 mg L⁻¹ (AYUB; GEBIELUCA, 2003). Além disso, na presença de certas concentrações de citocininas e auxinas, as células mantêm-se indiferenciadas (SALISBURY; ROSS, 1994).

3.1.4 Giberelinas

Existem mais de 125 giberelinas conhecidas, sendo a GA1 a mais importante. São sintetizadas a partir do ácido mevalônico em tecidos jovens da parte aérea e em sementes em desenvolvimento, com transporte via xilema ou floema (MONTANS, 2007). Atuam no crescimento de órgãos vegetativos pela divisão e alongamento celular, bem como na indução da germinação de sementes que necessitam de luz e escarificação. Estimulam a produção de numerosas enzimas e o crescimento e pegamento de frutos, além de induzirem a formação de flores masculinas e femininas (DAVIES, 2004).

A GA1 endógena está relacionada com a estatura e o controle do crescimento do caule. A giberelina nunca está presente em tecidos com ausência completa de auxina, e os efeitos da giberelina no crescimento podem depender da acidificação da parede celular induzida por auxina (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Levitt (1974), as giberelinas atuam como um ativador enzimático na germinação de sementes e podem atuar no crescimento de órgãos vegetais pelo aumento do tamanho de células já existentes ou recentemente divididas. A atividade da giberelina em ramos, raízes, folhas, flores, brotos, frutos, sementes e inclusive em pólen e cloroplastos isolados é comprovada. Em geral, os tecidos reprodutivos possuem as maiores quantidades de giberelinas, variando seu conteúdo conforme o seu crescimento,

idade da planta, florescimento, desenvolvimento do fruto, dormência e germinação de sementes (COLL et al., 2001).

As giberelinas têm pouco efeito sobre o crescimento das raízes, o que está ligado ao efeito do aumento do desenvolvimento do caule e parte aérea, atuando no crescimento de órgãos vegetais, pela estimulação do tamanho das células já existentes ou recentemente divididas (DAVIES, 2004). A atividade das giberelinas no ápice da planta diminui à medida que progride a distensão do eixo da inflorescência, indicando que o hormônio é consumido durante o processo (CASTRO; VIEIRA, 2001).

3.1.5 Etileno

O etileno é um gás (C_2H_4) sintetizado a partir da metionina na maioria dos tecidos em resposta ao estresse, especialmente em tecidos senescentes ou em amadurecimento. Move-se por difusão a partir do sítio de síntese. É o único hidrocarboneto com efeito pronunciado nas plantas (RAVEN et al., 2014) que pode ser produzido em quase todas as partes dos vegetais superiores.

Em consonância com Costa (2010), a primeira menção de que o etileno é um produto natural de tecidos vegetais foi feita por Cousins (1910), que relatou que emanções das laranjas armazenadas em uma câmara causavam o amadurecimento precoce das bananas, quando esses gases eram passados por uma câmara contendo os frutos. No entanto, visto que as laranjas sintetizam relativamente pouco etileno em comparação a outros frutos, como maçãs, é provável que as laranjas utilizadas por Cousins estivessem infectadas com o fungo *Penicillium* sp., produtor de grandes quantidades de etileno. Gane et al. (1934) identificaram quimicamente o etileno como um produto natural do metabolismo vegetal, o qual, devido aos seus drásticos efeitos sobre a planta, foi classificado como um hormônio (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O etileno é regulado pela auxina, de forma que, a aplicação de auxina promove aumento na quantidade de etileno nas plantas, e a aplicação de TIBA (ácido 2, 3, 5-triodobenzóico), um competidor por sítios de auxina, ou a remoção de tecidos meristemáticos promovem a redução do etileno no tecido adjacente (FERRI, 1985), o que estimula a elongação de estruturas vegetativas e florais em plantas aquáticas, mas inibe a elongação do hipocôtilo. O etileno também é um forte promotor de senescência e abscisão de folhas, partes florais e frutos em amadurecimento (HOPKINS; HÜNER, 2004).

Em geral, as regiões meristemáticas e as regiões dos nós são as mais ativas na síntese de etileno. Contudo, sua produção aumenta também durante a abscisão foliar e a senescência de flores, bem como o amadurecimento de frutos, pois qualquer tipo de lesão pode induzir a biossíntese do etileno, assim como o estresse fisiológico provocado por inundação, resfriamento, moléstias, temperatura e estresse hídrico. É um dos hormônios vegetais mais usados na agricultura, devido a seus efeitos sobre muitos processos fisiológicos. Porém, é difícil aplicá-lo às plantas em condições de campo, pois se trata de um gás. Por isso, utiliza-se um composto chamado *ethephon* ou ácido 2-cloroetilfosfônico, que é misturado à água e aplicado via pulverização (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Alguns resultados da aplicação do etileno podem ser observados na cultura da seringueira, onde a aplicação no painel de extração de látex aumenta a produção. Nos cafeeiros, aumenta o número de frutos. Na cultura do algodão, o *ethephon* é utilizado para induzir o desfolhamento. Na cana-de-açúcar, o etileno provoca o encurtamento dos entrenós, obtendo uma maior concentração de sacarose. Em plantas de tomate e de maçã, o amadurecimento dos frutos é acelerado, enquanto, no abacaxi, o florescimento da lavoura é sincronizado (VALOIS, 2000).

3.1.6 Ácido Abscísico

O ácido abscísico (ABA) é um sesquiterpeno derivado, em plantas superiores, a partir do 9'-cis-xanthoxina (C40), que origina na rota metabólica a xanthoxina (C15) (SRIVASTAVA, 2002). Sua síntese ocorre em sementes e folhas maduras, especialmente em resposta ao estresse hídrico (RAVEN et al., 2014). Em condições de estresse hídrico, verifica-se sua síntese a partir do ácido mevalônico em cloroplastos e outros plastídeos da folha.

De acordo com Raven et al. (2014), o transporte, na maioria das vezes, ocorre das folhas pelo floema. O ácido abscísico promove fechamento estomático, indução do transporte de fotoassimilados das folhas para sementes em desenvolvimento, indução da síntese de proteínas de reserva nas sementes e embriogênese. Também pode afetar a indução e a manutenção de dormência nas sementes e nas gemas de certas espécies.

O ácido abscísico atua como inibidor de crescimento. Além disso, está relacionado com os processos fisiológicos de fechamento dos estômatos, dormência de

gemas, germinação de sementes, abscisão de folhas e frutos e resposta da planta ao estresse hídrico.

3.1.7 Brassinoesteroides

Os brassinoesteroides são hormônios vegetais que promovem alongamento e expansão celular, gravitropismo, resistência ao estresse, diferenciação do xilema e retardamento da abscisão das folhas (FUJIOKA; SAKURAI, 1997). Também atua na proteção das plantas contra salinidade, altas temperaturas, seca e frio (MAZORRAS et al., 2002).

De acordo com Costa (2010), os brassinoesteroides são derivados a partir do 5 α -colestanol e encontrados em dicotiledôneas, monocotiledôneas, gimnospermas e algas. Embora seu local de síntese ainda seja desconhecido, podem ser encontrados em várias partes vegetais, como grãos de pólen, folhas, frutos, caules e brotos, porém nunca em raízes. Segundo Vásquez e Rodríguez (2000), os brassinoesteroides podem acelerar o crescimento das plantas, e os seus efeitos não podem ser considerados de forma isolada, já que esses compostos interagem com outros reguladores de crescimento vegetal, endógenos e com sinais ambientais, particularmente com a qualidade de luz.

De acordo com Freitas (2010), semelhantemente aos esteroides em animais, a estrutura dos brassinoesteroides consiste em um esqueleto de colesterol com várias substituições de hidroxila e grupos funcionais ligados. Desempenham um papel dominante em relação a outros fitormônios, na medida em que regulamentam sua atividade ou sua produção. Sua atividade é sinérgica com a de auxinas e giberelinas e, também, parece induzir a síntese de etileno, bem como o cis-époxijsmônico (TANAKA et al., 2003).

3.1.8 Jasmonatos

Os jasmonatos são representados pelo ácido jasmônico, que é um metil éster de ocorrência em todo o reino vegetal, inclusive em plantas superiores, samambaias, musgos e fungos. Alguns de seus efeitos são similares aos do ABA e etileno, participando na senescência, biossíntese do etileno e fechamento estomático, promovendo a tuberização e inibindo a germinação de sementes (COSTA, 2010).

Os jasmonatos representam um novo tipo de hormônio vegetal, que desempenha papel crucial no crescimento, desenvolvimento e resposta a diferentes condições de

estresse ambiental da planta (CORTÊS, 2000). Constituem um grupo de substâncias reguladoras endógenas do crescimento vegetal, identificadas em uma grande variedade de espécies vegetais (MEYER et al., 1984).

Segundo Linares et al. (2010), os jasmonatos estão relacionados a mecanismos de defesa vegetal. Induzem a expressão de genes que codificam proteínas específicas, como inibidores de proteases, enzimas envolvidas com a produção de flavonoides e diferentes proteínas relacionadas com doenças (CORTÊS, 2000).

De acordo com Gois et al. (2013), uma alternativa de método para reduzir a severidade de doenças causadas por fitopatógenos com potencial a ser aplicada é a indução de resistência. Trata-se do fenômeno pelo qual as plantas, após exposição a um agente indutor, têm seus mecanismos de defesa latentes ativados, sendo capazes de responder contra o ataque de patógenos (CONRATH, 2011). Van Loon et al. (2006) afirmam que a utilização de jasmonatos na agricultura pode ser uma forma de indução dessa resistência, pois, segundo Gois et al. (2013), alteram fundamentalmente a biossíntese de compostos fenólicos, que são, em consonância com esses autores, antifúngicos, sendo acumulados no local da infecção, reduzindo ou restringindo o crescimento do patógeno.

3.1.9 Salicilicatos

Os salicilicatos são uma classe de compostos que possuem atividades similares às do ácido salicílico (COSTA, 2010). Foram identificados em folhas e estruturas reprodutivas de vegetais, com um alto nível em inflorescências de plantas termogênicas e/ou infestadas por patógenos necrófitos. Atuam no florescimento, na produção de calor em plantas termogênicas, na promoção de resistência a doenças, na inibição da síntese de etileno e na germinação de sementes.

O composto salicilado metil salicilato (MeSA) em plantas, participa do desenvolvimento de resistência sistêmica adquirida contra patógenos (EDAGI et al., 2011) e pode ativar sistemas antioxidantes, os quais removem espécies reativas de oxigênio sob condições de estresse oxidativo, em situações de ataque de fungos e baixas temperaturas (XU; TIAN, 2008). Ademais, esse composto também pode bloquear a produção de etileno (VANALTVORST; BOVY, 1995) e retardar os efeitos causados por esse hormônio.

4 BIOESTIMULANTES E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

A mistura de dois ou mais reguladores vegetais ou a mistura de pelo menos um deles com outras substâncias de natureza bioquímica, como aminoácidos, vitaminas e nutrientes, são designadas como bioestimulantes (VIEIRA, 2001). Os possíveis benefícios alcançados com o uso de aminoácidos estão associados com a melhoria da germinação, a produção de plantas com raízes mais bem desenvolvidas e plantas mais vigorosas, bem como o enchimento mais uniforme de grãos e produtividade elevada (LUDWIG et al., 2008). Esses aminoácidos destacam-se por serem os precursores de hormônios, de enzimas e de outras moléculas, estando presentes em todos os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, desde a germinação das sementes até a maturação dos frutos (FAGLIARI, 2007).

Os componentes principais de bioestimulantes comercialmente disponíveis podem ainda incluir materiais húmicos (ácidos húmicos e ácidos fúlvicos), hormônios de crescimento de plantas, vitaminas e vários outros elementos (TANAKA et al., 2003). Também podem conter outras substâncias orgânicas provenientes de extrato de algas.

Os bioestimulantes são descritos por Russo e Berlyn (1992) como produtos não nutricionais, que podem reduzir o uso de fertilizantes e aumentar a produção e a resistência aos estresses causados por temperatura e déficit hídrico. Ono et al. (1999), por sua vez, definem bioestimulantes como complexos que promovem o equilíbrio hormonal das plantas, favorecendo a expressão do seu potencial genético e estimulando o desenvolvimento do sistema radicular. Ferrini e Nicese (2002) destacam que a utilização de bioestimulantes serve como alternativa potencial à aplicação de fertilizantes para estimular a produção de raízes, especialmente em solos com baixa fertilidade e disponibilidade de água.

O emprego de bioestimulantes como técnica agronômica para aperfeiçoar a produtividade de diversas culturas tem crescido nos últimos anos. Os hormônios contidos nos bioestimulantes são moléculas sinalizadoras, naturalmente presentes nas plantas em concentrações basicamente pequenas, sendo responsáveis por efeitos marcantes no desenvolvimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Por meio do uso dessas substâncias, pode-se interferir em diversos processos fisiológicos e/ou morfológicos, como germinação, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação, senescência e abscisão. Essa interferência pode ocorrer pela

aplicação dessas substâncias via sementes, solo ou foliar, de modo a serem absorvidas para que possam exercer sua atividade (CASTRO; MELOTTO, 1989; VIEIRA; CASTRO, 2001).

Casillas et al. (1986) apontam que os bioestimulantes são eficientes quando aplicados em baixas doses, favorecendo o bom desempenho dos processos vitais da planta e permitindo a obtenção de maiores e melhores colheitas, além de garantirem rendimento satisfatório em condições ambientais adversas. Vieira (2001) afirma que seu uso na agricultura tem mostrado grande potencial no aumento da produtividade, facilitando o manejo cultural, embora sua utilização ainda não seja prática rotineira em culturas que não atingiram alto nível tecnológico.

Assim, o uso desses produtos tem sido crescente na agricultura por aumentarem a absorção de água e nutrientes pelas plantas, bem como sua resistência aos estresses hídricos e aos efeitos residuais de herbicidas no solo (RUSSO; BERLIN, 1992). Muitos dos efeitos benéficos dos bioestimulantes são baseados na sua habilidade de influenciar a atividade hormonal das plantas, que é responsável por regular o desenvolvimento normal dos vegetais e as suas respostas ao ambiente onde se encontram (LONG, 2006).

5 BIOATIVADORES E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

Os bioativadores são substâncias naturais de origem vegetal que possuem ações semelhantes aos principais reguladores vegetais. Proporcionam um melhor equilíbrio fisiológico, favorecendo uma maior aproximação ao potencial genético da cultura (CASTRO; PEREIRA, 2008). São substâncias orgânicas complexas modificadoras do desenvolvimento vegetal, capazes de atuar na transcrição e expressão gênica da planta, de modo a alterar, inclusive, a nutrição mineral, aumentando a resposta das plantas aos nutrientes (CASTRO, 2010), atuando ainda, na expressão de genes responsáveis pela síntese e ativação de enzimas metabólicas, relacionadas ao crescimento da planta, alterando a produção de aminoácidos precursores de hormônios vegetais (CASTRO et al., 2007; ROSSETTO, 2008). Podem ser citados dois potentes inseticidas, o aldicarb e o thiametoxan, que têm demonstrado esse efeito (CASTRO, 2006).

Aplicados às plantas, os bioativadores causam modificação ou alteração de processos metabólicos e fisiológicos específicos, como: aumento da divisão e alongamento celular, estímulo da síntese de clorofila, estímulo da fotossíntese,

diferenciação das gemas florais, aumento na fixação (pegamento) e no tamanho dos frutos, bem como aumento da vida útil das plantas por meio da amenização dos efeitos das condições climáticas adversas e do aumento da absorção de nutrientes (CATANEO et al., 2006).

Em suma, os bioativadores proporcionam um melhor equilíbrio fisiológico, favorecendo uma melhor aproximação ao potencial genético da cultura. Essas substâncias, quando aplicadas às plantas, modificam ou alteram vários processos metabólicos e fisiológicos específicos. No Brasil, o uso de bioativadores começa a ser explorado e vários experimentos têm demonstrado aumento quantitativo e qualitativo na produtividade (SERCILOTO, 2002).

6 ÁCIDOS HÚMICOS E ÁCIDOS FÚLVICOS: SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

As substâncias húmicas têm recebido atenção crescente nos últimos anos. Pesquisadores têm explorado os benefícios do que ocorre naturalmente com ácidos orgânicos do solo em plantas desde as décadas de 1940 e 1950.

As substâncias húmicas são materiais constituintes da maior parte da matéria orgânica de solos e sedimentos, responsáveis pela melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas, especialmente na rizosfera (FLOSS; FLOSS, 2007). As frações húmicas mais importantes quanto à reatividade e à ocorrência nos ecossistemas são os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos.

Alguns bioestimulantes podem aumentar a concentração de nutrientes no tecido foliar devido à presença de ácidos húmicos em sua composição, os quais afetam positivamente a retenção de água e atuam como reserva de nutrientes, pelo fato de terem alta capacidade de formarem complexos com íons metálicos solúveis em água (KELTING, 1997). Chen e Aviad (1990) relataram que a utilização de ácidos húmicos e fúlvicos resultaram em melhorias na germinação das sementes, no desenvolvimento radicular, no desenvolvimento das plantas e na produtividade.

Os bioestimulantes e as substâncias húmicas têm mostrado influência em muitos processos metabólicos nas plantas, como: respiração, fotossíntese, síntese de ácidos nucleicos e absorção de íons. Dentro da célula, as substâncias húmicas podem aumentar o conteúdo de clorofila, resultando em folhas mais verdes e redução de alguns problemas nas plantas, como clorose das folhas, uma vez que as substâncias húmicas

melhoram a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes (HAMZA; SUGGARS, 2001).

7 EXTRATO DE ALGAS E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

As algas são organismos simples, havendo mais de 25.000 espécies de algas já identificadas no mundo. A principal contribuição para a melhoria das culturas com a utilização de produtos que contêm extrato de algas é causada pela presença de reguladores de crescimento e outros componentes que atuam de modo semelhante (SANGHA et al., 2014).

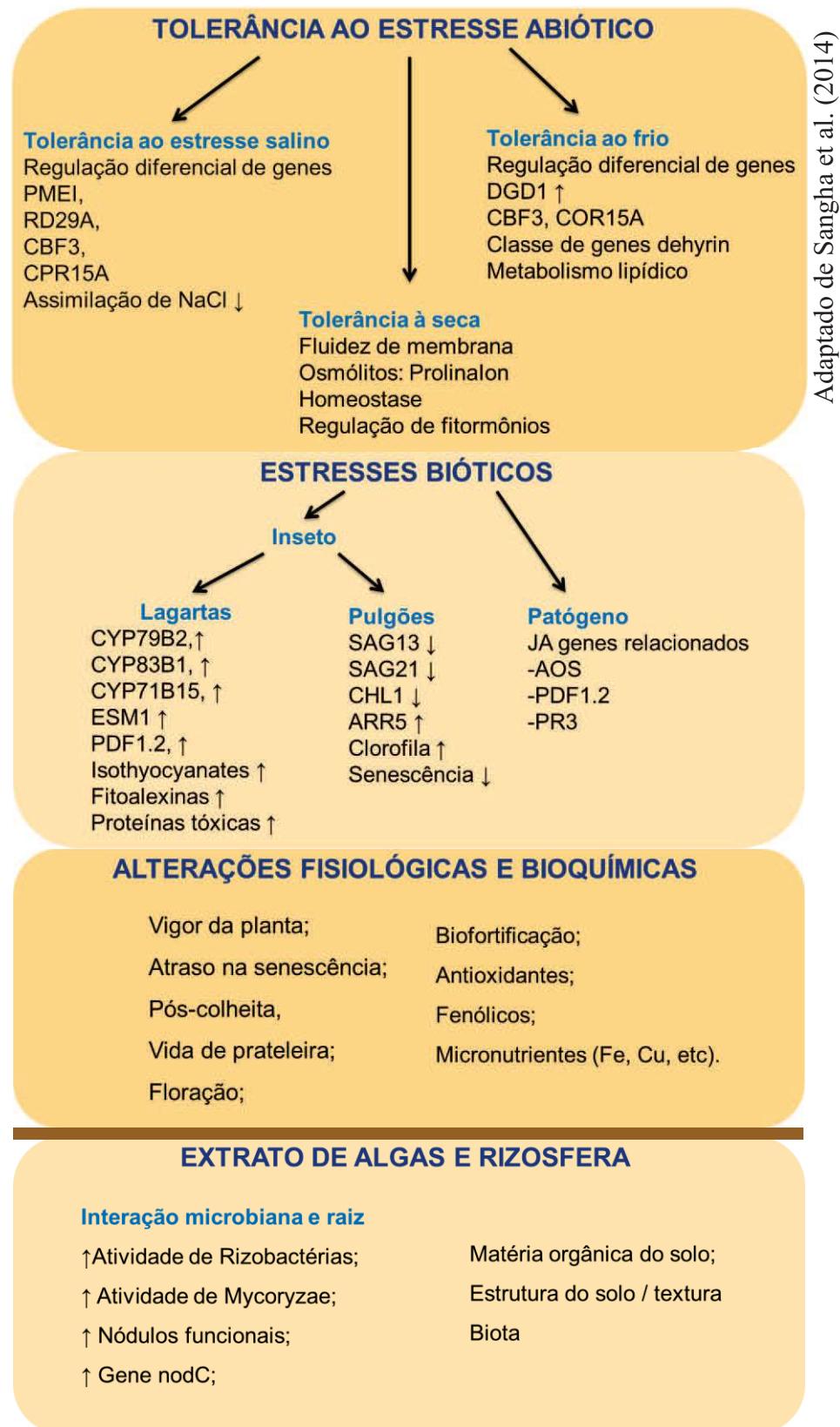
Espécies de algas, principalmente marrons, têm sido utilizadas na agricultura, como a *Ascophyllum nodosum*. Essa espécie tem sido amplamente utilizada em campo há mais de um século. Pode melhorar o crescimento da planta, o rendimento e a qualidade do produto, além de aliviar estresses abióticos, como salinidade e estresse hídrico (Figura 2).

Embora esses efeitos sejam relatados na literatura, os mecanismos bioquímicos e moleculares de ação ainda são desconhecidos. A atividade bioestimulante tem sido estudada usando a planta *Arabidopsis thaliana*. Em 2008, foi demonstrado que os extratos de *Ascophyllum nodosum* afetam um subconjunto específico de genes de plantas no nível transcripcional, conduzindo aos efeitos bioestimulantes e de tolerância a estresses.

Assim, a utilização de extratos de algas, em uma variedade de culturas, tem enorme potencial. Di Fan et al. (2011) demonstraram que a composição de nutrientes de plantas tratadas com extrato de *Ascophyllum nodosum* foi aumentada. Dobromilska et al. (2008) relataram aumento de nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Zn e Fe) em tomates após vários tratamentos com um produto feito de extrato de algas.

Vale salientar que a maioria da população do mundo é privada de nutrientes essenciais em sua dieta (WHITE; BROADLEY, 2009). O conteúdo nutricional pobre das culturas alimentares tem contribuído para essa situação (GRAHAM et al., 2007; WELCH; GRAHAM, 2004). Uma das muitas maneiras de aliviar esse problema seria aumentar as concentrações de elementos minerais em culturas alimentares comuns, por meio da gestão de insumos agrícolas, como a aplicação de bioestimulantes, como os que contêm extratos de algas marinhas. A literatura sugere que a aplicação de extratos de

algas poderia aumentar os teores de minerais, a qualidade das culturas e a vida de prateleira de produtos agrícolas.



Adaptado de Sangha et al. (2014)

Figura 2 – Representação esquemática do efeito e mecanismos de ação de extratos de algas (*Ascophyllum nodosum*).

Além disso, os efeitos bioestimulantes dos extratos de algas, como os da *Ascophyllum nodosum*, são relacionados a alterações na partição de fotoassimilados, promovendo maior estímulo à divisão e diferenciação celulares, à redução da senescência foliar, à tuberização e à tolerância aos estresses abióticos. Por essa razão, produtos de origem natural obtidos a partir do extrato da alga *Ascophyllum nodosum* têm sido utilizados como bioestimulantes em diversas culturas (BROWN, 2004), sendo que, na Comunidade Europeia, é frequente o uso de produtos comerciais à base de extrato de algas para aplicações foliares ou no solo, inclusive na agricultura orgânica (MASNY et al., 2004).

No Brasil, o uso do extrato de algas na agricultura é regulamentado pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, e definido no Anexo III, Capítulo VI, da Instrução Normativa nº 10, de 28 de outubro de 2004 (BRASIL, 2004), onde é enquadrado como agente complexante em formulações de fertilizantes para aplicação foliar e fertirrigação. No referido Anexo, ambos os compostos se enquadram como agentes quelantes/complexantes em formulações de fertilizantes para aplicação foliar e fertirrigação. Portanto, a elucidação dos seus efeitos fisiológicos em plantas sob condições normais de desenvolvimento pode trazer nova luz às formas de utilização desses compostos pelos seus possíveis efeitos bioestimulantes (SILVA et al., 2010).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de bioestimulantes, biorreguladores e bioativadores na agricultura é uma prática de manejo que potencialmente pode incrementar a produtividade agrícola. Seu uso favorece o bom desempenho dos processos fisiológicos da planta, mesmo sob condições de estresses diversos, e auxilia no equilíbrio e bom funcionamento das atividades fisiológicas em condições ambientais ou bióticas limitantes.

O uso de agroquímicos de controle hormonal vem crescendo a cada ano. Só na Europa, mais de 5,5 milhões de hectares são anualmente tratados com agroquímicos de controle hormonal, considerados fundamentais para a sustentabilidade da agricultura europeia. No relatório chamado "Da Europa 2020: Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo" (Comunicação da Comissão Europeia, 2010), a Europa apresenta três prioridades que se reforçam mutuamente: (1) crescimento inteligente, ou seja, desenvolver uma economia baseada no conhecimento e na inovação; (2) crescimento sustentável, ou seja, promover uso mais eficiente e mais

ecológico dos recursos, com economia mais competitiva e (3) crescimento inclusivo, ou seja, fomentar uma economia com níveis elevados de emprego que assegure a coesão social e territorial. O setor de agroquímicos de controle hormonal pode contribuir para todos esses três objetivos. Não há dúvida de que uma legislação clara, equilibrada e justa reforçará o mercado desses produtos, garantindo a concorrência leal entre os inúmeros fornecedores e ajudará a eliminar produtos não adequados do mercado em benefício de produtores e consumidores.

Ainda, a maioria das culturas se desenvolve bem quando o ambiente é favorável. Nessas situações, os efeitos benéficos destes produtos podem não ser fáceis de identificar. No entanto, culturas tratadas com agroquímicos de controle hormonal apresentam melhor desempenho por desenvolverem um sistema de defesa mais eficiente, aparentemente devido a níveis mais altos de antioxidantes.

Hoje, com modernas técnicas de marcadores moleculares, é possível identificar genes envolvidos na resposta da planta a vários estresses, incluindo foto-oxidação, frio, salinidade e seca. As vias de sinalização ativadas por agroquímicos de controle hormonal envolvidos na estimulação da resposta das plantas a estresses são identificadas, ligadas a genes de importância agronômica cujos fenótipos são de difícil avaliação, e permitem acelerar o processo de investigação dos efeitos bioestimulantes dos produtos. Assim, é possível determinar processos pelos quais uma célula diminui a quantidade de um componente celular, como RNA ou proteína, em resposta a uma variável externa (*down-regulation*), ou o contrário, com um aumento relativo de um componente celular (*up-regulation*).

Com todas essas perspectivas de desenvolvimento e melhorias, um dos principais paradigmas para o crescimento desse mercado de novos agroquímicos de controle hormonal ainda é a legislação a que esses produtos estão submetidos. A legislação ainda se coloca extremamente restritiva e morosa ao licenciamento desses novos produtos e tecnologias, o que é dificultado, principalmente, pela falta de clareza e de protocolos padronizados e bem regulamentados, gerando, por consequência, um excesso de burocracia e processos ineficientes.

REFERÊNCIAS

ASH, C.; JASNY, B. R.; MALAKOFF, D.A.; SUGDEN, A. M. Feeding the future. *Science*, v.327, p.797, 2010.

AYUB; R.A.; GEBIELUCA, A.N. Embriogênese somática em genótipos de café (*Coffea arabica*) é citocinina dependente. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**. Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 25-30, 2003.

BERRIE, A. M. M. Germination and dormancy. In: WILKINS, M. B. (Ed.) **Advanced plant physiology**, London, Pitman, 1984. p. 440–468.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 64**, 18 dez. 2008. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

BRASIL. Decreto nº. 4.954, de 14 de Janeiro de 2004. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 de jan. 2004. Seção 1, p. 2. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsultarLegislaca>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balança Comercial do Agronegócio**. 2015. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. Brasília, MAPA/ACS, 2015.

BROWN, M. A. **The use of marine derived products and soybean meal in organic vegetable production**. 94 p. Thesis (Master in Science) – Department of Horticultural Science, North Carolina State University, Raleigh, 2004.

CARRER, H.; BARBOSA, A. L.; RAMIRO, D. A. Biotecnologia na agricultura. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010.

CASILLAS, J. C.; LONDONO, J.; GUERREIRO, H.; BUITRAGO, L. A. Análisis Cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes em el cultivo rábano (*Raphanus sativus* L.). **Acta Agronomica**, Palmira, v. 36, p. 185-195, 1986.

CASTRO, P. R. E.; VIEIRA, E. L. Ação de bioestimulante na cultura do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, V. **Feijão irrigado: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2003. p. 73-100.

CASTRO, P. R. C. Novos Agroquímicos: Controle hormonal e outros fitoquímicos. **AgroAnalysis**, São Paulo, Especial Abisolo, 2010. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/viewFile/26282/25147>>. Acesso em: 23 abril 2015.

CASTRO, P. R. C. **Princípios da adubação foliar**. Jaboticabal: FUNEP, 2009. 42 p.

CASTRO, P. R. C. **Utilização de reguladores vegetais na fruticultura, na olericultura e em plantas ornamentais**. Piracicaba: ESALQ. Divisão de Biblioteca e Documentação, 1998. 92p. – (Série Produtor Rural)

CASTRO, P. R. C.; MELLOTO, E. Bioestimulantes e hormônios aplicados via foliar. In: BOARETO, A. E.; ROSENBLUM, C. A. **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, cap. 8, 1989. p. 191-235.

CASTRO, P. R. C.; PITELLI, A. M. C. M.; PERES, L. E. P.; ARAMAKI, P. H. Análise da atividade reguladora de crescimento vegetal de tiametoxam através de biotestes. **Publicatio UEPG**: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias. Ponta Grossa, v. 13 n. 3, p. 25-29, 2007.

CASTRO, P.R.C. **Agroquímicos de controle hormonal na agricultura tropical**. Piracicaba: ESALQ, 2006. 46 p.

CASTRO, P.R.C; VIEIRA, E.L. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, n.2, p. 222-228, 2001.

CASTRO.; P.R.C.; PEREIRA, M. Bioativadores na agricultura. In: GAZZONI, D.L. (Ed.). **Tiametoxam, uma revolução na agricultura brasileira**. São Paulo: Vozes, 2008. p.101-108.

CATANEO, A.C.; ANDRÉO, Y.; SEIFFERT, M.; BÚFALO. J.; FERREIRA.; L.C. Ação do inseticida Cruiser sobre a germinação do soja em condições de estresse. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4, 2006, **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. 26 p.

CATO, S. C.; CASTRO, P. R. C. Redução da estatura de plantas de soja causada pelo ácido 2,3,5 - triiodobenzóico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, 2006.

CATO, S.C. **Ação de bioestimulante nas culturas do amendoinzeiro, sorgo e trigo e interações hormonais entre auxinas, citocininas e giberelinas.** 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2006.

CHEN, Y.; AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In MacCARTH, Y, ed. **Humic substances in soil and crop science: selected readings.** Madison, SSSA, 1990. p. 161-200.

COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S.; TAMÉS, R.S. **Fisiologia vegetal.** Madrid: Ediciones Pirâmide, 2001. 662p.

CONRATH, U. Molecular aspects of defence priming. **Trends in Plant Science**, Londres, v. 16, p. 524–531, 2011.

CORTÊS, H.P. **Introdução aos hormônios Vegetais.** Brasília: EMBRAPA, 2000. p.131-157.

COSTA, N. de L. **Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar.** 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/878849>>. Acesso em: 03 out. 2014.

CROCOMO, O. J.; CABRAL, J. B. **A biotecnologia no melhoramento de plantas tropicais.** Brasília: ABEAS, 1988. 39p.

DAVIES, P. J. **Plant Hormones:** Biosynthesis, Signal Transduction, Action. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands, 2004. 750 p.

DI FAN, D.; HODGES M.; ZHANG J.; KIRBY C.W.; XIUHONG J.C., STEVEN J.; LOCKE S.J.; CRITCHLEY A.T.; PRITHIVIRAJ, B. Commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinacia oleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.124, p.195–202, 2011.

DOBROMILSKA, R., MIKICIUK, M., GUBAREWITZ, K. Evaluation of Cherry Tomato Yielding and Fruit Mineral Composition After Using of Bio-algeen S-90, **Journal of Elementology**, v.13, n.4, p. 491-499, 2008.

EDAGI, F. K.; SASAKI, F. F.; SESTARI, I.; TERRA, F. DE A. M.; GIRO, B.; KLUGE, R. A. 1-metilciclopropeno e salicilato de metila reduzem injúrias por frio em nêspora 'Fukuhara' refrigerada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n.5, p. 910-916, 2011.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal**: reguladores vegetais. São Paulo: Andrei, 2015. 300 p.

FAGLIARI, J. R., Aminoácidos: energia para o milho safrinha. **Revista Agrolatina**. Londrina/PR, 2007, ano II, n. 10, p.58, Março/Abril, 2007.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1985. 362 p.

FERRINI, F; NICESE, F. Response of English oak (*Quercus robur* L.) trees to biostimulants application in the urban environment. **Journal of Arboriculture**, Illinois, v.28, n.2, p. 70-75, 2002.

FLOSS, E. L.; FLOSS, L. G. Fertilizantes organominerais de última geração: funções fisiológicas e uso na agricultura. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.100, p. 26-29, 2007.

FREITAS, S. J. **Brassinosteróides e adubação no desenvolvimento, crescimento e nutrição de mudas de abacaxi**. 100 f. Tese (Doutorado Produção vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2010.

FUJIOKA, S., SAKURAI, A. Biosynthesis and metabolism of brassinosteroids. **Hysiology Plantarum**, Copenague, v.100, p710-715, 1997.

GASPAR, T.; KEVERS, C.; PENEL, C.; GREPPIN, H.; REID, D. M.; THORPE, T.A. Plant hormones and plant growth regulator in plant tissue culture. **In Vitro Cellular Development Biology–Plant**, Columbia, v. 32, p. 272-289, 1996.

GOIS, M. S.; OLIVEIRA, T. B.; SOUZA, M. A.; LUSKI, P. G. G.; SALVADOR, M. C.; UEDA, T. E.; GRAÇA, J. P.; OLIVEIRA, M. C. N. de; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Indução de metabólitos secundários em plantas de soja tratadas com diferentes concentrações de Metil-Jasmonato. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 8, 2013, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 156-159. (Embrapa Soja. Documentos, 339).

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZMONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, New York, v. 92, p. 1-74, 2007.

HAMZA, B.; SUGGARS, A. Biostimulants: myths and realities. **Turfgrass Trends**, Newton, v.10, p.6-10, 2001.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. New York: John Wiley, 1999. 512 p.

HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. **Introduction to Plant Physiology**. The University of Western Ontario: John Wiley; Sons, 2004. 560 p.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; ETIENNE, P.; LAÎNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; SAN FRANCISCO, S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSE, F.; GARCIA-MINA, J.; YVIN, J.; OURRY, A. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.32, p.31–52, 2013.

JUNGLAUS, R. W. **Aplicação de bioestimulante vegetal sobre o desenvolvimento de pepineiro (*cucumis sativus*) enxertado e não enxertado**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômica, Universidade Federal Paulista, Botucatu. 2008.

KELTING, M.P. **Effects of soil amendments and biostimulants on the post-transplant growth of landscape trees**. 1997. 58 f. Thesis (PhD) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia. 1997.

LACA-BUENDIA, J.P. Efeito de doses de reguladores de crescimento no algodoeiro (*Gossypium hirsutum*, L.). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 109-113, 1989.

LEITE, V. M; ROsolem, C. A.; RODRIGUES, J. D. Giberelina e citocinina no crescimento da soja, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 537-541, 2003.

LEVITT, J. **Introduction to plant physiology**. Saint Louis: C.V. Mosby Company, 1974. 447 p.

LINARES, A. MP; HERNANDES, C.; FRANCA, S. de C.; LOURENCO, M. V. Atividade fitorreguladora de jasmonatos produzidos por *Botryosphaeria rhodina*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 430-434, 2010.

LONG, E. **The importance of biostimulants in turfgrass management**. 2006. Disponível em://www.golfenviro.com/alticle%archive/biostimulants-roots.html. Acesso em 10 jul 2014.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/Fotapos, 1989.

LUDWIG, M. P.; LUCCA FILHO, O. A.; BAUDET, L. M.; DUTRA, L. M. C.; AVELAR, S. A. G.; OLIVEIRA, S.; CRIZEL, R. L.; RIGO, G. Armazenamento de sementes de soja recobertas com aminoácido, fungicida, inseticida e polímero e a incidência de fungos de armazenamento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA,17, ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO,10, 2008. **Anais...** Pelotas, 2008.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, Rockville v.109, p.7-13, 1995.

MASNY, A.; BASAK, A.; ZURAWICZ, E. Effects of foliar application of Kelpak SL and Goemar BM 86 preparations on yield and fruit quality in two strawberry cultivars. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Skieriewice, v. 12, p. 23-27, 2004.

MAZORRAS, L.M., NÚÑES, M., HECHAVARRIA, M., COLL, F. SANCHES-BLANCO, M.J. Influence of brassinosteroids on antioxidant enzymes activity in tomato under different temperatures. **Biologia Plantarum**, Czech Republic. v.45, n.4, p. 593-596, 2002.

MESQUITA, D. N. **Germinação de sementes e crescimento de plantas de feijoeiro em resposta ao tratamento com diferentes moléculas via sementes**. 2007. 34 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - FESURV - Universidade de Rio Verde, Rio Verde. 2007.

MEYER, A.; MIERSCH, O.; BÜTTNER, C.; DATHE, W.; SEMBDNER, G. Occurrence of the plant growth regulator jasmonic acid in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**. Dordrecht, v.3, p.1–8, 1984.

MEYER, A.D.; AEBI, R.; MEINS, F. Tobacco plants carrying a tms locus of Ti-plasmid origin and the *Hl-1* allele are tumor prone. **Differentiation**. V. 61, p. 213–221, 1997.

MÓGOR, A. F. Uma Força ao Desenvolvimento da planta. **Revista a Granja**, Porto Alegre, v. 5, ed. 749, 2011. Disponível em:
<<http://www.edcentaurus.com.br/materias/granja.php?id=3641>>. Acesso em: 23 abril 2015.

MÓGOR, A.F. Potencial de Uso de Bioestimulantes na Horticultura. In: _____. (Org.). **Fertilizando a agricultura brasileira**. São Paulo: ABISOL, v. 30, n. 07, 2010. 19 p.

MONTANS, F. M.. **Inoculação e aplicação de regulador vegetal em amendoim Runner IAC 886 em solos de diferentes texturas**. 2007. 39 f . Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília, Marília. 2007.

ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; SANTOS, S.O. Efeito de fitorreguladores sobre o desenvolvimento de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) cv Carioca. **Revista Biociências**, Taubaté, v.5, n.1, p.7-13, 1999.

RAMACHANDRA RAO, S.; RAVISHANKAR, G.A. Plant cell cultures: chemical factories of secondary metabolites. **Biotechnology Advances**, v. 20, p.101-153, 2002.

RAVEN, P.H.; EVERET, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A, 2014. 876 p.

RODRIGUES, J. D.; RODRIGUES, L. F. O.; WEBER, R. Biorreguladores em hortaliças e frutas. **Campo & Negócio**, Uberlândia, p. 37-43, 2015.

ROSSETTO, R. **Manejo para aumentar a brotação, enraizamento, perfilhamento e a longevidade do canavial: Uso de bioestimulantes**. Piracicaba: APTA Regional – Programa cana-de-açúcar – IAC, 2008.

RUSSO, R.O.; BERLYN, G.P. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. **Agronomy for Sustainable Development**, Versailles, v.1, n.2, p.19-42, 1992.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Fisiologia vegetal**. México: Iberoamérica, 1994. 759 p.

SANGHA, J. S.; KELLOWAY, S.; CRITCHLEY, A.T.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweeds (Macroalgae) and their extracts as contributors of plant productivity and quality: the current status of our understanding. **Advances in botanical research - sea plants**, v.71, p.189-213, 2014.

SERCILOTO, C. M. Mais produção: Os bioativadores são capazes de aumentar a qualidade dos frutos. **Cultivar HF**, Pelotas, v.2, n.13, p.20-21, 2002.

SEVERINO, L.S.; LIMA, C.L.D. de; FARIA V. de A.; BELTRÃO, N. E. de M.; CARDOSO, G. D. **Aplicação de regulador de crescimento em sementes de algodão, amendoim, gergelim e mamona**. Campina Grande, EMBRAPA Algodão, 2003. 17p. (Embrapa Algodão. Boletim técnico, 53).

SILVA, C. P.; LASCHI, D.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; MÓGOR, A. F. Aplicação foliar do extrato de alga *Ascophyllum nodosum* e do ácido glutâmico no desenvolvimento inicial de crisântemo (*Dendranthema morifolium* (Ramat.) Kitam.) em vaso. **Revista Brasileira de Horticulura Ornamental**, Campinas, v.16, p. 179-181, 2010.

SILVA, L. C. F.; MANIERO, M. A.; CASAGRANDE, J. C.; STOLF, R.; PIEDADE, S. M. S. Agricultura bioestimulada. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, v. 14, p. 34-35, 2012.

SRIVASTAVA, L. M. **Plant growth and development: Hormones and the environment**. Oxford: Academic Press, 2002. 772 p.

STAMATIADIS, S.; EVANGELOU, L.; YVIN, J. C.; TSADILAS, C.; MINA, J. M. G.; CRUZ, F. Responses of winter wheat to *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract application under the effect of N fertilization and water supply. **Journal of applied phycology**, Dordrecht v.27 n.1 p.589-600, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 820 p.

TAKEDA, S.; MATSUOKA, M. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. **Nature Reviews Genetics**, New York, v.9, p. 444-57, 2008.

TANAKA, M. T.; SENGIK, E.; SANTOS, H. S.; JÚNIOR, C.H.; SCAPIM, C. A. SILVÉRIO, L. KVITSCHAL, M. V.; ARQUEZ, I. C. Efeito da aplicação foliar de biofertilizantes, bioestimulantes e micronutrientes na cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n.2. p. 315-321, 2003.

VALOIS, A.C.C. Cultura de tecidos vegetais. In: CID, L.P.B. **Introdução aos hormônios vegetais**. Brasília: EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000.

VAN LOON, L. C., REP, M.; PIETERSE, C. M. J. Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. **Annu Rev Phytopathol**, Palo Alto, v.44, p.135–162. 2006.

VANALTGORST, A.C.; BOVY, A.G. The role ethylene in the senescence of carnation flowers, a review. **Plant Growth Regulation**, Amsterdam, v.16, p.43-53, 1995.

VANNESTE, S.; MAES, L.; DE SMET, I.; HIMANEN, K.; NAUDTS, M.; INZÉ, D.; BEECKMAN, T. Auxin regulation of cell cycle and its role during lateral root initiation. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.123, p.139-146, 2005.

VASCONCELOS, A.C.F de. **Uso de bioestimulantes nas culturas de milho e soja**. 2006. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2006.

VÁSQUEZ, M.C.N.; RODRÍGUEZ, R.C.M. **Brassinosteroides**: nuevos reguladores del crescimento vegetal com amplias perspectivas para la agricultura. Campinas: IAC, 2000. (Documento IAC, n. 68).

VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulantes na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2001. 122 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

VIEIRA, E. L., CASTRO, P. R. C. **Ação de estimulante no desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**. Piracicaba: USP, 2002. 3p.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes e no vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.23, n.2, p.222-228, 2001.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops form a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 353-364, 2004.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, London, v.182, n.1, p.49-84, 2009.

WOODWARD, A. W.; BARTEL, B. Auxin: regulation, action, and interaction. **Annals of Botany**, London, v. 95, p. 707-735, 2005.

XU, X.; TIAN, S. Salicylic acid alleviated pathogen-induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Netherlands, v.49, p.379-385, 2008.

CAPÍTULO 2

BIOESTIMULANTE À BASE DE SILICATO DE POTÁSSIO ENRIQUECIDO COM MOLIBDÊNIO APLICADO VIA FOLIAR EM ARROZ DE SEQUEIRO

Ana Carolina Pereira de Vasconcelos¹; Gaspar Henrique Korndörfer²

RESUMO: Atualmente há um forte questionamento na comunidade científica acerca da ação de agroquímicos de regulação hormonal na nutrição de plantas cultivadas com níveis adequados de nutrientes, pois se espera que sua utilização seja mais adequada em culturas cultivadas sob déficits nutricionais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de uma fonte bioestimulante contendo silício e micronutrientes, nos aspectos nutricionais e vegetativos em arroz de sequeiro. O experimento (teste biológico) foi realizado em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. Foram utilizados vasos de 5 kg, com solo classificado como Neossolo Quartzarênico. Utilizou-se a cultivar BRS Primavera (sequeiro). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 5. Os tratamentos consistiram de cinco doses (0; 1,50; 3,00; 4,50; 6,00 L ha⁻¹) de uma fonte bioestimulante contendo silicato de potássio e molibdênio, em dois modos de aplicação (parcelado e não parcelado). Foram avaliados: teores de clorofilas A, B e Total; teores foliares de silício e macro e micronutrientes; massa de matéria seca de raiz e parte aérea. Foram testadas as pressuposições estatísticas dos dados obtidos, os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Os dados significativos para o fator quantitativo (doses) foram submetidos à análise de regressão. A aplicação da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + molibdênio alterou significativamente os teores foliares de K, Ca, S, Zn, Cu e a produção de massa de matéria seca de raiz. Contudo, os teores foliares de N, P, Mg, Fe, Mn e Si, os teores das clorofilas A, B e Total e a produção de massa de matéria seca da parte aérea não sofreram alteração significativa em função das diferentes doses desse bioestimulante e dos diferentes modos de aplicação.

Palavras-chave: Adubação foliar; agroquímicos de regulação hormonal; *Ascophyllum nodosum*; nutrição de plantas; *Oryza sativa*; silício

² Mestranda em Fitotecnia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

³ Doutor, Professor Titular, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

APPLICATION OF MOLYBDENUM-ENRICHED BIOSTIMULANT CONTAINING POTASSIUM SILICATE TO UPLAND RICE

ABSTRACT: Currently, there is a strong questioning within the scientific community about the action of hormonal regulation agrochemicals in cultivated plants nutrition with appropriate levels of nutrients, because it is expected that their use would be more appropriate in crops grown under nutritional deficits. The aim of this study is to evaluate the efficacy of a source biostimulant containing silicon and micronutrients on rice culture. The experiment (biological testing) was performed in a greenhouse at the Universidade Federal de Uberlândia using five-kilogram vases containing Quartzipsamment soil and BRS Primavera upland rice cultivar. The experimental design was completely randomized, with four repetitions in a 2 x 5 factorial structure. The treatments consisted of five doses (0; 1.50; 3.00; 4.50; 6.00 L ha⁻¹) of a biostimulant source containing potassium silicate and molybdenum in two modes of application (single application and in portions). The following parameters were assessed: concentrations of chlorophyll A, B and Total; leaf content of macro and micronutrients and Si; and dry matter of root and aerial part. Statistical assumptions were assessed for the obtained data using Kolmogorov-Smirnov normality test and Levene's test for homogeneity of variances, both set at 1%. Tukey's test was used for analysis of variance and set at 5% significance. The significant data for the quantitative factor (doses) were included in a regression analysis. The application of biostimulant containing potassium silicate + molybdenum significantly changed the leaf content of K, Ca, S, Zn and Cu, as well as the production of dry matter of root. However, the leaf content of N, P, Mg, Fe, Mn and Si, the concentrations of chlorophyll A, B and Total, and the production of dry matter of aerial part were not significantly influenced by the different doses of said biostimulant and modes of application.

Keywords: Leaf fertilization; hormonal regulation agrochemicals; *Ascophyllum nodosum*; plant nutrition; *Oryza sativa*; Silicon

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e o maior da América Latina (FAO, 2015). Devido ao grande consumo no país, o abastecimento interno não permite uma maior eficiência nas exportações do produto (FERNANDES et al., 2008).

A cultura do arroz, em sistema de terras altas ou sequeiro, ganhou destaque em sistemas de produção na abertura do Cerrado, como cultura pioneira e ocupação das fronteiras agrícolas. Adotava-se baixa tecnologia, o que resultou em uma baixa produtividade (DIAS et al., 2010). Assim, no Brasil, como o arroz sequeiro é utilizado muitas vezes para a ocupação de novas fronteiras agrícolas, para a sua produção é utilizado o sistema de coivara, seguido da semeadura do arroz, aproveitando-se do potássio (K) das cinzas (GIORDANO; SPERS, 1998).

A maioria dos países produtores de arroz não dispõe de área agricultável para expansão da produção; portanto, a maior demanda deve ser atendida pelo aumento da produtividade (FREITAS, 2007). Diante desse panorama, a evolução do conhecimento em nutrição de plantas e em práticas racionais de adubação tem possibilitado o contínuo crescimento da produtividade dos cultivos e contribuído de forma decisiva para a produção de alimentos com maior qualidade (CASTRO, 2009).

Atualmente existem novas tecnologias, dentre as quais merecem destaque os agroquímicos de regulação hormonal, sobretudo os bioestimulantes, que podem possibilitar o melhor desempenho das culturas. Os bioestimulantes são definidos como a mistura de dois ou mais reguladores vegetais com outros compostos de natureza química diferentes, como minerais, aminoácidos (CASTRO et al., 2008) e extratos de algas, que podem ser aplicados diretamente às plantas (folhas, flores e frutos) (KLAHOLD et al., 2006). Esses produtos podem, assim, aumentar a absorção de água e nutrientes pelos vegetais, o que os torna de grande interesse para o uso na agricultura (VASCONCELOS, 2006), inclusive para a cultura do arroz. As plantas mais vigorosas refletem em estandes mais uniformes, potencializando o ótimo desenvolvimento da cultura.

Os agroquímicos de regulação hormonal têm sido associados aos micronutrientes, buscando-se melhor estabelecimento de plantas no campo. Os micronutrientes são requeridos pelas plantas em pequenas quantidades, embora a falta de qualquer um deles possa limitar o crescimento do vegetal, mesmo quando todos os

outros nutrientes essenciais estejam presentes em quantidades adequadas (LOPES, 1989).

Um vegetal não se desenvolve normalmente se não obtiver os nutrientes que são necessários para o seu crescimento. A deficiência de nutrientes minerais nos solos acarreta uma série de problemas para a produção, causando alterações no metabolismo e no suprimento adequado do elemento. Segundo Fageria et al. (2014), a deficiência de molibdênio (Mo) é mais comum em solos de textura arenosa, com baixos teores de matéria orgânica e alta acidez, como a maioria dos solos cultivados com arroz de sequeiro. É o micronutriente em menor abundância no solo e na planta; porém, é de extrema importância para o metabolismo vegetal (MALAVOLTA, 1980; TAIZ; ZEIGER, 2013). A adição direta de adubo contendo Mo ao solo é muitas vezes ineficaz (HOROWITZ, 1978; KARIMIAN; COX, 1978). Portanto, outras formas de aplicação visando suprir as necessidades da planta parecem ser mais adequadas que a adubação via solo.

Da mesma forma, o potássio (K) é um dos elementos mais exigidos pela cultura do arroz de sequeiro, sendo superado apenas por N. Comparado a outros nutrientes, o K é extraído em maior quantidade pelos cultivares modernos de arroz (CRUSCIOL et al. 1999). Ainda, na cultura do arroz, o acúmulo de silício (Si) pode exceder ao de todos os macronutrientes e alcançar teores foliares próximos a 10 dag kg^{-1} (ZANÃO JÚNIOR, 2007). No entanto, a aplicação foliar de Si na cultura do arroz não é comum. Predomina a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio ao solo, que, além de fontes desse elemento, são corretivos da acidez (BARBOSA FILHO et al., 2000).

A possibilidade de unificar, em uma nova tecnologia, compostos bioestimulantes e elementos essenciais para o arroz, como Si, K e Mo, pode ser uma alternativa promissora para que os orizicultores possam proceder a uma complementação de nutrientes via aplicação foliar. Em termos práticos, contudo, estudos que abordem a aplicação foliar de bioestimulantes e/ou silicato de potássio nos aspectos nutricionais de diversas culturas e, em especial na cultura do arroz, ainda são relativamente escassos no Brasil. Assim, os estudos descritos na literatura sobre o efeito da aplicação desses produtos na nutrição das culturas são escassos e contraditórios, com grande variabilidade dos resultados em função de doses, formas de aplicação, culturas, ambiente e práticas agrícolas utilizadas. Justifica-se, portanto, a necessidade de avaliar como fontes, modo e época de aplicação desses produtos interferem em aspectos agronômicos e nutricionais em diversas culturas.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de uma fonte bioestimulante à base de extrato de algas, contendo Si e enriquecido com Mo, aplicada via foliar, no desenvolvimento vegetativo e nos teores de Si e macro e micronutrientes foliares em arroz de sequeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, situada a 18° 35' de Latitude Sul, 47° 52' de Longitude Oeste e 931 m de altitude. O experimento foi implantado no dia 30 de novembro de 2014, com avaliação aos 55 e 70 DAE (dias após a emergência).

Foram utilizados vasos com 5 kg de solo, classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico Típico (EMBRAPA, 2013), cuja análise química fora realizada no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS/UFU) seguindo metodologia de EMBRAPA (2011). A escolha de um solo arenoso se baseia no fato de que, por apresentar baixo teor de Si disponível, a absorção desse elemento (proveniente do solo) pela cultura do arroz seria mínima, a ponto de a planta se tornar pouco capaz de suprir suas necessidades do elemento através do solo.

O teor de Si no solo foi determinado no Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia (LAFER/UFU) seguindo metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004). As características químicas do solo anteriores à sua correção encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do solo anterior à instalação do experimento.

pH	Al ³⁺	H+Al	SB	t	CTC	V	m	M.O.
			cmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹
5	0,5	2,50	0,45	0,95	2,95	15	53	2,6
P	P rem	Si	S	K	Ca	Mg	B	Fe
			mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³	
0,2	35,9	2,8	2	0,05	0,3	0,1	0,04	0,8
							47	2,5
								0,2

P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (SPT 1 N); M.O. = (Walkley-Black); Si = (CaCl₂ 0,5 mol L⁻¹); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

A correção do solo foi feita utilizando-se carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) (p.a.) nas quantidades de 4,25 e 0,84 g kg^{-1} por vaso, respectivamente. O solo foi incubado por 60 dias, recebendo umidade suficiente para que os corretivos pudessem reagir durante todo o período. Para tal, foram realizados teste de capacidade de campo e reposição da água perdida por evaporação. Os vasos foram rotacionados de forma que o ambiente fosse o mais homogêneo possível. Após a incubação do solo, foi realizada uma nova análise química para verificar se o solo fora corrigido adequadamente, atingindo-se o valor de V% igual a 60. Os valores estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química do solo após incubação.

pH	Al^{3+}	$\text{H}+\text{Al}$	SB	t	CTC	V	m	M.O.
			$\text{cmol}_{\text{c}} \text{dm}^{-3}$			%		g kg^{-1}
5,7	0,0	2,0	2,86	2,86	4,86	60	0	1,9
P	P rem	Si	S	K	Ca	Mg	B	Cu
				$\text{cmol}_{\text{c}} \text{dm}^{-3}$		mg dm^{-3}		
0,7	32,0	2,8	3	0,06	2,2	0,6	0,07	0,6
						mg dm^{-3}		
							26	1,5
								0,4

P, K = (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N); Al, Ca, Mg = (SPT 1 N); M.O. = (Walkley-Black); Si = (CaCl_2 0,5 mol L^{-1}); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

Antes da semeadura, foram incorporados ao solo 400 mg kg^{-1} de fósforo (P) e 200 mg kg^{-1} de K, provenientes das fontes MAP e KCl, respectivamente, e 50 mg kg^{-1} do produto FTE BR-12 contendo 9% zinco (Zn), 7,1% cálcio (Ca), 5,7% enxofre (S), 2% manganês (Mn), 1,8% boro (B), 0,8% cobre (Cu) e 0,1% Mo. A semeadura do arroz foi realizada distribuindo-se 20 sementes viáveis por vaso, a uma profundidade de 2 cm, utilizando-se a variedade BRS Primavera. Aos 10 DAE, foi realizado o desbaste, deixando-se dez plantas por vaso. Aos 15 e 30 DAE, foi realizada a adubação de cobertura parcelada, sendo utilizados 100 mg kg^{-1} por cobertura, totalizando 200 mg kg^{-1} , com sulfato de amônio diluído em água a uma concentração de 5 g L^{-1} de N. Aplicaram-se 100 mL da solução por vaso.

Foi utilizada, nos tratamentos, uma fonte bioestimulante (Tabela 3), via foliar, contendo: silicato de potássio + molibdênio, com Tecnologia AZAL5 (extrato de

Ascophyllum nodosum). Esse produto está em fase de testes para posterior registro junto ao Ministério da Agricultura.

Tabela 3 - Caracterização química da fonte bioestimulante em teste.

Si Total	Si Solúvel*		K ₂ O**	Mo Total		
-----%-----						
1,5		1,5	1,5	0,03		
Ca Total	Fe Total	Cu Total	Zn Total	Mg Total		
-----%-----						
0,10	0,0004	0,0013	0,0005	0,0240	0	0

* Extração com NH₄NO₃ + Na₂CO₃ + EDTA (Korndörfer et al., 2004)

** Digestão Sol. em H₂O

Segundo Jannin et al. (2013), os principais componentes da Tecnologia AZAL5 são carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), com 1,7, 9,8, e 87,3%, respectivamente, acompanhados de Ca, K, magnésio (Mg), sódio (Na) e S (Tabela 4). Também contém pequenas quantidades de auxina, ácido abscísico e citocininas, especialmente iP (16,11 pmol g⁻¹) e iPR (0,46 pmol g⁻¹), conforme disposto na Tabela 5.

Tabela 4 - Composição de nutrientes do extrato de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*) - AZAL5 - dissolvido em água a uma concentração de 67 g L⁻¹ DW.

Elemento	Concentração (ppm)	Elemento	Concentração (%)
Ca	572	C	1,79
Cu	6	H	9,89
Fe	20	N	0
K	4,442	O	87,3*
Mg	616		
Na	2,078		
P	78		
S	1782		
Si	18		
Zn	1,2		

* Determinação por diferença. (Jannin et al., 2013)

Tabela 5 - Composição hormonal do extrato de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*) - AZAL5.

Fitormônio	AIA	ABA	Z	DHZ	tZR	cZR	DHZR
Teor	7,53	17,63	ND	ND	ND	ND	ND
Fitormônio	iP	iPR	BAR	mT	mTR	oT	oTR
Teor	16,11	0,46	ND	ND	ND	ND	ND

Os conteúdos são expressos em pmol g⁻¹. Fitormônios: auxina (AIA), ácido abscísico (ABA) e citocininas: zeatina (Z), dihydrozeatina (DHZ), trans-zeatina (tZR), cis-zeatina (cZR), riboside dihydrozeatina (DHZR), iso-pentil-adenina (iP), iso-pentil-adenosina (iPR), benziladenina riboside (BAR), meta-topolin (MT), meta-topolin riboside (MTR), orto topolin (OT) e orto-topolin riboside (OTR). ND = não detectado. (Jannin et al., 2013)

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, em esquema fatorial 2x5. Foram utilizadas quatro doses da fonte de bioestimulante (1,50; 3,00; 4,50; 6,00 L ha⁻¹) e a testemunha (0 L ha⁻¹), sendo aplicados 0,19; 0,38; 0,56; 0,75 e 0,0 mL por vaso, respectivamente, com volume de calda de 25 mL por vaso, em dois modos de aplicação. O modo 1 consistiu em uma aplicação única no perfilhamento (25 DAE), enquanto o modo 2 consistiu em uma aplicação parcelada, com metade da dose no perfilhamento e a outra metade no alongamento (45 DAE).

Foram realizadas as avaliações dos valores de clorofilas A, B e Total, no terço médio das folhas de três plantas por parcela, dez dias após a aplicação dos tratamentos (55 DAE). Para tal, utilizou-se clorofilômetro portátil, que expressa o teor de clorofila em unidades adimensionais; massa de matéria seca (g) de parte aérea (MSA) e massa de matéria seca (g) de raiz (MSR). As plantas de cada tratamento foram seccionadas à altura do colo, separando-se a parte aérea da raiz e as folhas dos colmos. As folhas e as raízes foram levadas para estufa a 65°C, até atingirem massa constante. Após 72 horas, foram pesadas em balança de precisão e tiveram extraídos seus teores de macro e micronutrientes foliares, segundo EMBRAPA (2011), e o teor de Si de acordo com Korndörfer et al. (2004).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o aporte do programa SPSS (NORUŠIS, 2011). Em seguida, os dados foram submetidos a análises estatísticas utilizando-se os programas SISVAR (FERREIRA, 2014) e ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Os resultados para o fator quantitativo foram submetidos à análise de regressão polinomial (VIEIRA, 2008), testando-se os modelos lineares e quadráticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 estão demonstrados os dados das clorofitas A, B e Total, aos 55 DAE (alongamento), em função de diferentes doses da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + Mo (0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 L ha⁻¹), em dois modos de aplicação (parcelado e não parcelado). Observa-se que não houve diferenças significativas ($p>0,05$) nos valores (leitura SPAD) das clorofitas A, B e Total (Tabela 6) em função das diferentes doses de bioestimulante e dos diferentes modos de aplicação.

Tabela 6 - Efeito das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar sobre as clorofitas A, B e Total na cultura do arroz aos 55 DAE.

DOSES L ha ⁻¹	Clorofila A		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada	
----- Unidades SPAD -----			
0	31,1	31,3	31,2
1,5	30,1	35,1	32,6
3,0	33,2	34,3	33,7
4,5	30,6	31,2	30,9
6,0	34,8	34,9	34,8
Média	32,0	33,3	
CV% = 12,44	DMS = 2,6		
Clorofila B			
0	11,4	11,6	11,5
1,5	10,9	13,4	12,1
3,0	12,4	12,8	12,6
4,5	11,6	10,8	11,2
6,0	13,1	13,1	13,1
Média	11,9	12,3	
CV% = 14,38	DMS = 1,1		
Clorofila Total			
0	42,7	42,9	42,8
1,5	41,0	48,4	44,7
3,0	45,6	47,1	46,3
4,5	42,3	42,0	42,1
6,0	47,9	48,0	48,0
Média	43,9	45,6	
CV% = 12,84	DMS = 3,7		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Os pigmentos fotossintéticos presentes e a sua abundância variam de acordo com a espécie. A clorofila A está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese oxigênica. É o pigmento utilizado para realizar o primeiro estágio do processo fotossintético, enquanto os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de

pigmentos acessórios. Os principais pigmentos acessórios também incluem outros tipos de clorofitas, como a clorofila B, presente em vegetais superiores, algas verdes e algumas bactérias (TAIZ; ZIEGER, 2013). É a partir da molécula de clorofila, a qual absorve em 680 nm no espectro visível, que os elétrons oriundos da água são transferidos para a cadeia transportadora de elétrons da fotossíntese (KLUGE, 2005).

O estresse provocado na planta pela luz é frequente sob condições tropicais e a concentração de clorofitas e carotenoides é indicador da suscetibilidade da planta à intensidade da luz (VIEIRA, 1996). Assim, Argenta et al. (2001) destacam a importância que pode ser dada ao teor de clorofila quanto ao manejo das culturas: à medida que se encontram correlações entre esses teores de clorofila e a nutrição nitrogenada da cultura, pode-se solucionar problemas de deficiência ou confirmar se a adubação utilizada foi suficiente ante as necessidades da cultura, na mesma safra, tornando o processo muito mais rápido e causando menos prejuízos ao produtor. Essa associação entre clorofila e N é importante para que se otimize inclusive a atividade fotossintética da cultura e, com isso, a produção de fotoassimilados. Além de N, outros elementos como S, Fe e Mn provocam clorose nas folhas, em caso de deficiência, o que evidencia a importância destes nutrientes na síntese de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997).

De acordo com Rambo et al. (2004), a análise do teor de clorofila é um parâmetro importante para a avaliação do desenvolvimento da planta, sendo utilizado para diferenciar as plantas com deficiência de N das que apresentam níveis adequados desse elemento. O uso do clorofilômetro para essa avaliação é adequado, pois é um método de baixo custo, mais rápido do que os laboratoriais e não implica destruição das folhas (ARGENTA et al., 2001). Tem como parâmetro o índice SPAD, que fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente na folha. Os valores são calculados pela leitura diferencial da quantidade de luz transmitida pela folha, em duas regiões de comprimento de onda (650 nm e 940 nm), e a absorção de luz pela clorofila ocorre no primeiro comprimento de onda (SWIADER; MOORE, 2002).

A fonte bioestimulante avaliada contém silicato e, normalmente, a aplicação de Si estimula várias ações na planta, como: maior rigidez estrutural dos tecidos, aumento da resistência mecânica das células; redução da transpiração; folhas mais eretas; e diminuição do autossombreamento (DEREN, 2001). Porém, na mesma linha dos resultados obtidos no presente trabalho, Freitas et al. (2011), avaliando o efeito de doses e épocas de aplicação de produto à base de silício na cultura do milho, via foliar,

também não obtiveram resultados significativos para o valor de clorofila. Por sua vez, contrastando com os resultados obtidos neste trabalho, Oliveira et al. (2007), investigando a aplicação de Si e N na cultura do arroz, observaram que, nos tratamentos em que foi aplicado Si, ocorreu um maior aumento na concentração de clorofila.

Os bioestimulantes têm mostrado influência em muitos processos metabólicos nas plantas, como respiração, fotossíntese, síntese de ácidos nucleicos e absorção de íons. Dentro da célula, podem aumentar o conteúdo de clorofila, resultando em folhas mais verdes e em redução de alguns problemas nas plantas, como clorose das folhas, uma vez que as substâncias húmicas melhoram a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes (HAMZA; SUGGARS, 2001).

Ainda, os processos de divisão celular, alongamento e diferenciação são incrementados quando as citocininas interagem com auxinas (VIEIRA, 2001). Com isso, estes fitormônios podem estimular ou inibir uma variedade de processos metabólicos, fisiológicos e bioquímicos em plantas superiores, atuando no retardamento da degradação da clorofila, no desenvolvimento dos cloroplastos e no metabolismo dos nutrientes (VIEIRA; CASTRO, 2002), dentre outros. Neste estudo, contudo, a presença de auxinas e citocininas presentes no bioestimulante não alterou a concentração de clorofila nas folhas de arroz (Tabela 6).

Como a avaliação da clorofila pode ser correlacionada com o teor de N foliar, observa-se que, assim como os valores de clorofila (Tabela 6) não tiveram diferença significativa ($p>0,05$) em função dos modos de aplicação e das doses do bioestimulante, os teores de N (Tabela 8) tampouco foram alterados ($p>0,05$). Todavia, de acordo com Malavolta (2006), os teores de N encontram-se adequados, entre 26 e 42 g kg⁻¹ (Tabela 8) e acima da faixa de suficiência considerada pela CFSEMG (1999).

Com relação à produção de MSA (Tabela 7), não houve diferença significativa ($p>0,05$) em relação ao modo e às doses de aplicação do produto. Diversos trabalhos demonstram resultados similares aos obtidos no presente estudo, onde a utilização de bioestimulantes em culturas não resultaram em incrementos significativos de MSA. Santos et al. (2013) verificaram que o uso de bioestimulante composto por auxina e citocinina não influenciou na avaliação de MSA. Dados semelhantes foram verificados por Verona et al. (2010), que trabalharam com milho submetido a tratamento com bioestimulante via semente e inoculação de *Azospirillum* sp. e não encontraram respostas significativas entre tratamentos. Além disso, Rodrigues et al. (2015), investigando o efeito de doses de bioestimulante nas características fisiológicas de

sementes de arroz, observaram que a MSA não foi afetada pelas doses do bioestimulante.

Tabela 7 - Efeito das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar sobre a produção de massa de matéria seca de raiz (MSR) e de massa de matéria seca da parte aérea (MSA) na cultura do arroz.

DOSES L ha ⁻¹	Massa de matéria seca da parte aérea (MSA)		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada	
0	37,6	37,9	37,7
1,5	40,4	39,8	40,1
3,0	38,6	39,8	39,2
4,5	40,1	39,3	39,7
6,0	39,1	40,3	39,7
Média	39,2	39,4	
CV% = 9,88	DMS = 2,5		
Massa de matéria seca de raiz (MSR)			
0	5,7	5,5	5,6
1,5	6,0	6,3	6,1
3,0	7,1	6,1	6,6
4,5	6,4	6,6	6,5
6,0	7,4	6,7	7,0
Média	6,5	6,2	
CV% = 14,70	DMS = 0,6		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Garcia et al. (2009), estudando o crescimento da parte aérea de arroz submetido a diferentes doses de P na presença e ausência de bioestimulante, concluíram que a eficiência do produto pode ser observada apenas nas menores doses de adubo fosfatado, em que as determinações de MSA tiveram acréscimos em relação à ausência de produto. Assim, deduziram que, em caso de baixa disponibilidade de P, a utilização de bioestimulantes pode proporcionar aumentos na produção de MSA. Pode-se inferir que, como neste estudo, o solo estava com teores adequados de P e o potencial estímulo que a fonte bioestimulante daria ao incremento de MSA não foi efetiva, não havendo diferenças significativas ($p>0,05$) entre os tratamentos (Tabela 7). Apesar da não diferenciação estatística entre os tratamentos, observa-se incremento de até 6% na MSA, comparando-se a testemunha com os demais tratamentos.

Em relação à MSR (Tabela 7), não houve diferença significativa ($p>0,05$) em relação ao modo de aplicação das doses. Entretanto, houve diferença ($p<0,05$) em função das diferentes doses da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + Mo (Figura 1). Analogamente a esse estudo, em experimento realizado com milho, Santos et

al. (2013) relataram que o uso de bioestimulantes resultou em efeitos positivos para a maioria das características fisiológicas da planta e incrementou a produção de MSR.

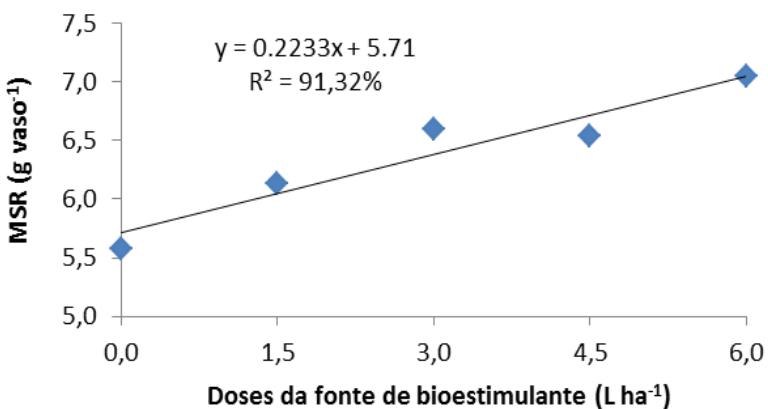


Figura 1 – Massa de matéria seca de raiz (g) em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

Pela análise de regressão (Figura 1), observa-se que a reta para produção de MSR em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo linear. Assim, houve incremento crescente na produção de MSR com o aumento das doses aplicadas da fonte bioestimulante, até a dose de 6,0 L ha⁻¹, com a qual a produção foi de 7,1 g vaso⁻¹ e se obteve o máximo incremento de MSR. A produção média de MSR foi de 0,2233 g vaso⁻¹ para cada litro da fonte bioestimulante, sendo a massa mínima de 5,6 g vaso⁻¹ na ausência do produto.

Para uma nutrição adequada e um bom desenvolvimento da planta, é de suma importância que exista um sistema radicular bem disposto e desenvolvido no solo (KLUTHCOUSKI; STONE, 2003). Um sistema radicular extensivo explora maior volume de solo e absorve mais nutrientes e água e, consequentemente, aumenta a eficiência nutricional. Nesse sentido, os bioestimulantes podem ser uma alternativa favorável aos agricultores, por favorecer a expressão do potencial genético das plantas e promover o equilíbrio hormonal, estimulando o crescimento radicular (SILVA et al., 2008).

Dentre os fitormônios existentes na composição da fonte bioestimulante analisada (Tabela 5), proveniente do extrato de algas, as auxinas possuem ação característica no crescimento celular, agindo diretamente no aumento da plasticidade da parede da célula e conferindo-lhe alongamento irreversível. Por sua vez, as citocininas possuem grande capacidade de promover divisão celular, participando do processo de

alongamento e diferenciação da célula, principalmente quando interagem com as auxinas (CHIARELO et al., 2007). Dessa forma, hormônios do grupo das auxinas levam a maior porcentagem de formação de raízes, melhor qualidade radicular e uniformidade no enraizamento. A zeatina, os isômeros zeatinoteriboside, iso-pentiladenina (pi) e iso-pentil-adenosina (IPA) e suas ribosides (Tabela 5) são citocininas que se complexam e agem no desenvolvimento da planta, facilitando o desenvolvimento radicular, principalmente no que se refere às raízes secundárias.

Assim, embora o alongamento da raiz seja inibido por concentrações de auxinas maiores que 10^{-8} M, a iniciação de raízes laterais e adventícias é estimulada por altos níveis de auxinas. As auxinas são requeridas para, pelo menos, duas etapas na formação de raízes laterais, sendo transportadas no floema e requeridas para iniciar a divisão celular nas células do câmbio vascular. Além disso, são requeridas para promover a divisão celular e a manutenção da viabilidade celular nas raízes laterais em desenvolvimento. Do ponto de vista prático, soluções de auxinas podem ser utilizadas para induzir a formação de raízes adventícias em pedaços de caules e de folhas (HOPKINS, 2000).

Em relação aos aspectos nutricionais, há um forte questionamento na comunidade científica acerca da ação de extratos de algas em culturas cultivadas com níveis adequados de nutrientes, como realizado no presente estudo, pois se espera que sua utilização seja mais adequada em culturas cultivadas sob déficits nutricionais. Stamatiadis et al. (2015), Featonby-Smith e Van Staden (1987) e Mooney e Van Staden (1985) relataram aumentos de rendimentos com a utilização de extratos de algas em culturas com suprimento adequado de nutrientes, evidenciando, dessa forma, a capacidade destes produtos em aumentar a eficácia dos fertilizantes convencionais. Efeitos estimulantes semelhantes com suprimento de nutrientes adequados são relatados para outras culturas, como centeio (KOTZE; JOUBERT, 1980), feijão (FEATONBY-SMITH; VAN STADEN, 1984; BECKETT et al., 1994), pepino (NELSON; VAN STADEN, 1984) e soja (RATHORE et al., 2009). Outros estudos mostraram que a aplicação de extrato de algas marinhas aumentou o crescimento vegetativo e o rendimento de grãos, quer sob adubação (FEATONBY-SMITH; VAN STADEN, 1987) ou sem adição de adubo (NELSON; VAN STADEN, 1986).

Ainda, de acordo com Khan et al. (2009), quando aplicados em pequenas quantidades, os extratos de algas marinhas apresentam efeitos benéficos que têm sido atribuídos a compostos reguladores de crescimento de plantas, fitormônios e,

possivelmente, micronutrientes que estimulam o crescimento do sistema radicular e a absorção mineral. Assim, espera-se que haja diferenças no conteúdo de nutrientes presentes nos tecidos vegetais tratados com esses produtos.

Os teores de macronutrientes foliares em função das doses da fonte bioestimulante e dos modos de aplicação encontram-se na Tabela 8. Não foram observadas diferenças ($p>0,05$) nos teores de N, P e Mg (Tabela 8) em função das doses e dos modos de aplicação do bioestimulante analisado. Porém, de acordo com Malavolta (2006), todos os teores de macronutrientes encontram-se em níveis adequados para a cultura do arroz, com exceção de Ca e Mg, que apresentaram níveis superiores aos considerados adequados, de 2,5 a 4,0 e de 1,7 a 3,0 g kg⁻¹, respectivamente, e com exceção de S, que apresentou teores abaixo da faixa de suficiência.

Em trabalho clássico, Medeiros e Malavolta (1980) – analisando os diferentes órgãos de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva até maturidade completa, a fim de obterem uma estimativa das exigências nutricionais de cultivares de arroz de sequeiro e irrigado –, descreveram que os teores de N, P e S encontram-se em maior proporção nos colmos, enquanto Ca encontra-se em maior teor nas folhas. Neste trabalho, os colmos foram separados das folhas, as quais não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$) desses nutrientes, corroborando os resultados desses autores.

Para o K (Tabela 8), houve interação significativa ($p<0,05$) entre as doses e os modos de aplicação da fonte bioestimulante (Figura 2). No entanto, nos tratamentos aos quais as doses foram adicionadas de forma única, não houve adequação aos modelos de regressão estudados. Ainda, de acordo com a Tabela 8, não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) entre os modos de aplicação, quanto aos teores de K, quando aplicadas as doses de 0; 1,5; 3,0 e 4,5 L ha⁻¹. Quando aplicada a dose de 6,0 L ha⁻¹, houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os modos de aplicação, onde o maior teor de K foi obtido com o parcelamento da dose, havendo um incremento de 6,3 g kg⁻¹ no teor desse elemento (Tabela 8).

Uma função importante do K na planta é no que diz respeito às reações enzimáticas. Ele atua como ativador, sendo importante para vários processos fisiológicos, como crescimento meristemático, distribuição da água, fotossíntese e transporte a longas distâncias (MALAVOLTA, 2006; KERBAUY, 2012).

Tabela 8 - Efeito das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar sobre os teores de macronutrientes em arroz.

DOSES L ha ⁻¹	Nitrogênio		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada g kg ⁻¹	
0	32,3	32,5	32,4
1,5	36,2	32,8	34,5
3,0	34,1	32,2	33,2
4,5	31,7	27,3	29,5
6,0	31,5	33,3	32,4
Média	33,2	31,6	
CV% = 11,31	DMS = 2,4		
Fósforo			
0	3,3	3,5	3,4
1,5	3,3	3,6	3,5
3,0	3,6	3,6	3,6
4,5	3,5	3,7	3,6
6,0	3,6	3,7	3,6
Média	3,5	3,6	
CV% = 8,23	DMS = 0,2		
Potássio			
0	21,2 a	21,1 a	21,3
1,5	19,9 a	21,6 a	20,8
3,0	21,3 a	20,3 a	20,8
4,5	20,5 a	22,8 a	21,6
6,0	18,5 b	25,3 a	21,9
Média	20,3	22,2	
CV% = 8,86	DMS = 2,7		
Cálcio			
0	7,4	7,2	7,3
1,5	7,7	5,4	6,5
3,0	8,2	5,5	6,8
4,5	8,2	6,8	7,5
6,0	8,0	6,2	7,1
Média	7,9 a	6,2 b	
CV% = 16,67	DMS = 0,8		
Magnésio			
0	3,9	3,7	3,8
1,5	4,0	4,2	4,1
3,0	4,4	2,9	3,6
4,5	4,4	3,2	3,8
6,0	3,6	3,1	3,4
Média	4,0	3,4	
CV% = 34,82	DMS = 0,8		
Enxofre			
0	1,9	1,9	1,9
1,5	1,8	1,8	1,8
3,0	1,8	1,7	1,7
4,5	1,7	1,6	1,6
6,0	1,6	1,5	1,6
Média	1,7	1,7	
CV% = 12,04	DMS = 0,1		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Pela análise de regressão (Figura 2), observa-se que a curva para os teores foliares de K em função das doses aplicadas de forma parcelada ajustou-se a um modelo quadrático. Assim, nota-se um decréscimo para os teores de K com o aumento das doses da fonte bioestimulante, até a dose de 1,8 L ha⁻¹, com a qual o teor foi de 20,8 g kg⁻¹ e se atingiu o mínimo teor de K. O decréscimo médio no teor de K foi de 0,05 g kg⁻¹, para cada litro da fonte bioestimulante, a partir do teor de K obtido na ausência do produto (21,3 g kg⁻¹), até a dose de 1,8 L ha⁻¹. A partir dessa dose, a curva apresentou crescimento nos teores do nutriente, atingindo o teor máximo na dose de 6,0 L ha⁻¹ (25,3 g kg⁻¹), sendo esse acréscimo médio de 1,1 g kg⁻¹ para cada litro da fonte bioestimulante aplicada, havendo aumento de 15,8% no teor de K nas folhas quando aplicada a dose de 6,0 L ha⁻¹, comparativamente ao tratamento onde não houve a aplicação do produto (Figura 2).

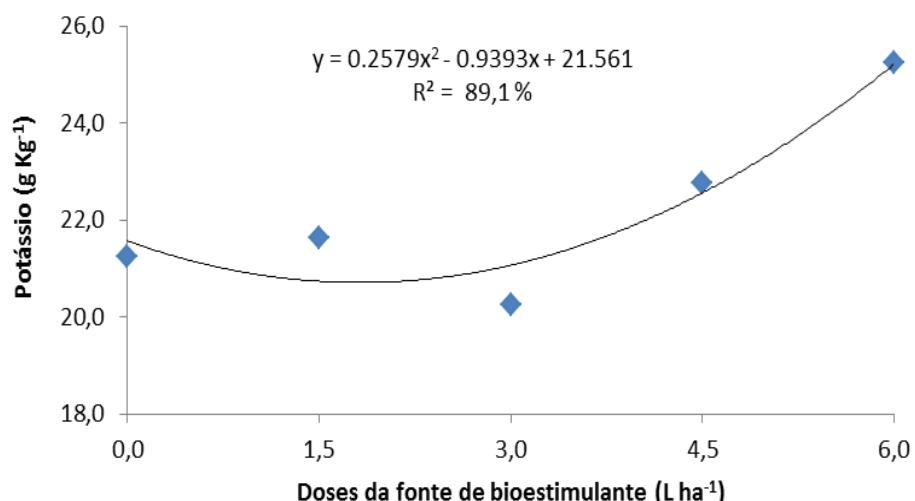


Figura 2 – Teores foliares de potássio em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

Em contraste com os resultados obtidos neste estudo, Barbosa (2006), avaliando o efeito da aplicação de bioestimulante em três cultivares de arroz, também encontrou teores adequados de K nas folhas; no entanto, os teores não diferiram entre as doses aplicadas. Lana et al. (2009), avaliando o efeito da aplicação de bioestimulante, em diferentes doses e vias de aplicação (semente e foliar), não observaram diferenças nos teores foliares de K na cultura do feijoeiro. Vasconcelos (2006), estudando o efeito de diferentes bioestimulantes aplicados em diferentes doses em plantas de milho e soja, tampouco identificaram diferenças nos teores foliares de K em ambas as culturas. Rodrigues et al. (2009) relataram que a aplicação foliar de soluções de silicato de

potássio nas doses de 8 a 60 g L⁻¹ com pH de 10,5 e 5,5 não aumentou o teor foliar de K em soja.

Em cana-de-açúcar, avaliando-se o efeito da aplicação de doses crescentes de silicato de potássio sobre o crescimento e o teor foliar de K em condições controladas, Moraes et al. (2011) também observaram diferenças no teor foliar de K. Todavia, esse respondeu de forma linear e positiva às doses crescentes de silicato de potássio.

Com relação aos teores de Ca (Tabela 8), não houve diferença significativa ($p>0,05$) em relação às doses aplicadas, porém houve ($p<0,05$) em relação ao modo de aplicação (única ou parcelada). Observa-se na Tabela 8 que a aplicação única da fonte bioestimulante obteve resultados superiores no que diz respeito aos teores foliares de Ca. Em ambos os modos de aplicação (dose única ou parcelada), os teores ficaram acima dos níveis considerados adequados por Malavolta (2006), porém abaixo da faixa de suficiência de acordo com a CFSEMG (1999).

Muitas das funções do Ca estão ligadas à composição estrutural de macromoléculas e relacionadas à sua capacidade de coordenação, o que confere ligações intermoleculares estáveis, mas reversíveis, principalmente nas paredes celulares e na membrana plasmática (VITTI et al., 2006). Para Amaral (2003), o Ca pode ser fornecido em altas concentrações e atingir mais de 10% do peso seco em folhas adultas, sem incorrer em sintomas de toxicidade ou inibição do crescimento da planta. Além disso, ao contrário dos outros nutrientes, altos teores de Ca estão localizados frequentemente nas paredes celulares dos tecidos, vacúolos e apoplasma.

As auxinas, como as presentes na fonte bioestimulante analisada (Tabela 5), ativam canais de Ca na membrana plasmática levando ao aumento temporário das concentrações de Ca²⁺ livre no citossol, o qual estimula a síntese de precursores da parede celular e sua secreção dentro do apoplasma (BRUMMELL; HALL, 1987). Ainda, Barberaki e Kintzios (2002) mostraram que a acumulação de macronutrientes em tecidos cultivados *in vitro* é seriamente afetada pela presença de reguladores de crescimento. Os autores relatam que a cinetina afeta o acúmulo de K e Ca, assim como observado neste experimento (Tabela 8).

Almeida e Soratto (2014) e Oliveira et al. (1998) também identificaram maiores teores de Ca em plantas de feijão que receberam aplicações de bioestimulante. A influência dos fitormônios (giberelinas e auxinas) na absorção e transporte de íons pode ser diversa e dependente de vários fatores, inclusive da época de aplicação.

Lana et al. (2009), trabalhando com bioestimulantes via semente e foliar na cultura do feijoeiro, não encontraram diferenças significativas ($p>0,05$) nos teores de Ca em função das doses ou do modo de aplicação. Esse resultado diverge daquele obtido no presente estudo.

No que diz respeito aos teores de S, não houve diferença significativa ($p>0,05$) quanto ao modo de aplicação (Tabela 8), mas houve ($p<0,05$) em função das doses do bioestimulante (Figura 3). Em contraste, Abrantes (2008) não encontrou efeito da aplicação de bioestimulante no teor de S nas folhas de feijoeiro.

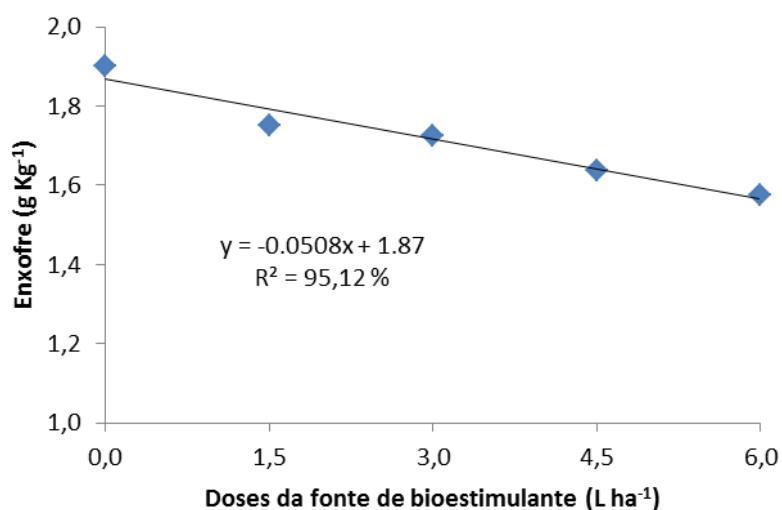


Figura 3 – Teores foliares de enxofre em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

Analizando-se a regressão da Figura 3, observa-se que a reta para os teores foliares de S em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo linear negativo. Assim, houve decréscimo nos teores de S com o aumento das doses da fonte bioestimulante, até a dose de $6,0 \text{ L ha}^{-1}$, com a qual o teor foi de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ e se obteve o mínimo teor de S. O decréscimo médio nos teores foi de $0,05 \text{ g kg}^{-1}$ para cada litro da fonte bioestimulante. Na ausência de aplicação, foram obtidos os maiores teores do nutriente ($1,9 \text{ g kg}^{-1}$). Com a aplicação do produto, a redução foi de 15,79% entre os tratamentos na ausência e na maior dose aplicada ($6,0 \text{ L ha}^{-1}$).

O S desempenha funções que determinam aumentos na produção e na qualidade do produto obtido, sendo componente dos aminoácidos cistina, metionina e cisteína, os quais são componentes da proteína, com 90% de S encontrado nas plantas (VITTI et al., 2006). Também participa da composição das ferredoxinas, complexos enzimáticos envolvidos na fotossíntese, na fixação de N_2 e na formação da clorofila. Além disso, o S

está ligado às vitaminas biotina e tiamina, sendo a carência desta última um problema nutricional em países que têm como base de alimentação o arroz (VITTI, 1986).

O S tem relação negativa com K e Mo (MALAVOLTA, 2006), ou seja, há uma inibição na absorção de S na presença desses elementos. Observa-se na Figura 3 um decréscimo linear nos teores de S com o aumento das doses aplicadas. Isso sugere que a presença de 1,5% de K e de 0,03% de Mo (Tabela 3) na composição do produto foi o suficiente para haver inibição competitiva na absorção de S (Tabela 4). Assim, com o aumento das doses, houve diminuição no incremento de S foliar (Figura 3). No entanto, mesmo na testemunha os níveis de S ficaram abaixo da faixa de suficiência considerada por Malavolta (2006) e por Alvarez et al. (2007), embora esses teores não sejam considerados como deficientes por Fageria e Barbosa Filho (1994), que apenas os colocam como nível crítico.

Em consonância com Wilson Jr. et al. (2006), a planta de arroz bem nutrida de S deve apresentar teores no tecido de 1,7 e 1,5 g kg⁻¹, no perfilhamento e na iniciação do primórdio floral, respectivamente. Dessa forma, os teores desse nutriente nas plantas estariam dentro da faixa considerada adequada por estes autores. Em contrapartida, segundo Carmona et al. (2009), o ponto de equilíbrio nutricional desse nutriente no Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (GUINDANI, 2007), que utiliza o conceito do balanço de nutrientes, é de 1,8 g kg⁻¹ para uma população de alta produtividade ($> 9,0 \text{ t ha}^{-1}$), valor esse encontrado em média somente na testemunha e na dose mais baixa aplicada (1,5 L ha⁻¹) neste experimento.

Diante do exposto, verifica-se a necessidade da realização de mais estudos para a definição das faixas de interpretação dos resultados de análises de S, tanto no solo como no tecido vegetal, e, consequentemente, para a verificação do estado nutricional da planta de arroz, uma vez que há pouco suporte de pesquisa desenvolvida no país para essa cultura. Carmona et al. (2009), em trabalho objetivando, a partir do estado nutricional da cultura, fazer recomendações de S para o arroz irrigado, concluíram que o teor de S nas plantas de arroz não atinge a faixa de suficiência pela interpretação do seu estado nutricional em uso no Brasil, mesmo com produtividade de grãos entre 7,0 e 9,0 t ha⁻¹, estudando 12 locais cultivadas com a cultura no sul do país.

Os teores foliares de micronutrientes e de Si em função das doses da fonte bioestimulante e dos modos de aplicação estão apresentados na Tabela 9. Não foram obtidas diferenças significativas ($p>0,05$) em relação aos teores foliares dos micronutrientes Fe e Mn em função das doses e dos modos de aplicação avaliados.

Porém, de acordo com Malavolta (2006), esses elementos encontram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura do arroz.

Tabela 9 - Teores de silício e micronutrientes em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

DOSES L ha ⁻¹	Silício		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada g kg ⁻¹	
0	5,0	5,0	5,0
1,5	4,8	4,5	4,6
3,0	5,2	5,1	5,2
4,5	4,7	4,6	4,6
6,0	5,1	4,7	4,9
Média	5,0	4,8	
CV% = 14,60	DMS = 0,6		
Zinco			
L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹		
0	55,3	55,3	55,3
1,5	54,9	71,2	63,0
3,0	64,3	78,3	71,3
4,5	64,1	73,7	68,9
6,0	56,9	71,5	64,2
Média	59,1 b	70,0 a	
CV% = 15,16	DMS = 6,3		
Cobre			
0	15,2	15,2	15,2
1,5	14,6	18,2	16,4
3,0	16,6	18,6	17,6
4,5	15,7	19,3	17,5
6,0	15,9	20,0	18,0
Média	15,6 b	18,3 a	
CV% = 10,36	DMS = 1,1		
Ferro			
0	111,1	111,1	111,1
1,5	97,0	133,4	115,2
3,0	100,9	93,1	97,0
4,5	98,3	132,3	115,3
6,0	112,3	127,2	119,8
Média	103,9	119,4	
CV% = 36,95	DMS = 26,7		
Manganês			
0	521,8	521,8	521,8
1,5	525,3	534,0	529,7
3,0	585,2	546,3	565,8
4,5	489,0	568,9	529,0
6,0	510,6	497,9	504,3
Média	526,4	533,8	
CV% = 12,38	DMS = 42,4		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Ao contrário dos resultados obtidos neste experimento, Bognola et al. (2011), avaliando o efeito da aplicação de silicato de potássio via foliar no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, observaram diferenças ($p<0,05$) para os teores foliares de Fe e Mn, ajustando-se ao modelo quadrático. No caso, a dose que determinou o valor máximo foi de $6,25 \text{ mL L}^{-1}$ para Fe e a dose que determinou o valor mínimo foi de $7,72 \text{ mL L}^{-1}$ para Mn.

Em relação aos teores foliares de Si (Tabela 9), também não houve diferença significativa ($p>0,05$) em função das doses ou dos modos de aplicação avaliados. Um dos problemas no uso de silicato via foliar é a sua elevada alcalinidade, que tem sido motivo de muita discussão sobre o efeito da aplicação foliar desse elemento. Segundo Malavolta (2006), um aspecto muito importante a ser considerado para melhorar a eficiência de absorção de nutrientes via foliar é o valor do pH da calda de pulverização. De modo geral, pH abaixo de 7,0 na solução facilita a absorção de ânions, enquanto aquele acima da neutralidade favorece a absorção de cátions. Sugere-se, então, o uso de pH em torno de 6,0 quando a solução possui vários cátions e ânions, sendo esse valor considerado não prejudicial a quaisquer dos íons. No entanto, neste trabalho, avaliou-se a fonte bioestimulante contendo Si + Mo, sem a redução do pH, aplicando o produto somente com a diluição proposta para os diferentes tratamentos, sendo o pH das soluções dos tratamentos: pH $0,75 \text{ L ha}^{-1} = 10.59$; pH $1,5 \text{ L ha}^{-1} = 10.64$; pH $3,0 \text{ L ha}^{-1} = 10.86$; pH $6,0 \text{ L ha}^{-1} = 11$.

Rodrigues et al. (2009), avaliando o teor foliar de Si em função de doses crescentes de silicato de potássio em dois valores de pH, concluíram que não houve variação significativa no teor foliar de Si no experimento com soluções de doses crescentes de silicato de potássio em pH 10,5. Contudo, observou-se efeito linear positivo das doses crescentes de silicato de potássio em pH 5,5 no teor foliar desse elemento.

Entretanto, Buck (2006), estudando a absorção de Si via foliar no controle da incidência de brusone em arroz e utilizando silicato de potássio em diferentes doses, números de aplicações e variações do pH da calda, não observou diferenças nos teores e no acúmulo de Si na parte aérea da planta, independentemente do pH da solução e do número de aplicações das doses. Esse resultado está em concordância com aqueles obtidos neste estudo.

Outro problema relatado por Buck et al. (2008) diz respeito à metodologia utilizada para determinação de Si foliar. Na acepção do autor, não se pode afirmar

definitivamente que o Si aplicado via foliar não foi absorvido, pelo fato de existirem limitações na metodologia para as análises de Si em plantas (tecido vegetal). O nível de detecção é muito alto, bem como a variabilidade. Isso se deve em parte à forma de digestão (via úmida), que nem sempre é completa e gera uma variabilidade alta para este tipo de análise. Dessa forma, pequenas diferenças no conteúdo de Si das folhas são difíceis de serem detectadas devido às limitações metodológicas referidas.

Outra questão relacionada à aplicação de silicatos via foliar é a formação de polímeros pela solução de silicato de potássio na superfície da cutícula foliar, fazendo com que a absorção de Si pela folha do arroz seja pouco eficiente e dificultando a sua absorção. Iler (1979) e Menzies et al. (1992) relataram a formação de uma película esbranquiçada sobre a folha, que, com o aumento da concentração de Si, pode formar polímeros de cadeias longas a partir do ácido monosilícico (H_4SiO_4), que se transformam em ácido polisilícico e se polimerizam facilmente em meio ácido. Visualmente, pôde-se, neste estudo, observar a formação de uma película branca sobre as folhas, película essa que ficava mais evidente nos tratamentos com doses maiores. Essa observação reforça o argumento desses autores.

De acordo com Barbosa Filho e Prabhu (2002), o Si é absorvido em grandes quantidades pelo arroz, podendo ser várias vezes maior que os macronutrientes essenciais com N, P, K, Ca, Mg e S. A literatura cita que, para uma produção de 5 t ha⁻¹ de grãos, em média o arroz remove do solo cerca de 230 a 470 kg ha⁻¹ de Si, ou o equivalente a 500 a 1000 kg ha⁻¹ de SiO₂. Segundo esses autores, apesar da importância de Si para as gramíneas, a necessidade de adubação da cultura do arroz no Brasil não tem sido tão exaustivamente avaliada como em outros países.

No entanto, a absorção foliar de Si pelas plantas não é clara, mesmo em plantas acumuladoras, como o arroz. Alguns estudos sugerem que o teor de Si de diferentes cultivares está relacionada com diferenças em seus genes de resistência ou em seus níveis de resistência a estresses (ABUMIYA, 1959; SEEBOLD et al., 2001). Ainda, Dobermann e Fairhurst (2000) sugerem que teores nos tecidos foliares do arroz abaixo de 5% indicam deficiência desse nutriente.

Bybordi (2012) e Feng et al. (2010) relataram que, com a utilização de Si, houve aumento na atividade das enzimas redutase do nitrato, glutamina sintetase, glutamato sintetase e glutamato desidrogenase, melhorando a eficiência no metabolismo de N. Como não houve diferença significativa ($p>0,05$) nos teores de Si (Tabela 9), consequentemente os teores de N (Tabela 9) não foram influenciados por esse elemento.

Considerando que todo Si fosse absorvido quando aplicado via foliar nas plantas, para aumentar $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ no teor desse elemento nos tecidos vegetais seria necessária a aplicação de $2,67 \text{ mL}$ do produto por vaso (podendo não ser viável economicamente). A dosagem feita neste experimento, na maior dose, foi de 6 L ha^{-1} ou $0,6 \text{ mL por m}^2$. Dessa forma, a quantidade de Si presente na fonte bioestimulante estudada e a quantidade aplicada não são suficientes para que se observe diferenças significativas no teor deste elemento nas folhas.

Em relação aos teores de Zn e Cu, foram observadas diferenças significativas ($p<0,05$) em função dos modos de aplicação avaliados (Tabela 9) e das doses aplicadas (Figuras 4 e 5), não havendo, no entanto, interação ($p>0,05$) entre eles. De acordo com Malavolta (2006), os teores de Zn e Cu nas folhas obtidos neste experimento estão em níveis considerados adequados para a cultura do arroz.

Segundo Aloni (2001), as citocininas, como as encontradas na fonte bioestimulante estudada (Tabela 5), estimulam o desenvolvimento do sistema vascular, propiciando maior translocação de nutrientes. Dessa forma, Murch et al. (1997), trabalhando com cultura de tecidos, relataram que o tratamento com citocininas pode resultar em mudanças significativas no acúmulo de minerais em tecidos, inclusive Cu. Da mesma forma, Oliveira (2006), estudando o efeito de citocininas no acúmulo de macro e micronutrientes em tecido vegetal, observou que as concentrações de Zn foram afetadas pela presença de citocininas, onde as citocininas cinetina e zearina induziram os maiores teores de Zn, assim como observado neste estudo (Tabela 9). Diferentemente dos resultados obtidos neste trabalho, Araújo (2013) não encontrou diferenças significativas ($p>0,05$) nos teores foliares de Zn com a aplicação de bioestimulantes nas culturas do milho e da soja.

Observa-se na Tabela 9, que tanto os teores de Zn como os de Cu tiveram maior incremento quando as doses da fonte bioestimulante foram aplicadas de forma parcelada. A segunda dose foi aplicada aos 45 DAE, período no qual a planta de arroz inicia a diferenciação floral. Segundo Gilmour (1977), a absorção dos micronutrientes Cu e Zn atinge o valor máximo próximo à formação da panícula, fato observado no presente estudo.

Analisando-se as regressões apresentadas nas Figuras 4 e 5, observa-se que as curvas para os teores foliares de Zn e Cu em função das doses aplicadas ajustaram-se a modelos quadrático e linear, respectivamente.

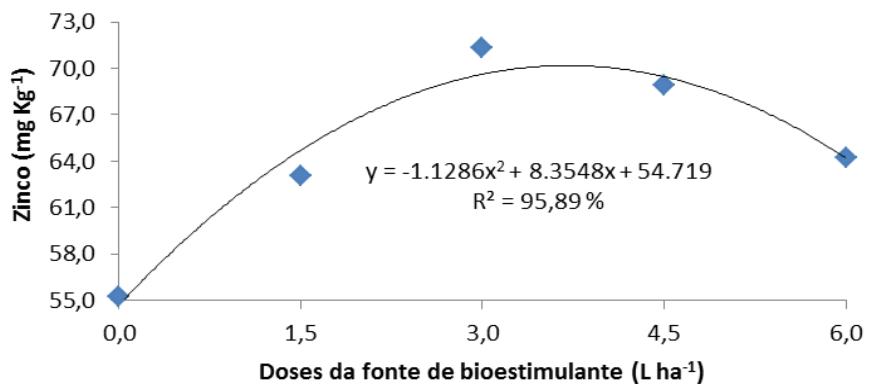


Figura 4 – Teores foliares de zinco em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

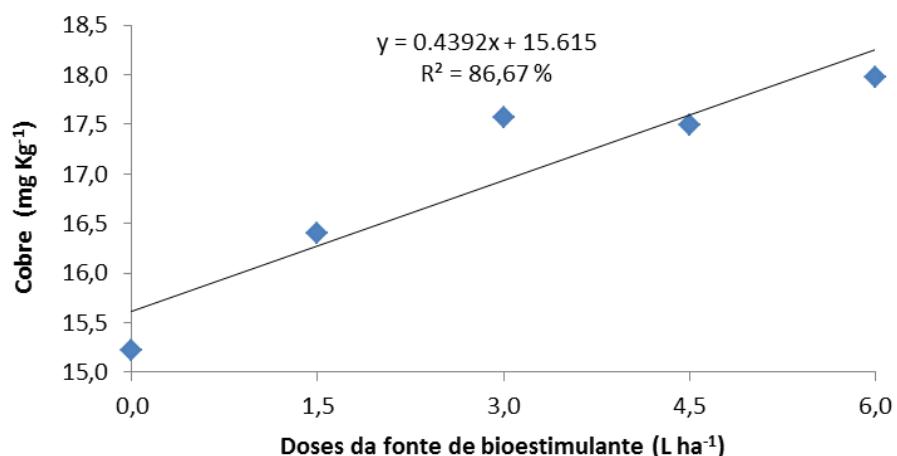


Figura 5 – Teores foliares de cobre em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + molibdênio) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

A absorção de Cu pelas plantas ocorre por meio de processo ativo e existem evidências de que esse elemento iniba fortemente a absorção de Zn (BOWEN, 1969). Dessa forma, o Cu diminui a absorção desse nutriente possivelmente porque, segundo Malavolta (2006), Cu e Zn entram em competição pelo mesmo carregador ou canal proteico. Em trabalho clássico, Arzolla et al. (1956) observaram que a absorção de Zn foi diminuída pelo aumento na concentração de Cu e Mo em plantas de cafeeiro: a absorção caiu de 5% para 3% na presença de Mo e de 6,9% para 2,1% na presença de Cu.

Assim, observa-se nas Figuras 4 e 5 que os teores de Zn foram crescentes até a dose de 3,7 L ha⁻¹ e, após essa dose, houve decréscimo no incremento desse elemento nas folhas, enquanto os teores de Cu cresceram de forma linear, efeito provavelmente devido à inibição acarretada pelo aumento na concentração de Cu e Mo na solução. De

fato, quando aplicado o produto de forma parcelada, houve maior incremento de Zn nas folhas (Tabela 9), possivelmente porque a concentração desses nutrientes na solução era menor. De acordo com Malavolta (2006), o aumento de Cu e Mo na solução comumente leva a uma diminuição no teor de Zn.

A inibição não competitiva é ocasionada pela deformação do sítio não ativo do carregador, de modo que não ocorre a formação do complexo na velocidade usual e, uma vez formado, o complexo não se desdobra na velocidade normal para originar os produtos (LEHNINGER et al., 2011). Segundo Malavolta et al. (1997), nesse tipo de inibição, a maior absorção de um elemento não pode ser anulada pelo aumento da concentração do outro, o que não ocorre na inibição competitiva, em que o inibidor I se combina com o mesmo sítio ativo do carregador R; nesse caso, a inibição pode ser desfeita aumentando-se a concentração do nutriente.

A absorção foliar de Zn é ativa e obedece à cinética de Michaelis-Menten (BOWEN, 1986). Além disso, o Ca, em altas concentrações, também apresenta efeito inibitório (MALAVOLTA, 2006). Enquanto o Ca (Tabela 8) teve maiores teores quando o produto foi aplicado de forma única, o Zn (Tabela 9) revelou comportamento contrário, apresentando maior incremento quando aplicado de forma parcelada, podendo-se observar, dessa forma, o efeito inibitório de Ca para/com Zn.

Moraes et al. (2009), estudando o efeito do silicato de Ca e do sulfato de Cu na intensidade da antracnose e no teor nutricional do feijoeiro, observaram redução do teor de Zn com a elevação das doses de silicato nas três maiores doses de Cu. Os autores concluíram que o Zn reduz na presença de Ca (do silicato) por inibição competitiva.

Observa-se, na Figura 4, que houve incremento para os teores de Zn com o aumento das doses da fonte bioestimulante, até a dose de 3,7 L ha⁻¹, com a qual o teor foi de 70,18 mg kg⁻¹ e se atingiu o máximo incremento de Zn, correspondendo a um aumento de 22,4% em comparação à testemunha, com incremento médio de 4,2 mg kg⁻¹. Após essa dose, houve diminuição no teor desse elemento. Em relação aos teores de Cu, (Figura 5), observa-se incremento para os teores de Cu com o aumento das doses da fonte bioestimulante, até a dose de 6 L ha⁻¹, com a qual a produção foi de 18,3 mg kg⁻¹, havendo aumento de 15,56% em comparação com a testemunha, com incremento médio de 0,44 mg kg⁻¹ para cada litro da fonte bioestimulante.

4 CONCLUSÕES

A aplicação da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + molibdênio na cultura de arroz de sequeiro, em condições de casa de vegetação, altera os teores foliares de K, Ca, S, Zn, Cu e a produção de massa de matéria seca de raiz, mostrando-se promissora para o aumento da eficiência nutricional e agronômica da cultura. Contudo, os teores foliares de N, P, Mg, Fe, Mn e Si, as clorofitas A, B e Total e a produção de massa de matéria seca da parte aérea não são afetados em função das diferentes doses da fonte bioestimulante e dos diferentes modos de aplicação.

Há a necessidade de maiores investigações a respeito do uso de agroquímicos de regulação hormonal nas culturas, inclusive a nível molecular, para melhor elucidação dos resultados obtidos, no que diz respeito ao aumento da eficiência nutricional e agronômica das culturas.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, F. L. **Efeito de bioestimulante sobre a produtividade e qualidade fisiológica de dois cultivares de feijão cultivados no inverno.** 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira. 2008.

ABUMIYA, H. Phytopathological studies on the breeding of rice varieties resistant to blast disease. **Bulletin of Tohoku National Agricultural Experiment Station,** Morioka, v. 17, p. 1–89, 1959.

ALMEIDA, A.Q.; SORATTO, R. P. Teor e acúmulo de nutrientes no feijoeiro em função da aplicação de bioestimulante. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 2259-2272, 2014.

ALONI, R. Foliar and axial aspects of vascular differentiation: Hypotheses and evidence. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 20, n. 1, p. 22- 34, 2001.

ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.

AMARAL, A.F.C. **Comportamento in vitro de explantes de matrizes de cenoura (*Daucus carota L.*) tratadas com variáveis níveis de potássio.** 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2003.

ARAÚJO, B. H. **Tecnologias de complementação nutricional com zinco e uso de biorreguladores para milho e soja.** 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.13, n. 2, p. 158-167, 2001.

ARZOLLA, J. D. P.; HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Nota preliminar sobre a absorção e a translocação do radiozinc no cafeeiro (*Coffea arabica*) cultivado em

solução nutritiva. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 12-13, p. 113-120, 1956.

BARBERAKI, M.; KINTZIOS, S. Accumulation of selected macronutrients in mistletoe tissue cultures: effect of medium composition and explant source. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 95, n. 1/2, p. 133-150, 2002.

BARBOSA FILHO, M.P.; PRABHU, A.S. **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 4p. (EMBRAPA Arroz e Feijão. Circular Técnica, 51).

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.89, p.1-8, 2000.

BARBOSA, G. T. **Efeito da aplicação de doses de bioestimulante sobre a produção e qualidade fisiológica das sementes de três cultivares de arroz**. 2006. 40 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha solteira. 2006.

BECKETT, R. P.; MATHEGKA, A. D. M.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on yield of nutrient-stressed tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray). **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 6, p. 429–430, 1994.

BOGNOLA, I. A.; CLASEN, L. A.; FRANCISCON, L.; GAVA, J. L.; DEDECEK, R. A. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 83-92, 2011.

BOWEN, G.D. The uptake of orthosilicate and its incorporation into organic phosphates along roots of *Pinus radiata*. **Australian Journal of Biological Sciences**, Australia, v. 22, p. 1125-35, 1969.

BOWEN, J. E. Kinetics of zinc uptake by two rice cultivars. **Plant and Soil**. The Hague, v. 94, p. 99–107, 1986.

BRUMMELL, D.A.; HALL, J.L. Rapid cellular responses to auxin and the regulation of growth. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 523-543, 1987.

BUCK, G. B. **Silicato de potássio via foliar e o controle da brusone do arroz.** 2006. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2006.

BUCK, G. B., G. H. KORNDORFER, A. NOLLA, AND L. COELHO. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 2, p. 231-237, 2008.

BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicon on photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 1610- 1620, 2012.

CARMONA, F. de C.; CONTE, O.; FRAGA, T.I.; BARROS, T.; PULVER, E.; ANGHINONI, I. Disponibilidade no solo, estado nutricional e recomendação de enxofre para o arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Goiânia, v. 33, p. 345-355, 2009.

CASTRO, G.S.A; BOGIANI, J.C.; SILVA, M.G.; GAZOLA, E.; ROSOLEM, C.A.; Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.10, p.1311-1318, 2008.

CASTRO, P. R. C. **Princípios da adubação foliar**. Jaboticabal: FUNEP, 2009. 42 p.

CHIARELO, C.; GOMES, A. da S.; PEREIRA, R.D.; WINKLER, A.S.; SANTOS, L.O. Efeitos do uso de Stimulate® no desempenho da cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA, 16, 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel: Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2007.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ed. Lavras, 1999. 359 p.

CRUSCIOL, C. A. C.; MACHADO, J. R.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Matéria seca e absorção de nutrientes em função do espaçamento e da densidade de semeadura em arroz de terra alta. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 63-70, 1999.

DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Eds.) **Silicon in Agriculture**. Amsterdam, Elsevier Science, p.149-158, 2001.

DIAS, A. F. S.; SILVA, F. N.; MAIA, S. S. S. Resposta do arroz de sequeiro à adubação com NPK em solos do município de Ji-Paraná/Rondônia. **Revista Verde**, Mossoró-RN, v. 5, n .3, p. 120–124, 2010.

DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T. **Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management**. Handbook series. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), International Rice Research Institute (IRRI). 2000. 191 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI; 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Deficiências nutricionais na cultura de arroz**: identificação e correção. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 36 p. (EMBRAPA-CNPaf. Documentos, 42).

FAGERIA, N. K.; CARVALHO, M. C. S.; Dos SANTOS, F. C. Root growth of upland rice genotypes as influenced by nitrogen fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, p. 95-106, 2014.

FEATONBY-SMITH, B. C.; VAN STADEN, J. Effects of seaweed concentrate on grain yield in barley. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v.53, p.125–128, 1987.

FEATONBY-SMITH, B. C.; VAN STADEN, J. The effect of seaweed concentrate and fertiliser on growth and the endogenous cytokinin content of *Phaseolus vulgaris*. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 3, p. 375–379, 1984.

FENG, J.; SHI, Q.; WANGA, X.; WEI, M.; YANG, F.; XU, H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 4, p. 521-530, 2010.

FERNANDES, S. M.; WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M. Análise da competitividade do arroz brasileiro: vantagem comparativa revelada. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2010. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra>>. Acesso em: 25 out. 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Base de dados FAOSTAT**, 2015. Disponível em <<http://apps.fao.org>>. Acesso em: 15 out. 2015.

FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011.

FREITAS, T. F. S. **Densidade de semeadura e adubação nitrogenada em cobertura na época de semeadura tardia de arroz irrigado**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

GARCIA, R. A.; GAZOLA, E.; MERLIN, A.; VILLAS BÔAS, R. L.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento aéreo e radicular de arroz de terras altas em função da adubação fosfatada e bioestimulante. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 65-72, 2009.

GILMOUR, J. T. Micronutrient status of the rice plant: I. Plant and soil solution concentrations as a function of time. **Plant and Soil**, v. 46, p. 549-557, 1977.

GIORDANO, S. R.; SPERS, E. E. A cadeia agroindustrial orizícola do Rio Grande do Sul. In: FARINA, E. M. M. Q.; ZYLBERSZTAJN, D. (Coord.). **Competitividade no agribusiness brasileiro**. vol. III. São Paulo, 1998.

GUINDANI, R.H.P. **Dris para avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

HAMZA, B.; SUGGARS, A. Biostimulants: myths and realities. **Turfgrass Trends**, Newton, v.10, p.6-10, 2001.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

HOROWITZ, A. Os íons do molibdênio no solo: um exemplo da aplicação das diagramas EhPH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Goiânia, v. 2, n. 3 , p. 98-103, 1978.

ILER, R. K. **The chemistry of silica**. New York: Wiley Interscience, 1979.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; ETIENNE, P.; LAÎNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; SAN FRANCISCO, S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSE, F.; GARCIA-MINA, J.; YVIN, J.; OURRY, A. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 32, p. 31–52, 2013.

KARIMIAN, N.; COX, F.R. Adsorption on extractability of molybdenum in relation to some chemical properties of soil. **Soil Science Society American Journal**, Londres, v. 42, n. 3, p. 757-761, 1978.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012, 431p.

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

KLAHOLD, C. A.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; KLAHOLD, A.; CONTIERO, R. L.; BECKER, A. Resposta da soja (*Glycine max* L. Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.

KLUGE, R.A.; LCB – 311. 2005. [Online] **Fisiologia Vegetal**: apontamentos de aulas teóricas de fotossíntese. ESALQ / USP. Disponível em: <<http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grade01/06fotoquimicadafotossintese/fotossinteseKluge>>. Acesso: 25 abril 2015.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Principais fatores que interferem no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no Potássio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.103, p. 05-09, 2003.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante. 2 ed. Uberlândia: UFU, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

KOTZE, W. A. G.; JOUBERT, M. Influence of foliar spraying with seaweed products on the growth and mineral nutrition of rye and cabbage. **Elsenburg Journal**, South Africa, v.4, p.17–20, 1980.

LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GOZUEN, C. F.; BONOTTO, I.; TREVISAN, L. R. Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2009.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 5. ed. São Paulo: Sarvier, 2011.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/Fotapos, 1989.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MEDEIROS, A. A.; MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais do arroz (*Oryza sativa* L., cv. IAC 47 e IAC 435). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 37, n.1, p. 401-418, 1980.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 902-905, 1992.

MOONEY, P.A.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat under conditions of water stress. **South African Journal of Science**, Pretoria, v. 81, p. 632–633, 1985.

MORAES, S.R.G.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.C.; SOUZA, P.E. Nutrição do feijoeiro e intensidade da antracnose em função da aplicação de silício e cobre. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 283-291, 2009.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B.; ARAUJO, G. L.; SOUZA, A. F.; SILVA, M. V. Aplicação de silicato de potássio e crescimento foliar da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n.1, p. 59-64, 2011.

MURCH, S. J.; KRISHNARAJ, S.; SAXENA, P. K. Thidiazuron-induced morphogenesis of Regal geranium (*Pelargonium domesticum*): a potential stress response. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, n. 1, p. 183-191, 1997.

NELSON, W.R.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat. **South African Journal of Science**. South Africa, v. 82, p. 199 – 200, 1986.

NELSON, W.R.; VAN STADEN, J. The effect of seaweed concentrate on growth of nutrient-stressed greenhouse cucumbers. **Journal of Horticultural Sciences**. India, v.19, p.81–82, 1984.

NORUŠIS, M. J. **IBM SPSS Statistics 19 Statistical Procedures Companion**, Addison Wesley, 2011.

OLIVEIRA, L. A. de; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 685-690, 2007.

OLIVEIRA, L. M. de. **Citocininas nos processos anatômicos, citológicos e fisiológicos durante o cultivo in vitro e aclimatização de *Annona glabra* L.** 2006. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2006.

OLIVEIRA, R. F.; PACE, L.; ROBOLEM, C. A. Produção e estado nutricional do feijoeiro em função da aplicação de um promotor de crescimento. **Científica**, São Paulo, v. 26, n. 1-2, p. 203-212, 1998.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de plantas para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, v. 34, p.1637-1645, 2004.

RATHORE, S.S.; CHAUDHARY, D.R.; BORICHA, G.N.; GHOSH, A.; BHATT, B.P.; ZODAPE, S.T.; PATOLIA, J.S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 75, p. 351–355, 2009.

RODRIGUES, F.A.; DUARTE, H.S.S.; DOMICIANO, G.P.; SOUZA, C.A.; KORNDÖRFER, G.H.; ZAMBOLIM, L. Foliar application of potassium silicate on the control of soybean rust. **Australasian Plant Pathology**, Australia, v. 38, p. 366-372, 2009.

RODRIGUES, L. A.; BATISTA, M. S.; ALVAREZ, R. C. F.; LIMA, S. F.; ALVES, C. Z. Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante. **Nucleus**, Ituverava, v.12, n.1, 2015. p. 207-214.

SANTOS, V. M.; MELO, A.V.; CARDOSO, D.P; GONÇALVES, A.H.; VARANDA, M.A.F; TAUBINGER, M. Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.

SEEBOLD, K.W.; KUCHAREK, T.A.; DATNOFF, L.E.; CORREA-VICTORIA, F.J.; MARCHETTI, M.A. The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistant, and resistant cultivars of rice. **Phytopathology**, St. Paul, v. 91, p. 63–69, 2001.

SILVA, F. de. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, T. T. A.; VON PINHO, E. V. R; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P. O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 840-846, 2008.

STAMATIADIS, S.; EVANGELOU, L.; YVIN, J. C.; TSADILAS, C.; MINA, J. M. G.; CRUZ, F. Responses of winter wheat to *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract application under the effect of N fertilization and water supply. **Journal of applied phycology**, Dordrecht, v.27, n.1, p.589-600, 2015.

SWIADER, J.M.; MOORE, A. SPAD - Chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p.1089-1100, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 820 p.

VASCONCELOS, A.C.F de. 2006. **Uso de bioestimulantes nas culturas de milho e soja**. 2006. 111f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

VERONA, D.A.; DUARTE JÚNIOR, J.B.; ROSSOL, C.D.; ZOZ, T.; COSTA, A.C.T. Tratamento de sementes de milho com Zeavit, Stimulate e inoculação com *Azospirillum*

sp. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 3731-3737.

VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulantes na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.).** 2001. 122 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

VIEIRA, E. L., CASTRO, P. R. C. **Ação de estimulante no desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.).** Piracicaba: USP. 2002. 3p.

VIEIRA, G. **Gap dynamics in managed Amazonian forest:** Structural and ecophysiological aspects. 1996. 162 f. Tese (Doutorado em Ecologia Tropical) - University of Oxford, Grã-Bretanha. 1996.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística.** 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 360 p.

VITTI, G. C. O enxofre na agricultura: situação, perspectivas e sugestões. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA. **Anais...** São Paulo: MANAH S/A, 1986. p. 98-110.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 299-325, 2006.

WILSON JR., C.; SLATON, N.; NORMAN, R.; MILLER, D. **Rice production handbook.** Arkansas: Cooperative Extension Service University of Arkansas, 2006. 126p.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. **Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês.** 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

CAPÍTULO 3

BIOESTIMULANTE CONTENDO SILICATO DE POTÁSSIO ENRIQUECIDO COM ZINCO APLICADO VIA FOLIAR EM ARROZ DE SEQUEIRO

Ana Carolina Pereira de Vasconcelos¹; Gaspar Henrique Korndörfer²

RESUMO: Os agroquímicos de regulação hormonal promovem o equilíbrio hormonal das plantas, podendo favorecer a expressão de seu potencial genético, porém estudos que abordem a aplicação foliar de bioestimulantes nos aspectos nutricionais de diversas culturas e, em especial na cultura do arroz, ainda são relativamente escassos no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de uma fonte bioestimulante contendo silício e micronutrientes, em aspectos nutricionais e vegetativos na cultura do arroz. O experimento (teste biológico) foi realizado em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. Foram utilizados vasos de 5 kg, com solo classificado como Neossolo Quartzarênico. Utilizou-se a cultivar BRS Primavera (sequeiro). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 5. Os tratamentos consistiram de cinco doses (0; 1,50; 3,00; 4,50; 6,00 L ha⁻¹) de uma fonte bioestimulante contendo silicato de potássio e zinco, em dois modos de aplicação (parcelado e não parcelado). Foram avaliados: teores de clorofila A, B e Total; teores foliares de silício e macro e micronutrientes; massa de matéria seca de raiz e parte aérea. Foram testadas as pressuposições dos dados obtidos, os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Os dados significativos para o fator quantitativo (doses) foram submetidos à análise de regressão. A aplicação da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + zinco alterou os teores foliares de N, Ca, Mg, S, Zn e Cu e a produção de massa de matéria seca de raiz. Contudo, não houve impacto nos teores foliares de Si, P, K, Fe e Mn, na produção de massa de matéria seca de parte aérea e nos teores das clorofilas A, B e Total aos 55 DAE em função das diferentes doses de bioestimulante e diferentes modos de aplicação.

Palavras-chave: Adubação foliar; agroquímico de regulação hormonal; *Ascophyllum nodosum*; nutrição de plantas; *Oryza sativa*; silício

² Mestranda em Fitotecnia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

³ Doutor, Professor Titular, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

FOLIAR APPLICATION OF ZINC-ENRICHED BIOSTIMULANT CONTAINING POTASSIUM SILICATE TO UPLAND RICE

ABSTRACT: Hormonal regulation agrochemicals promote plant hormone balance, which may stimulate the expression of its genetic potential; however, studies concerning leaf fertilization with bio-stimulants on nutritional aspects of different cultures, especially in rice, are still relatively scarce in Brazil. The aim of this study was to assess the efficacy of a biostimulant source containing silicon and micro-nutrients in rice culture. The experiment (biological testing) was performed in a greenhouse at the Universidade Federal de Uberlândia using five-kilograms pots containing Quartzipsamment soil and BRS Primavera upland cultivar. The experimental design was completely randomized, with four repetitions in a 2 x 5 factorial structure. The treatments consisted of five doses (0; 1.50; 3.00; 4.50; 6.00 L ha⁻¹) of a biostimulant source containing potassium silicate and zinc in two modes of application (single application and in portions). The following parameters were assessed: concentrations of chlorophyll A, B and Total; leaf content of macro and micronutrients and Si; and dry matter of root and aerial part. Statistical assumptions were assessed for the obtained data using Kolmogorov-Smirnov normality test and Levene's test for homogeneity of variances, both set at 1%. Tukey's test was used for analysis of variance and set at 5% significance. The significant data for the quantitative factor (doses) were included in a regression analysis. The application of biostimulant containing potassium silicate + zinc significantly changed the leaf content of N, Ca, Mg, S, Zn and Cu, and the production of dry matter of root. However, the leaf content of Si, P, K, Fe and Mn, the production of dry matter of aerial part and the concentrations of chlorophyll A, B and Total on the 55th day after emergence were not significantly influenced by the different doses of said biostimulant applied in different modes.

Keywords: Leaf fertilization; hormonal regulation agrochemicals; *Ascophyllum nodosum*; plant nutrition; *Oryza sativa*; silicon

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde desempenha papel estratégico em níveis econômico e social (WALTER et al., 2008). A cultura do arroz é considerada a mais importante do mundo em termos de número de pessoas que dependem dela como sua principal fonte de calorias e nutrição (CARVALHO et al., 2012), sendo a base alimentar de mais de 3 bilhões de pessoas (CONAB, 2015).

O Brasil é considerado o maior consumidor ocidental de arroz, com consumo estimado perto dos 12 milhões de toneladas anuais e produção estimada para a safra 2014/15 de 12.435,9 mil toneladas, em todo o território nacional, em uma área plantada de 2.295 mil hectares, com produtividade de 5,419 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015). Para a safra brasileira 2014/15 de arroz, a estimativa consolidada de produção é 2,7% superior em relação à safra 2013/14, atingindo 12.448,6 mil toneladas. Esse aumento de produção ocorre principalmente devido à expansão de produtividade em face da alta tecnologia empregada no campo (CONAB, 2015). Em Minas Gerais, espera-se uma área plantada de 10 a 10,8 mil hectares cultivados com arroz na safra 2015/16.

Porém, o potencial produtivo ainda está muito aquém do que é possível obter com o cultivo de arroz de sequeiro, também denominado de "arroz de terras altas". A inserção do arroz como componente de sistemas agrícolas de sequeiro vem ocorrendo de forma gradual, especialmente nas regiões Sudoeste e Centro-Norte do Mato Grosso. Além do bom rendimento nessas condições, o arroz promove o desempenho de outras culturas, como a soja, quando utilizado em rotação e/ou sucessão (PINHEIRO, 2003).

Atualmente, a pesquisa com a cultura do arroz de sequeiro prioriza ações que visam consolidar a presença da cultura em sistemas de produção de grãos nas regiões favorecidas dos Cerrados. A nutrição mineral é um dos componentes mais importantes e limitantes para o cultivo desse vegetal.

A planta de arroz é reconhecida mundialmente como eficiente acumuladora de silício (Si) e responsiva à fertilização silicatada. No entanto, as principais regiões produtoras de arroz no Brasil apresentam baixos teores de Si disponíveis, devido ao alto grau de intemperismo dos solos e à grande ocorrência de Neossolos Quartzarênicos, os

quais apresentam baixos teores de Si disponíveis. Os teores de Si, nessas regiões, são, geralmente, inferiores a 2 mg L⁻¹ na solução do solo (LIMA FILHO, 2009).

No entanto, há poucas informações disponíveis sobre a aplicação foliar de Si, denotando uma carência de informações mais precisas para a recomendação de seu uso. Muitas culturas importantes não são capazes de absorver Si do solo e translocá-lo para a parte área. Portanto, essas plantas não podem se beneficiar dos muitos efeitos positivos desse elemento, como mitigação de estresses bióticos e abióticos (REZENDE et al., 2009). Dessa forma, o silicato de potássio é uma fonte interessante de fornecimento de Si que, aplicado via foliar, pode facilitar o aproveitamento desse elemento pelas plantas, além de poder ser utilizado em conjunto com fungicidas e inseticidas, economizando-se, assim, em aplicações (FREITAS et al., 2011).

Além disso, existem novas tecnologias, dentre as quais estão os bioestimulantes, que podem apresentar micronutrientes em suas formulações, minimizando, dessa forma, problemas advindos da sua deficiência durante os processos de germinação, desenvolvimento e produção de grãos. A importância dos micronutrientes pode ser entendida por meio das funções que exercem no metabolismo das plantas, atuando principalmente como catalisadores de várias enzimas (LOPES, 1989).

Na agricultura brasileira, o zinco (Zn) é provavelmente o micronutriente cuja deficiência é mais comum, tanto em culturas anuais como em perenes (MALAVOLTA, 2006). Além disso, é de fundamental importância para a cultura de arroz, sendo o terceiro nutriente de maior relevância após o nitrogênio (N) e o fósforo (P) (BARBOSA FILHO; PEREIRA, 1987). O Zn age como ativador de várias enzimas e como componente estrutural de outras, assim como de estruturas celulares (BRUNES et al., 2011). Auxilia na síntese de substâncias que atuam no crescimento e nos sistemas enzimáticos e é essencial para a ativação de certas reações metabólicas. Participa da síntese do aminoácido triptofano, precursor do hormônio de crescimento ácido indol acético (AIA). Na presença de Zn, a enzima aldolase catalisa a síntese de lipídios, substância de reserva das sementes (FAVARIN; MARINI, 2000).

Ainda assim, a deficiência de Zn em arroz tem sido relatada no decorrer das décadas, no Brasil (FAGERIA et al., 2002; FAGERIA; STONE, 2008), na Índia (MANDAL et al., 2000; QADAR, 2002) e nas Filipinas (DE DATTA, 1981), dentre outros países. Portanto, justifica-se suprir a necessidade desse elemento na cultura do arroz, a qual apresenta papel fundamental no contexto alimentar brasileiro e de vários países.

Nesse contexto, os bioestimulantes podem possibilitar o melhor desempenho das culturas, favorecendo a expressão do potencial genético da planta, por promover equilíbrio hormonal e estimular o crescimento radicular (SILVA et al., 2008), mostrando-se muito promissor para o uso na cultura do arroz. Assim, a possibilidade de aliar, em uma nova tecnologia, compostos bioestimulantes advindos de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*), um elemento benéfico como Si e um micronutriente essencial como Zn pode ser uma alternativa promissora para que os orizicultores possam fazer a complementação de nutrientes via aplicação foliar. No Brasil, pelo fato de o arroz de sequeiro ser cultivado predominantemente em solos altamente intemperizados e por essa cultura ser considerada eficiente acumuladora de Si, é possível que ocorram efeitos positivos ao se aplicar à cultura do arroz bioestimulantes à base de silicato de potássio e micronutrientes essenciais.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de bioestimulante contendo Si e micronutrientes, via aplicação foliar, no desenvolvimento vegetativo e nos teores de silício e macro e micronutrientes foliares em arroz de sequeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, situada a 18° 35' de Latitude Sul, 47° 52' de Longitude Oeste e 931 m de altitude. O experimento foi implantado no dia 30 de novembro de 2014, com avaliação aos 55 e 70 dias após a emergência (DAE).

Foram utilizados vasos com 5 kg de solo, classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico Típico (EMBRAPA, 2013), cuja análise química fora realizada no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS/UFU) seguindo metodologia da EMBRAPA (2011). A escolha de um solo arenoso se baseia no fato de que, por apresentar baixo teor de Si disponível, a absorção desse elemento (proveniente do solo) pela cultura do arroz seria mínima, a ponto de a planta se tornar pouco capaz de suprir suas necessidades do elemento através do solo.

O teor de Si no solo foi determinado no Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia (LAFER/UFU) seguindo metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004). As características químicas do solo anteriores à sua correção encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do solo anterior à instalação do experimento.

pH	Al^{3+}	$\text{H}+\text{Al}$	SB	t	CTC	V	m	M.O.			
P	P rem	Si	S	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
5	0,5	2,50	0,45	0,95	2,95		15	53	2,6		
0,2	35,9	2,8	2	0,05	0,3	0,1	0,04	0,8	47	2,5	0,2

P, K = (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N); Al, Ca, Mg = (SPT 1 N); M.O. = (Walkley-Black); Si = (CaCl_2 0,5 mol L⁻¹); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

A correção do solo foi feita utilizando-se carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) (p.a.) nas quantidades de 4,25 e 0,84 g kg⁻¹ por vaso, respectivamente. O solo foi incubado por 60 dias, recebendo umidade suficiente para que os corretivos pudessem reagir durante todo o período. Para tal, foram realizados teste de capacidade de campo e reposição da água perdida por evaporação. Os vasos foram rotacionados de forma que o ambiente fosse o mais homogêneo possível. Após a incubação do solo, foi realizada uma nova análise química para verificar se o solo fora corrigido adequadamente, atingindo-se o valor de V% igual a 60. Os resultados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química do solo após incubação.

pH	Al^{3+}	$\text{H}+\text{Al}$	SB	t	CTC	V	m	M.O.			
P	P rem	Si	S	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
5,7	0,0	2,0	2,86	2,86	4,86		60	0	1,9		
0,7	32,0	2,8	3	0,06	2,2	0,6	0,07	0,6	26	1,5	0,4

P, K = (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N); Al, Ca, Mg = (SPT 1 N); M.O. = (Walkley-Black); Si = (CaCl_2 0,5 mol L⁻¹); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

Antes da semeadura foram incorporados ao solo 400 mg kg⁻¹ de P e 200 mg kg⁻¹ de potássio (K), provenientes das fontes MAP e KCl, respectivamente, e 50 mg kg⁻¹ do

produto FTE BR-12 contendo 9% Zn, 7,1% cálcio (Ca), 5,7% enxofre (S), 2% manganês (Mn), 1,8% boro (B), 0,8% cobre (Cu) e 0,1% molibdênio (Mo).

A semeadura do arroz foi realizada distribuindo-se 20 sementes viáveis por vaso, a uma profundidade de 2 cm, utilizando-se a variedade BRS Primavera. Aos 10 DAE foi realizado o desbaste, deixando-se dez plantas por vaso. Aos 15 e 30 DAE, foi realizada a adubação de cobertura parcelada, sendo utilizados 100 mg kg^{-1} por cobertura, totalizando 200 mg kg^{-1} , com sulfato de amônio diluído em água a uma concentração de 5 g L^{-1} de N. Aplicaram-se 100 mL da solução por vaso.

Foi utilizada, nos tratamentos, uma fonte bioestimulante (Tabela 3), via foliar, contendo: silicato de potássio + zinco, com Tecnologia AZAL5 (extrato de *Ascophyllum nodosum*). Esse produto está em fase de testes para posterior registro junto ao Ministério da Agricultura.

Tabela 3 - Caracterização química da fonte bioestimulante em teste.

Si Total	Si Solúvel*		K ₂ O**	Zn**
	----- % -----			
1,5		1,5	1,5	0,5
Ca Total	Fe Total	Cu Total	Mo Total	Mg Total
----- % -----				
0,09	0,0018	0,0002	0,0028	0,0220
				0
				0

* Extração com $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$ (Korndörfer et al., 2004)

** Digestão Sol. em H_2O

Segundo Jannin et al. (2013), os principais componentes da Tecnologia AZAL5 são carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), com 1,7, 9,8, e 87,3%, respectivamente, acompanhados de Ca, K, magnésio (Mg), sódio (Na) e S (Tabela 4). Também contém pequenas quantidades de auxina, ácido abscísico e citocininas, especialmente iP ($16,11 \text{ pmol g}^{-1}$) e iPR ($0,46 \text{ pmol g}^{-1}$), conforme disposto na Tabela 5.

Tabela 4 - Composição de nutrientes do extrato de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*) - AZAL5 - dissolvido em água a uma concentração de 67 g L⁻¹ DW.

Elemento	Concentração (ppm)	Elemento	Concentração (%)
Ca	572	C	1,79
Cu	6	H	9,89
Fe	20	N	0
K	4,442	O	87,3*
Mg	616		
Na	2,078		
P	78		
S	1782		
Si	18		
Zn	1,2		

* Determinação por diferença. (Jannin et al., 2013)

Tabela 5 - Composição hormonal do extrato de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*) - AZAL5.

Fitormônio	AIA	ABA	Z	DHZ	tZR	cZR	DHZR
Teor	7,53	17,63	ND	ND	ND	ND	ND
Fitormônio	iP	iPR	BAR	mT	mTR	oT	oTR
Teor	16,11	0,46	ND	ND	ND	ND	ND

Os conteúdos são expressos em pmol g⁻¹. Fitormônios: auxina (AIA), ácido abscísico (ABA), citocininas: zeatina (Z), dihydrozeatina (DHZ), trans-zeatina (tZR), cis-zeatina (cZR), riboside dihydrozeatina (DHZR), iso-pentil-adenina (iP), iso-pentil-adenosina (iPR), benziladenina riboside (BAR), meta-topolin (MT), meta-topolin riboside (MTR), orto topolin (OT) e orto-topolin riboside (OTR). ND = não detectado. (Jannin et al., 2013)

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições em esquema fatorial 2x5. Foram utilizadas quatro doses da fonte bioestimulante (1,50; 3,00; 4,50; 6,00 L ha⁻¹) e a testemunha (0 L ha⁻¹), sendo aplicados 0,19; 0,38; 0,56; 0,75 e 0,0 mL por vaso, respectivamente, com volume de calda de 25 mL por vaso, em dois modos de aplicação. O modo 1 consistiu em uma aplicação única no perfilhamento (25 DAE), enquanto o modo 2 consistiu em uma aplicação parcelada, com metade da dose no perfilhamento e a outra metade no alongamento (45 DAE).

Foram realizadas as avaliações dos valores de clorofitas A, B e Total, no terço médio das folhas de três plantas por parcela, dez dias após a aplicação dos tratamentos. Para tal, utilizou-se clorofilômetro portátil, que expressa o teor de clorofila em unidades adimensionais; massa de matéria seca (g) de parte aérea (MSA) e massa de matéria seca

(g) de raiz (MSR), nas quais as plantas de cada tratamento foram seccionadas à altura do colo, separando-se a parte aérea da raiz e as folhas dos colmos. As folhas e as raízes foram levadas para estufa a 65°C, até atingirem massa constante. Após 72 horas, foram pesadas em balança de precisão e tiveram extraídos seus teores de macro e micronutrientes foliares, segundo a EMBRAPA (2011), e o teor de Si de acordo com Korndörfer et al. (2004).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o aporte do programa SPSS (NORUŠIS, 2011). Em seguida, os dados foram submetidos a análises estatísticas utilizando-se os programas SISVAR (FERREIRA, 2014) e ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Os resultados para o fator quantitativo foram submetidos à análise de regressão polinomial (VIEIRA, 2008), testando-se os modelos lineares e quadráticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 6 apresenta os valores (leitura SPAD) das clorofilas A, B e Total, aos 55 DAE (alongamento), em função de diferentes doses da fonte bioestimulante contendo silicato de potássio + Zn (0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 L ha⁻¹), em dois modos de aplicação (parcelado e não parcelado).

As leituras realizadas pelo medidor portátil de clorofila correspondem ao teor relativo de clorofila presente nas folhas das plantas. Os valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorbâncias da clorofila (MINOLTA, 1989). As regiões de picos de absorbância da clorofila situam-se nas regiões do azul e vermelho; as de baixa absorbância, nas do verde; e as de absorbância extremamente baixa, na região do infravermelho (HENDRY, 1993). Os comprimentos de onda selecionados para medição do teor de clorofila (ou do índice de esverdeamento) situam-se na faixa do vermelho, em que a absorbância é alta e não é afetada pelos carotenoides, e na faixa do infravermelho, em que a absorbância é extremamente baixa.

Tabela 6 - Efeito das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar sobre a Clorofila A, Clorofila B e Clorofila Total em plantas de arroz aos 55 DAE.

DOSES L ha ⁻¹	Clorofila A		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada	
unidades SPAD -----			
0	31,3	31,1	31,2
1,5	35,3	32,7	34,0
3,0	32,6	28,7	30,7
4,5	34,4	36,4	35,4
6,0	33,9	35,0	34,4
Média	33,5	32,8	
CV% = 9,53	DMS = 2,04		
Clorofila B			
0	11,5	11,5	11,5
1,5	13,6	12,6	13,1
3,0	11,7	10,7	11,2
4,5	12,5	14,4	13,5
6,0	12,9	13,2	13,1
Média	12,5	12,5	
CV% = 9,37	DMS = 0,75		
Clorofila Total			
0	42,9	42,7	42,8
1,5	48,9	45,3	47,1
3,0	44,3	39,4	41,8
4,5	46,8	50,8	48,8
6,0	46,8	48,2	47,5
Média	45,9	45,3	
CV% = 9,27	DMS = 2,7		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Um fator importante resultante da aplicação de fontes de Si para as culturas é a melhoria na arquitetura das plantas, que se desenvolvem com folhas mais eretas. Tal desenvolvimento facilita a interceptação dos raios solares e, consequentemente, influencia na concentração das clorofilas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Com maior síntese de clorofila Total, modifica-se a produção de clorofilas A e B (LOCARNO et al., 2011).

Observa-se que não houve diferença significativa ($p>0,05$) em função das doses e dos modos de aplicação da fonte bioestimulante (Tabela 6). Esses resultados podem ser consequência do efeito diluição, com redistribuição de N. Esse efeito é caracterizado, segundo Maia et al. (2005), quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente. Segundo esses autores, outro efeito que contribui para a diminuição dos teores de alguns nutrientes na planta é a

retranslocação do nutriente das folhas mais velhas para o fruto (ou enchimento de grãos), que é um dreno. Trata-se de um fato que é observado para elementos móveis na planta, como N e K, principalmente em épocas de enchimento e maturação ou próximas a elas, como na época de avaliação da clorofila no presente estudo (iniciação do primórdio da panícula).

Um fator importante a se considerar é que, uma vez que o metabolismo de N esteja coordenado com a fotossíntese ou com alguns produtos da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013), o resultado esperado seria um aumento na taxa de assimilação de N, o que estaria correlacionado com aumento no teor de N foliar em função das doses do bioestimulante. Esse fato, contudo, não foi observado neste trabalho, pois uma das consequências do melhor aproveitamento da luz, proporcionado pela melhoria na arquitetura das plantas, seria um aumento da taxa fotossintética, levando a um aumento da produção de poder redutor (NADP, NADPH, etc.) e, consequentemente, a uma maior capacidade de assimilação de N pelas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Apesar de não haver diferenças significativas ($p>0,05$) na concentração de clorofilas, observa-se que, numericamente, a dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$, quando aplicada de forma única, proporcionou as maiores concentrações de clorofilas A, B e Total nesse modo de aplicação (Tabela 6). Algo semelhante ocorreu em relação aos resultados de produção de MSA e MSR (Tabela 7) e de teores de N, P e K (Tabela 8), que foram numericamente maiores quando aplicada, de forma única, a dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ da fonte bioestimulante.

Silva et al. (2013), estudando a influência do Si sobre a leitura SPAD de clorofilas nas folhas do morango via solo e foliar, observaram que as clorofilas A, B e Total apresentaram diferenças entre as formas de aplicação, sendo os maiores valores de clorofila Total obtidos com aplicação via foliar. Resultados semelhantes sobre o aumento da concentração de clorofila em função do Si foram citados por Murillo-Amador et al. (2007), para a cultura do feijão e por Locarno et al. (2011), para a cultura da roseira. Na cultura do arroz, Ávila et al. (2007) observaram que os valores mais elevados da medição indireta do teor de clorofila (valor SPAD) foram obtidos com o fornecimento de Si às plantas de arroz em solução nutritiva, assim como Sousa et al. (2010), que utilizaram silicato de potássio na cultura do milho. Todavia, resultados semelhantes não foram observados no presente trabalho de pesquisa.

Wanderley Filho (2011), utilizando bioestimulante na cultura da cana-de-açúcar, verificou aumento de 5,76% no valor de clorofila Total em relação ao tratamento

controle. Da mesma forma, Macedo et al. (2002) também observaram aumento no valor de clorofila nas folhas de feijoeiro ‘Iapar-Pérola’ tratadas com bioestimulante. Pelissari et al. (2012), estudando a interação entre a aplicação de bioestimulantes e diferentes materiais de gramíneas forrageiras, verificaram que o uso dos produtos promoveu acréscimos na concentração de clorofila das plantas.

Diversos autores (CHITARRA; CHITARRA, 1990; LUDFORD, 1995; CASTRO; VIEIRA, 2001; COLL et al., 2001; DAVIES, 2004) relatam o efeito retardador das citocininas na mudança de coloração do vegetal, devido ao atraso na degradação da clorofila. Garbelini (2009), testando dois bioestimulantes na cultura da macadâmia, também observou aumento nos valores de clorofila. Com efeito, Okazaki et al. (2009) e Jannin et al. (2013) expuseram recentemente que compostos citocinínicos, como os encontrados na tecnologia AZAL5, aumentam a atividade de cloroplastos, organelas que contêm pigmentação de clorofila e são responsáveis pela fotossíntese, estando presentes exclusivamente no citoplasma de células de planta e de algas. Por sua vez, Khan et al. (2009) relataram que a aplicação de um produto à base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) resultou em aumento das concentrações de clorofila nas folhas de videira tratadas com o produto em comparação com as folhas não tratadas, propondo os autores que esse aumento de clorofila se deve às betaínas presentes nos extratos de algas. Porém, nenhum desses efeitos foi observado no presente estudo.

Com relação à produção de MSA (Tabela 7), não houve diferença significativa ($p>0,05$) em relação ao modo de aplicação do produto e em função das doses estudadas. Almeida e Soratto (2014), Alleoni et al. (2000) e Vieira e Castro (2003) tampouco verificaram efeito da aplicação de bioestimulante, via foliar, no acúmulo de MSA do feijoeiro. Rodrigues et al. (2015), trabalhando com bioestimulante em arroz, tal qual se fez neste trabalho, não encontraram diferença significativa em relação à MSA. Ávila et al. (2007) também não observaram diferenças na produção de MSA do arroz com o fornecimento de fonte de Si, assim como Mauad et al. (2003) e Carvalho (2000). Stamatiadis et al. (2015), em experimento conduzido com trigo submetido à aplicação foliar de produto bioestimulante à base de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*), não observaram diferenças na produção de MSA, assim como no presente estudo.

No que diz respeito à MSR (Tabela 7), houve diferença significativa ($p<0,05$) em função das diferentes doses de bioestimulante contendo silicato de potássio + Zn (Figura 2). Porém, não houve diferença significativa ($p>0,05$) em relação ao modo de aplicação do produto.

Tabela 7 - Efeito das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar sobre a produção de massa de matéria seca de raiz (MSR) e de massa de matéria seca da parte aérea (MSA) na cultura do arroz.

DOSES L ha ⁻¹	Massa de matéria seca da parte aérea (MSA)		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada	
----- g/parcela -----			
0	37,6	37,8	37,7
1,5	41,2	39,0	40,1
3,0	36,0	38,0	37,0
4,5	37,1	39,5	38,3
6,0	40,8	39,6	40,2
Média	38,6	38,8	
CV% = 6,05	DMS = 1,5		
Massa de matéria seca de raiz (MSR)			
0	5,59	5,57	5,58
1,5	7,01	6,31	6,66
3,0	6,71	7,04	6,88
4,5	6,56	6,58	6,57
6,0	6,88	6,24	6,56
Média	6,55	6,35	
CV% = 9,11	DMS = 0,38		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Segundo Vieira e Castro (2003), os bioestimulantes promovem o equilíbrio hormonal das plantas, favorecendo a expressão do seu potencial genético e estimulando o desenvolvimento do sistema radicular, o que consequentemente favorece a absorção e a assimilação de nutrientes pelas plantas (RUIZ et al., 2000). Santos et al. (2013), observaram que a aplicação de bioestimulantes na cultura do milho resultou em efeitos positivos na maioria das características avaliadas, inclusive um melhor incremento da MSR. Ainda, relataram que a forma de aplicação via sementes ou foliar favoreceu o incremento das características fitotécnicas.

Pela análise da regressão (Figura 2), observa-se que a curva para MSR em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo quadrático. Assim, com o aumento das doses da fonte bioestimulante, houve incremento na produção de MSR, até a dose de 3,7 L ha⁻¹, com a qual a máxima produção de MSR foi de 6,9 g vaso⁻¹, aumento de 19% em relação à da testemunha. O incremento médio na MSR foi de 0,32 g vaso⁻¹ para cada litro da fonte bioestimulante aplicada, a partir da produção mínima na dose 0 de 5,7 g vaso⁻¹.

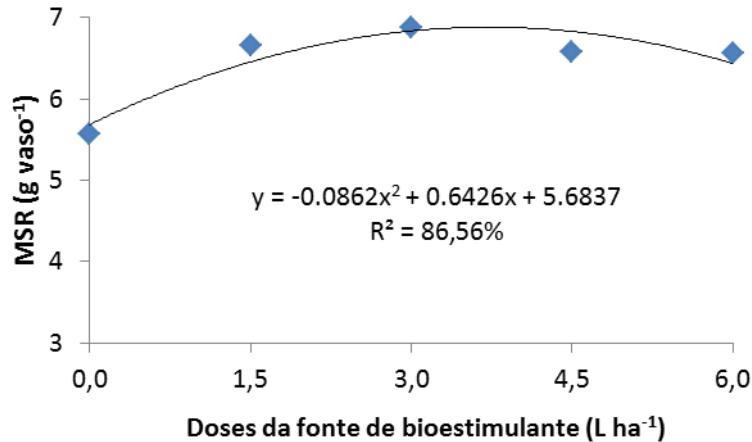


Figura 2 – Massa de matéria seca de raiz (g vaso^{-1}) em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

Quando aplicados em pequenas quantidades, os extratos de algas marinhas apresentam efeitos benéficos ao crescimento das culturas que têm sido atribuídos a produtos reguladores do crescimento de plantas e, possivelmente, a micronutrientes, que estimulam o crescimento das raízes, a absorção mineral, a capacidade fotossintética e a tolerância ao estresse (KHAN et al., 2009). Em experimentos conduzidos por Beckett e van Staden (1989) e por Papenfus et al. (2013), com quiabo e trigo respectivamente, foi observado maior incremento de MSR com a aplicação de extrato de algas nas plantas. As citocininas procedentes do extrato de algas (Tabela 5) se complexam e agem facilitando o crescimento radicular.

Dentre outros fatores, o crescimento radicular é controlado por hormônios endógenos (PERES; KERBAUY, 2000), cuja interação parece essencial, como as auxinas, o ácido abscísico e as citocininas zeatina, os isômeros zeatineriboside, iso-pentil-adenina e iso-pentil-adenosina e suas ribosides (Tabela 5). Esses hormônios agem no desenvolvimento da planta, facilitando o desenvolvimento radicular, principalmente no que se refere às raízes secundárias.

Existem alguns trabalhos que indicam um efeito estimulante no alongamento celular promovido pelo ácido abscísico (PILET, 1998). Gaither et al. (1975) demonstraram que o crescimento radicular de *Pisum sativum* foi aumentado em 29% quando houve aplicação de 1 μM de ácido abscísico.

Segundo Castro e Yamada (2002), as auxinas e citocininas apresentam-se relacionadas ao desenvolvimento do caule e das raízes das plantas. Essas auxinas são utilizadas para estimular a formação de primórdios radiculares, mesmo sendo

hormônios vegetais produzidos principalmente no caule (DAVIES, 1995). O transporte das auxinas ocorre por meio do parênquima, atingindo as regiões mais basais da planta, onde ocorrem os sítios de iniciação dos primórdios radiculares.

A auxina é o hormônio responsável pela indução de raízes adventícias (CASTRO; YAMADA, 2002). Também foi verificado que esse hormônio em baixa concentração promove crescimento de raízes intactas. De acordo com Went e Thimann (1937), a indução de raízes adventícias em estacas é estimulada por auxinas, sendo que o transporte desses hormônios endógenos para a parte inferior das estacas promove, nessa região, a formação de raízes. Ainda, é sabido que as raízes com rápido crescimento apresentam concentrações subótimas de ácido indol acético e ácido abscísico, o que permite o crescimento radicular quando há a aplicação de baixas concentrações desses hormônios.

Em relação a aspectos nutricionais, há atualmente na comunidade científica, um debate acerca de a utilização e a ação de extratos de algas serem mais adequadas em culturas cultivadas em substrato nutricionalmente equilibrado, como no presente estudo, ou em culturas com deficiências nutricionais. Alguns estudos com extratos de algas (*Ecklonia maxima*) aumentaram os rendimentos sob suprimento adequado de nutrientes (MOONEY; VAN STADEN, 1985; FEATONBY-SMITH; VAN STADEN, 1987), demonstrando assim a capacidade destas substâncias em aumentar a eficácia dos fertilizantes convencionais. Em contraste, outros estudos indicaram que os extratos das mesmas espécies de algas aumentaram o rendimento de trigo apenas em situação de deficiência de nutrientes (BECKETT; VAN STADEN, 1990) ou mesmo na ausência de adubo mineral (NELSON; VAN STADEN, 1986).

Segundo Fagan et al. (2015), reguladores vegetais controlam a maior parte das características do sistema radicular, e muitas espécies respondem à aplicação exógena de auxina através da produção de um grande número de raízes laterais, sugerindo assim que as respostas das raízes a nutrientes podem ser originadas de sinais hormonais. Taiz e Zeiger (2013) afirmam que as citocininas também influenciam a mobilização de certos nutrientes para as folhas, advindas de outras partes da planta. Trata-se de um fenômeno conhecido como “mobilização de nutrientes induzida por citocinina”, no qual há uma relação entre o local de armazenamento do nutriente (fonte) e o local de utilização (dreno), para onde é estimulado o deslocamento dos nutrientes mediante a aplicação de citocinina. Esses autores ressaltam ainda que não é necessária a metabolização, nas células-drenos, dos nutrientes para que elas sejam deslocadas ou mobilizadas, pois

substratos análogos não metabolizáveis também podem ser mobilizados pela ação da citocinina.

Na Tabela 8 estão dispostos os teores de macronutrientes foliares, em função das doses da fonte bioestimulante e modos de aplicação. Segundo Scalon et al. (2009), os bioestimulantes, além de atuarem nos processos de divisão e de alongamento celular, podem aumentar a absorção e a utilização dos nutrientes, atuando em diversas etapas do metabolismo das plantas e sendo eficientes quando aplicados como fertilizantes foliares. Ressalta-se ainda que, com o maior incremento do sistema radicular (Figura 2), há maior exploração do solo pelas raízes e, consequentemente, maior absorção de água e nutrientes, aumentando assim a eficiência nutricional.

Não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) apenas nos teores de K e P (Tabela 8) em função das doses e modos de aplicação do bioestimulante analisado. Segundo Malavolta (2006), os teores de macronutrientes encontram-se em níveis adequados para a cultura do arroz, exceto para o S, que está abaixo do nível de suficiência, e para Ca e Mg, que estão acima. Apesar disso, os níveis de S considerados favoráveis para a cultura do arroz, de acordo com Wilson Jr. et al. (2006), Guindani (2007) e Carmona et al. (2009), variam de 1,5 a 1,8 g kg⁻¹, tendo em vista grandes produtividades, encontrando-se, por conseguinte, em níveis adequados segundo esses autores.

Assim como no presente estudo, Almeida e Soratto (2014) mostraram que os teores de P na parte aérea do feijoeiro não foram alterados pela aplicação de bioestimulantes via foliar. Esses autores relataram ainda que os bioestimulantes, por alterarem o desenvolvimento e o crescimento vegetal, também podem interferir na absorção de nutrientes e observaram que os tratamentos com bioestimulante promoveram resultados positivos quanto aos teores de K, Mg, Ca e S, principalmente quando aplicado via semente e ou foliar.

Ressalta-se que o pH da fonte bioestimulante testada varia nas soluções entre pH 10,71 e 11,40 (pH 0,75 = 10,71; pH 1,50 = 10,95; pH 3,00 = 11,18; pH 6,00 = 11,40) e que cada nutriente tem um pH ótimo para penetração cuticular e absorção. O Zn, por exemplo, tem máxima absorção em pH de 7,0 a 8,0; porém, em soluções multinutrientes, podem ocorrer problemas, pois P e K são mais bem absorvidos em pH mais baixo. Dessa forma, no caso de aplicação de misturas de nutrientes, é praticamente impossível otimizar a absorção de todos os elementos (ROSOLEM, 2002).

Tabela 8 - Efeito das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar sobre os teores de macronutrientes em arroz.

DOSES L ha ⁻¹	Nitrogênio		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada g kg ⁻¹	
0	32,5	32,3	32,4
1,5	34,5	32,4	33,4
3,0	29,0	30,4	29,7
4,5	30,5	31,7	31,1
6,0	33,6	33,5	33,6
Média	32,0	32,1	
CV% = 8,59	DMS = 1,8		
Fósforo			
0	3,5	3,3	3,4
1,5	3,6	3,5	3,6
3,0	3,8	3,5	3,7
4,5	3,6	3,3	3,5
6,0	3,7	3,6	3,6
Média	3,6	3,5	
CV% = 7,01	DMS = 0,2		
Potássio			
0	21,4	21,2	21,3
1,5	23,3	23,1	23,2
3,0	22,6	22,5	22,6
4,5	23,3	22,8	23,0
6,0	26,0	22,5	24,3
Média	23,3	22,4	
CV% = 8,65	DMS = 1,3		
Cálcio			
0	7,2 a	7,4 a	7,3
1,5	5,7 a	5,7 a	5,7
3,0	8,2 a	5,7 b	6,9
4,5	8,0 a	5,3 b	6,7
6,0	6,3 a	5,5 a	5,9
Média	7,1	5,9	
CV% = 10,19	DMS = 1,0		
Magnésio			
0	3,9	3,7	3,8
1,5	2,8	2,9	2,8
3,0	3,8	2,5	3,1
4,5	3,7	2,8	3,3
6,0	3,5	3,0	3,2
Média	3,5 a	3,0 b	
CV% = 15,97	DMS = 0,4		
Enxofre			
0	1,8	2,0	1,9
1,5	1,5	2,4	1,9
3,0	1,7	2,1	1,9
4,5	1,5	1,8	1,6
6,0	1,8	2,0	1,9
Média	1,7 b	2,0 a	
CV% = 18,91	DMS = 0,2		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Buck (2006) e Zanão Junior et al. (2009), investigando a aplicação de silicato de potássio em arroz, e Bognola et al. (2011), fazendo-o em eucalipto, relataram que a aplicação desse produto não alterou significativamente os teores foliares de K. Em contrapartida Moraes et al. (2011) observaram que o teor de K nas folhas respondeu de forma linear às doses de silicato de potássio em cana-de-açúcar.

Em relação aos teores de N (Tabela 8), observa-se que não houve diferenças significativas ($p>0,05$) em relação aos modos de aplicação avaliados, porém houve diferenças significativas ($p<0,05$) em função das doses da fonte bioestimulante. Contudo, a curva para os teores foliares de N não se ajustou aos modelos de regressão estudados. Verifica-se, em relação a testemunha, um incremento de 3,57% nos teores de N (Tabela 8) quando aplicada a maior dose estudada neste experimento ($6,0 \text{ L ha}^{-1}$).

Almeida e Soratto (2014), pesquisando o efeito de bioestimulantes no teor de nutrientes nas folhas de feijoeiro, verificaram influência significativa da aplicação do bioestimulante no teor de N na parte aérea do feijoeiro, ao contrário dos resultados observados no presente estudo. Srivastava et al. (1994), avaliando respostas fisiológicas do feijoeiro ao nitrato, observaram que a citocinina, presente no bioestimulante, acelera a absorção de N e evita os danos que porventura possam ocorrer por algum excesso de nitrato nos tecidos. No entanto, Oliveira et al. (1998) e Abrantes (2008) não verificaram efeito da aplicação de diferentes doses de bioestimulante, via foliar e em diferentes épocas, no teor de N nas folhas de feijoeiro.

Em relação aos teores de Ca (Tabela 8), observa-se que houve interação significativa ($p<0,05$) entre as doses e modos de aplicação estudados (Figura 4). Para a aplicação única dos tratamentos, as doses de $3,0$ e $4,5 \text{ L ha}^{-1}$ possibilitaram os maiores incrementos nos teores de Ca nas folhas, o que proporcionou um acréscimo de $2,5$ e $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ nos teores foliares desse elemento, respectivamente. Já para as doses 0 ; $1,5$ e $6,0 \text{ L ha}^{-1}$, não houve diferenças significativas ($p>0,05$) em relação aos modos de aplicação estudados (Tabela 8). O Ca tem um papel extremamente importante na constituição dos tecidos vegetais, permite um melhor desenvolvimento das plantas, aumenta a resistência dos tecidos vegetais e favorece um melhor comportamento do caule, desenvolvimento normal do sistema radicular e melhor resistência às agressões externas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

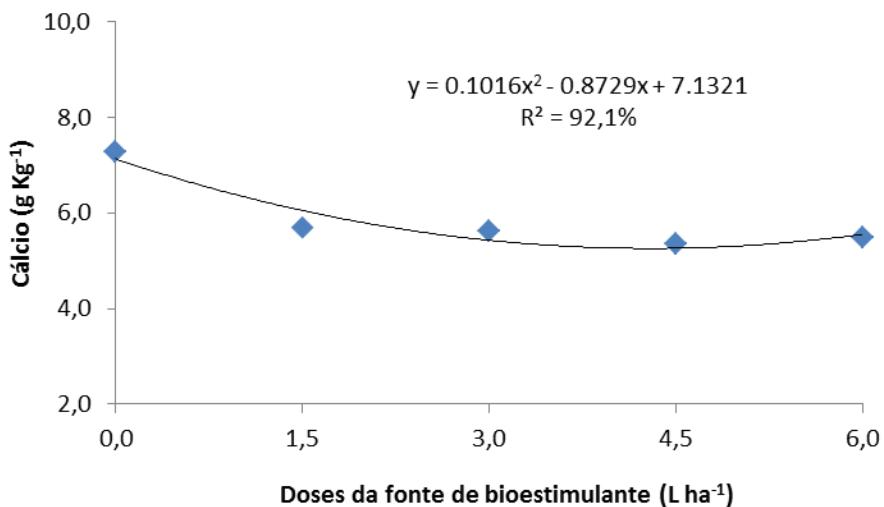


Figura 4 – Teores foliares de cálcio em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

Pela análise de regressão (Figura 4), observa-se que a curva para teores de Ca em função das doses aplicadas de forma parcelada, ajustou-se a um modelo quadrático. Assim, houve decréscimo nos teores de Ca com o aumento das doses da fonte bioestimulante, até a dose de 4,3 L ha⁻¹, com a qual se obteve o teor mínimo de 5,25 g kg⁻¹. O decréscimo médio dos teores de Ca nas folhas foi de 0,44 g kg⁻¹ para cada litro da fonte bioestimulante, até a dose de 4,3 L ha⁻¹. Após essa dose, houve incremento nos teores de Ca, que atingiu teor máximo (5,55 g kg⁻¹) na dose de 6,0 L ha⁻¹, com acréscimo médio nos teores deste elemento de 0,17 g kg⁻¹ para cada litro da fonte bioestimulante aplicada; no entanto, não superou o teor obtido na testemunha, de 7,13 g kg⁻¹. Já para a aplicação única, a curva para os teores foliares de Ca não se ajustou aos modelos de regressão estudados. Oliveira et al. (1998) também verificaram maiores teores de Ca em plantas de feijão que receberam aplicações de bioestimulante aos 32 ou 44 DAE.

No que se refere aos teores de Mg, observa-se que houve diferenças ($p < 0,05$) em função das doses e dos modos de aplicação (Tabela 8). Porém, a curva para os teores de Mg foliar não se ajustou aos modelos de regressão estudados, não havendo interação significativa ($p < 0,05$) entre eles. Os teores de Mg quando se aplicaram as doses de forma única foram maiores que aqueles registrados com o parcelamento das doses (Tabela 8).

O Mg é o único mineral constituinte da molécula de clorofila, constituindo-se de porfirinas magnesianas, correspondendo a 2,7% de seu peso molecular (SOUZA et al.,

2007), representando 10% do teor total de Mg na folha. Assim, os teores foliares obtidos não mensuram os teores presentes na molécula de clorofila, pois, dependendo do *status* nutricional de Mg na planta, entre 6 e 25% do total do elemento fazem parte da clorofila. Em geral, outros 5 a 10% de Mg total nas folhas e ápices estão ligados a pectatos nas paredes celulares ou precipitados como sais solúveis de reserva no vacúolo. Os restantes 60 a 90% são extraíveis em água. Em muitos casos, o crescimento é afetado, e aparecem sintomas de deficiência de Mg quando a proporção do elemento na clorofila excede 20 a 25% (VITTI et al., 2006).

Assim, o Mg é um elemento indispensável para o crescimento das plantas, desempenhando um papel essencial na constituição da clorofila, base da fotossíntese. Sem fonte de Mg disponível, a planta não pode desenvolver-se. O Mg tem múltiplas funções, além da formação da clorofila, participa na síntese das matérias orgânicas úteis ao crescimento e ao funcionamento das plantas, como glícidos, lípidos e prótidos, na síntese dos ácidos aminados e proteínas celulares, na assimilação e migração de P na planta, no teor de vitaminas A e C, bem como na resistência aos fatores desfavoráveis, como seca e doenças.

Abrantes (2008) não verificou efeito da aplicação de bioestimulante via foliar no teor de Mg nas folhas de cultivares de feijoeiro. No entanto, Oliveira et al. (1998) e Almeida e Soratto (2014) observaram pequenas variações no teor foliar de Mg em feijoeiro com aplicação de bioestimulante e relataram que os resultados não foram consistentes, já que os tratamentos que proporcionaram os maiores teores não diferiram da testemunha.

No que tange aos teores de S (Tabela 8), houve diferença significativa ($p<0,05$) nos teores desse elemento nas folhas do arroz, em relação ao modo de aplicação das doses. Os maiores incrementos nos teores de S foram alcançados quando os tratamentos foram realizados de modo parcelado, sendo que, com a aplicação única, foram obtidos os menores teores. O S predomina na planta na forma orgânica, principalmente na forma de proteínas, uma vez que todas as proteínas vegetais possuem esse elemento (MALAVOLTA, 2006). Segundo relato de Simon-Sylvestre (1960), parece não haver “consumo de luxo” com respeito a S, isto é, as plantas não acumulam mais do que necessitam. Assim, de fato, a aplicação em diferentes fases da cultura parece ser mais apropriada, já que dessa forma se fornece o nutriente em fases distintas da cultura.

Alves (2010) também encontrou diferenças no teor de S aplicando bioestimulantes na cultura da soja. Já Barbosa (2006), estudando o efeito da aplicação

de bioestimulante em três cultivares de arroz, não observou diferença para cultivares, e as doses de bioestimulante testadas não influenciaram os teores de S na parte aérea. Por sua vez, Pereira (2010), investigando o teor de S em plantas de arroz cultivadas em solo Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) com aplicação de diferentes fontes de Si, não observou diferenças nos teores desse elemento.

Os teores de micronutrientes foliares em função das doses da fonte bioestimulante e dos modos de aplicação encontram-se na Tabela 9. Não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) nos teores de Si, Fe e Mn (Tabela 9) em função das doses e dos modos de aplicação do bioestimulante. De acordo com Malavolta (2006), todos os teores dos nutrientes apresentados na Tabela 9 encontram-se em níveis adequados para a cultura do arroz, exceto o teor de Si, que, de acordo com Dobermann e Fairhurst (2000), está deficiente em teores abaixo de 5% nos tecidos foliares do arroz.

Alguns estudos, como o de Bognola et al. (2011), sugerem que a aplicação de silicatos, via substrato ou foliar, mostra-se inadequada quando o substrato utilizado ou o solo apresentam composição básica equilibrada em termos de nutrientes e pH. No entanto, Zanão Junior et al. (2009), avaliando as fontes silicato de potássio e ácido monossilícico aplicadas via foliar e investigando métodos de aplicação de Si para aumentar a absorção deste elemento e a resistência de plantas de arroz à mancha-parda, observaram que o tratamento com aplicação de Si via foliar apresentou resultados semelhantes aos da testemunha, quanto aos teores foliares de Si e K e quanto à MSA, assim como nos resultados obtidos no presente trabalho (Tabelas 8, 9 e 10).

Um problema relatado por Buck et al. (2008) diz respeito à metodologia utilizada para determinação de Si foliar. Pelo fato de existirem limitações na metodologia para as análises de Si em plantas (tecido vegetal), não se pode afirmar com certeza que o Si aplicado via foliar não foi absorvido. Devido, em parte, à forma de digestão (via úmida), que nem sempre é completa, gera-se uma variabilidade alta para esse tipo de análise. Dessa forma, pequenas diferenças no conteúdo de Si das folhas são difíceis de serem detectadas devido às referidas limitações metodológicas.

Outra questão relacionada à aplicação de silicatos via foliar é a formação de polímeros pela solução de silicato de potássio na superfície da cutícula foliar, fazendo com que a absorção de Si pela folha do arroz seja pouco eficiente e, portanto, dificultando a absorção desse elemento. Iler (1979) e Menzies et al. (1992) relataram a formação de uma película sobre a folha, assim como no presente estudo, onde

visualmente se pode notar a formação de uma película branca sobre as folhas, película essa que ficava mais evidente nos tratamentos com doses maiores. Tal observação, portanto, reforça o argumento desses autores.

Tabela 9 – Teores de silício e micronutrientes em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

DOSES L ha ⁻¹	Silício		Média
	Aplicação única	Aplicação parcelada g kg ⁻¹	
0	4,9	5,1	5,0
1,5	4,0	5,0	4,5
3,0	5,0	4,7	4,9
4,5	4,8	4,6	4,7
6,0	4,3	4,5	4,4
Média	4,6	4,8	
CV% = 13,7	DMS = 0,4		
Zinco			
L ha ⁻¹	mg kg ⁻¹		
0	55,2	55,4	55,3
1,5	68,8	79,7	74,3
3,0	69,6	80,2	74,9
4,5	76,4	87,1	81,8
6,0	83,8	86,0	84,9
Média	70,8 b	77,7 a	
CV% = 9,89	DMS = 4,7		
Cobre			
0	15,3 a	15,1 a	15,2
1,5	19,9 a	20,0 a	19,9
3,0	18,6 a	18,7 a	18,6
4,5	20,4 a	15,5 b	18,0
6,0	23,2 a	14,9 b	19,0
Média	19,4	16,9	
CV% = 10,02	DMS = 2,6		
Ferro			
0	111,0	111,3	111,1
1,5	93,9	186,4	140,1
3,0	115,4	122,7	119,1
4,5	118,0	145,3	131,6
6,0	102,7	128,2	115,5
Média	108,2	138,7	
CV% = 39,38	DMS = 31,4		
Manganês			
0	521,9	521,7	521,8
1,5	537,3	584,3	560,8
3,0	551,4	492,6	522,0
4,5	529,0	511,4	520,2
6,0	515,7	520,1	517,9
Média	531,0	526,1	
CV% = 13,21	DMS = 45,1		

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Em relação ao teores de Zn (Tabela 9), houve diferenças ($p<0,05$) em função dos modos de aplicação e das doses da fonte bioestimulante (Figura 6), porém sem interação significativa entre eles. A aplicação parcelada da fonte bioestimulante obteve resultados superiores nos teores foliares de Zn em relação à aplicação não parcelada. Entretanto, em ambos os modos de aplicação (dose única ou parcelada), os teores ficaram dentro dos níveis considerados adequados por Malavolta (2006) e, de acordo com a CFSEMG (1999), encontram-se dentro da faixa de suficiência considerada adequada para a cultura do arroz.

O parcelamento ou não de fertilizações foliares deve levar em consideração a exigência da cultura em relação à marcha de absorção dos nutrientes, assim deve corresponder ao suprimento adequado dos nutrientes em diferentes fases da cultura. Segundo Fernández et al. (2015), a aplicação contínua de Zn pode ser mais eficaz, pois, em geral, aplicações foliares de Zn apresentam baixo grau de penetração na folha (1% a 5%), mobilidade limitada no floema e, consequentemente, maior eficácia sobre os tecidos que recebem diretamente a pulverização (HUETT; VIMPANY, 2006; PERYEA, 2007; KESHAVARZ et al., 2011). Assim, há a necessidade específica de Zn durante a rápida expansão vegetativa e floral. De acordo com Fernández et al. (2015), são necessários o contínuo desenvolvimento de fontes e o ajuste de épocas de aplicação de Zn para aumentar a mobilidade desse nutriente e a longevidade das aplicações foliares de Zn.

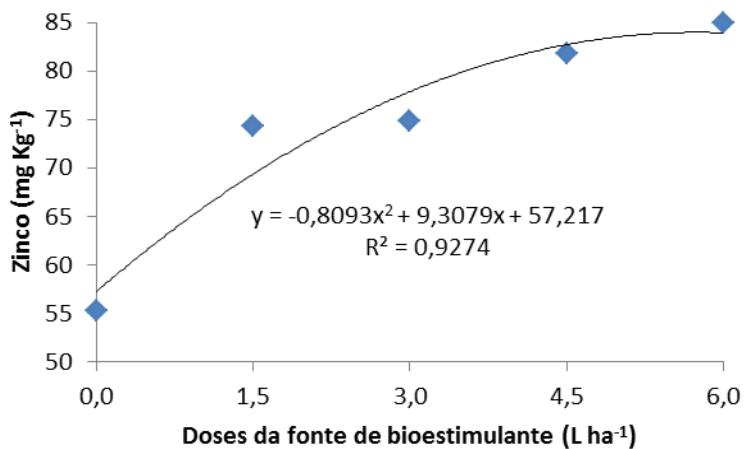


Figura 6 – Teores foliares de zinco em função das doses da fonte bioestimulante (silicato de potássio + zinco) aplicadas via foliar na cultura do arroz.

Pela análise da regressão apresentada na Figura 6, observa-se que a curva para os teores foliares de Zn em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo quadrático. Dessa forma, houve incremento para os teores de Zn com o aumento das

doses da fonte bioestimulante, até a dose de 5,75 L ha⁻¹, com a qual se atingiu o teor máximo desse elemento nas folhas do arroz, de 83,98 mg kg⁻¹, com aumento de 34,9% em relação ao da testemunha. O incremento médio foi de 4,7 mg kg⁻¹, para cada litro da fonte bioestimulante, a partir do teor mínimo de Zn na dose 0, de 57,2 mg kg⁻¹.

O Zn é cofator de mais de 300 enzimas e proteínas e tem efeito rápido e específico sobre a divisão celular, o metabolismo do ácido nucléico e a síntese de proteínas (MARSCHNER, 2012). Plantas de arroz deficientes em Zn nos estágios iniciais da cultura têm seu desenvolvimento afetado e dificilmente expressam seu máximo potencial genético, em virtude do prejuízo na manutenção da atividade enzimática. Assim, ocasionam-se diminuição do volume celular e menor crescimento apical, devido à redução da síntese ou a própria degradação de auxinas como o ácido indol acético (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Para os teores de Cu (Tabela 9), houve interação significativa ($p<0,05$) entre as doses e os modos de aplicação. Porém, as curvas, tanto para a aplicação da fonte bioestimulante de modo parcelado, quanto para aplicação única, não se ajustaram aos modelos de regressão estudados.

Para as doses de 4,5 e 6,0 L ha⁻¹ (Tabela 9), houve diferenças ($p<0,05$) entre os modos de aplicação: os maiores teores foram observados com a aplicação única da fonte bioestimulante, com incrementos de 4,9 e 8,3 mg kg⁻¹ nos teores de Cu, respectivamente. Já para as doses de 1,5 e 3,0 L ha⁻¹ e para a testemunha, não foram observadas diferenças ($p>0,05$) entre os modos de aplicação (Tabela 9).

Quando foi realizada a aplicação de modo parcelado, houve aumento de 24% em relação ao maior teor observado (obtido na dose de 1,5 L ha⁻¹) e aquele da testemunha, havendo decréscimo nos teores com o aumento das doses aplicadas. Já para os teores de Cu obtidos com a aplicação da fonte bioestimulante sem o parcelamento, houve aumento de 34,5% em relação ao maior teor, obtido na dose de 4,5 L ha⁻¹, em comparação com aquele da testemunha (Tabela 9).

Segundo Camargo e Silva (1975), o Cu é ativador de enzimas, dentre as quais podem ser citadas a tirosinase, lácase, oxílace do ácido ascórbico e desidrogenase de butiril-coenzima A. Vale salientar a importância do Cu na nutrição de plantas, já que confere consequências positivas na permeabilidade da membrana das células e na atividade enzimática referente à respiração celular e fotossíntese.

Em oliveiras da variedade Koroneiki, Chouliaras et al. (2009) observaram que a aplicação de produto à base de extrato de algas conferiu aumento dos teores foliares de

Cu. Também, Turan e Kose (2004) relataram aumento nos teores de Cu em folhas de videiras, com a aplicação de bioestimulante contendo extrato de algas, em conformidade com os presentes resultados.

4 CONCLUSÕES

O uso de bioestimulante contendo silicato de potássio + zinco na cultura de arroz de sequeiro, em condições de casa de vegetação, altera os teores foliares de N, Ca, Mg, S, Zn, Cu e a produção de massa de matéria seca de raiz, podendo contribuir positivamente para o aumento da eficiência nutricional e agronômica da cultura. No entanto, a sua aplicação não implicou alteração dos teores foliares de P, K, Fe, Mn e Si, dos teores de clorofitas A, B e Total e da produção de massa de matéria seca da parte aérea em função das diferentes doses de bioestimulante e diferentes modos de aplicação.

Verifica-se o potencial dessa fonte bioestimulante em melhorar aspectos vegetativos e aumentar a eficiência de absorção de nutrientes na cultura do arroz, maximizando a eficácia dos fertilizantes inorgânicos. No entanto, devem ser realizadas maiores investigações a respeito do uso de agroquímicos de regulação hormonal nas culturas, inclusive a nível molecular, no que diz respeito ao incremento na eficiência nutricional e agronômica das culturas.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, F. L. **Efeito de bioestimulante sobre a produtividade e qualidade fisiológica de dois cultivares de feijão cultivados no inverno.** 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2008.

ALLEONI, B.; BOSQUEIRO, M.; ROSSI, M. Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Publicatio UEPG:** Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharia, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, p. 23-35, 2000.

ALMEIDA, A.Q.; SORATTO, R. P. Teor e acúmulo de nutrientes no feijoeiro em função da aplicação de bioestimulante. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, p. 2259-2272, 2014.

ALVES, B. A. W. **Uso de bioestimulantes na cultura da soja.** 2010. 37 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2010.

ÁVILA, F.W. ; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; BALIZA, D. P. Influência do silício na nutrição nitrogenada do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 31, 2007, Gramado. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

BARBOSA FILHO, M. P.; PEREIRA, M. **Nutrição do arroz (sequeiro e irrigado).** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico 9).

BARBOSA, G.T. **Efeito da aplicação de doses de bioestimulante sobre a produção e qualidade fisiológica das sementes de três cultivares de arroz.** 2006. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2006.

BECKETT, R.P.; VAN STADEN, J. The effect of seaweed concentrate on the growth and yield of potassium stressed wheat. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 116, p. 29–36, 1989.

BECKETT, R.P.; VAN STADEN, J. The effect of seaweed concentrate on the yield of nutrient stressed wheat. **Botanica Marina**, New York, v. 33, p. 147–152, 1990.

BOGNOLA, I. A.; CLASEN, L. A.; FRANCISCON, L.; GAVA, J. L.; DEDECEK, R. A. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 83-92, 2011.

BRUNES, A. P.; TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A.; DÖRR, C.S.; FONSECA, D. A. R.; SERRONI, M. A.L.O.; BARROS, A. C. S. A. Desempenho de Sementes de Arroz Recobertas com Zinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7, 2011, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado, 2011. p. 696-699.

BUCK, G. B. **Silicato de potássio via foliar e o controle da brusone do arroz**. 2006. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2006.

BUCK, G. B., G. H. KORNDORFER, A. NOLLA, AND L. COELHO. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 2, p. 231-237, 2008.

CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. 1975. 258 p.

CARMONA, F. de C.; CONTE, O.; FRAGA, T.I.; BARROS, T.; PULVER, E.; ANGHINONI, I. Disponibilidade no solo, estado nutricional e recomendação de enxofre para o arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Goiânia, v. 33, p. 345-355, 2009.

CARVALHO, J.C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CARVALHO, M. A. de F.; LANNA, A. C.; STEIN, V. C. **Arroz C4: Desafios e Perspectivas**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2012. 40 p. (EMBRAPA Arroz e Feijão. Documentos, 273).

CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132p.

CASTRO, P.R.C.; YAMADA, T. Boro e hormônios no desenvolvimento radicular. In: WORKSHOP RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS E INCIDÊNCIA DE

DOENÇAS, 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2002.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** Lavras: ESAL/ FAEPE, 1990. 320 p.

CHOULIARAS, V.; TASIOULA, M.; CHATZISSAVVIDIS, C.; THERIOSA, I.; TSABOLATIDOU, E. The effects of a seaweed extract in addition to nitrogen and boron fertilization on productivity, fruit maturation, leaf nutritional status and oil quality of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar Koroneiki. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Bognor Regis, v. 89, p. 984–988, 2009.

COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S.; TAMÉS, R.S. **Fisiología vegetal.** Madrid: Ediciones Pirâmide, 2001. 662p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5 ed. Lavras, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Arroz.** 2015. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 dez 2015.

DAVIES, P. J. **Plant hormones:** biosynthesis, signal transduction, action. 3ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 750 p.

DAVIES, P.J. The plant hormones concept: concentration, sensitivity, and transport. In: DAVIES, P.J. (ed.). **Plant hormones:** physiology, biochemistry and molecular biology. Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 1995. p. 13-38.

DE DATTA, S.K. **Principles and practices of rice production.** New York: John Wiley, 1981. 618p.

DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T. **Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management.** Handbook series. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), International Rice Research Institute (IRRI). 2000. 191 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI; 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas.** Londrina: Planta, 2006. 86p.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia Vegetal:** Reguladores Vegetais. São Paulo: Andrei, 2015, 300 p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v.77, p.189-272, 2002.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Micronutrient deficiency problems in South America. In: ALLOWAY, B.J., ed. **Micronutrient deficiencies in global production.** New York: Springer, p. 247-268, 2008.

FAVARIN, J. L.; MARINI, J. P. **Importância dos micronutrientes para a produção de grãos.** Rio de Janeiro, 2000. Disponível em:
<http://www.snagricultura.org.br/artigos/artitec-micronutrientes.htm>. Acesso em: 25 nov. 2015.

FEATONBY-SMITH, B. C.; VAN STADEN, J. Effects of seaweed concentrate on grain yield in barley. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 53, p. 125–128, 1987.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar:** fundamentos científicos e técnicas de campo. São Paulo: ABISOL, 2015. 150 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FREITAS, L. B. COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, 2011.

GAITHER, D. H.; LUTZ, D. H.; FORRENCE, L. E. Abscisic acid stimulates elongation of excised pea root tips. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.55, p. 9748-949, May, 1975.

GARBELINI, R. C. B.S. **Reguladores Vegetais na Emergência e no Desenvolvimento de Plantas de Macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche).** 2009, 86 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu. 2009.

GUINDANI, R.H.P. **Dris para avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.** 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

HENDRY, G.A. Plant pigments. In: LEA. P.J.; LEEGOOD, R.C.(Eds) **Plant biochemistry and molecular biology.** Great Britain, Bookcraft, 1993. p.181-196.

HUETT, D. O.; VIMPANY, I. An evaluation of foliar nitrogen and zinc applications to macadamia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Australia, v. 46, p. 1373-1378, 2006.

ILER, R. K. **The chemistry of sílica.** New York: Wiley Interscience, 1979.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; ETIENNE, P.; LAÎNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; SAN FRANCISCO, S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSE, F.; GARCIA-MINA, J.; YVIN, J.; OURRY, A. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 32, p. 31–52, 2013.

KESHAVARZ, K.; VANDATI, K.; SAMAR, M.; AZADEGAN, B.; BROWN, P. H. Foliar application of zinc and boron improves walnut vegetative and reproductive growth. **Horttechnology**, Alexandria, v. 21, p. 181-186, 2011.

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

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLA, A. **Análise de silício:** solo, planta e fertilizante. 2 ed. Uberlândia: UFU, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

LIMA FILHO, O. F. **História do uso do silicato de sódio na agricultura.** Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2009.

LOCARNO, M.; FOCHI, C. G.; PAIVA, P. D. O. Influencia da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 287-290, 2011.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/Fotapos, 1989.

LUDFORD, P. L. Postharvest hormone changes in vegetables and fruits. In: DAVIES, P. J. (Ed.). **Plant hormones**. The Netherlands: Kluwer Academic, 1995. p. 725-750.

MACEDO, F. B.; TEIXEIRA, N. T.; LOPES, F. E.; TEIXEIRA, L.; SSIGHIHARA, R.; OLIVEIRA, R. Fitorregulador, produção e conteúdos de clorofila nas folhas em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv IAPAR pérola. **Revista Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 27, n. 1, p. 83-85, 2002.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; PORTO FILHO, F. Q.; GHEYI, R. H.; MEDEIROS, J. F. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 292 - 295, 2005.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MANDAL, B.; HASRA, G.C.; MANDAL, L.N. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.1699-1705, 2000.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2012. 651 p.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C.A.C.; CORRÊA, J.C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Goiânia, v. 27, p. 867-873, 2003.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon and zucchini squash. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 902-905, 1992.

MINOLTA CAMERA Co., Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. 1989. 22p.

MOONEY, P.A.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat under conditions of water stress. **South African Journal of Science**, Pretoria, v. 81, p. 632–633, 1985.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B.; ARAUJO, G. L.; SOUZA, A. F.; SILVA, M. V. Aplicação de silicato de potássio e crescimento foliar da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 59-64, 2011.

MURILLO-AMADOR, B.; YAMADA, S.; YAMAGUSHI, T.; RUEDA-PUENTE, E.; ÁVILASERRANO, N.; GARCIA-HERNANDES, L.; LÓPEZ-AGUIAR, R. TROYODIEGUEZ, E.; NIETOGARIBAY, A. A. influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 193, n. 6, p. 413-421, 2007.

NELSON, W.R.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat. **South African Journal of Science**. South Africa, v. 82, p. 199 – 200, 1986.

NORUŠIS, M. J. **IBM SPSS Statistics 19 Statistical Procedures Companion**, Addison Wesley, 2011.

OKAZAKI, K.; KABEYA, Y.; SUZUKI, K.; MORI, T.; ICHIKAWA, T.; MATSUI, M.; NAKANISHI, H.; MIYAGISHIMA, S. The plastid division 1 and 2 component of the chloroplast division machinery determine the rate of chloroplast division in land plant cell differentiation. **Plant Cell**, Waterbury, v. 21, p. 1769–1780, 2009.

OLIVEIRA, R. F.; PACE, L.; ROSOLEM, C. A. Produção e estado nutricional do feijoeiro em função da aplicação de um promotor de crescimento. **Científica**, São Paulo, v. 26, n. 1-2, p. 203-212, 1998.

PAPENFUS, H.B.; KULKARNI, M.G.; STIRK, W. A.; FINNIE, J. F.; VAN STADEN, J. Effect of a commercial seaweed extract (kelpak) and polyamines on nutrient-deprived (N, P and K) okra seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.151, p.142–146, 2013.

PELISSARI, G. ; CARVALHO, I. R. ; SILVA, A. D. B. ; FOLLMANN, D. N. ; LESCHEWITZ, R. ; NARDINO, M. ; SOUZA, V. Q. ; CARON, B. O. Hormônios

reguladores de crescimento e seus efeitos sobre os parâmetros morfológicos de gramíneas forrageiras. In: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 16, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Unifra, 2012.

PEREIRA, E. T. **Extratores de silício e enxofre disponíveis no solo.** 2010. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí. 2010.

PERES, L.E.P.; KERBAUY, G.B. Controle hormonal do desenvolvimento das raízes. **Universa**, Brasília, v.8, p.181-195, 2000.

PERYEA, F. J. Comparison of dormant and circum-bloom zinc spray programs for washington apple orchards. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 30, p. 1903-1920, 2007.

PILET, P.E. Some cellular and molecular properties of abscisic acid: its particular involvement in growing plant roots. **Cellular and Molecular Life Science**, Basel, v. 54, p. 851–865, 1998.

PINHEIRO, B.S. **Cultivo do arroz de terras altas.** EMBRAPA Arroz e Feijão. Sistemas de Produção N° 1, n.1. jul. de 2003.

QADAR, A. Selecting rice genotypes tolerant to zinc deficiency and sodicity stresses. I. Differences in zinc, iron, manganese, copper, phosphorus concentrations, and phosphorus/zinc ratio in their leaves. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 50, p. 1264-1269, 2002.

REZENDE, D.C.; RODRIGUES, F.A.; CARRÉ-MISSIO, V.; SCHURT, D.A.; KAWAMURA, I.K.; KORNDÖRFER, G.H. Effect of root and foliar applications of silicon on brown spot development in rice. **Australasian Plant Pathology**, Queensland, v. 38, p. 67-73, 2009.

RODRIGUES, L.; BATISTA, M.; ALVAREZ, R.; LIMA, S.; ALVES, C. Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n. 1, p. 207-214, 2015.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrição via foliar.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 98p.

RUIZ, J. M.; CASTILLA, N.; ROMERO, L. Nitrogen metabolism in peper plants with different biorregulators. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n.7, p. 2925-2929, 2000.

SANTOS, V. M.; MELO, A.V.; CARDOSO, D.P; GONÇALVES, A.H.; VARANDA, M.A.F; TAUBINGER, M. Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.

SCALON, S. P. Q.; LIMA, A. A.; SCALON FILHO, H.; VIEIRA, M. C. Germinação de sementes e crescimento inicial de mudas de *Campomanesia adamantium* Camb.: Efeito da lavagem, temperatura e de bioestimulantes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 96-103, 2009.

SILVA, F. de. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, M. L.; RESENDE, J. T. V.; REVIZAM, A. R.; FIGUEIREDO, A. S. T.; SCHWARZ, K. Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3411-3424, 2013.

SILVA, T.T.A.; PINHO, E.V.R.V.; CARDOSO, D.L.; FERREIRA, C.A.; ALVIN, P.O. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n.3, p. 840-846, 2008.

SIMON-SYLVESTRE, G. Les composés du soufre du sol et leur évolution – rapports avec la microflore, utilisation par les plantes. **Annales Agronomiques**, Paris, v. 3, p. 311-332, 1960.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. G. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUSA, J.V.; RODRIGUES, C.R.; LUZ, J.M.Q; CARVALHO, P.C.; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C.H. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 26, p. 503-513, 2010.

SRIVASTAVA, H. S.; ORMROD, D. F.; HALE, B. A. Cytokinins affect the response of greening and green bean leaves to nitrogen dioxide and nutrients nitrate supply. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 144, n. 2, p. 156-160, 1994.

STAMATIADIS, S.; EVANGELOU, L.; YVIN, J. C.; TSADILAS, C.; MINA, J. M. G.; CRUZ, F. Responses of winter wheat to *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract application under the effect of N fertilization and water supply. **Journal of applied phycology**, Dordrecht v. 27 n. 1 p. 589-600, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 820 p.

TURAN, M.; KOSE, C. Seaweed extracts improve copper uptake of grapevine. **Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science**, Copenhagen, v.54, p. 213–220, 2004.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de bioestimulante na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal-ESALQ, 2003. p. 73-100.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 360 p.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2006. p. 355-374.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WANDERLEY FILHO, H. C. de L. **Uso de bioestimulantes e enraizadores no crescimento inicial e tolerância à seca em cana-de-açúcar**. 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo. 2011.

WENT, F.W.; THIMANN, K.V. **Phytohormones. Experimental Biol. Monogr**. The Mac Millan Co., 1937. 294p.

WILSON JR., C.; SLATON, N.; NORMAN, R.; MILLER, D. **Rice production handbook**. Arkansas, Cooperative Extension Service University of Arkansas, 2006. 126 p.

ZANÃO JUNIOR, L. A.; FONTES, R. L. F.; AVILA, V. T. de. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 203-206, 2009.

ANEXO I

Fotos comparativas da testemunha *versus* tratamentos, do experimento descrito no Capítulo 2, aos 70 DAE:



Testemunha; 1,50 L ha⁻¹ no perfilhamento; 0,75+0,75 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento



Testemunha; 3,00 L ha⁻¹ no perfilhamento; 1,50+1,50 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento



Testemunha; 4,50 L ha⁻¹ no perfilhamento; 2,25+2,25 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento



Testemunha; 6,0 L ha⁻¹ no perfilhamento; 3,0+3,0 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento

ANEXO II

Fotos comparativas da testemunha *versus* tratamentos, do experimento descrito no Capítulo 3, aos 70 DAE:



Testemunha; 1,50 L ha⁻¹ no perfilhamento; 0,75+0,75 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento



Testemunha; 3,00 L ha⁻¹ no perfilhamento; 1,50+1,50 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento



Testemunha; 4,50 L ha⁻¹ no perfilhamento; 2,25+2,25 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento



Testemunha; 6,0 L ha⁻¹ no perfilhamento; 3,0+3,0 L ha⁻¹ no perfilhamento + alongamento