



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Tamires Soares da Silva

**Aplicação de bioestimulantes em cultivo fertirrigado de
cebola no semiárido pernambucano: efeito sobre as
propriedades químicas e biológicas do solo**

Petrolina
2020

Tamires Soares da Silva

**Aplicação de bioestimulantes em cultivo fertirrigado de
cebola no semiárido pernambucano: efeito sobre as
propriedades químicas e biológicas do solo**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Profa. Dra. Adriana Mayumi
Yano-Melo
Coorientador: Dra. Vilma Maria dos Santos

Petrolina

2020

Dados Internacionais de Catalogação - CIP

S586a Silva, Tamires Soares da
Aplicação de bioestimulantes em cultivo fertirrigado de cebola no semiárido pernambucano: efeito sobre as propriedades químicas e biológicas do solo / Tamires Soares da Silva. – Petrolina, 2020.

70f.

Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Agronomia e Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 2020.

Orientadora: Prof.^a Dr^a Adriana Mayumi Yano-Melo.

Inclui referências.

1. Solos. 2. Qualidade do solo. 3. Fertilidade do solo. 4. Solos - uso. I. Título. II. Yano-Melo, Adriana Mayumi. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.4

Dedicatória

À Deus pelo discernimento.
E a minha família por
estarem sempre ao meu
lado nessa jornada.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

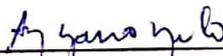
Tamires Soares da Silva

Aplicação de bioestimulantes em cultivo fertirrigado de cebola no semiárido pernambucano: efeito sobre as propriedades químicas e biológicas do solo

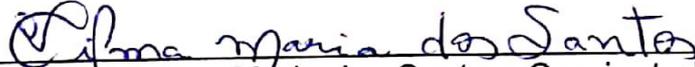
Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovada em: 28 de Fevereiro de 2020.

Banca Examinadora



Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo -Orientadora
Universidade Federal do Vale do São Francisco.



Dra. Vilma Maria dos Santos- Coorientadora
PPGCF, Universidade Federal de Campina Grande



Dr. Bruno Coutinho Moreira
Universidade Federal do Vale do São Francisco



Dra. Indra Elena Costa Escobar

Programa de Pós-graduação em Biologia de fungos- UFPE

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me guiado nessa caminhada e me dado forças e sabedoria para seguir em frente.

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco), pela concessão da bolsa de estudos;

À Universidade Federal do Vale do São Francisco e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pela oportunidade de formação.

À minha orientadora Prof^{fa}. Dr^a. Adriana Mayumi Yano de Melo por todos os ensinamentos e paciência impostas na realização deste trabalho.

À minha co-orientadora Prof^{fa}. Dr^a. Vilma Maria dos Santos por ter me passado grandes conhecimentos sobre ciência. Pelo companheirismo e amizade, não tenho palavras para agradecer tudo o que fizestes por mim. Admiro toda a sua garra e determinação!

À minha mãe Olga Soares e ao meu pai Salmeron Lustosa por terem me dado todo o suporte e apoio nos estudos, por não medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos, e por, mesmo longe, me fazerem sentir tão amada e confiante.

Aos meus irmãos Hellen Soares, Thalyta Soares e Marcos Soares obrigada por cada palavra de incentivo e todos os momentos de felicidades. Gratidão por ter vocês em minha vida, amo sem medidas!

Aos meus colegas do laboratório de microbiologia, Aline Passos, Amanda Alencar, Adler Santana, Luiz Vitor, Lilian Araújo, Wellerson Macedo, Catarina, Edimário Neres, Roberta Lane, Vinícius Barbosa, Rianne Araújo, Ester Novic obrigada pelas infinitas risadas e alegrias que fizeram o trabalho ser mais gratificante.

Aos amigos Daniel Almeida, Liliane Sardeiro, Jessica Siqueira, Mateus Ayres, Raysa Lemos, Marcelino Raweny, o mestrado me deu a oportunidade de conhecer e tornaram meus dias mais leves e divertidos. Obrigada meus amigos!

Aos amigos de longas datas Ionaira Rocha, William Silva, Lara Della, Cecilia Rodrigues, Jucinarya Jacobina, Fidelkayro Alexandre, Delma Alaíde, Mateus Morais, Felipe Aires, Célia Aires, Lucas Carvalho, Barbemile Araújo, Rodrigo Antônio, Higino Gonçalves, Moises Neto, Jhulia Blenda e Alfredo Mascarenhas

obrigada por todo apoio nessa jornada, só tenho a agradecer por vocês existirem na minha vida.

Em especial ao meu amigo Jenilton Gomes por estar comigo nos momentos mais difíceis e sempre disponibilizar-se a me ajudar.

Ao meu tio José Soares (*in memoriam*) por toda a força e ensinamentos. Te amo eternamente!

Aos revisores professor Dr. Bruno Coutinho e Dr^a Indra Elena por dedicarem um pouco do seu tempo à minha dissertação.

Aos laboratórios de Química do solo, Bromatologia animal e Microbiologia Geral que me deram suporte nas análises realizadas nesta pesquisa.

Muito Obrigada!!

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de Stimulate® e Algamare® sobre a biomassa microbiana e atividade enzimática em solos cultivados com cebola (*Allium cepa* L.) fertirrigada. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Semiárido - perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE. Para cada bioestimulante o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial (3X5) com três tempos de coleta (0, 30 e 60 dias após aplicação do bioestimulante) e cinco doses de bioestimulante (0; 1, 2, 3 e 4 L.ha⁻¹), em quatro repetições. Foram avaliadas as propriedades químicas e microbiológicas do solo (carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico, quociente microbiano e atividades das enzimas β-glucosidase, urease e fosfatase, desidrogenase e a hidrólise do diacetato de fluoresceína - FDA). Em geral, as propriedades químicas e microbiológicas do solo foram influenciadas após a aplicação dos bioestimulantes após 30 e 60 dias da aplicação. Para os dois bioestimulantes (Algamare® e Stimulate®) a aplicação de doses mais baixas (1 e 2 L.ha⁻¹) promove mudanças mais significativas nas propriedades do solo nos diferentes tempos de avaliação. A aplicação de Algamare® influencia positivamente o teor de nitrogênio total e fósforo do solo e a atividade da desidrogenase, indicando ser promissor para utilização em cultivo de cebola em condições semiáridas.

Palavras-chave: Qualidade do solo; Regulador de crescimento em plantas; *Allium cepa* L.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the application of Stimulate® and Algamare® on the microbial biomass and enzymatic activity in soils cultivated with onion (*Allium cepa* L.) under fertirrigation. The experiment was conducted in the experimental area of the Embrapa Semiárido - Bebedouro, Petrolina, PE. For each biostimulant, the experimental design was in randomized blocks, in a factorial arrangement with three sampling times (initial, after 30 and 60 days of biofertilizer application) and five doses of biostimulants (0; 1; 2; 3 and 4 L.ha⁻¹), in four replicates. Soil chemical and microbiological properties were evaluated (carbon and nitrogen of the microbial biomass, basal soil respiration, metabolic quotient, microbial quotient, activities of β -glucosidase, urease, phosphatase, dehydrogenase, and fluorescein diacetate hydrolysis - FDA). In general, the chemical and microbiological properties of the soil were changed after the application of biostimulants, as observed after 30 and 60 days of application. For both biostimulants (Algamare® and Stimulate®), the application of lower doses (1 and 2 L.ha⁻¹) promoted changes in soil properties in the different evaluation times. The Algamare® application positively affected the total nitrogen and phosphorus contents of the soil, as well as the dehydrogenase activity, indicating that it is more promising to improve the microbiological properties of the soil under onion cultivation in semiarid conditions.

Key-words: Soil quality; Dose; Growth regulator; *Allium cepa* L.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1- Temperatura máxima, mínima e média do ar registradas durante a condução dos experimentos. Petrolina-PE.....	32
Figura 2- Aplicação das doses de bioestimulantes na cultura da cebola.....	34
Figura 3 - Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis microbiológicas com para o bioestimulantes Algamare®.....	43
Figura 4- Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis microbiológicas com para o bioestimulantes Stimulate®.....	44
Figura 5 - Mudanças nas propriedades microbiológicas do solo em resposta a aplicação das diferentes doses e tempo de aplicação dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate® de acordo com a ordenação NMS.....	48

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1- Principais produtores mundiais de cebola, produção em toneladas e produtividade em hectare.....	16
Tabela 2- Efeito de diferentes fontes de bioestimulantes em culturas hortícolas reportados na literatura nos últimos 10 anos.....	23
Tabela 3- Enzimas do solo que podem ser utilizadas como bioindicadores de qualidade do solo e seus substratos de determinação.....	28
Tabela 4 - Composição dos bioestimulantes aplicados na cultura da cebola.....	33
Tabela 5- Análise de variância dos dados das propriedades microbiológicas e químicas com aplicação dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate®.....	38
Tabela 6- Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis químicas para o bioestimulante Algamare®.....	40
Tabela 7- Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis químicas com para o bioestimulante Stimulate®.....	41
Tabela 8- Valores de p para as comparações da PERMANOVA dos fatores e a interação entre dose x tempo de aplicação.....	45
Tabela 9- PERMANOVA fatorial da interação entre os fatores dose x tempo de aplicação dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate®.....	46
Tabela 10- Correlação de Pearson entre as propriedades químicas e microbiológicas do solo sob aplicações de dois bioestimulantes.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS

- CBM - Carbono da biomassa Microbiana do solo
- NBM - Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo
- RBS - Respiração Basal do solo
- RIS - Respiração Induzida por Substrato
- qMIC - Quociente Microbiano
- qCO₂ - Quociente Metabólico
- BETA- β -glicosidase
- URE- Urease
- FOS- Fosfatase
- DES- Desidrogenase
- FDA- Hidrolise do Diacetato de Fluoresceína
- B/U- Razão β -glicosidase/Urease
- C/N- Relação Carbono/Nitrogênio
- CBM/NBM- Relação Carbono/ Nitrogênio da Biomassa Microbiana
- IEC- Índice de Eficiência do Carbono
- COT- Carbono Orgânico Total do Solo
- NT- Nitrogênio Total
- Ca²⁺+Mg²⁺- Cálcio e Magnésio
- K⁺ - Potássio
- Na⁺- Sódio
- P - Fósforo
- pH - Potencial Hidrogeniônico
- H⁺+Al³⁺ - Acidez Potencial
- CTC - Capacidade de troca catiônica
- SB- Soma de Bases
- T- Capacidade de troca de cátions efetiva
- V% - Saturação por bases

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	144
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	166
2.1. A cultura da cebola: aspectos gerais	16
2.2. Bioestimulantes	178
2.3. Bioestimulantes na horticultura	21
2.4. Propriedades microbiológicas indicadoras da qualidade de solo	26
2.5. Efeito dos bioestimulantes na biomassa e atividade microbiana do solo	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Área de estudo e Delineamento experimental	32
3.2 Coleta, preparação e identificação das amostras solos	35
3.3 Propriedades microbiológicas	35
3.4 Propriedades químicas	36
3.5 Análise dos dados	37
4. RESULTADOS	38
5. DISCUSSÃO	50
7. CONCLUSÃO	55
8. REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

A produção de cebola (*Allium cepa* L.) vem se destacando no mercado pelo seu valor econômico, sendo uma das hortaliças mais consumidas pela população. Além disso, é um produto de elevada importância socioeconômica, uma vez que gera emprego e renda para os agricultores e suas famílias. Aproximadamente 93 milhões de toneladas de cebolas são produzidas anualmente (FAO, 2017) e o Brasil é o nono maior produtor, alcançando produção de 1.622.106 toneladas de cebola (IBGE, 2017). No Nordeste, os Estados da Bahia e Pernambuco respondem por praticamente toda a produção de cebola da região. O submédio Vale do São Francisco (polo Petrolina, PE – Juazeiro, BA) é uma das regiões que mais se destaca na produção de cebola, contribuindo com cerca de 18,7% na produção nacional (ANACE, 2018).

Apesar da importância econômica da cultura para região semiárida, a produtividade ainda é baixa em relação ao potencial produtivo. Dessa forma, são necessárias pesquisas que visem definir tecnologias mais apropriadas de manejo capazes de aumentar a produtividade (SANTOS et al., 2014). Nesse contexto, a aplicação de substâncias bioestimulantes vem se expandido como uma alternativa à aplicação de fertilizantes, especialmente em solos com baixa fertilidade e disponibilidade de água (SANTOS et al., 2014).

Os bioestimulantes são substâncias, micro-organismos e/ou misturas destes que estimulam os processos naturais de nutrição das plantas, independente do conteúdo nutricional dessas formulações (BOURSCHEIDT, 2019). No entanto, o conceito de bioestimulante é amplamente discutido, em função da constituição bastante variável. Entre os vários tipos de bioestimulantes, formulações baseadas em algas estão ganhando importância devido às contribuições significativas para a manutenção da fertilidade do solo e aumento da produtividade das culturas. O produto Algamare[®], bioestimulante à base de alga marinha (*Ascophyllum nodosum*), vem apresentado resultados significativos na produtividade de diversas culturas agrícolas e hortícolas, trazendo aumento da biomassa seca, número de frutos e maior resistência a estresses abióticos. Os bioestimulantes constituídos por reguladores de crescimento, e.g. o Stimulate[®], também são comumente utilizados por estimularem o

desenvolvimento radicular favorecendo o aumento da absorção de água e nutrientes pelas plantas (ARAÚJO NETO et al., 2018).

Ressalta-se ainda, que os micro-organismos podem atuar como bioestimulantes e os principais grupos são as bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), as fixadoras de nitrogênio (BFN) e os fungos benéficos, especialmente os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que formam simbioses mutualísticas com as raízes da maioria das plantas, além de aqueles utilizados no biocontrole, representado principalmente por *Trichoderma* (BEHIE e BIDOCHKA, 2014; ITAFORTE, 2018; MACHADO et al., 2012; ROUPHAEL et al., 2018).

Os efeitos da aplicação de bioestimulantes sobre a composição e a atividade dos micro-organismos do solo não são totalmente equacionados e poucos trabalhos abordam o modo como a biomassa e a atividade microbiana respondem às mudanças ocorridas no solo em função da adição de bioestimulantes. Nesse sentido, é necessária melhor compreensão das respostas da biomassa microbiana em solos sob aplicação de diferentes tipos de bioestimulantes, uma vez que as propriedades microbianas do solo podem ajudar a entender as mudanças no ciclo de nutrientes e fornecer informações sobre a qualidade dos solos (BLAGODATSKAYA e KUZYAKOV, 2015).

Desta forma, selecionar os tipos e as doses de bioestimulantes capazes de promover melhoria da produtividade aliada à manutenção da atividade microbiana do solo são necessários, considerando a importância da funcionalidade dos micro-organismos do solo para a sustentabilidade da atividade agrícola.

As hipóteses levantadas neste estudo foram: a) que o uso dos bioestimulantes influencia positivamente a biomassa e a atividade microbiana do solo, principalmente quando aplicados em doses adequadas; b) o Algamare® é mais eficiente que o Stimulate® em promover o aumento da biomassa e da atividade enzimática microbiana, devido ao maior aporte carbono orgânico provindo de extrato de algas; c) as respostas das atividades das variáveis microbiológicas e químicas variam em função do tempo de aplicação. A partir dessas hipóteses, o objetivo desse trabalho foi determinar o tipo e a dose de

bioestimulante favorável a biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com cebola fertirrigada no semiárido pernambucano.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A cultura da cebola

Originária da Ásia Central e do Mediterrâneo, a cebola (*Allium cepa* L.), é uma das mais antigas espécies cultivadas e está entre as hortaliças mais consumidas pela população mundial (HIGASHIKAWA; MENEZES JÚNIOR, 2017). No Brasil, o cultivo da cebola teve início no século XVIII, a partir de acesos trazidos da Europa pelos açorianos, sendo introduzido nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (BARBIERI et al., 2005; MALLOR GIMÉNEZ et al., 2011). Atualmente, o cultivo ocorre em todo território nacional.

A cebola é uma planta de ciclo anual para a produção de bulbos e bienal para a produção de sementes (AGUIAR NETO et al., 2014). O bulbo é a parte comestível e apresenta características variáveis como formato, cor, pungência e tamanho (FERREIRA; ALVES; NICK, 2018). O sistema radicular é fasciculado, a maior parte das raízes está concentrada na camada de solo até 20 cm de profundidade, podendo atingir até 80 cm. As raízes são finas, pouco ramificadas, de cor branca e com odor característico (CARVALHO, 2018).

Em termos nutricionais, a cebola destaca-se por apresentar elevado teor de carboidrato, além de ser fonte considerável de vitaminas A, B e C, minerais como cálcio, magnésio, potássio e também de flavonoides (RODRIGUES et al., 2011). A quercetina, principal flavonoide encontrado na cebola possui propriedades anti-inflamatórias e anti-oxidantes (GAWLIK-DZIKI et al., 2013), as quais estão associadas aos efeitos benéficos da cebola para a saúde humana.

A cebolicultura possui elevada relevância econômica no cenário mundial e está distribuída em mais de 140 países, ocupando uma área de cerca de cinco milhões de hectares, com produção média de 93 milhões de toneladas por ano (FAO, 2017). Na última década, o aumento de 25% na produção mundial colocou

a cebola entre as culturas olerícolas de maior importância econômica, juntamente com o tomate e a batata (KURTZ et al., 2013).

A China e a Índia são os maiores produtores mundiais de cebola, enquanto o Brasil ocupa a nona posição no ranking (Tabela 1), mas a produtividade ainda é baixa em relação aos primeiros colocados (FAO, 2017). Em 2018, a produção brasileira de cebola foi de 1,6 milhões de toneladas em uma área de 57,1 mil hectares, alcançando rendimento médio de 28,13 t ha⁻¹ (IBGE, 2018). Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Bahia e Pernambuco são responsáveis por quase totalidade da produção.

Tabela 1- Principais produtores mundiais de cebola. Produção em toneladas e produtividade em hectare.

Países	Média (t.ha ⁻¹)	Produção (t)
China	22.08	24.344.543
Índia	17.17	22.427.000
Estados Unidos	66.82	3.731.940
Irã	38.58	2.379.096
Egito	34.95	2.379.035
Rússia	25.62	2.135.974
Turquia	31.28	2.131. 513
Paquistão	13.39	1.833.200
Brasil	31.22	1.702.237
Holanda	41.10	1.412.108

DADOS: FAO 2017

A região do Submédio do Vale do São Francisco, especificamente o polo Petrolina/PE - Juazeiro/BA, destaca-se na produção de cebola, alcançando produtividade média de 60 toneladas.ha⁻¹. As condições do clima e do solo na região favorecem o cultivo e possibilitam a redução do ciclo da cultura e conseqüentemente o aumento na produção de bulbos (ARAÚJO et al., 2011). Estas vantagens permitem aos produtores da região programarem as safras para os meses do ano em que ocorre menor disponibilidade do produto no mercado e, conseqüentemente, obter maior lucro em função dos preços mais elevados (FERNANDES, 2017). No entanto, a produtividade ainda é considerada baixa em relação à capacidade produtiva e o aumento da produção vem sendo buscado por meio da utilização de produtos que promovam incrementos na produtividade,

de forma a aumentar a oferta desse produto no mercado. Para alcançar esse objetivo, pesquisas e inovações tecnológicas são indispensáveis, assim, substâncias como os bioestimulantes podem constituir uma estratégia para obter altos rendimentos.

2.2. Bioestimulantes

A demanda por práticas sustentáveis para produção de alimentos tem impulsionado a utilização de técnicas que reduzem significativamente o uso de produtos químicos na agricultura (ARASHIRO et al., 2018). Nesse contexto, os bioestimulantes constituem uma técnica promissora para garantir a estabilidade dos sistemas de produção, uma vez que podem aumentar a produtividade e minimizar o impacto ambiental do uso do solo (SIGURNJAK et al., 2017; DU JARDIN, 2015).

Recentemente, o termo bioestimulante vegetal foi definido pelo Regulamento de Produtos Fertilizantes da União Europeia como “substâncias, micro-organismos e/ou misturas que estimulam os processos naturais de nutrição das plantas, independente do conteúdo nutricional dessas formulações” (UE, 2019). Os bioestimulantes melhoram uma ou mais características da planta, tais como: eficiência no uso de nutrientes, tolerância aos estresses abióticos e melhoria nas características relacionadas à qualidade das culturas (RICCI et al., 2019). Priyadharsini; Muthukumar (2016) ressaltaram que bioestimulantes favorecem os processos fisiológicos das plantas, independente do teor de nutrientes existentes nos produtos, pois atuam facilitando a absorção por meio de processos bioquímicos.

O uso de bioestimulantes favorece a expressão do potencial genético das plantas a partir de processos vitais e estruturais que promovem o equilíbrio hormonal e estimulam o crescimento radicular (SILVA et al., 2008). Muitos desses produtos auxiliam na absorção de água e nutrientes e podem conferir maior resistência a insetos-pragas, doenças e nematoides, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas (RODRIGUES et al., 2015). Desse modo, os bioestimulantes favorecem a velocidade de estabelecimento e a uniformidade

das plantas e conseqüentemente aumentam o potencial produtivo (LANA et al., 2009).

A utilização de bioestimulantes é uma prática considerada segura, uma vez que são obtidos de fontes como micro-organismos, hidrolisados proteicos, formulações contendo reguladores de crescimento de plantas, substâncias húmicas e extratos de algas marinhas (DU JARDIN, 2015). Os bioestimulantes microbianos incluem micro-organismos benéficos como rizobactérias, fungos micorrízicos arbusculares e representantes de *Trichoderma*, os quais promovem o crescimento e a produtividade das culturas (ROUPHAEL et al., 2015, ROUPHAEL et al., 2018).

Entre os produtos mais utilizados como bioestimulantes destacam-se os extratos de alga, amplamente testados em culturas agrícolas e hortícolas como brócolis, repolho, abobrinha, cebola e outras (COSTA et al., 2013; DAPPER et al., 2014; BATTACHARYYA et al., 2015, ROUPHAEL et al., 2017). Os resultados benéficos da aplicação desse tipo de bioestimulante são atribuídos à presença de compostos orgânicos e minerais, aminoácidos, vitaminas e citocininas, auxinas e ácido abscísico como substâncias promotoras de crescimento (BATTACHARYYA et al., 2015). O uso do extrato da alga *Ascophyllum nodosum* é uma prática agrícola amplamente difundida, especialmente na Comunidade Europeia, onde são comercializados diversos produtos à base do extrato dessa alga que podem ser aplicados por via foliar ou diretamente no solo (MÓGOR et al., 2008; ROUPHAEL et al., 2018).

Em relação as propriedades do extrato de *A. nodosum*, destacam-se a sua capacidade de estimular o crescimento e a sua composição rica em macro e micronutrientes, carboidratos, aminoácidos e hormônios vegetais, como as citocininas que promovem a divisão celular e retardam a senescência das plantas (DIVYA et al., 2015; MATHUR et al., 2015; PACHOLCZAK et al., 2016). Além disso, o extrato dessa alga pode estimular a atividade da síntese da fitoalexina capsidiol e das peroxidases, aumentando a resistência das plantas às doenças (ABREU; TALAMINI; STADNIK, 2008).

Os bioestimulantes constituídos por reguladores de crescimento vegetais como auxina, citocinina, giberelina e ácido indolbútrico podem influenciar o crescimento das plantas quando aplicados juntos ou separadamente

(DANTAS et al., 2012). Na pesquisa agrícola, esses reguladores de crescimento são amplamente utilizados e têm como principal efeito benéfico o aumento da tolerância ao estresse nas plantas, por meio da regulação de vários processos fisiológicos e bioquímicos (ASADI et al., 2017).

No Brasil, os reguladores de crescimento são utilizados em diversas culturas, entre esses destaca-se o Stimulate[®], que contém cinetina, ácido giberélico e ácido indolbutírico e que pode melhorar o desempenho das plantas, incrementando o crescimento e o desenvolvimento vegetal, estimulando a divisão celular, a diferenciação e o alongamento das células (MOTERLE et al., 2015; SPADONI, 2015). Além disso, também pode aumentar a absorção e utilização dos nutrientes (RODRIGUES et al., 2015).

Apesar das vantagens da utilização de bioestimulantes, os resultados de alguns estudos têm demonstrado que esses produtos podem não influenciar ou até mesmo diminuir a absorção de nutrientes pelas plantas. Em estudo realizado por Lola-luz et al. (2014) o uso do extrato da alga *A. nodosum* não influenciou na produtividade das culturas da cebola, batata e repolho em condições de campo. Resultado semelhante também foi relatado por Kim et al. (2010) em um experimento de campo com quiabo [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench]. A aplicação do biorregulador de crescimento vegetal, composto por substâncias sintéticas que possuem ação similar aos hormônios vegetais (Stimulate[®]), em tamarindo (*Tamarindus indica* L.) não promoveu efeito no diâmetro do caule e no comprimento radicular quando comparada ao tratamento sem aplicação (DANTAS et al., 2012).

Por outro lado, a utilização desse biorregulador em alface (*Lactuca sativa* L.) reduziu o diâmetro de “cabeça” em relação à testemunha quando a maior dose (15 mL.L⁻¹) foi aplicada (IZIDÓRIO et al., 2015). Ausência de efeitos benéficos no crescimento foi observado em mudas de maracujá com a aplicação do Stimulate[®], não sendo constatado aumento na altura, massa seca da raiz e parte aérea em relação ao tratamento sem aplicação (REIS; RODRIGUES; ALMEIDA, 2016).

Assim, os benefícios ao crescimento vegetal dependem de diversos fatores como espécie da planta, composição dos produtos, dosagem aplicada e das condições do ambiente.

2.3. Bioestimulantes na horticultura

Para atender a demanda mundial por alimentos e minimizar os danos ao meio ambiente, a produção hortícola tem enfrentado muitos desafios e as soluções para esses problemas passam pela utilização de práticas de manejo ecológico (ROUPHAEL et al., 2015). Nesse sentido, os bioestimulantes vegetais são apontados como alternativa viável para aumentar a produção e reduzir o uso de fertilizantes (BATTACHARYYA et al., 2015), causando menor impacto ao ambiente.

Bioestimulantes de origem vegetal, ácidos húmicos e fúlvicos, compostos à base de aminoácidos e de micro-organismos são amplamente usados na agricultura e na horticultura e mesmo em baixas concentrações podem induzir respostas fisiológicas nas plantas (BULGARI et al., 2015). Nas culturas hortícolas, essas respostas estão principalmente associadas a promoção do crescimento das plantas, a melhoria no número de flores, ao rendimento, a qualidade e no conteúdo nutricional dos produtos comestíveis (Tabela 2). Além disso, foram relatadas melhorias na tolerância das plantas aos estresses abióticos como salino e hídrico (LATEF et al., 2017; LIM; KIM 2013).

Diversos bioestimulantes comerciais contendo ampla diversidade de componentes orgânicos e inorgânicos vêm sendo testados por pesquisadores e olericultores (BULGARI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017; ROUPHAEL et al., 2018). Recentemente, bioestimulantes de extratos das algas *Ecklonia maxima* (Kelpak[®]) e *A. nodosum* enriquecido com extratos vegetais, óleos essenciais e ácidos graxos (Amalgerol[®]) e um bioestimulante a base de hidrolisados de sementes de leguminosas e aminoácidos livres (Trainer[®]) foram testados na cultura do espinafre (*Espinacia oleracea* L. var. espinafre-bebê) em condições de casa de vegetação (ROUPHAEL et al., 2018). De acordo com os autores foi observada maior biossíntese de clorofila e melhor teor nutricional das plantas com a utilização de Kelpak[®] e maior teor de nitrato nas folhas com aplicação de Amalgerol[®] e Kelpak[®], enquanto, o Trainer[®] aumentou os teores de K⁺ e Mg²⁺.

Em estudo conduzido, em casa de vegetação e no campo, com brócolis suplementado com extrato de alga marinha comercializado como Seasol® foi observado efeito positivo no crescimento, na área foliar, no diâmetro do caule e na biomassa de plantas (MATTNER et al., 2013). Resultados semelhantes foram observados em trabalhos realizados com outras culturas hortícolas com aplicação de bioestimulantes derivados de extrato de algas (Tabela 2).

Efeitos benéficos da aplicação do bioestimulante, constituído por hidrolisados protéicos de peixe (C.R. Brown Enterprises), na cultura da alface (*Lactuca sativa* L. cv. Prazer do coração) foram observados por XU; MOU (2017). Os autores verificaram aumento do número de folhas, do diâmetro do caule e do peso seco e fresco de folhas e raízes. Também foram observados incrementos nos teores de água nas folhas, na clorofila, na taxa fotossintética, na condutância estomática e na transpiração.

Os efeitos do bioestimulante Aminoplant®, constituído por aminoácidos foram investigados em diferentes cultivares de espinafre (*Spinacia oleracea*) considerando o tempo de cultivo. Os resultados demonstram que ocorreu aumento na produção das cultivares independente do tempo de cultivo e na atividade da enzima nitrato redutase (KUNICKI et al., 2010). Em cenoura (*Daucus carota*), o uso do bioestimulante Aminoplant® ($3,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) influenciou a produtividade, promoveu o crescimento da raiz e afetou positivamente a composição química das raízes aumentando os teores de açúcares solúveis e carotenoides (GRABOWSKA et al., 2012). Aplicando Radifarm® (aminoácidos, polissacarídeos, microelementos, proteínas e outros), Petrozza et al. (2014) constataram estímulo no crescimento do sistema radicular e aumento na quantidade de raízes secundárias em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), verificando ainda, que as plantas tratadas com o bioestimulante apresentavam maior eficiência no uso da água.

A aplicação de substâncias húmicas em pimenta (*Capsicum annum*) e berinjela (*Solanum melongena*) resultou em aumento da área total das raízes e do crescimento das plantas 45 dias após o transplante (COLPAS-CASTILLO et al., 2018). Na cultura da berinjela, Azarpour et al. (2012) verificaram que a aplicação de substâncias húmicas proporcionou maior produtividade em

condições de campo. Além da aplicação de substância húmicas, o uso das substâncias fúlvicas também tem demonstrado melhoria no uso de nutrientes e aumento no peso dos tubérculos de batata (SUH et al., 2014).

Reguladores de crescimento vegetal compostos por auxina e NPK promoveram aumento do comprimento radicular, do diâmetro do caule, e da parte aérea em brócolis (AGUILAR et al., 2017). Outro regulador de crescimento vegetal - Biozyme[®] TF (composto por extrato de origem vegetal, hormônios e micronutrientes) incrementou o número de flores e do peso médio dos frutos de abobrinha (*Cucurbita pepo*) (MATOS et al., 2017). Por outro lado, a aplicação de diferentes doses de Stimulate[®] em rabanete (*Raphanus sativus* L.) não propiciou efeito positivo na produtividade dessa olerícola (FARINA et al., 2018). Vale ressaltar que as aplicações de bioestimulantes podem apresentar resultados favoráveis ou não, dependendo da região de cultivo e da espécie vegetal submetida a aplicação (VASCONCELOS, 2016).

O uso de micro-organismos como bioestimulantes tem sido reportado em diversas espécies vegetais (Tabela 2). Turan et al. (2014) analisaram a inoculação com *Bacillus megaterium*, *Pantoea agglomerans* e *B. subtilis* no crescimento, na absorção de nutrientes e no conteúdo hormonal de mudas de repolho (*Brassica oleracea*). Os autores concluíram que a aplicação do bioestimulante microbiano proporcionou aumento do peso fresco e seco das raízes, do diâmetro do caule e da altura das mudas, além de incrementar o teor de clorofila e a área foliar das mudas de repolho. Resultados similares foram encontrados para a cultura da cenoura quando as mudas foram inoculadas com *Rhizobium* (FLORES-FÉLIX et al., 2013).

Destaca-se a carência de informações sobre os mecanismos de ação dos bioestimulantes sobre os diversos processos fisiológicos das plantas, especialmente em culturas olerícolas e o seu potencial efeito sobre os micro-organismos do solo. Informações sobre os efeitos e o potencial do uso de bioestimulantes nas plantas e também no solo contribuirão para assegurar aos produtores informações sobre o real impacto do uso desses produtos.

Tabela 2- Efeito de diferentes fontes de bioestimulantes em culturas hortícolas reportados na literatura nos últimos 10 anos.

Bioestimulante	Cultura	Efeitos	Referência
Hidrolisados proteicos	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.); ¹	1 - Aumento na produção flores, frutos, parte aérea, raiz, teor de clorofila e N nas folhas e diâmetro dos frutos. 2 - Melhoria nos teores de K e Mg nas folhas. 3 - Aumento do número de folhas, diâmetro do caule, teor de clorofila, taxa fotossintética, condutância estomática e da taxa de transpiração. 4 - Aumento na capacidade antioxidante, concentração de ácido clorogênico, metabólitos secundários e fenóis. 5 - Aumento na massa seca e fresca e diâmetro de cabeça.	Koukounaras., et al (2013); ¹ Colla et al. (2014) ¹ Polo; Mata (2018); ¹ Parrado et al. (2008); ¹ Rouphael et al. (2018); ² Xu; Mou (2017); ³ Ertani et al. (2014); ⁴ Bettoni et al., (2013); ⁵
	Espinafre (<i>Espinacia oleracea</i> L.); ²		
	Alface (<i>Lactuca sativa</i> L.); ³		
	Pimentão (<i>Capsicum annuum</i> L.); ⁴		
	Brócolis (<i>Brassica oleracea</i>). ⁵		
Substâncias húmicas	Pimenta (<i>C. annuum</i>) ¹	1, 2 - Melhoria do crescimento vegetativo, área foliar, peso fresco e seco de folhas e raízes e maior tolerância ao estresse salino. 3- Incremento do conteúdo de clorofila, massa radicular, carotenóides, carboidratos, nitrogênio e fósforo nas folhas e raízes 4 - Incremento no crescimento radicular e parte aérea. 5 - Aumento do peso seco e volume das raízes, peso seco total, área foliar e melhoria da eficiência do uso de água. 6 - Aumento do número de folhas, do teor de proteínas, da atividade enzimática da folha e redução da duração do ciclo.	Yildiztekin; Tuna; Kaya (2018) ¹ Colpas-Castillo; Dunoyer; Camarço (2018) ² ; El-helaly (2018) ³ Bettoni et al. (2014); ⁴ Rady; Rehaman (2016); ⁵ Hernandez et al. (2015). ⁶
	Berinjela (<i>Solanum melongena</i> L.) ²		
	Cenoura (<i>Daucus carota</i> L.) ³		
	Cebola (<i>Allium cepa</i>) ⁴		
	Tomate (<i>S. lycopersicum</i>) ⁵		
Alface (<i>L. sativa</i>) ⁶			
Extrato de algas	Abobrinha (<i>Cucurbita pepo</i> L.) ¹	1- Aumento na produção de frutos, biomassa total, número de brotos, cálcio foliar e das trocas gasosas. 2 - Maior tolerância ao estresse salino, aumento dos teores de nutrientes nas folhas, das trocas gasosas e da síntese de aminoácidos (serina, treonina, prolina). 3 - Aumento da tolerância ao estresse hídrico, maiores taxas fotossintéticas, condutância estomática, teor de clorofila e produção de compostos fenólicos e flavonoides. 4 - Aumento no crescimento, número de brotações, peso do bulbo, produtividade e redução de doenças. 5 - Aumento da concentração de compostos fenólicos e flavonoides	Rouphael et al. (2017) ¹ ; Latef et al. (2017) ² ; Kałużewicz et al. (2017) ³ ; Lola-Luz; Hennequart; Gaffney (2014) ³ ; Dogra; Mandradia (2012) ⁴ ; Lolo-Luz et al. (2013) ⁵ .
	Grão-de-bico (<i>Cicer arietinum</i> L.) ²		
	Brócolis (<i>Brassica oleracea</i> L.) ³		
	Cebola (<i>A. cepa</i>) ⁴		
	Repolho (<i>B. oleracea</i>) ⁵		

Micro-organismos	<p>Tomate (<i>S. lycopersicum</i>)¹</p> <p>Alface (<i>L. sativa</i>)²</p> <p>Morango (<i>Fragaria x ananassa</i>)³</p> <p>Pimentão (<i>C. annuum</i>)⁴</p> <p>Cebola (<i>A. cepa</i>)⁵</p>	<p>1 - Aumento da produção de flores, frutos e concentração de açúcares e vitaminas no fruto e maior atividade enzimática da folha.</p> <p>2- Indução do crescimento, aumento do peso seco, do comprimento radicular e dos teores de clorofila e proteínas.</p> <p>3- Melhoria no crescimento, maior tolerância a salinidade, aumento de raízes, diâmetro e número de brotos, produtividade. Melhoria da eficiência do uso da água sob condições de estresse hídrico.</p> <p>4- Melhoria no crescimento e redução do estresse hídrico.</p> <p>5- Favorecimento do crescimento, biomassa total e a e melhoria nos teores de fosforo.</p>	<p>Bona et al. (2017)¹; Wang et al.(2014)¹; Fincheira, et al. (2016)²; Mangmang et al. (2015)²; Sinclair et al.(2014)³;Boyer et al. (2015);³ Lim; Kim (2013).⁴; Felisberto (2013)⁵</p>
Reguladores de crescimento vegetais	<p>Coentro (<i>Coriandrum sativum</i> L.)¹</p> <p>Tomate (<i>S. lycopersicum</i>)²</p> <p>Berinjela (<i>S. melogenea</i>)³</p> <p>Pimentão (<i>C. annuum</i>)⁴</p> <p>Jiló (<i>Solanum aethiopicum</i> L.)⁵</p>	<p>1-Área foliar, clorofila total, atividade do nitrato redutase e proteínas.</p> <p>2-Maior teor de clorofila, proteína solúvel, atividade enzimática e comprimento da parte aérea.</p> <p>3-Incremento das brotações e do enraizamento</p> <p>4-Aumento na altura das plantas, a biomassa fresca e seca e condutância estomática.</p> <p>5- Aumento na porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação</p>	<p>Lokesk; Jegadeeswari (2018);¹ Vijay; Ravichandran; Boominathan (2018); ² Satish et al. (2015);³ Mbandlwa et al. (2019)⁴;Jorge (2019)⁵</p>

Referências seguidas de mesmo número, correspondem aos mesmos efeitos ocorridos na respectiva cultura.

2.4. Propriedades microbiológicas indicadoras da qualidade de solo

A conservação da qualidade do solo é determinante para o aumento da produtividade agrícola e da sustentabilidade ambiental, pois o solo desempenha diversas funções responsáveis pela manutenção dos ecossistemas terrestres (MELO et al., 2017). As características dos solos podem ser descritas usando propriedades físicas, químicas e biológicas, mas a adaptação às mudanças ambientais impostas por fatores naturais ou antropogênicos são mais facilmente compreendidas a partir da utilização das propriedades biológicas (FRAC et al., 2018).

Nesse contexto, os micro-organismos do solo são amplamente utilizados no monitoramento da qualidade do solo, uma vez que respondem rapidamente as mudanças ocorridas no ambiente (HEGER et al., 2012; CHERUBIN et al., 2015) e controlam funções chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Além disso, podem atuar aumentando a tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, a disponibilidade de água e de nutrientes e reduzir o uso de insumos químicos (PIŚKIEWICZ; DUYS; VAN DER PUTTEN, 2009; ROUPHAEL et al., 2017).

A biomassa microbiana do solo (BMS) representa a parte ativa da matéria orgânica e corresponde, em média, de 2 a 5% do C orgânico do solo e de 1 a 5% do N total do solo, compreende um importante reservatório de nutrientes (LANGE et al., 2015). Propriedades microbiológicas do solo como o carbono da biomassa microbiana (CBM) (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), a respiração basal (evolução de CO₂) (ALEF; NANNIPIERI, 1995), a atividade de enzimas do solo (BURNS et al., 2013) e a relação respiração/carbono da biomassa microbiana, denominada quociente metabólico (ANDERSON; DOMSCH, 1985; TÓTOLA; CHAER, 2002, BOWLES et al., 2014) e o quociente microbiano (q_{MIC}) que representa a relação entre o CBM e o carbono orgânico total (SPARLING, 1997) e são frequentemente utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola. Esses indicadores, além de serem úteis para o monitoramento, também podem contribuir para o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas.

O teor de carbono da biomassa microbiana pode ser interpretado como indicativo da disponibilidade de nutrientes para os vegetais, podendo estar relacionado à qualidade do solo e, conseqüentemente, à produtividade ecológica (SMITH; MARÍN-SPIOTTA; BALSER, 2015). O CBM permite identificar os efeitos das práticas de manejo e assim ajudar na adoção de sistemas de produção mais sustentáveis (LI et al., 2018).

A respiração basal do solo (RBS) é a técnica mais amplamente utilizada para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana (ALEF, 1995). A atividade metabólica mensurada pela taxa respiratória é resultante da ação dos micro-organismos durante o processo de degradação dos resíduos vegetais e da oxidação da matéria orgânica em CO₂, constituindo assim uma fase fundamental no ciclo do carbono (BABUJIA et al., 2010; SILVA; ARAÚJO NETO; KUSDRA, 2014). Alta taxa respiratória pode ser uma característica desejável, considerando-se que pode indicar uma alta atividade da biomassa microbiana e rápida transformação da matéria orgânica em nutrientes para as plantas. Por outro lado, a alta taxa pode estar associada a presença de algum fator estressante para biomassa microbiana (SANTOS; MAIA, 2013). Por ser uma característica que depende do estado fisiológico das células, a respiração basal do solo pode ser facilmente afetada por diversos fatores como disponibilidade de nutrientes, relação C/N, qualidade da matéria orgânica, temperatura e umidade do solo (SOUSA et al., 2014).

O quociente metabólico (qCO₂) é a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo, expressa quanto de CO₂ é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, representando a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (ALVES et al., 2011). Maiores valores de quociente metabólico indicam que os micro-organismos do solo estão em condições de estresse e consomem mais carbono oxidável para sua manutenção (PARTELLI et al., 2012). Por outro lado, valores mais baixos supostamente refletem um ambiente estável ou próximo ao estado de equilíbrio (KLAUBERG-FILHO, 2006).

O quociente microbiano (qMIC) representa a quantidade de carbono imobilizado na biomassa e tem sido utilizado como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, demonstrando também a eficiência dos micro-

organismos na utilização dos compostos orgânicos (ANDERSON; DOMSCH, 1993; SILVA et al., 2010). Nesse sentido, baixos valores de q_{Mic} indicam uma perda de carbono no solo (MERCANTE et al., 2008), enquanto altos índices indicam que a matéria orgânica do solo está sujeita a ser decomposta pela microbiota e podem indicar um acúmulo de carbono no solo (MERCANTE et al., 2008; DADALTO et al., 2015). Desse modo, o quociente microbiano (q_{Mic}) tem papel importante na avaliação da qualidade do solo, principalmente em sistemas produtivos, permitindo avaliar perdas e ganhos de carbono no solo (GLAESER et al., 2011).

As enzimas do solo participam da transformação e mineralização da matéria orgânica e regulam a ciclagem e imobilização de nutrientes do solo (BURNS et al., 2013). Assim, respondem às mudanças no manejo do solo antes que outras propriedades indicadoras de qualidade (ADETUNJI et al., 2017). Entre as enzimas que podem ser empregadas para medir atividade microbiana no solo destacam-se as enzimas envolvidas na ciclagem do carbono, do nitrogênio e do fósforo (Tabela 3). A partir da determinação da atividade dessas enzimas é possível fazer inferências sobre o esforço direcionado por micro-organismos para obter carbono, nitrogênio ou fósforo. Além disso, a atividade enzimática pode ser utilizada para indicar se o manejo adotado no solo favorece a estabilização da matéria orgânica e de outras propriedades estruturais do solo (DICK; BURNS, 2011; BALOTA et al, 2013).

Tabela 3 - Enzimas do solo que podem ser utilizadas como bioindicadores de qualidade do solo e seus substratos de determinação.

Enzimas	Substrato	Ciclo do nutriente	Referências
Desidrogenase	Cloreto de 2,3,5 trifeniltetrazólio (TTC)	Carbono	Casida et al. (1964)
β -glicosidase	p-nitrofenil- β -glicopiranosídeo	Carbono	Eivazi e Tabatabai (1988)
Celulase	Carboximetil celulose	Carbono	Schinner e Von Mersi (1990)
Urease	Uréia	Nitrogênio	Kandeler e Gerber (1988)
Protease	Caseína	Nitrogênio	Alef e Nanipieri (1995).
Fosfatase	p-nitrofenil fosfato	Fósforo	Tabatabai e Bremner (1969)
Invertase	Sacarose	Carbono	Schinner e Von Mersi (1990)
Arilsulfatase	p-nitrofenil sulfato	Enxofre	Tabatabai e Bremner (1970)

2.3.1 Efeito dos bioestimulantes na biomassa e atividade microbiana do solo

Apesar da utilização dos bioestimulantes promoverem inúmeros benefícios às plantas, os possíveis efeitos sobre as comunidades microbianas do solo são pouco explorados. Nesse sentido, o entendimento dos potenciais efeitos desses produtos sobre o componente microbiano do solo é imprescindível, visando contribuir para a sustentabilidade da produção agrícola e para a conservação da saúde dos solos (BROWN; SAA, 2015).

Estudos sobre os efeitos no solo do uso dos bioestimulantes vegetais indicam que esses produtos podem influenciar as conversões do nitrogênio, a atividade de enzimas do solo e conseqüente a ciclagem de nutrientes (CHEN et al., 2020; TEJADA et al., 2011; TEJADA et al., 2014). No entanto, são escassos os estudos que abordam como a biomassa e a atividade enzimática respondem às mudanças ocorridas nos solos em resposta a aplicação de bioestimulantes.

Avaliações da biomassa e atividade enzimática do solo podem disponibilizar em curto espaço de tempo dados relevantes a respeito da funcionalidade da microbiota edáfica e da disponibilidade de recursos no

ambiente (SINSABAUGH et al., 2012; GARAU et al., 2011). Portanto, podem constituir ferramenta importante para avaliação dos possíveis efeitos da aplicação dos bioestimulantes vegetais no ambiente edáfico, contribuindo assim para aprofundar os estudos da relação solo-planta.

Os efeitos da aplicação de dois bioestimulantes Grozyme® e W91 (produto experimental não comercializado) composto por nutrientes minerais e fermentações microbianas em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) foram avaliados por Chen et al. (2003). Os autores testaram em microcosmos doses entre 0,005 - 0,03 $\mu\text{l.g}^{-1}$ e observaram que os bioestimulantes promoveram efeitos significativos nas propriedades biológicas do solo, aumentando atividade da fosfatase, a taxa de decomposição da matéria orgânica e a mineralização de N com aplicação da menor dose. A aplicação dos bioestimulantes resultou ainda na melhoria da disponibilidade de nutrientes, principalmente do N, para o crescimento do trigo. Os efeitos desses dois bioestimulantes sobre a comunidade microbiana do solo também foram investigados a curto (uma semana) e a longo prazo (oito semanas) em experimento de incubação do solo. Em curto prazo o Grozyme® estimulou a respiração induzida por substrato e a atividade da desidrogenase, no entanto a longo prazo foi observado inibição da atividade da desidrogenase. Estes resultados indicam que o tempo de aplicação dos bioestimulantes pode resultar em mudanças de resposta da biomassa microbiana, sugerindo que avaliações a longo prazo contribuem para melhor compreensão dos efeitos.

Recentemente, Visioli et al. (2018) avaliaram o efeito de dois bioestimulantes (obtidos a partir da fermentação de materiais vegetais de diferentes composições e sem a adição de micro-organismos) na composição da comunidade bacteriana na rizosfera de milho. Os resultados encontrados demonstraram que os bioestimulantes estimularam grupos de bactérias raras no solo, alguns envolvidos em processos de crescimento de plantas e resistência aos patógenos. Rodrigues (2018) avaliou o efeito da aplicação PENERGETIC® P (argila bentonita, silício, elemento inorgânico) (foliar) e K (solo) e da adubação NPK (50 e 100%) em plantas de meloeiro por dois ciclos de cultivo e observou que o PENERGETIC® K⁺ juntamente com 50% da adubação favoreceram o crescimento vegetal e a biomassa microbiana.

A aplicação de bioestimulantes constituídos de hidrolisados proteicos (destilado solúvel de trigo, penas hidrolisadas de aves, extrato enzimático de alfarroba e extrato de farelo de arroz) favoreceu as populações de bactérias amonificantes, nitrificantes, fixadoras de nitrogênio e solubilizadoras de fosfatos inorgânicos, promovendo ainda, a inibição das populações de fitopatógenos e o crescimento vegetal (BOSE et al., 2014; RAI; MUKHERJEE, 2015; JAIN et al., 2016). O uso desses bioestimulantes também promoveu aumento da atividade enzimática geral do solo medida pela desidrogenase e das enzimas envolvidas no ciclo do fósforo (fosfatase), nitrogênio (urease) e enxofre (arilsulfatase) (TEJADA et al., 2011).

A aplicação de três bioestimulantes hidrolisados (condensados de trigo, penas de aves e extrato de farelo de arroz) em solo contaminados com hidrocarboneto (Benzo (a) pireno) promoveu estímulo da atividade enzimática, devido ao aumento da concentração de proteínas, com baixo peso molecular oriundo dos bioestimulantes, visto que estes podem ser facilmente incorporados pelos micro-organismos e plantas (TEJADA; BENÍTEZ; PARRADO, 2011).

O uso de *Trichoderma* como bioestimulante aumentou a absorção de N e a população de outros grupos fungos na rizosfera de alface (*L. sativa*) e rúcula (*Eruca sativa* Mill) (FIORENTINO et al., 2018). A aplicação no solo de quatro bioestimulantes, oriundos da fermentação de *Bacillus licheniformis* e da hidrólise enzimática do subproduto da soja em duas concentrações (1 e 5%) e avaliados em períodos distintos (1, 3, 7, 10, 15, 30 e 55 dias após a incubação) resultou no aumento na atividade da desidrogenase, β -glicosidase e fosfatase entre 10 e 15 dias após a aplicação (ORTS et al., 2019).

O uso de *B. licheniformis* associado com lodo de esgoto na formulação de bioestimulante aplicado em solo resultaram em incremento na atividade da desidrogenase e no conteúdo de ergosterol (RODRÍGUEZ-MORGADO et al., 2019). Entretanto, a atividade das enzimas urease, β -glicosidase e fosfatase não apresentaram variação, o que provavelmente ocorreu pelo uso por *B. licheniformis* que degradou os substratos orgânicos durante o processo de fermentação.

A utilização de bioestimulantes de extratos de algas representa um insumo importante para a agricultura por incrementar a produtividade vegetal e promover

o crescimento induzido principalmente por hormônios naturais encontrados nos extratos (STIRK et al., 2014). Wang et al. (2016) observaram os efeitos no solo cultivado com *Malus hupehensis* Rehd (maçã) em casa de vegetação. Os autores constataram que as atividades das enzimas urease e fosfatase foram incrementadas com a aplicação das maiores doses (20 e 40 g kg) de extrato de algas em relação ao controle. A aplicação do extrato de *A. nodosum* em solo cultivado com cenoura estimulou a taxa de respiração do solo e favoreceu o crescimento microbiano, sugerindo que o uso desse extrato pode contribuir para a melhoria da qualidade do solo (ALAM ET AL., 2014).

Desta forma, este estudo busca ampliar as informações sobre os possíveis efeitos da aplicação de bioestimulantes na biomassa microbiana do solo, destacando a relevância dos micro-organismos para o funcionamento do solo e conseqüentemente para produção agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo e Delineamento experimental

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Semiárido, no perímetro irrigado de Bebedouro distante 45 km do município de Petrolina, Pernambuco - PE (Latitude 09° 09' S, Longitude 40° 22' W e Altitude 365,5 m). O solo da área é classificado como Argissolo vermelho amarelo eutrófico. O clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo BSh, caracterizado por altas temperaturas e irregularidade pluviométrica com precipitação média de 407 mm ano⁻¹ (FRANÇA et al., 2017). Os dados referentes à temperatura (máxima, mínima e média) durante o período de execução do experimento (agosto a outubro/2018) foram registrados a partir da estação meteorológica automática da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), instalada no Campus de Ciências Agrárias (Figura 1).

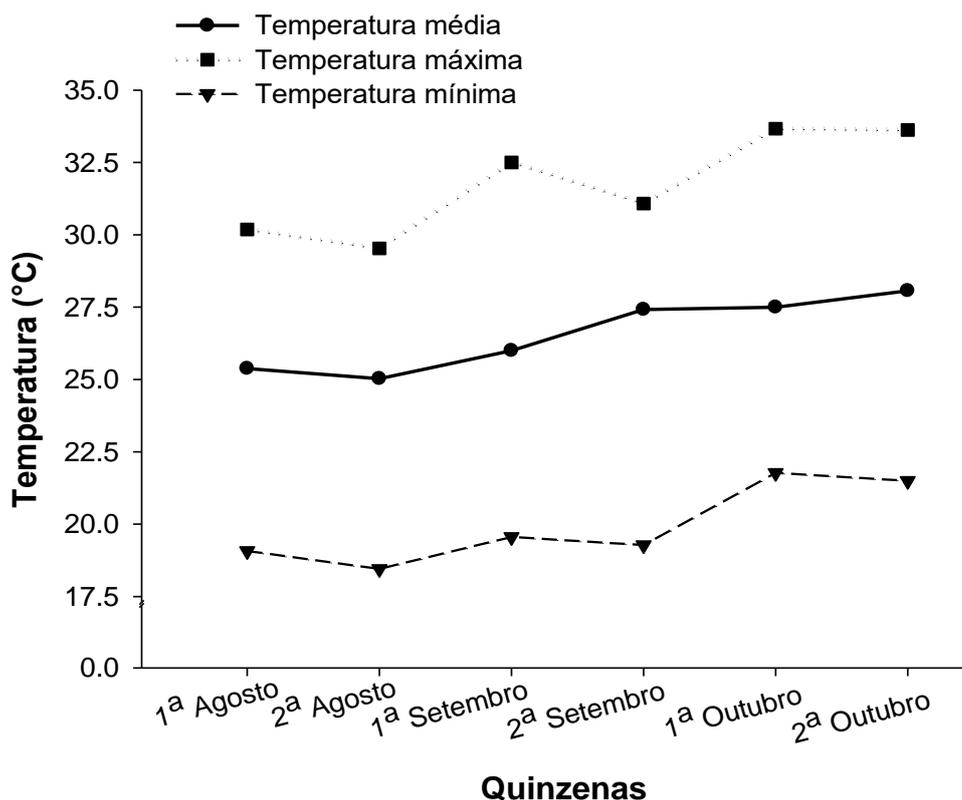


Figura 1. Temperatura máxima, mínima e média do ar registradas durante a condução dos experimentos. Petrolina-PE.

O experimento foi realizado com cebola da variedade Alfa São Francisco. O plantio foi por sementeira e o transplante para a área experimental foi realizado 30 dias após a semeadura, quando as plantas atingiram aproximadamente 20 cm de altura. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram doses dos bioestimulantes Stimulate® e Algamare®: 0 (controle); 1, 2, 3 e 4 L.ha⁻¹. Cada bloco foi composto por 10 parcelas, correspondentes aos bioestimulantes (2) e as doses (5). As parcelas mediam 1,2 m x 1 m; com espaçamento de 0,10m entre plantas e 1 m entre parcelas, no total cada parcela continha 120 plantas. A aplicação dos bioestimulantes foi realizada por fertirrigação utilizando sistema de gotejamento (Figura 1), com três aplicações com intervalo de oito dias, sendo a primeira aplicação dos bioestimulantes início da formação dos bulbos. A composição dos bioestimulantes testados é apresentada na Tabela 4. Além dos tratamentos (bioestimulantes e doses), avaliou-se o efeito do uso dos bioestimulantes ao longo do tempo, com observações 30 e 60 dias após o início da aplicação. Assim,

o arranjo fatorial utilizado foi 3x5 (três tempos de coletas e 5 doses), uma vez que os bioestimulantes foram analisados separadamente.

Para o sistema de irrigação por gotejamento foram utilizadas três linhas de gotejo, com o espaçamento entre linhas de 0,4 m, emissores espaçados em 0,20 m e vazão nominal de 1,7 L.h⁻¹, sob pressão de serviço de 1,0 bar. A irrigação foi baseada na evapotranspiração da cultura (ETc), obtida a partir dos dados de evapotranspiração de referência (ETo) fornecidos pela estação meteorológica instalada próxima à área experimental. Para os cálculos foram utilizados o Modelo de Penman-Monteith e o coeficiente para cultura proposto por Pinto et al. (2007), de acordo com as fases fenológicas da planta.

Tabela 4 - Composição dos bioestimulantes aplicados na cultura da cebola.

Stimulate®	mg.L ⁻¹	Algamare®	(mL.L ⁻¹)
Ácido indolbutírico (auxina)	50	Extrato de alga <i>Ascophyllum nodosum</i>	290
Cinetina (citocinina)	90	Potássio	53
Ácido giberélico (giberelina)	50	Carbono orgânico total	70
Materiais inertes	99,98	Ácido cítrico	13
		Índice salino	20

Figura 2. Aplicação das doses de bioestimulantes na cultura da cebola



Fonte: Silva, T.S.

3.2. Coleta, preparação e identificação das amostras solos

Três coletas de amostras de solo foram realizadas: i. inicial - antes da aplicação dos bioestimulantes; após ii. 30 e iii. 60 dias da aplicação dos bioestimulantes. Em cada parcela foram coletadas quatro amostras simples para formar uma amostra composta (profundidade de 0-20 cm). Após a coleta, as amostras de solo foram levadas ao laboratório de Microbiologia do Campus de Ciências Agrárias da Univasf; parte do solo foi armazenada a 4 °C para preservar a atividade biológica e posterior análise microbiológica. Para as análises químicas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm.

3.3 Propriedades microbiológicas

O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM) foram mensurados pelo método de irradiação - extração (ISLAM e WEIL, 1998; SILVA et al., 2007). As amostras foram irradiadas em micro-ondas com potência de 120 V (60 Hz), por três minutos para inativação dos micro-organismos e liberação dos componentes celulares. O C e o N foram extraídos das amostras irradiadas e não irradiadas utilizando sulfato de potássio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$). O teor de CBM foi obtido aplicando-se um fator de correção (Kc) de 0,41, enquanto para o NBM utilizou-se o fator de 0,54. A partir dos valores de CBM e NBM foi determinada a razão CBM/NBM.

A respiração basal do solo (RBS) foi mensurada pela quantificação do CO_2 liberado durante sete dias de incubação do solo em sistema fechado (ALEF & NANNIPIERI, 1995). A respiração induzida por substrato (RIS) foi determinada pelo CO_2 evoluído 24h após a adição de glicose a 1% como substrato (JENKINSON e POWLSON, 1976). O CO_2 produzido foi capturado em solução de NaOH e posteriormente titulado com HCl (ALEF; NANNIPIERI, 1995). O quociente metabólico do solo ou $q\text{CO}_2$ (RBS/CBM), o quociente microbiano (CBM/C orgânico) e o índice de eficiência do C ou IEC (SIR/COT) foram calculados de acordo com a proposta de ANDERSON e DOMSCH (1985); SPARLING (1997) e KOOCH et al, (2018), respectivamente.

As atividades da β -glicosidade (EVAZI; TABATABAI, 1988) e fosfatase (TABATABAI; BREMMER, 1969) foram determinadas pela liberação do *p*-nitrofenol após incubação do solo com os substratos específicos (*p*-nitrofenol- β -D-glicopiranosídeo, *p*-nitrofenil fosfato e respectivamente). A atividade das enzimas foi avaliada a 37 °C por 1h. A atividade da urease foi mensurada por determinação da amônia liberada após a incubação do solo com solução de ureia por 2h a 37 °C (KANDELER; GERBER, 1988). A atividade da desidrogenase foi mensurada como a taxa de redução do cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) para trifenilformazan (TFF) (CASIDA; KLEIN; SANTORO, 1964). A hidrólise diacetato de fluoresceína (FDA) foi estimada de acordo com Swisher e Carrol (1980) usando tampão fosfato de potássio (66 mM; pH 7,6) e 0,2 mL de solução de diacetato de fluoresceína (0,02 g 10 mL⁻¹ acetona) por 30 min. Os valores das atividades da β -glicosidase e urease foram utilizados para calcular a razão carbono/ nitrogênio, sendo denominada de B/U.

3.4 Propriedades químicas

A determinação do pH do solo foi realizada em solução solo: água (1:2,5). A acidez potencial ($H+Al^{3+}$) foi mensurada após extração com acetato de cálcio (EMBRAPA, 1999). O fósforo e potássio (P e K⁺) foram extraídos com solução Mehlich I, sendo o P quantificado por espectrofotometria o K⁺ por fotometria de chama (SILVA, 2009). O alumínio, o cálcio e o magnésio (Al^{+3} , Ca^{2+} e Mg^{2+}) foram extraídos com cloreto de potássio (KCl 1 N) e quantificados por titulometria (EMBRAPA, 1997; DONOGEMA, 2011). A capacidade de troca de cátions efetiva ($CTC_{efetiva}$) foi determinada pela soma das bases trocáveis (Ca + Mg + Na + K) e dos cátions ácidos ($H + Al^{3+}$). A soma das bases (SB) foi calculada pela soma de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K⁺ trocáveis. A saturação por bases (V%) foi calculada pela razão $SB/CTC_{efetiva}$ (EMBRAPA, 1997). O nitrogênio total do solo foi determinado utilizando o método de digestão com H_2SO_4 e destilação Kjeldhal descrito por BREMNER (1996). O carbono orgânico total foi mensurado por oxidação do carbono por via úmida (WALKLEY-BLACK), conforme TEDESCO; VOLKWEISS; BONHEN (1995). A partir dos valores de COT e NT foi determinada a razão C/N no solo.

3.5 Análise dos dados

Os dados das propriedades do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), precedido de teste F e as médias dos tratamentos comparados pelo teste de Tukey com significância de 5%. Quando identificado efeito de interação entre os fatores as respostas foram exploradas em função da interação. A análise de correlação de Pearson foi realizada para avaliar a correlação entre as propriedades químicas e microbiológicas do solo.

Análises multivariadas

A análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) baseada na distância de Sorensen foi realizada levando em consideração os fatores dose, tempo e dose x tempo de aplicação para os dois bioestimulantes. Esta análise foi realizada para determinar as respostas das variáveis que ocorrem em função das interações. Os valores de p das análises permutacionais foram ajustados pela correção de Bonferroni, dependendo do número de combinações pareadas.

O escalonamento multidimensional não métrico “nonmetric multidimensional scaling” (NMS) foi utilizado para avaliar a distribuição das variáveis em função das doses e do tempo de aplicação (KRUSKAL, 1964). Esse método é apropriado para representar graficamente elementos em espaço de dimensão menor do que o original, levando em consideração a distância ou a dissimilaridade entre os elementos. A análise de e NMS e PERMANOVA foram realizados utilizando o programa PC-ORD 6.0 (MCCUNE; MEFFORD; 2011).

4. RESULTADOS

A análise de variância demonstrou que houve efeito isolado das doses e dos tempos após aplicação dos bioestimulantes sobre a maioria das variáveis microbiológicas e químicas (Tabela 5). Houve interação entre os fatores (dose e o tempo de aplicação) para as variáveis relacionadas à atividade microbiana (RBS, RIS e qCO₂) e enzimática (Urease, Fosfatase e β-glicosidase) e para algumas propriedades químicas do solo (K⁺, Na⁺, CTC, SB, T e V%).

Tabela 5. Análise de variância dos dados das propriedades microbiológicas e químicas com aplicação dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate®

Variáveis	Doses		Tempo		Dose x tempo	
	ALG	STM	ALG	STM	ALG	STM
	Valor de F					
URE	ns	5,99**	5,197**	5,88**	ns	2,99**
NBM	13,953**	5,117**	23,234**	44,688**	ns	ns
CBM/NBM	24,598**	15,7945**	ns	14,8608**	ns	ns
IEC	21,433**	11,7431**	11,0607**	4,8381**	ns	ns
C/N	ns	3,016*	21,949**	16,909**	ns	ns
B/U	ns	ns	79,525**	3,5168*	5,5185**	3,5723**
BETA	2,6319*	ns	89,13918**	ns	6,5687**	2,3159*
CBM	19,15**	12,4562**	3,944**	ns	ns	ns
RIS	8,948**	6,0179**	15,056**	8,7534**	3,194**	2,2015*
RBS	20,506**	7,263**	125,464**	247,267**	ns	11,129**
qCO ₂	86,14**	39,802**	106,984**	162,667**	3,681**	4,058**
qMIC	18,833**	9,0529**	28,572**	5,1511**	3,571**	ns
COT	ns	ns	15,727**	43,99**	ns	ns
FOS	4,771**	10,512**	34,807**	16,682**	4,49**	3,177**
DES	ns	ns	42,222**	62,566**	2,179*	ns
FDA	ns	11,573**	ns	ns	ns	ns
Ca+Mg	ns	ns	31,044**	37,796**	ns	ns
K	9,255**	10,029**	309,478**	225,526**	11,125**	3,481**
Na	ns	3,2208*	64,1997**	155,7711**	ns	5,6759**
P	6,271**	10,865**	32,658**	17,307**	5,897**	ns
pH	ns	5,36**	107,24**	112,65**	ns	ns
NT	3,902**	5,21**	13,689**	6,234**	2,286*	ns
H+Al	ns	ns	39,921**	86,178**	ns	ns
CTC	7,421**	8,44**	287,423**	349,089**	9,345**	2,939**
SB	7,384**	8,268**	298,089**	359,277**	9,461**	2,96**
T	7,421**	8,44**	287,423**	349,089**	9,345**	2,939**
V%	9,4**	4,6**	134,4**	215,8**	12**	7,9**

(*) - *p* significativo a 5% de probabilidade; (**) - *p* significativo a 1% de probabilidade; ns - não significativo; ALG= Algamare®; STM= Stimulate®.

4.1 Efeitos dos fatores doses e tempo de aplicação sobre as variáveis químicas e microbiológicas

As variáveis microbiológicas NBM, IEC, RIS, RBS, qCO₂, qMIC e FOS apresentaram respostas significativas considerando isoladamente os fatores doses e tempo de aplicação dos dois bioestimulantes. Em relação as variáveis químicas, os efeitos isolados dos fatores foram observados em K⁺, P, NT, CTC, SB, T e V% (Tabela 5). Não foram encontradas diferenças significativas com a aplicação das doses de Algamare[®] para URE, C/N, COT, DES, FDA, Ca²⁺+Mg²⁺, Na⁺, pH e H+Al. Enquanto que doses de Stimulate[®], não tiveram efeito sobre a relação B/U, BETA, COT, DES, Ca+Mg e H+ Al. A atividade do FDA não foi influenciada pelo tempo de aplicação dos dois bioestimulantes (Tabela 5). Além disso, verificou-se ausência de efeito do tempo para relação CBM/NBM com o uso do Algamare[®] e da BETA, CBM para Stimulate[®] (Tabela 5).

4.2 Efeitos das interações dos fatores doses x tempo de aplicação sobre as variáveis químicas

Para os dois bioestimulantes testados houve efeito da interação dose x tempo de aplicação para os teores de K⁺, para a capacidade de troca catiônica (CTC), a soma de bases (SB), a CTC efetiva (T) e a Porcentagem de Saturação por Bases da CTC a pH 7,0 (V%). De modo geral, observou-se tendência de redução dos valores com a aplicação dos dois bioestimulantes ao longo do tempo. A redução foi mais acentuada na dose de 2 e 3 L.ha⁻¹ de Algamare[®] e de 1 L.ha⁻¹ de Stimulate[®], esse resultado foi observado para a maioria das variáveis após 30 dias de aplicação. Os valores de K⁺, CTC, SB, T e V% apresentaram tendência de redução após aplicação de Algamare[®] independentemente da dose (Tabela 6). Os valores de SB, K⁺, CTC, e T nas doses 1 e 4 L.ha⁻¹ não diferiram 30 e 60 dias após a aplicação e também não foram observadas variações em relação ao controle.

Os teores de P na dose de 3L.ha⁻¹ de Algamare[®] foram incrementados em 33% após 30 dias de aplicação, embora não tenha sido observado diferença significativa em comparação as demais doses (Tabela 6). Para o NT verificou-se

que após 30 e 60 dias de aplicação das doses 1 e 4 L.ha⁻¹ de Algamare[®] houve diferença estatística entre os valores encontrados e após 60 dias de aplicação este efeito é suprimido, apenas na dose de 2 L.ha⁻¹ ocorreu incremento de 6,4% após 60 dias de aplicação (Tabela 6).

Tabela 6. Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis químicas para o bioestimulante Algamare[®]

Variável	Coleta	Doses (L.ha ⁻¹)				
		0	1	2	3	4
P	AA	7,8±0,35 aB	11,5±1,57 aA	11,0±0,78 aA	6,8±0,80 aB	7,14±0,93 aB
	30-AA	6,6±0,50 aA	6,3±0,11 bAB	5,59±0,53 bAB	3,71±0,26 bB	4,85±0,52 aAB
	60-AA	6,8±0,50 aAB	6,5±0,29 bAB	7,17±0,42 bAB	9,05±0,79 aA	5,3±0,25 aB
K ⁺	AA	75,5±4,28 aAB	78,75±2,56 aA	70,25±1,75aAB	64,75±3,22 aB	47,75±2,49 aC
	30-AA	25,75±2,86 bAB	32,75±1,54bA	15,5±1,84cBC	11,5±0,86 cC	32,0±5,33 bA
	60-AA	33,25±3,10 bAB	26,75±0,47 bB	41,0±3,43 bA	26±2,67 bB	30,0±4,06 bAB
CTC	AA	88,7±4,45 aA	92,08±3,57 aA	86,3±3,73 aA	78,06±2,10 aA	59,11±2,37aB
	30-AA	32,5±3,03bAB	39,71±1,61 bA	22,5±2,44 cBC	16,44±0,87 cC	39,54±6,85 bA
	60-AA	42,4±3,40 bAB	34,78±1,15 bB	51,03±4,29 bA	35,49±2,68 bB	38,53±5,18 bAB
SB	AA	87,48±4,43 aA	90,6±3,38aA	84,9±3,65aA	76,9±1,95 aA	57,9±2,53 aB
	30-AA	30,57±3,06 bAB	38,1±1,58 bA	20,5±2,44 cBC	14,6±0,91cC	37,8±6,80 bA
	60-AA	40,58±3,39bAB	32,8±1,07bB	49,01±4,32 bA	33,4±2,72 bB	36,5±5,17 bAB
T	AA	88,74±4,45 aA	92,08±3,57 aA	86,39±3,73 aA	78,0±2,10 aA	59,11±2,37 aB
	30-AA	32,50±3,03 bAB	39,7±1,61 bA	22,55±2,44 cBC	16,4±0,87 cC	39,54±6,85bA
	60-AA	42,38±3,40 bAB	34,78±1,15 bB	51,03±4,29bA	35,49±2,68 bB	38,53±5,18 bAB
V%	AA	98,56±0,77 aA	98,42±0,22 aA	98,32±0,15 aA	98,60±0,24 aA	98,03±0,43 aA
	30-AA	93,86±0,69 cB	95,91±0,11bA	91,02±0,97cC	89,21±0,85cC	95,39±0,62 bAB
	60-AA	95,67±0,34 bA	94,28±0,22 bA	95,95±0,38 bA	94,21±0,53 bA	94,53±0,72 bA
NT	AA	0,056±0,00aB	0,074±0,00 aA	0,062±0,00 aAB	0,066±0,00 aAB	0,064±0,00 aAB
	30-AA	0,050±0,00 aB	0,053±0,00 bAB	0,05±0,00 aAB	0,063±0,00 aA	0,052±0,00 bAB
	60-AA	0,061±0,00 aA	0,060±0,00 bA	0,066±0,00 aA	0,064±0,00 aA	0,059±0,00 abA

AA= antes da aplicação; 30-AA= 30 dias após a aplicação; 60-AA= 60 dias após a aplicação. P (mg kg⁻¹), K⁺ (cmolc kg⁻¹), CTC (cmolc kg⁻¹), SB (cmolc kg⁻¹), T (cmolc kg⁻¹), V (%), NT (g kg⁻¹). Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Após 30 dias da aplicação do bioestimulante Stimulate[®] houve redução dos teores de K⁺, Na⁺, CTC, SB, T, V% (Tabela 7). Na avaliação após 60 dias, a maioria dos valores foram semelhantes aos observados na avaliação anterior (30 dias), no entanto houve ligeiro incremento nas médias, especialmente nas doses

de 1 e 2 L.ha⁻¹ do produto, porém, não houve diferença significativa em comparação ao controle (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis químicas para o bioestimulante Stimulate®

Variável	Coleta	Doses (L.ha ⁻¹)				
		0	1	2	3	4
K ⁺	AA	75,5±17,14 aA	76,5±11,48 aA	56,75±27,77 aB	56,62±17,91 aB	49,25±26,14 aB
	30-AA	25,75±11,47 bA	10,7±4,43 cB	14,25±7,18 cAB	13,25±7,18 bAB	17,75±9,71 bAB
	60-AA	33,25±12,04 bA	33,25±9,43 bA	29,05±15,70 bA	23,75±9,14 bA	19,75±3,78 bA
Na ⁺	AA	8,6±2,49 aB	11,25±8,38 aB	19,5±11,94 aA	17,05±5,77 aA	12,5±6,21 aB
	30-AA	2,62±0,86 bA	1,25±1,00 bA	1,0±0,00 bA	1,25±1,00 bA	1,5±2,00 bA
	60-AA	3,75±1,94 bA	4,0±3,65 bA	3,25±4,12 bA	2,5±3,82 bA	2,25±1,00 bA
CTC	AA	88,74±17,73 aA	92,08±11,16 aA	80,30±23,25 aAB	78,07±21,16 aAB	65,63±24,18 aB
	30-AA	32,50±12,14 bA	15,91±4,08 cB	19,25±7,08 cAB	31,27±8,29 bAB	23,1±8,06 bAB
	60-AA	42,38±13,60 bAB	42,48±13,54 bA	38,18±19,82 bAB	18,96±10,44 bAB	27,40±4,41 bB
SB	AA	87,48±17,73 aA	90,82±11,17 aA	79,32±23,44 aAB	76,99±21,18 aAB	64,67±24,19 aB
	30-AA	30,57±12,25 bA	14,04±3,82 cB	17,34±7,42 cAB	17,22±8,05 bAB	21,58±8,19 bAB
	60-AA	40,58±13,59 bAB	40,78±12,99 bA	36,31±19,51 bAB	29,49±10,06 bAB	25,54±4,16 bB
T	AA	88,74±17,82 aA	92,08±11,16 aA	80,30±23,25 aAB	78,07±21,16 aAB	65,63±24,18 aB
	30-AA	32,50±12,14 bA	15,91±4,08 cB	19,25±7,08 cAB	18,96±8,29 bAB	23,17±8,06 bAB
	60-AA	42,82±13,60 bAB	42,48±13,54 bA	38,18±19,82 bAB	31,27±10,44 bAB	27,40±4,41 bB
V%	AA	98,56±0,30 aA	98,63±0,43 aA	98,74±0,69 aA	98,59±0,48 aA	98,46±1,20 aA
	30-AA	93,86±2,79 bA	88,14±1,87 cC	89,68±5,30 cBC	90,60±4,75 cB	92,95±2,99 bA
	60-AA	95,67±1,38 bA	95,97±0,97 bA	94,94±1,65 bAB	94,28±0,97 bAB	93,20±0,24 bB

AA= antes da aplicação; 30-AA= 30 dias após a aplicação; 60-AA= 60 dias após a aplicação. K⁺ (cmolc kg⁻¹), Na⁺ (cmolc kg⁻¹), CTC (cmolc kg⁻¹), SB (cmolc kg⁻¹), T (cmolc kg⁻¹), V (%). Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4.3. Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis microbiológicas

A análise de variância demonstrou que as variáveis qCO₂, RIS, BETA, FOS e a razão B/U foram influenciadas pela interação das doses dos bioestimulantes e pelo tempo de aplicação (Tabela 5). A partir da adição de Algamare® foi possível observar efeito significativo nos valores de BETA, B/U e

qCO₂, que tiveram aumento após a aplicação em comparação com o controle (dose 0), mas não diferiram entre as doses, exceto o qCO₂ que apresentou variação entre as doses na avaliação realizada aos 30 dias (Figura 3). Por outro lado, o qMIC diminuiu significativamente com aplicação das doses de Algamare® aos 30 dias de aplicação. De modo geral, a RIS foi influenciada a longo prazo, uma vez que houve uma tendência a aumento observadas somente 60 dias após a aplicação (Figura 3). Aumento na atividade da FOS foi registrado somente 60 dias após a aplicação de Algamare® na maior dose (4 L.ha⁻¹). Para DES observou-se aumento na atividade com a introdução do bioestimulante, com o efeito da dose constatada apenas aos 30 dias de aplicação (Figura 3).

A aplicação do Stimulate® proporcionou aumento dos valores médios da RIS e URE, principalmente nas doses 3 e 4 L.ha⁻¹, no entanto diferenças significativas foram encontradas apenas 60 dias após a aplicação. De modo semelhante, aumento na RBS em resposta a introdução de Stimulate® também foi constatado somente 60 dias após a aplicação (Figura 4). Embora seja possível verificar aumento nos valores de qCO₂ ao longo do tempo, constatou-se que a aplicação de doses crescentes de Stimulate® reduziu o quociente metabólico.

Para a atividade da FOS, observou-se inicialmente (30 dias) que a aplicação do Stimulate® reduziu a atividade na dose de 1 L.ha⁻¹, no entanto aos 60 dias houve aumento da atividade, sobretudo com a aplicação de 4 L.ha⁻¹ (Figura 4). A relação B/U diferiu no tempo somente nas doses 1 e 3 L.ha⁻¹, porém com respostas distintas, enquanto na dose de 1 L.ha⁻¹ registou-se aumento na razão B/U após 60 dias, na dose de 3 L.ha⁻¹ houve diminuição (Figura 4).

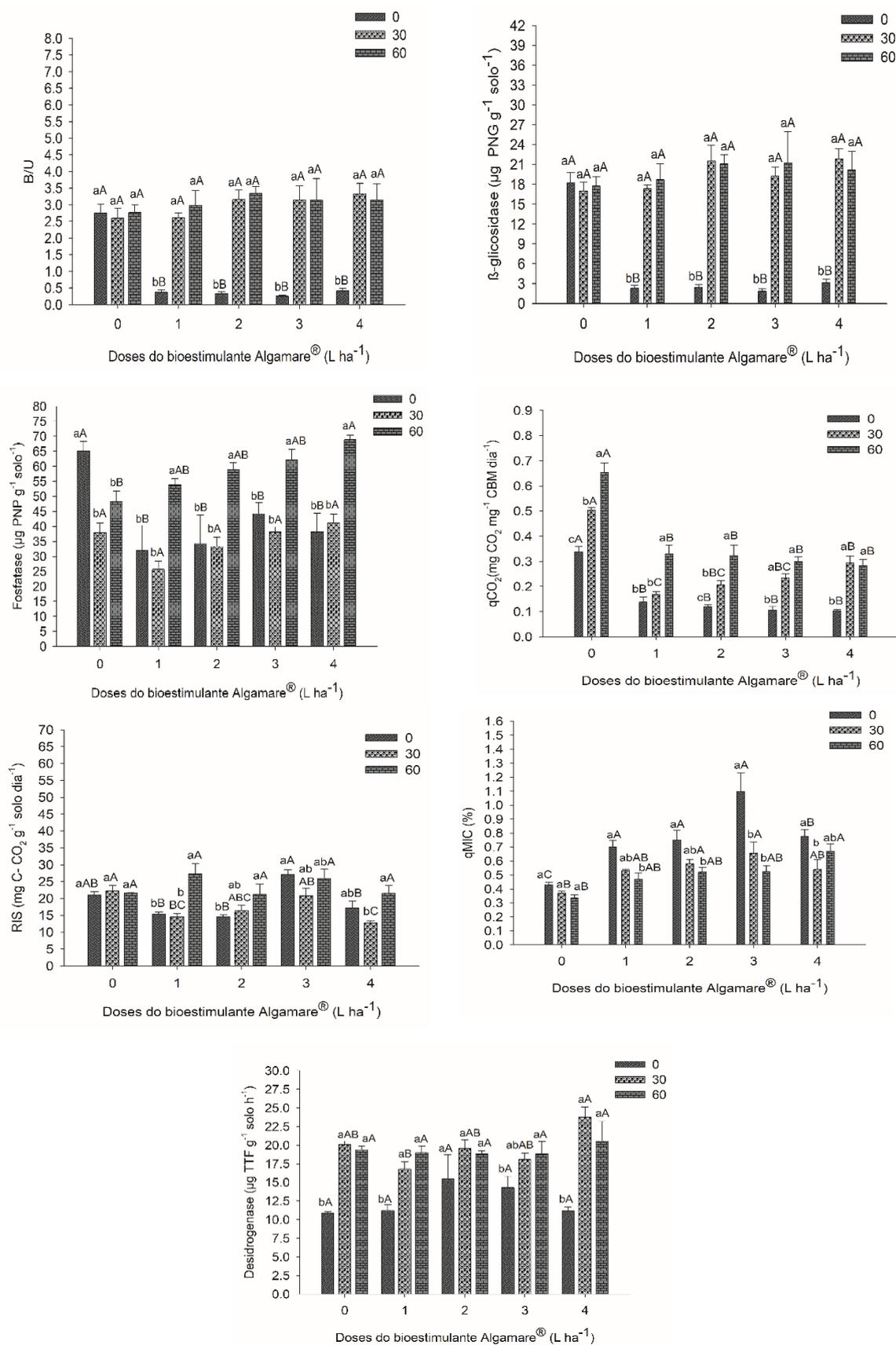


Figura 3. Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis microbiológicas para o bioestimulante Algamare®. Barras seguidas com a mesma letra não diferem significativamente entre si. Maiúscula comparam as doses em cada tempo e minúscula comparam tempo dentro de cada dose.

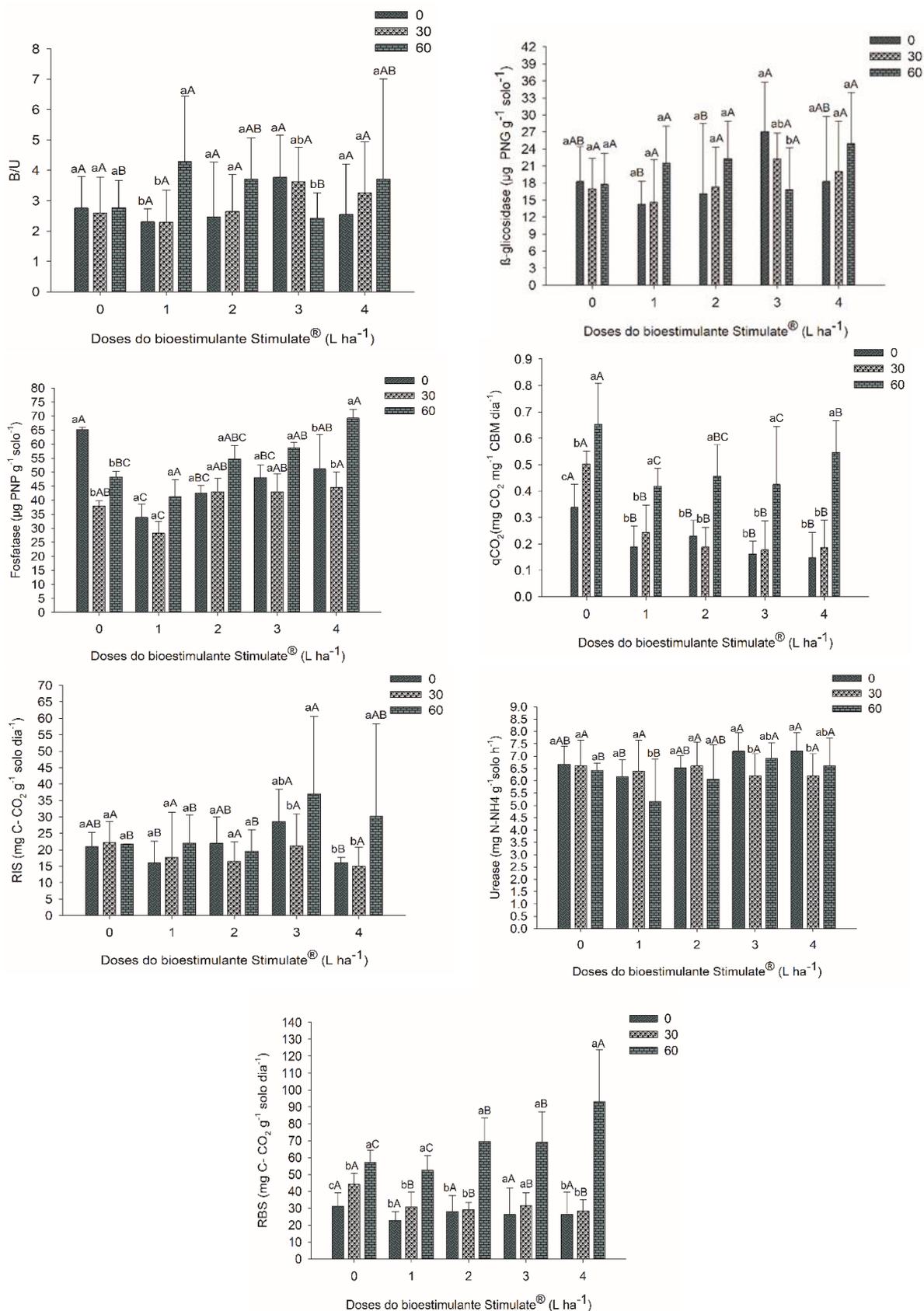


Figura 4. Efeito da interação dos fatores dose x tempo de aplicação sobre as variáveis microbiológicas com para o bioestimulante Stimulate®. Barras seguidas com a mesma letra não diferem significativamente entre si. Maiúscula comparam as doses em cada tempo e minúscula comparam tempo dentro de cada dose.

4.4. Análise multivariada das variáveis químicas e microbiológicas

Para o conjunto de dados das propriedades microbiológicas e químicas, as análises permutacionais demonstram que as interações doses x tempo foram significativas para os dois bioestimulantes. No entanto, para Stimulate® as mudanças promovidas nas propriedades do solo pela interação dos fatores foram de menor magnitude ($p= 0,016$) do que em Algamare ($p= 0,0009$) (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores de p para as comparações da PERMANOVA dos fatores e a interação entre dose x tempo de aplicação

	Algamare®	Stimulate®
Doses	0,0005***	0,0001***
Tempo de aplicação	0,0001***	0,0001***
Doses X Tempo	0,0009***	0,0160*

(*) significância a $p<0,05$; (***) significância a $p<0,001$.

As análises permutacionais realizadas para visualizar os efeitos da interação para cada um dos bioestimulantes, permitiram observar diferenças significativas após a correção de Bonferroni (correção para múltiplas comparações) entre a dose 0 e as doses 2, 3 e 4 L.ha⁻¹ de Algamare®. Resposta semelhante foi observada para Stimulate® (Tabela 9; Figura 4). A dose de 1 L.ha⁻¹ diferiu das doses 3 e 4 L.ha⁻¹ para os dois bioestimulantes, entretanto, as doses 2, 3 e 4 L.ha⁻¹ não foram significativamente diferentes em nenhum dos bioestimulantes, sugerindo que quaisquer comparações entre esses grupos não têm validade.

No presente trabalho, as análises de NMS foram realizadas para avaliar as alterações nas variáveis químicas e microbiológicas. As ordenações mostraram que as amostras foram agrupadas em função dos tempos de aplicação 0, 30 e 60 dias. É possível perceber nos gráficos NMS que há clara separação entre os tempos de aplicação para os dois bioestimulantes (Figura 4) essa tendência observada foi confirmada pela análise de PERMANOVA (Tabela 9).

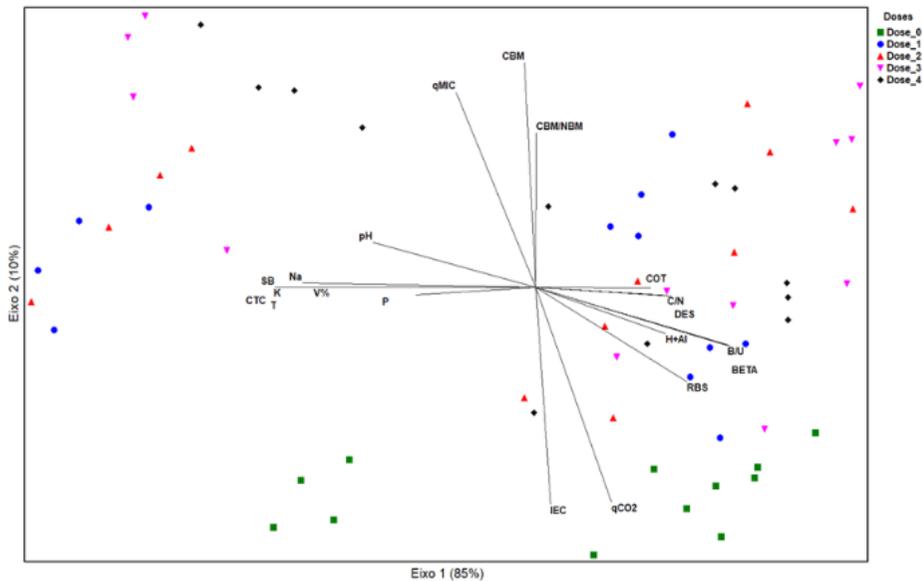
Tabela 9 - PERMANOVA fatorial da interação entre os fatores dose x tempo de aplicação dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate®

Tempo X Doses	Valor de p	Tempo X Doses	Valor de p
Con D_0 x Alg D_1	0,0001	Con D_0 x Sti D_1	0,0001
Con D_0 X Alg D_2	0,0001	Con D_0 X Sti D_2	0,0001
Con D_0 X Alg D_3	0,0001	Con D_0 X Sti D_3	0,0001
Con D_0 X Alg D_4	0,0001	Con D_0 X Sti D_4	0,0001
Alg D_1 X Alg D_2	0,137 ^{ns}	Sti D_1 X Sti D_2	0,031 ^{ns}
Alg D_1 X Alg D_3	0,002	Sti D_1 X Sti D_3	0,0001
Alg D_1 X Alg D_4	0,009 ^{ns}	Sti D_1 X Sti D_4	0,020 ^{ns}
Alg D_2 X Alg D_3	0,020 ^{ns}	Sti D_2 X Sti D_3	0,019 ^{ns}
Alg D_2 X Alg D_4	0,076 ^{ns}	Sti D_2 X Sti D_4	0,066 ^{ns}
Alg D_3 X Alg D_4	0,0249 ^{ns}	Sti D_3 X Sti D_4	0,0529 ^{ns}

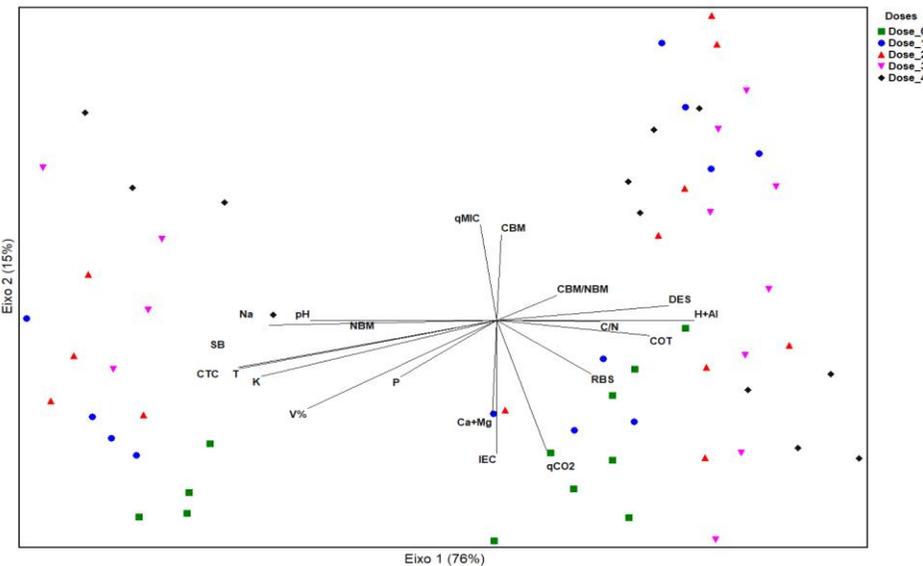
Correção de Bonferroni ($p < 0,003$); ns-não significativo; Con= Controle dose 0; Alg D_1= Algamare dose 1 L.ha⁻¹; Alg D_2= Algamare dose 2 L.ha⁻¹; Alg D_3= Algamare dose 3 L.ha⁻¹; Alg D_4= Algamare dose 4 L.ha⁻¹; Sti D_1 =Stimulate dose 1 L.ha⁻¹; Sti D_2 =Stimulate dose 2 L.ha⁻¹; Sti D_3= Stimulate dose 3 L.ha⁻¹; Sti D_4= Stimulate dose 4 L.ha⁻¹.

As ordenações NMS utilizadas para representar a dissimilaridade entre as doses demonstraram que a dose 0 (sem aplicação) difere das demais doses, resposta que é suportada pela PERMANOVA (dados não apresentados). Essa resposta foi evidenciada para os dois bioestimulantes testados. Quando analisados o gráfico NMS com os fatores dose e tempo de aplicação de cada bioestimulante é possível observar diferenças entre todos os períodos avaliados: Antes da aplicação, 30 e 60 dias após a aplicação ($p \leq 0,001$), no entanto essa diferença não ocorre para todas as doses (Figura 4), resultado previamente evidenciado pela PERMANOVA (Tabela 9).

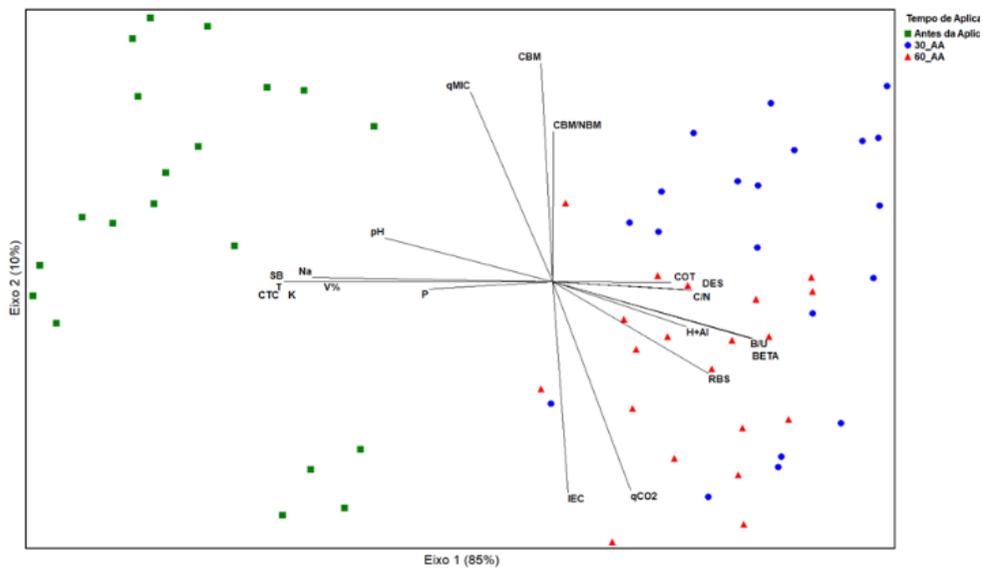
Figura 5. Mudanças nas propriedades microbiológicas do solo em resposta a aplicação das doses e tempo de aplicação dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate® de acordo com a ordenação NMS



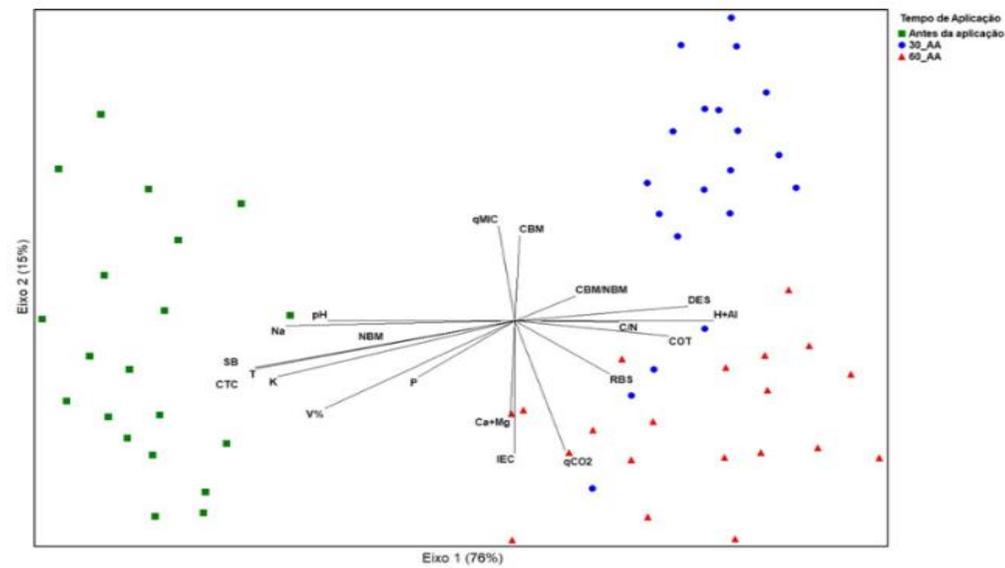
a) Doses Algamare®



c) Doses Stimulate®



b) Tempo de aplicação Algamare®



d) Tempo de aplicação Stimulate®

Análise de Correlação

Todas as variáveis biológicas analisadas foram correlacionadas com pelo menos uma das variáveis químicas (Tabela 10). Correlações positivas fracas foram encontradas entre a RIS e o $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ e negativamente com o COT. A RBS se correlacionou com todas as variáveis químicas, exceto o $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, correlação mais forte foi observada entre RBS e o COT, que foram negativamente correlacionados. Correlações fracas e positivas foram observadas entre o qCO_2 e $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ e H+Al. Enquanto, correlações negativas foram observadas entre o qCO_2 e o K^+ , Na^+ , pH, CTC, SB e P. O qMIC , correlacionou-se moderada e positivamente com a variável H+Al, e negativamente com as variáveis K^+ , Na^+ , pH, CTC, SB e T. Fraca correlação negativa também foi observada entre o qMIC e o teor de P.

A enzima β -glicosidase correlacionou-se fraca e negativamente com as variáveis K^+ , P, pH, C/N, CTC, SB e T (Tabela 10). Baixa correlação positiva foi observada entre essa variável biológica e o H+Al. Ao contrário do ocorrido com a β -glicosidase, as correlações entre a URE e as variáveis K^+ , pH, C/N, CTC, SB e T foram positivas, enquanto a correlação entre o H+Al foi negativa. Baixas correlações negativas foram observadas entre a FOS e as variáveis pH e P. Correlações baixas e positivas foram observadas entre a FOS e o $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, H+Al e COT (Tabela 10).

A enzima desidrogenase (DES) foi a variável biológica mais fortemente correlacionada com as variáveis químicas, sendo possível observar correlações positivas acima de 0,5 entre a DES e o H+Al e negativas entre a DES e as variáveis K^+ , Na^+ , C/N, CTC, SB e T. A DES correlacionou-se de forma mais fraca, negativamente com o P e positivamente com o COT. Dentre as enzimas avaliadas a hidrólise do FDA foi a que menos se correlacionou com as variáveis químicas (Tabela 10).

Tabela 10. Correlação de Pearson entre as propriedades químicas e microbiológicas do solo sob aplicações de dois bioestimulantes

	qMIC	RBS	BETA	DES	qCO ₂	URE	FOS	FDA	RIS
H+Al3+	0,58**	0,44**	0,28**	0,52**	0,43**	-0,20	0,20	-0,19	ns
pH	-0,57**	-0,33**	-0,31**	-0,56**	-0,50**	0,30**	-0,20	ns	ns
K+	-0,51**	0,36**	-0,46**	-0,66**	-0,30**	0,20	ns	ns	ns
CTC	-0,54**	-0,43**	-0,42**	-0,67**	-0,31**	0,22	ns	ns	ns
SB	-0,55**	-0,43**	-0,42**	-0,68**	-0,31**	0,22	ns	ns	ns
T	-0,54**	-0,43**	-0,42**	-0,67**	-0,31**	0,22	ns	ns	ns
Na+	-0,57**	-0,43**	ns	-0,61**	-0,33**	0,25	ns	ns	ns
P	-0,33**	-0,39**	-0,47**	-0,46**	ns	ns	-0,24	-0,33**	ns
C/N	ns	-0,47**	-0,26**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	-0,43**	-0,57**	0,30**	0,40**	ns	ns	0,25**	ns	-0,33**
V%	-0,41**	-0,25**	-0,30**	-0,53**	ns	ns	ns	ns	ns
Ca²⁺+Mg²⁺	ns	ns	ns	ns	0,32**	ns	0,38**	ns	0,19

P (mg kg⁻¹), K⁺ (cmol_c kg⁻¹), CTC (cmol_c kg⁻¹), SB (cmol_c kg⁻¹), T (cmol_c kg⁻¹), V (%), NT (g kg⁻¹), Na⁺ (cmol_c kg⁻¹), pH_L (H₂O), H+Al³⁺ (cmol_c kg⁻¹), COT(g kg⁻¹), C/N, qMIC(%), RBS (mg C-CO₂g⁻¹solo dia⁻¹), BETA (µg PNGg⁻¹solo⁻¹), DES(µg TTFg⁻¹solo⁻¹), qCO₂(mg CO₂mg⁻¹CBM dia⁻¹), URE(mg N-NH₄g⁻¹solo⁻¹), FOS(µg PNPg⁻¹solo⁻¹), FDA, RIS(mg C-CO₂g⁻¹solo dia⁻¹). Valores descritos na tabela indicam correlação significativa a 5% de probabilidade

5. DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que as doses e os tempos de aplicação dos bioestimulantes influenciaram a atividade microbiológica e as propriedades químicas do solo. De modo geral, foi possível observar que as variáveis K^+ , CTC, SB e T apresentaram redução após 30 dias de aplicação dos bioestimulantes nas doses 2 e 3 $L\cdot ha^{-1}$ de Algamare[®] e 1 e 2 de Stimulate[®] $L\cdot ha^{-1}$. Provavelmente, os bioestimulantes influenciaram a absorção de nutrientes do solo devido ao fornecimento de hormônios vegetais como a auxina (o extrato de *A. nodosum* é rico em hormônios vegetais) que estimula o enraizamento e o desenvolvimento do sistema radicular (NISHIMURA et al., 2004; DANTAS et al., 2012). Assim, a planta com sistema radicular bem desenvolvido teria possibilidade de absorver maior quantidade de água e sais minerais (ALAM et al., 2013; TAIZ et al., 2017), devido ao aumento da superfície de contato solo-planta. As citocinas também desempenham papel relevante no aumento do número de raízes e na mobilização de nutrientes, principalmente quando interagem com auxinas (NISHIMURA et al., 2004). Considerando os efeitos dos hormônios vegetais (citocinas, giberelinas e auxinas), Guney et al. (2017) verificaram maior número de raízes e maior capacidade de absorver nutrientes por interceptação radicular em lírio (*Lilium martagon* L).

O conceito atualmente aceito de hormônios vegetais sugere que esses compostos podem influenciar os processos fisiológicos em baixas concentrações e podem inibir em concentrações mais elevadas (MOTERLE et al., 2015; SPADONI, 2015). No geral, os resultados indicam que no período de tempo avaliado, a aplicação de Algamare[®] e Stimulate[®] pode ter tido impacto na absorção de nutrientes e que a redução de nutrientes e de indicadores de fertilidade do solo (CTC, SB, V%) devem ser investigados a longo prazo visando acompanhar a dinâmica desses nutrientes e a avaliar a contribuição dos bioestimulantes sob condições semiáridas.

Neste estudo, a aplicação de Algamare[®] promoveu diferença significativa nos teores de P e NT aos 60 dias de aplicação especialmente nas doses 2 e 3 $L\cdot ha^{-1}$. Vale ressaltar que, o extrato da alga *A. nodosum* possui polissacarídeos e compostos nitrogenados que contribuem para o estoque de carbono e

nitrogênio do solo e também disponibilizam nutrientes secundários e compostos bioativos (hormônios) com efeitos benéficos que melhoram o crescimento e o rendimento de culturas agrícolas e hortícolas (PACHOLCZAK et al., 2016; COSTA et al., 2013; DAPPER et al., 2014; BATTACHARYYA et al., 2015). Investigando os efeitos do extrato de alga marinha, CHEN et al. (2020) verificaram maior conteúdo de nitrato e nitrogênio amoniacal nos solos cultivados com milho e tratados com o extrato de algas marinhas em comparação ao controle, no entanto verificaram redução dos valores de NT. Segundo os autores, os extratos de alga podem afetar diferentes formas de N e promover efeitos que estão associados à composição da comunidade microbiana.

Diversos fatores podem influenciar a atividade e a composição da comunidade biomassa microbiana do solo após a aplicação de biofertilizantes, tais como o tempo de amostragem, as propriedades químicas do solo, a razão C/N, o status fisiológico da planta (BERG; SMALLA, 2009; ALAM et al., 2014; WAG et al., 2018; CHEN et al., 2020). Estudos indicaram que a temperatura, a umidade e o pH do solo, bem como a textura do solo, devem ser levados em consideração na avaliação dos efeitos dos biofertilizantes e bioestimulantes na atividade biológica do solo.

A resposta positiva na atividade da desidrogenase com a aplicação de Algamare® pode refletir aumento na proporção de micro-organismos ativos em relação aos dormentes (KLOSE; TABATABAI, 2000; BURNS et al., 2013). A atividade da desidrogenase indica a presença de células microbianas viáveis e sua capacidade de oxidação da matéria orgânica no solo (TEJADA et al., 2011, NANNIPIERI et al., 2018). Nossos resultados demonstraram que a atividade desidrogenase foi influenciada somente pelo bioestimulante Algamare®, independente das doses. Essa observação de maior atividade da desidrogenase com a adição de biofertilizante também foi encontrada por Chu et al. (2007), que observaram aumento significativo da desidrogenase após a aplicação das maiores doses de bioestimulante a base de esterco e extrato de alga. O aumento das variáveis envolvidas na ciclagem do carbono, como a atividade da desidrogenase, pode ser atribuído a estimulação da biomassa microbiana por disponibilidade aprimorada de recursos, bem como de possíveis mudanças na

comunidade microbiana (LOVIENOET al., 2009; TEJADA et al., 2009; ADETUNJI et al., 2017).

A aplicação de Stimulate® ao longo do tempo promoveu mudanças na atividade da urease resultando em diminuição da mineralização do N no solo, provavelmente devido à limitação da concentração de formas lábeis de N e/ou selecionando micro-organismos com baixa atividade ureolítica. No entanto, essa observação deve ser investigada, pois a urease catalisa apenas uma etapa específica do ciclo N e sua mensuração não representa a taxa geral de mineralização de N orgânico, conforme destacado recentemente por Nannipieri et al. (2018). A RBS foi estimulada com a aplicação das doses de Stimulate® esse comportamento pode indicar uma mudança na comunidade microbiana. No presente estudo, a possível mudança na comunidade pode ser refletida no declínio do qCO₂ com aplicação das diferentes doses. O quociente metabólico fornece informações sobre os requisitos catabólicos da comunidade microbiana por um curto período (Anderson e Domsch, 1990, Anderson e Domsch, 2010), assim, o declínio pode indicar o estabelecimento de uma comunidade microbiana que requer menos energia para sobreviver.

A curto prazo (30 dias), a aplicação de Stimulate® desencadeou respostas diferentes na RIS e qCO₂ em relação à antes da aplicação. Ao final do período de avaliação (60 dias), a RIS, qCO₂, a atividade fosfatase e desidrogenase foram incrementados pelo uso do Algamare®. Esses resultados corroboram os observados pela análise de NMS que permite uma clara separação entre os tempos de aplicação. A exploração dos dados com métodos de estatística multivariada que consideram as amostras e as variáveis em conjunto, permitiu extrair informações complementares, evidenciadas, em parte, pelas análises univariadas.

A análise de NMS demonstrou que as diferenças entre o tempo 0 (antes da aplicação) em relação aos períodos de 30 e 60 dias estão diretamente relacionadas às variáveis químicas, tanto em Algamare® quanto em Stimulate®. Por outro lado, as mudanças ocorridas após a aplicação foram fortemente associadas às modificações nas propriedades microbiológicas. A β-glicosidase, a RBS, o qCO₂ foram as variáveis mais influenciadas pela aplicação dos

bioestimulantes, permitindo diferenciar os efeitos em função do tempo de aplicação para Algamare® e Stimulate®. Esse resultado indica que (quantidade e/ou qualidade) é um dos principais fatores responsáveis por alterações na biomassa microbiana do solo quando estes são tratados com bioestimulantes (ADETUNJI et al., 2017). No presente trabalho, a atividade da desidrogenase, β -glicosidase, RBS, COT e o $H+Al^{3+}$ foram variáveis que contribuíram para distinção dos períodos 30 e 60 dias após aplicação de Algamare®. Por outro lado, acidez potencial ($H+Al^{3+}$), a RBS e o COT foram mais importantes para separação dos tempos de aplicação após uso do Stimulate® (Figura 4). O impacto diferencial do tempo de aplicação dos bioestimulantes sobre a atividade metabólica dos micro-organismos do solo tem sido relatado em outros estudos.

As atividades da desidrogenase, da urease e da celulase no solo aumentaram significativamente após 3, 8 e 13 dias da aplicação de fertilizante a base de alga no solo da rizosfera de milho (Chen et al., 2018). Segundo os autores, as diferentes formas de nitrogênio e o carbono encontradas no solo tiveram forte influência nas atividades enzimáticas. Em estudo conduzido no campo com tomate para avaliar a aplicação de bioestimulante de alga marinha *Sargassum horneri* na composição da comunidade microbiana do solo, Wang et al. (2018) observaram que a diversidade bacteriana foi influenciada 60 dias após a aplicação, o que foi refletido na atividade enzimática do solo. Os efeitos da aplicação de dois bioestimulantes Grozyme® e W91 (produto experimental não comercializado), composto por nutrientes minerais e fermentações microbianas, em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) foram avaliados por Chen et al. (2003). Em curto prazo (oito dias), o Grozyme® estimulou a respiração induzida por substrato e a atividade da desidrogenase, enquanto a médio prazo foi verificado inibição da atividade da desidrogenase. Desse modo, os resultados obtidos no presente estudo reforçam a importância do fator tempo de aplicação para acompanhar as mudanças na atividade microbiana, sugerindo que avaliações a longo prazo podem contribuir efetivamente para melhor compreensão dos efeitos dos bioestimulantes.

Além do fator tempo de aplicação, a temperatura mais elevada registrada no último mês de experimento (período de 60 dias após a aplicação) (Figura 1) pode ter contribuído para maior atividade microbiana no solo. A temperatura é

um fator limitante do metabolismo microbiano e também influencia a estrutura e composição das comunidades microbianas, juntamente com as funções que são desempenhadas, como atividades enzimáticas e taxa respiratória (Yang et al., 2017; SILVA et al., 2010).

A maioria das propriedades biológicas apresentaram correlação significativa com a CTC, SB, T e o V%, sendo a maioria negativa, Provavelmente, as limitações no uso mais eficiente do carbono e da menor imobilização de N da biomassa microbiana são associadas a menor troca de cátions no solo, demonstrando que as propriedades químicas influenciam o funcionamento microbiológico do solo. Correlações positivas foram observadas apenas entre o qMIC e NBM e essas variáveis. Estudos sobre os efeitos no solo do uso dos bioestimulantes vegetais indicam que esses produtos podem influenciar as conversões do nitrogênio, a atividade de enzimas do solo e consequente a ciclagem de nutrientes (CHEN et al., 2020; TEJADA et al., 2011, TEJADA et al., 2014).

O qCO₂ foi positivamente correlacionado com a acidez potencial e o teor de Ca²⁺Mg²⁺, sugerindo que o aumento nessas variáveis causa efeitos negativos na biomassa microbiana. A correlação positiva das enzimas β- glicosidase e desidrogenase com o COT observado no presente trabalho, é frequentemente descrita em trabalhos com a aplicação de bioestimulantes (Chen et al., 2020, Wang et al., 2018). Em curto prazo, a aplicação do bioestimulante Grozyme[®] estimulou a atividade da desidrogenase, que apresentou correlação positiva com o COT, porém, a atividade da urease foi correlacionada negativamente com o teor de COT, como observado por Chen et al. (2003).

6. CONCLUSÃO

As propriedades químicas e microbiológicas do solo são alteradas ao longo do tempo após o uso dos bioestimulantes Algamare® e Stimulate®. A hipótese de que o teor de nutrientes e a atividade microbiológica variam em função do tempo após aplicação dos bioestimulantes é parcialmente confirmada, uma vez que parte das respostas está diretamente relacionada a interação entre os fatores “tempo e dose”.

Os bioestimulantes Algamare® e Stimulate® promovem incremento nas propriedades biológicas β -glicosidase, fosfatase, B/U e urease aos 30 dias aplicação. No entanto, não há precisão da dose que proporciona maior atividade microbiana no solo, sugerindo que é necessário examinar o efeito das doses dos bioestimulantes em curto e longo prazo para melhor compreensão da interação bioestimulantes e micro-organismos.

A aplicação do bioestimulante Algamare® tem efeito positivo na atividade enzimática (β -glicosidase, fosfatase e relação B/U) e contribui para incrementar os teores de NT e P do solo, sugerindo ser promissor para utilização no cultivo da cebola em condições semiáridas, visando a intensificação da agricultura sustentável.

8. REFERÊNCIAS

ABREU, G.F.; TALAMINI, V.; STADNIK, M.J. Bioprospecting of marine seaweeds and aquatic plants for controlling the bean anthracnose, **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 1, p. 78-82, 2008.

ADETUNJI, A.T. et al. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review, **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794–807, 2017.

AGUIAR NETO, P. et al. Crescimento e acúmulo de macronutrientes na cultura da cebola em Baraúna (RN) e Petrolina (PE), **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

AGUILAR, A.S. et al. Uso de fertilizantes e reguladores de crescimento na produção de mudas de brócolis, **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, 2017.

ALAM, M. Z. et al. *Ascophyllum* extract application can promote plant growth and root yield in carrot associated with increased root-zone soil microbial activity. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, n. 2, p. 337-348, 2014,

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Press, 1995.

ALVES, T. S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos, **Acta Scientiarum Agronomic**, v. 33, p. 341-347, 2011.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Maintenance carbon requirements of actively-metabolizing microbial populations under in situ conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 2, p. 197–203, 1985,

ANDERSON, T.; DOMSCH, K. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.

ANACE (Agencia Nacional de Produtores de Cebola) (2018) acessado em (15-11-2018) <http://www.anacebrasil.com.br/blog/>. Google acadêmico.

ANSARI, M.F. et al. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of *Cicer arietinum* (chickpea) in pot and field study. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4I, p. 17-24, 2015.

ARASHIRO, L.T. et al. Life cycle assessment of high rate algal ponds for wastewater treatment and resource recovery. **Science of the Total Environment**, v. 622, p. 1118-1130, 2018.

ARAÚJO. J. L. P. et al. Avaliação dos custos de produção e viabilidade econômica da cebola no Vale do Submédio São Francisco, em 2010. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51, 2011, Viçosa, MG, Hortaliças: da origem aos desafios da saúde e sustentabilidade: anais... Viçosa. MG: ABH, 2011,

AZARPOUR, E. et al. Effects of bio, mineral nitrogen fertilizer management, under humic acid foliar spraying on fruit yield and several traits of eggplant (*Solanum melongena* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 7, p. 1104-1109, 2012.

BABUJIA, L. C. et al. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2174-2181, 2010.

BALDOTTO, L. E.B. et al. Aclimatização de orquídea (*Cymbidium* sp.) em resposta à aplicação de ácidos húmicos. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 830-833, 2014.

BALOTA, E. L. et al. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 189-249, 2013.

BARBIERI R.L. A cebola ao longo da história. In: BARBIERI RL. (Ed.). Cebola: ciência, arte e história, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.13-20, 2005.

BATTACHARYYA, D. et al. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39-48, 2015.

BETTONI, M. M. et al. Growth and metabolism of onion seedlings as affected by the application of humic substances, mycorrhizal inoculation and elevated CO₂. **Scientia Horticulturae**, v. 180, p. 227-235, 2014.

BONA, E. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. **Mycorrhiza**, v. 27, n. 1, p. 1-11, 2017.

BOSE, A. et al. Keratinolytic protease production by *Bacillus amyloliquefaciens* 6B using feather meal as substrate and application of feather hydrolysate as organic nitrogen input for agricultural soil. **Waste and Biomass Valorization**, v. 5, n. 4, p. 595-605, 2014.

BROWN, P.; SAA, S. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 671, 2015.

BULGARI, R. et al. Biostimulants and crop responses: A review. **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 31, n. 1, p. 1–17, 2015.

BURNS, R. G. et al. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.

CARVALHO, J. N. **Rendimento de cebola orgânica sob doses de fósforo e potássio a partir de rochas silicatadas**. 2018.

CASIDA JR, L. E.; KLEIN. D. A.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil Science**, v. 98, n. 6, p. 371-376, 1964.

CHEN, S. K.; EDWARDS, C. A.; SUBLER, S. The influence of two agricultural biostimulants on nitrogen transformations, microbial activity, and plant growth in soil microcosms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, p. 9-19, 2003.

CHEN, S. K.; SUBLER, S.; EDWARDS, C. A. Effects of agricultural biostimulants on soil microbial activity and nitrogen dynamics. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p. 249-259, 2002.

CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.

COLLA, G.; et al. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 448, 2014.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; BOLOTA, E. L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 22, n. 208, p. 84-91, 2001.

COLPAS-CASTILLO, F.; DUNOYER, A. T.; CAMARGO, J. M. Agricultural soils strengthening employing humic acids and its effect on plant growth (*chilli pepper*) and eggplant. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 941-945, 2018.

COSTA, M. A. et al. O uso de macroalgas marinhas na agricultura. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 2, p. 69-76, 2013.

DADALTO, J. P. et al. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 506-513, 2015.

DAPPER, Taiomara Butzke et al. Potencialidades das Macroalgas Marinhas na Agricultura: Revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, 2014.

DANTAS, A.C.V.L.; QUEIROZ, J.M.O.; VIEIRA, E.L.; ALMEIDA, V.O. Effect of gibberellic acid and the biostimulant Stimulate on the initial growth of tamarind. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 34, n. 1, 2012.

DICK, Richard P.; BURNS, Richard G. A brief history of soil enzymology research. **Methods of Soil Enzymology**, v. 9, p. 1-34, 2011.

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

DONAGEMMA, G.K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

DOGRA, B.S.; MANDRADIA, R.K. Effect of seaweed extract on growth and yield of onion. **International Journal of Farm Sciences**, v. 2, n. 1, p. 59-64, 2012.

EL-HELALY, M. A. Effect of Foliar Application of Humic and Fulvic Acids on Yield and its Components of Some Carrot (*Daucus carota* L.) Cultivars. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 10, n. 3, p. 159-166, 2018.

ERTANI, A. et al. *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: chemical and metabolomic approaches. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 375, 2014.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 5, p. 601–606, 1988.

FAOFAOSTAT, Data, Crops (2018) (acessado em 2018-11-20) <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, Google Scholar

FARINA, É.Z. et al. Respostas morfológicas do rabanete (*Raphanus sativus* L.) à aplicação de diferentes doses de Stimulate®. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 1461-1470, 2018.

FERNANDES, B.C.C. Conservação pós-colheita de cebola em função da adubação potássica. 2017.

FERREIRA, M.G.; ALVES, F.M.; NICK, C. **Cebola: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2018.

FINCHEIRA, P. et al. Growth promotion of *Lactuca sativa* in response to volatile organic compounds emitted from diverse bacterial species. **Microbiological Research**, v. 193, p. 39-47, 2016.

FIORENTINO, N. et al. *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizosphere microbial populations and improve N uptake efficiency, yield and nutritional quality of leafy vegetables. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 743, 2018.

FLORES-FÉLIX, J.D. et al. Use of *Rhizobium leguminosarum* as a potential biofertilizer for *Lactuca sativa* and *Daucus carota* crops. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 6, p. 876-882, 2013.

FRAÇ, M. et al. Fungal biodiversity and their role in soil health. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 707, 2018.

FRANÇA, M.V. et al. Climatologia da precipitação em Petrolina-PE, Brasil. **III Workshop Internacional sobre água no Semiárido Brasileiro**. Campina Grande – PB, 5p. 2017

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.

GARAU, G. et al. Long-term influence of red mud on as mobility and soil physico-chemical and microbial parameters in a polluted sub-acidic soil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, n. 2-3, p. 1241-1248, 2011.

GAWLIK-DZIKI, U. et al. Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1621-1628, 2013.

GLAESER, D.F. et al. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo orgânico em cultivos de café. **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

GODLEWSKA, K. et al. The Effect of Plant-Derived Biostimulants on White Head Cabbage Seedlings Grown under Controlled Conditions. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5317, 2019.

GRABOWSKA, A. et al. The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. **Vegetable Crops Research Bulletin**, v. 77, p. 37-48, 2012.

HEGER, T.J.; IMFELD, G.; MITCHELL, E.A.D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 49, p. 1–4, 2012.

HERNANDEZ, O.L. et al. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 225-232, 2015.

HIGASHIKAWA, F.S. et al. Mineral, organic and organomineral fertilization: effects on nutrition, yield, postharvest of onion and soil fertility. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 1-10, 2017.

JAIN, S.; ANAL, A.K. Optimization of extraction of functional protein hydrolysates from chicken egg shell membrane (ESM) by ultrasonic assisted extraction (UAE) and enzymatic hydrolysis. **LWT-Food Science and Technology**, v. 69, p. 295-302, 2016.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil, A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, n. 1, p. 68–72, 1988.

KALUŻEWICZ, A. et al. Effect of biostimulants on several physiological characteristics and chlorophyll content in broccoli under drought stress and re-watering. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 1, p. 197-202, 2017.

KOOCH, Y.; SANJI, R.; TABARI, M. Increasing tree diversity enhances microbial and enzyme activities in temperate Iranian forests. **Trees**, v. 32, n. 3, p. 809-822, 2018.

KUNICKI, E. et al. The effect of cultivar type, time of cultivation, and biostimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). **Folia Horticulturae**, v. 22, n. 2, p. 9-13, 2010.

KURTZ, C. et al. Yield and conservation of onion affected by nitrogen fertilization in no-tillage system. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 559-567, 2013.

LANA, R.M.Q. et al. Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, 2009,

LANGE, M. et al. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature Communications**, v. 6, p. 6707, 2015.

LATEF, A.A.H.A. et al. *Sargassum muticum* and *Jania rubens* regulate amino acid metabolism to improve growth and alleviate salinity in chickpea. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 10537, 2017.

LIM, J.H.; KIM, S.D. Induction of drought stress resistance by multi-functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in pepper. **The Plant Pathology Journal**, v. 29, n. 2, p. 201, 2013.

LIU, X.Q. et al. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 1-2, p. 269-281, 2007.

LOKESH, B.; RAMAR, A.; JEGADEESWARI, V. Effect of biostimulant and growth regulators on herbage yield and quality in coriander var, CO (CR) 4. **IJCS**, v. 6, n. 5, p. 1373-1376, 2018.

LOLA-LUZ, T.; HENNEQUART, F.; GAFFNEY, M. Effect on yield, total phenolic, total flavonoid and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae* var *italica*) following the application of a commercial brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*). **Agricultural and Food Science**, v. 23, n. 1, p. 28-37, 2014.

MALLOR GIMÉNEZ, C. et al. Characterization of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from the Spanish secondary centre of diversity. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9 n.1, p. 144-155, 2011.

MANGMANG, J.S.; DEAKER, R.; ROGERS, G. Inoculation effect of *Azospirillum brasilense* on basil grown under aquaponics production system. **Organic Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 65-74, 2016.

MATTNER, S.W. et al. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 29, n. 4, p. 258-270, 2013.

MATOS, J.P. et al. Floração e rendimento de frutos da abobrinha Italiana 'Daiane' sob aplicação de regulador vegetal e fertilizante foliar/flowering and fruit yield of the Italian abobrina'daiane' under application of vegetable regulator and foliar fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v, 11, n, 1, p, 107-115, 2017.

MBANDLWA, N.P. et al. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators. **International Journal of Vegetable Science**, p, 1-11, 2019.

MELO, V.F. et al. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Agro@mbiente On-line**, v, 11, n, 2, p, 101-110, 2017.

MERCANTE, F.M. et al. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v, 30, n, 4, p, 479-485, 2008.

MÓGOR, Á.F. et al. Aplicação foliar de extrato de alga, ácido L-glutâmico e cálcio em feijoeiro. **Scientia Agraria**, v, 9, n, 4, p, 431-437, 2008.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. UFLA, Lavras, 2006.

MOTERLE, L.M. et al. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Ceres**, v, 58, n, 5, 2015.

ORTS, Á. et al. Production of biostimulants from okara through enzymatic hydrolysis and fermentation with *Bacillus licheniformis*: comparative effect on soil biological properties. **Environmental Technology**, v, 40, n, 16, p, 2073-2084, 2019.

PARRADO, J. et al. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. **Bioresource Technology**, v, 99, n, 7, p, 2312-2318, 2008.

PARTELLI, F.L. et al. Características químicas e microbiológicas do solo em sistemas convencionais e de produção de café orgânico. **Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas**, v, 43, n, 5, p, 847-864, 2012.

PETROZZA, A. et al. Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. **Scientia Horticulturae**, v, 174, p, 185-192, 2014.

PIŚKIEWICZ, A.M.; DUYTS, H.; VAN DER PUTTEN, W.H. Soil microorganisms in coastal foredunes control the ectoparasitic root-feeding nematode *Tylenchorhynchus ventralis* by local interactions. **Functional Ecology**, v, 23, n, 3, p, 621-626, 2009.

POLO, J.; MATA, P. Evaluation of a biostimulant (Pepton) based in enzymatic hydrolyzed animal protein in comparison to seaweed extracts on root development, vegetative growth, flowering, and yield of gold cherry tomatoes grown under low stress ambient field conditions. **Frontiers in Plant Science**, v, 8, p, 2261, 2018.

PRIYADHARSINI, P.; MUTHUKUMAR, T. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and potassium-solubilizing microorganisms on agricultural productivity. In: **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**, p, 111-125, 2016.

RADY, M.M.; REHMAN, H. Supplementing organic biostimulants into growing media enhances growth and nutrient uptake of tomato transplants. **Scientia Horticulturae**, v, 203, p, 192-198, 2016.

RAI, S.K.; MUKHERJEE, A.K. Optimization for production of liquid nitrogen fertilizer from the degradation of chicken feather by iron-oxide (Fe₃O₄) magnetic nanoparticles coupled β -keratinase. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v, 4, n, 4, p, 632-644, 2015.

RICCI, M. et al. General Principles to justify plant biostimulant claims. **Frontiers in Plant Science**, v, 10, p, 494, 2019.

RODRIGUES, A.S. et al. Effect of meteorological conditions on antioxidant flavonoids in Portuguese cultivars of white and red onions. **Food Chemistry**, v, 124, n, 1, p, 303-308, 2011.

RODRIGUES, L.A. et al. Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante. **Nucleus**, v, 12, n, 1, p, 207-214, 2015.

RODRIGUES, M.E.B. Bioestimulante em cultivo de meloeiro: efeitos sobre parâmetros biométricos de plantas e na biomassa microbiana do solo, 2018,

RODRÍGUEZ-MORGADO, B. et al. Obtaining edaphic biostimulants/biofertilizers from sewage sludge using fermentative processes, Short-time effects on soil biochemical properties. **Environmental Technology**, v, 40, n, 3, p, 399-406, 2019.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v, 9, 2018.

ROUPHAEL, Y. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v, 196, p, 91–108, 2015.

ROUPHAEL, Y. et al. Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. **Journal of Applied Phycology**, v, 29, n, 1, p, 459-470, 2017.

ROUPHAEL, Y. et al. Plant-and seaweed-based extracts increase yield but differentially modulate nutritional quality of greenhouse spinach through biostimulant action. **Agronomy**, v, 8, n, 7, p, 126, 2018.

SANTOS, V.M.; MAIA, L.C. Bioindicadores de qualidade do solo, **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 195–226, 2013.

SATISH, L. Effect of seaweed liquid extracts and plant growth regulators on in vitro mass propagation of brinjal (*Solanum melongena* L.) through hypocotyl and leaf disc explants. **Journal of Applied Phycology**, v. 27, n. 2, p. 993-1002, 2015.

SIGURNJAK, I. et al. Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years. **Science of the Total Environment**, v, 599, p, 1885-1894, 2017.

SILVA, I.F.; ARAÚJO NETO, S.E.; KUSDRA, J.F. Biological activity of soils under systems of organic farming, agroforestry and pasture in the Amazon. Atividade biológica de solos em sistemas de cultivo orgânico, agroflorestal e pastagem na Amazônia. **Revista Ciência Agronômica**, v, 45, n, 3, p, 427–432, 2014.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. Determinação do nitrogênio da biomassa microbiana do solo (BMS-N). **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

SILVA, R.R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, T.T.A. et al. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Ciência Agrotecnologia**, v, 32, n, 3, p, 840-846, 2008.

SINCLAIR, G. et al. Influence of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on three strawberry cultivars under salty conditions. **Agricultural and Food Science**, v. 23, n. 2, p. 146-158, 2014.

STIRK, W.A. et al. Abscisic acid, gibberellins and brassinosteroids in Kelpak[®], a commercial seaweed extract made from *Ecklonia maxima*. **Journal of Applied Phycology**, v, 26, n, 1, p, 561-567, 2014.

SINGH, J.S. Microbes: the chief ecological engineers in reinstating equilibrium in degraded ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v, 203, p, 80-82, 2015.

SINSABAUGH, R.L. et al. Ecoenzymatic stoichiometry of stream sediments with comparison to terrestrial soils. **Biogeochemistry**, v, 111, n, 1-3, p, 455-467, 2012.

SMITH, A.P.; MARÍN-SPIOTTA, E.; BALSER, T. Successional and seasonal variations in soil and litter microbial community structure and function during tropical postagricultural forest regeneration: a multiyear study. **Global Change Biology**, v, 21, n, 9, p, 3532-3547, 2015.

SOUSA, R.R. et al. Estudo dos fluxos de N₂O e CH₄ em solo de agricultura orgânica, com aplicação de extrato de alga como bioestimulante vegetal, 2017.

SPADONI, T.B. Aplicação de regulador vegetal e poda nas relações fisiológicas na produção do tomateiro, 2015.

SUH, H.Y.; YOO, K.S.; SUH, S.G. Tuber growth and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by foliar or soil application of fulvic and humic acids. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v, 55, n, 3, p, 183-189, 2014.

SWISHER, R.; CARROLL, G.C. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces. **Microbial Ecology**, v, 6, n, 3, p, 217-226, 1980.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity, **Soil Biology and Biochemistry**, v, 1, n, 4, p, 301–307, 1969.

TEJADA, M. et al. Degradation of chlorpyrifos using different biostimulants/biofertilizers: effects on soil biochemical properties and microbial community. **Applied Soil Ecology**, v, 84, p, 158-165, 2014.

TEJADA, M. et al. Use of biostimulants on soil restoration: Effects on soil biochemical properties and microbial community. **Applied Soil Ecology**, v, 49, p, 11-17, 2011.

TEJADA, M; BENÍTEZ, C.; PARRADO, J. Application of biostimulants in benzo (a) pyrene polluted soils: short-time effects on soil biochemical properties. **Applied Soil Ecology**, v, 50, p, 21-26, 2011.

TEDESCO, J. et al. Análises de solo, planta e outros materiais. 2º ed., **Revista e Ampliada**, Porto Alegre, UFRGS, 174p, 1995.

TURAN, M. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v, 38, n, 3, p, 327-333, 2014.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, v, 19, p, 703-707, 1987.

VASCONCELOS, A.C.P. et al. Bioestimulantes contendo silício e micronutrientes aplicados via foliar em arroz de sequeiro, 2016.

VIJAY, R.; RAVICHANDRAN, V.; BOOMINATHAN, P. Influence of Biostimulants and Plant Growth Regulators on Physiological and Biochemical Traits in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Madras Agricultural Journal**, v, 105, n, 1-3, p, 1, 2018.

VISIOLI, G. et al. 16S rDNA Profiling to Reveal the Influence of Seed-Applied Biostimulants on the Rhizosphere of Young Maize Plants. **Molecules**, v, 23, n, 6, 2018.

WANG, B. et al. Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller) under drought stress. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v, 12, n, 2, p, 452-457, 2014.

WANG, Y. et al. Effects of seaweed fertilizer on the growth of *Malus hupehensis* Rehd, Seedlings, Soil enzyme activities and fungal communities under replant condition. **European Journal of Soil Biology**, v, 75, p, 1–7, 2016.

XU, C.; MOU, B. Drench application of fish-derived protein hydrolysates affects lettuce growth, chlorophyll content, and gas exchange. **Horttechnology**, v, 27, n, 4, p, 539-543, 2017.

YILDIZTEKIN, M.; TUNA, A.L.; KAYA, C. Physiological effects of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzyme activities of certain pepper plants grown under salt stress. **Acta Biologica Hungarica**, v, 69, n, 3, p. 325-335, 2018.