UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MARIA IDALINE PESSOA CAVALCANTI

RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR E AMBIENTE RIZOSFÉRICO A APLICAÇÃO DE BIOESTUMULANTES

AREIA

2023

MARIA IDALINE PESSOA CAVALCANTI

RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR E AMBIENTE RIZOSFÉRICO A APLICAÇÃO DE BIOESTUMULANTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo. Área de concentração: Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas Familiares

Orientador: Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza

AREIA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C376r Cavalcanti, Maria Idaline Pessoa.
Resposta da cana-de-açúcar e ambiente rizosférico a aplicação de bioestumulantes / Maria Idaline Pessoa Cavalcanti. - Areia:UFPB/CCA, 2023.
76 f. : il.

Orientação: Adailson Pereira de Souza.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do Solo. 2. VIUSID Agro®. 3. Qualidade biológica do solo. 4. Enzimas. I. Souza, Adailson Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA CDU 631.4(043.2)

Elaborado por LUCIANNA SILVESTRE DE CASTRO AZEVÊDO - CRB-15/973

MARIA IDALINE PESSOA CAVALCANTI

RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR E AMBIENTE RIZOSFÉRICO A APLICAÇÃO DE BIOESTUMULANTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo. Área de concentração: Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas Familiares

Aprovada em: 26/09/2022

BANCA EXAMINADORA

Profº Dr. Adaílson Pereira de Souza
Orientador Universidade Federal da Paraíba

Profª Dra. Loise Araujo Costa
Universidade Federal da Paraíba

Profª Dra. Patrícia Fabian de Araújo Diniz
Instituto Federal da Paraíba

Profº Dr. Bruno de Oliveira Dias
Universidade Federal da Paraíba

Profº Dr. Alexandre Paiva da Silva
Universidade Federal da Paraíba

Ofereço

Aos meus pais, Ivonete e João por todo incentivo, que me deram o alicerce, ótima criação e educação dentro e fora de suas possibilidades. Ao meu filho José Neto, a maior riqueza da minha vida e meu esposo, José Valdo, por todo apoio, paciência e o suporte necessário para concretizar este objetivo. A Minha irmã Juliana, meu cunhado Raumiery e meus sobrinhos Antônio Neto e Heitor. Obrigada por acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditava. Amo vocês!

A Socorro Dias (*in memorian*), minha tia de coração, meu avô José Gomes Dias (in *memorian)* que me ajudaram desde o início da minha jornada acadêmica.

A comunidade cientifica e ao progresso da nação.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que fez e fará em minha vida. Os caminhos trilhados, mesmo com dificuldades, são realizados graças à presença dele em nossas vidas.

A Universidade Federal da Paraíba - UFPB, através do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de cursar e concluir o Doutorado em Ciência do Solo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) pela concessão de recursos que permitiram a realização desse trabalho, juntamente com a instituição CCA/UFPB e ao PPGCS;

Ao Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza, sou muito grata ao senhor pela orientação, todos os ensinamentos e sobretudo pela dedicação, atenção, empatia e por ter depositado sua confiança em mim, minha gratidão eterna;

A todos os professores que passaram em minha vida acadêmica, seus conhecimentos muito contribuíram para o meu processo de formação, em especial aos professores: Vânia Fraga, Bruno Dias, Alexandre Paiva e Raphael Beirigo, vocês são inspiração para os alunos através do jeito de ensinar e sobretudo pela gentileza, atitude e ações fazem a diferença.

Ao técnico Flávio Cruz, por ter auxiliado com as análises de laboratório e por sua postura alegre e acolhedora, auxiliando em tudo que foi possível.

A Usina Japungu, pela disponiblidade em oferecer a área para que os estudos fossem realizados e a todos os seus colaboradores, na pessoa do senhor Dante, pelo apoio e disponibilidade nas atividades de campo;

Ao grupo DAVIDA pelas informações técnicas, assistência e doação dos produtos utilizados neste estudo e aos representantes da VIUSID Agro®, Carlos e Gerciane, por todo suporte técnico durante a pesquisa.

Ao GESUCRO, pelo apoio e suporte durante as coletas, principalmente Mayra e Willians.

Aos meus amigos, Ewerton e Xandy que não mediram esforços para me ajudar. Gratidão!

Aos grandes amigos que fiz durante o doutorado, Marco Aurélio e Victor Brandão, vocês tornaram esse percurso mais leve. Minhas amigas, Anne e Sonaria, com muita dedicação, conseguimos. Gratidão por todos os momentos tensos e alegres que passamos!

Minha amiga Lieska, mesmo longe, se faz presente todos os dias e está sempre na torcida pelo meu sucesso.

A minha família em nome dos meus tios Gilmar, Iolanda, Lucineide,Gilberto, Marcelo, Josinaldo, madrinha Marluce. Minha prima Ana Beatriz por sempre me apoiarem.

Aos amigos, Gilma, Arlindo, Silvana, Adriano, Fernanda, Heitor, Heloisa, Edjane, Ana Beatriz Francyane, Jaqueline por todo carinho e companheirismo.

Aos amigos que fiz aqui no Juazeiro do Norte, uma nova família. Gratidão pelo acolhimento e amizade.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse sonho.

Muito obrigada!

RESUMO GERAL

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil tem grande importância para o agronegócio, e sua produtividade precisa atender as novas demandas de fontes renováveis. Os bioestimulantes são substâncias que quando aplicadas às plantas, podem alterar vários processos metabólicos e fisiológicos específicos, atuar nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de bioestimulante na distribuição do sistema radicular da cana-planta; na atividade enzimática no solo; na diversidade microbiana em nível de rizosfera, bem como no crescimento e desenvolvimento cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em área comercial de cultivo de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros, Paraíba. O experimento foi montado em área de seis hectares, divididas em duas áreas de três hectares, tendo uma área recebido a aplicação de Viusid Agro® e a outra o manejo adotado na empresa. Foram realizadas três coletas, na fase de intenso crescimento da cultura (120 DAP) (240 DAP), fase de maturação da cultura e a última coleta em agosto de 2020, 30 dias após a colheita da cana. Aos 402 dias após o plantio, realizou-se o corte manual para avaliação das variáveis tecnológicas (TCH, Brix, ATR e Pol %). Foram avaliadas as atividades das enzimas urease, fosfatase ácida e atividade enzimática geral do solo (hidrólise do diacetato de fluoresceína - FDA). Nos resultados observados, o Viusid Agro® proporcionou aumento significativo na produtividade da cana-planta, com incremento de 20,19 t ha^{-1}, quando comparado ao tratamento controle, maior uniformidade do canavial, na germinação, aumento no enraizamento, redução de falhas e competição entre as próprias touceiras, e padrões do perfilhamento. Os valores de hidrólise do FDA foram superiores nas três coletas em área com VIUSID Agro®. A urease não apresentou diferenças significativa entre a área com aplicação do bioestimulante VIUSID Agro® e o controle aos 120 dias após o plantio e 30 dias após a colheita. A máxima atividade da fosfatase ácida foi no controle de 1638,8 μg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1}, 240 dias após o plantio.

Palavras-chave: VIUSID Agro®; qualidade biológica do solo; enzimas.

ABSTRACT GENERAL

The cultivation of sugarcane in Brazil is of great importance for agribusiness, and its productivity needs to meet the new demands for renewable sources. Biostimulants are substances that, when applied to plants, can alter various specific metabolic and physiological processes, acting at different stages of crop development. The objective of this work was to evaluate the effect of a biostimulant on the distribution of the root system of the cane plant; enzymatic activity in the soil; on microbial diversity at the rhizosphere level, as well as on sugarcane growth and development. The study was carried out in a commercial area of sugarcane cultivation in the Coastal Tablelands, Paraíba. The experiment was set up in an area of six hectares, divided into two areas of three hectares, with one area receiving the application of Viusid Agro® and the other the management adopted by the company. Three collections were carried out, in the intense growth phase of the crop (120 DAP) (240 DAP), culture maturation phase and the last collection in August 2020, 30 days after the sugarcane harvest. At 402 days after planting, manual cutting was performed to evaluate the technological variables (TCH, Brix, ATR and Pol %). The activities of the enzymes urease, acid phosphatase and general enzymatic activity of the soil (hydrolysis of fluorescein diacetate - ADF) were evaluated. In the observed results, Viusid Agro® provided a significant increase in the productivity of the cane-plant, with an increment of 20.19 t ha-1, when compared to the control treatment, greater uniformity of the cane field, in germination, increase in rooting, reduction of failures and competition among the clumps themselves, and tillering patterns. ADF hydrolysis values were higher in the three collections in the area with VIUSID Agro®. Urease did not show significant differences between the area where the VIUSID Agro® biostimulant was applied and the control at 120 days after planting and 30 days after harvesting. The maximum activity of acid phosphatase was in the control of 1638.8 μg p-nitrophenol h-1 g-1 240 days after planting.

Keywords: VIUSID Agro®; soil biological quality; enzymes.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Representação do desenvolvimento da cana-de-açúcar. (Fonte: FORPLANT, 2020, adaptado por Silveira, 2020) **17**

Figura 2. Rizosfera (Fonte: Elaborada pela autora) **18**

CAPÍTULO I

Figura 1. Acumulado mensal de precipitação pluviométrica (mm) da área experimental.....**46**

Figura 2. Respostas da produtividade da cana-de-açúcar submetida a aplicação de Viusid Agro®. (*: significativo pelo teste *t* a 1%). Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados.....**47**

Figura 3. Fotos dos toletes 120 dias após a germinação em área tratada com Viusid Agro® (A, B e C) e uniformidade do Canavial 120 dias após aplicação do produto (D).....**48**

Figura 4. Açúcares totais recuperáveis (ATR) em t ha^{-1} de cana-de-açúcar submetida a aplicação de Viusid Agro®. (^{ns}: não significativo pelo teste *t* a 1%). Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados.....**49**

Figura 5: Teor de sacarose aparente na cana (Pol%) variedade RB92579. Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados.....**50**

Figura 6. Respostas dos sólidos solúveis (BRIX) da cana de açúcar, submetida à aplicação do Biostimulante Viusid Agro® (*: significativo pelo teste *t* a 1%). Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados.....**51**

CAPÍTULO II

Figura 1. Atividade da urease (µg kg^{-1} h^{-1} de $N\text{-}NH_4^+$ no solo) em solo cultivado com cana-de-açúcar com (VIUSID Agro®) e sem (CONTROLE) aplicação de bioestimulante, em três épocas de amostragem (A: 120 dias após o plantio; B: 240 dias após o plantio e C: 30 dias após a colheita) **70**

Figura 2. Atividade da Fosfatase ácida (µg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} solo seco) em solo cultivado com cana-de- açúcar com (VIUSID Agro®) e sem (CONTROLE) aplicação de bioestimulante, em três épocas de amostragem (A: 120 dias após o plantio; B: 240 dias após o plantio e C: 30 dias após a colheita) **72**

Figura 3. Atividade hidrolítica do diacetato de fluoresceína (μg F g-1 solo seco) em solo cultivado com cana-de-açúcar com (VIUSID Agro®) e sem (CONTROLE) aplicação de bioestimulante, em três épocas de amostragem (A: 120 dias após o plantio; B: 240 dias após o plantio e C: 30 dias após a colheita) **74**

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Características químicas do solo, antes da instalação do experimento.....**43**

Tabela 2. Composição do Viusid Agro® (g/100 mL) **45**

CAPÍTULO II

Tabela 1. Características químicas do solo, antes da instalação do experimento.....**63**

Tabela 2. Composição do Viusid Agro® (g/100 mL) **64**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 29
2 REVISÃO DE LITERATURA 31
2.1 A cultura da cana-de-açúcar 31
2.2 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar 31
2.3 A Rizosfera 33
2.4 Sistema radicular da cana-de-açúcar 34
2.5 Métodos para estudo do sistema radicular 35
2.6 Bioestimulantes na agricultura 36
2.7 Qualidade de solos e seus indicadores 38
2.8 Atividade enzimática do solo 39
2.8.1 Atividade urease do solo 40
2.8.2 Atividade da fosfatase do solo 41
REFERÊNCIAS 43
CAPÍTULO I 55
ASPECTOS DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR TRATADA COM BIOESTIMULANTE 55
RESUMO 56
ABSTRACT 57
1 INTRODUÇÃO 58
2 MATERIAL E MÉTODOS 59
2.1 Localização experimental 59
2.2 Condução experimental 59
2.3 Análise Estatística 61
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 62
4 CONCLUSÃO 68
REFERÊNCIAS 69
CAPÍTULO II 72
ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR NA PRESENÇA DE BIOESTIMULANTE 72
RESUMO 73
ABSTRACT 74
1 INTRODUÇÃO 75
2 MATERIAL E MÉTODOS 77

2.1 Localização experimental **77**
2.2 Condução experimental **77**
2.3 Amostragem do solo **78**
2.4 Atividade biológica do solo **79**
2.4.1 Ensaios enzimáticos 79
2.4.2 Fosfatase Ácida 79
2.4.3 Urease 79
2.4.4 Hidrólise do diacetato de fluoresceína-FDA 80
2.5 Análise estatística **80**
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO **81**
4 CONCLUSÕES **86**
REFERÊNCIAS **87**

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*.) exerce um papel de grande importância na economia de diversos países localizados nos diferentes continentes O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, produzindo 654,5 milhões de toneladas na safra 20/21, o que resultou em 41,2 milhões de toneladas de açúcar e 29,7 bilhões de litros de etanol. (CONAB, 2021).

Estes números demonstram a grande importância da cana-de-açúcar para o agronegócio brasileiro e para o estado da Paraíba, principalmente devido ao aumento da demanda mundial por alternativas de fontes renováveis, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar.

No estado da Paraíba, na safra de 2020/2021 a produção foi de 6.242,1 mil toneladas, uma produtividade de 52.769 kg ha^{-1} e uma área de aproximadamente 118 mil hectares, representando cerca de 1% da área ocupada com a cultura no país (CONAB, 2021). As condições climáticas ao longo do ciclo vêm oscilando, principalmente nos índices pluviométricos registrados nesse período de outono e inverno em diversas regiões produtoras, impactando no rendimento médio estimado para a cultura, bem como na sua qualidade.

Entretanto, embora esse estado apresente áreas adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar, a produtividade desta cultura na Paraíba é apontada como uma das menores da região Nordeste (AZEVEDO et al., 2021). A busca no aumento de produtividade além do esperado tem sido obtida em diversos locais e uma das principais causas é a baixa disponibilidade de nutrientes no solo. Nesse aspecto, o sistema radicular assume papel preponderante.Além da ancoragem das plantas no solo, absorção de água e íons, armazenamento de nutrientes e crescimento vegetativo das plantas, o sistema radicular está em contato próximo com uma ampla diversidade de populações microbianas do solo (BERG; SMALLA, 2009).

Na maioria das vezes, o aporte de fertilizantes é, normalmente, dimensionado em função dos ganhos de produção sendo a qualidade do solo por diversas vezes desprezada. Ainda que proporcione ganhos de produção, o aporte de nutrientes pode ter efeitos diversos sobre a comunidade microbiana do solo, podendo, quando realizada de forma incorreta, levar à elevação das emissões de gases efeito estufa a perda da estrutura das comunidades microbianas do solo (ZHAO et al., 2013).

A avaliação da qualidade do solo é uma forma eficaz de melhorar a qualidade ambiental ecológica do solo e aperfeiçoar o sistema de manejo, bem como manter sua produtividade de

forma sustentável, sem que ocorra redução da matéria orgânica, biodiversidade e da supressão dos microrganismos que possuem funções importantes na decomposição da matéria orgânica, fixação de nutrientes no solo bem como da participação da catalise do ciclo de vários nutrientes.

No entanto, o estudo abrangente da qualidade do solo tem recebido pouca atenção. Neste sentido o estabelecimento de indicadores microbiológicos e bioquímicos é relevante pois a atividade microbiológica e enzimática contribui na regulação dos processos ecológicos do solo e refletem as condições dos manejos atuais.

O emprego de bioestimulantes vem sendo recomendado nos sistemas agrícolas como uma alternativa tecnológica viável em amenizar possíveis limitações à maximização do potencial produtivo, que têm por objetivo o aumento da eficiência nutricional, a elevação da tolerância ao estresse abiótico e a melhoria das características morfofisiológicas da planta e da qualidade da cultura (JARDIN, 2015; FERREIRA et al., 2020).

Mesmo que representem alternativa promissora com resultados já comprovados em diversas culturas de interesse econômico, pouco se conhece sobre o efeito dos bioestimulantes nos aspectos morfofisiológicos de plantas de cana-de-açúcar e sobre a qualidade do solo. O monitoramento dos indicadores químicos e biológicos do solo é de suma importância para a preservação da qualidade do solo e da sustentabilidade do sistema agrícola e do ambiente.

Todos esses fatores têm impulsionado produtores e pesquisadores a buscarem novos estudos que possam ser direcionados ao melhoramento produtivo e sustentável do setor canavieiro no Brasil, alavancando assim a qualidade e produtividade de seus cultivos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de bioestimulante na distribuição do sistema radicular da cana-planta; na atividade enzimática no solo; na diversidade microbiana em nível de rizosfera, bem como no crescimento e desenvolvimento cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp L.) foi introduzida no Brasil no período colonial e desde então se transformou em uma das principais atividades da economia brasileira (REZENDE; RICHARDSON, 2015). Atualmente, a cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis que além da produção de etanol e açúcar, têm buscado operar com maior eficiência, inclusive com geração de energia elétrica, auxiliando na redução dos custos e contribuindo para a sustentabilidade da atividade.

O crescimento e o desempenho da cana-de-açúcar no campo são fortemente influenciados por muitas características abióticas e bióticas, incluindo variações de pH, salinidade, estresse hídrico, monocultura e a grande dependência de fertilizantes minerais, afetando a sustentabilidade ambiental, a saúde do solo, principalmente relacionada a parâmetros microbiológico.

Diante de tantos fatores, o setor vem lidando com o desafio de aumentar a produtividade dos canaviais e, por consequência, aumentar também a produção de açúcar, álcool e subprodutos. Com maiores produtividades, obtém-se maiores lucros. Para isso, torna-se necessário o aprofundamento nos estudos sobre a produção de cana-de-açúcar e suas implicações à qualidade do solo. Tais estudos devem nos levar a utilização de novas tecnologias do plantio a colheita que permita garantir um sistema sustentável de produção da cultura.

2.2 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

Pertencente ao grupo das plantas C4, a cana-de-açúcar apresenta eficiência na utilização e resgate de CO_2, alta taxa fotossintética, adaptação a alta intensidade luminosa e a altas temperaturas (SEGATO et al.,2006), que exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico da cultura afetando sua produtividade (LIU et al., 1998; SMIT; SINGELS, 2006; UEHARA et al., 2009). A cana-de-açúcar, comercialmente é classificada em dois grupos: cana-planta ou cana soca.

No entanto a cana-de-açúcar é diferenciada em função da época de plantio, sendo denominada cana de ano e meio, quando plantada entre janeiro e maio, cana de inverno aquelas plantadas entre junho e a primeira quinzena de setembro e, cana de ano entre setembro e

dezembro (SEGATO et al., 2006). Quanto ao crescimento, a cana-de-açúcar pode ser divido em 4 estádios (figura1):

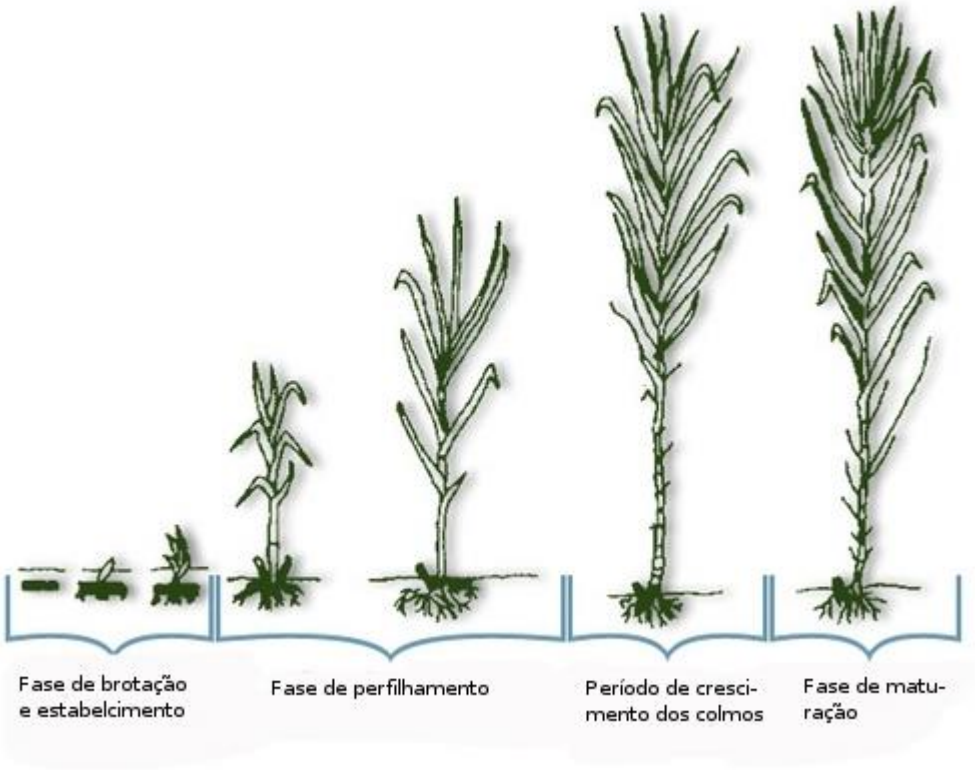


Figura 1. Representação do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Fonte: Adaptado por Silveira (2021)

1) Brotação e estabelecimento, onde o crescimento é lento e depende da umidade do solo;

2) Caracteriza pelo perfilhamento e estabelecimento da espécie;

3) Ocorre a finalização do perfilhamento, aproximadamente entre 90 e 120 dias após o plantio (DAP), com o início do acúmulo de sacarose;

4) Corresponde ao período de grande acúmulo de sacarose (maturação) (GASCHO; SHIH, 1983; SEGATO et al., 2006).

Dentre os estágios, a brotação constitui fase importante, pois uma boa brotação reflete um bom começo, que trará à área cultivada plantas vigorosas, que resultarão, no final do ciclo, em colheita compensadora (SILVA et al., 2004). Diferentes análises podem ser realizadas para avaliar a desempenho durante o desenvolvimento e fisiologia da cana-de-açúcar, através de variáveis de crescimento como a altura, diâmetro, número de folhas, número de plantas por metro linear, área foliar, número de entrenós por colmo, matéria seca e fresca e produtividade,

consideradas análises práticas e de baixo custo em diferentes intervalos de tempo (BENINCASA, 2003; ALMEIDA et al., 2008; MARAFON, 2012).

2.3 A Rizosfera

A rizosfera é a parte do solo influenciada diretamente pelas raízes das plantas que abriga uma comunidade diversificada de microrganismos, desempenhando funções importantes no desenvolvimento das plantas, devido à liberação de exsudatos como açúcares e ácidos orgânicos. Os exsudatos radiculares são as fontes mais importantes de carbono prontamente disponível, que estimulam o crescimento de grupos microbianos específicos (YUAN et al., 2016).

Consequentemente, existem diferenças significativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo entre a rizosfera (solo próximo às superfícies das raízes) e solos em profundidade. A denominação rizosfera partiu de Lorenz Hiltner em 1904, anteriormente definida como "zona do solo próxima das raízes de leguminosas com alta intensidade de atividade microbiana" (SHAIKH et al., 2018).

Figura 02. Rizosfera (Fonte: Os próprios autores)

Diante da importância do solo nos sistemas de produção, a direção e intensidade dos efeitos da rizosfera podem ser afetadas pela disponibilidade de nutrientes no solo, fatores pedogenéticos, atributos químicos, biomassa microbiana e atividades enzimáticas, fatores esses que são uma preocupação significativa na produção comercial de cana-de-açúcar (GAN et al., 2021). Apesar de suas interações com o ambiente biótico, há uma compreensão limitada dos

efeitos da rizosfera e sistema radicular da cana-de-açúcar, tornando necessário estudos que permitam quantificar a direção e a magnitude dos efeitos da rizosfera nos processos biogeoquímicos do solo nesses sistemas produtivos.

As raízes das plantas exsudam uma enorme diversidade de nutrientes orgânicos (ácidos orgânicos, sideróforos, açúcares, vitaminas, aminoácidos, mucilagem) e sinais que atraem populações microbianas, especialmente aquelas capazes de metabolizar compostos liberados por plantas e proliferar neste habitat microbiano (BAIS et al., 2006; POTHIER et al., 2007; BADRI et al., 2009; SHUKLA et al., 2011; DROGUE et al., 2013).

Para o produtor, diversas estratégias podem gerar benefícios no campo, como os consórcios microbianos, a escolha de práticas de manejo agrícola que enriqueça a comunidade microbiana com funções benéficas ou abordagens de melhoramento de plantas que considere o microbioma (COMPANT et al., 2019). Compreender o microbioma da rizosfera é uma grande promessa para a ascensão de uma agricultura mais sustentável.

2.4 Sistema radicular da cana-de-açúcar

O sistema radicular apresenta-se como fonte para o suprimento dos recursos do solo, influenciando assim na produtividade da cana-de-açúcar (SMITH et al., 2005), pois desempenha papel essencial na regeneração das soqueiras após a colheita e, influencia diretamente a eficiência de absorção dos nutrientes pela planta, a resistência à seca e a tolerância ao ataque de pragas do solo, o que afeta todo o desenvolvimento da cultura. Apesar disso, tem sido frequentemente relegado nas pesquisas, em razão, principalmente, da dificuldade de acesso e de visualização, sobretudo em avaliações em campo.

Na cana-de-açúcar as raízes surgem após o desenvolvimento dos brotos que são emitidos de sua base. Tem com funcionalidade a absorção de água e nutrientes e o suprimento dos perfilhos e, à medida que vão crescendo, a sua função aumenta para sustentação (VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2010). Na cana planta, as primeiras raízes originadas após a operação de plantio crescem a partir da região radicular dos colmos plantados, os quais fornecem suas reservas para a divisão e crescimento celular, no caso da soqueira, a morte das raízes ou renovação do sistema radicular ocorre devido aos ciclos de secagem e reumedecimento do solo (VASCONCELOS et al., 2004).

A distribuição do sistema radicular no perfil do solo e sua interação com o ambiente de produção tem efeito direto sobre fatores que afetam a produtividade final da cultura como tolerância à seca, capacidade de germinação e, ou, brotação, tamanho da planta,

movimentação de máquinas, uso de nutrientes, resistência ao ataque por pragas e parasitas no solo, entre outros fatores (VASCONCELOS; DINARDO-MIRANDA, 2011).

De um modo geral, pode-se dizer que quanto maior o sistema radicular de uma planta maior sua capacidade de explorar o solo (Esteban et al., 2019). No entanto, a quantidade de raízes é importante, mas o que predomina é a sua distribuição no perfil do solo ao longo das estações do ano. Excesso de raízes nas camadas superficiais do solo apresentam um gasto excessivo de energia na parte aérea e translocamento para as raízes, correndo o risco de estresse hídrico em períodos de estiagem (FARONI; TRIVELIN, 2006; OHASHI et al., 2015).

A compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando se compreende o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento e à distribuição de raízes no perfil.

A avaliação do sistema radicular de uma cultura pode ser considerada fundamental no diagnóstico de sistemas de manejo que visam a otimização da produtividade agrícola. A maioria dos estudos nos quais se baseiam as descrições dos sistemas radiculares de cana-de-açúcar têm décadas, levantando a questão de saber se esse padrão tradicional de desenvolvimento do sistema radicular é tão pronunciado nas cultivares modernas de cana-de-açúcar.

2.5 Métodos para estudo do sistema radicular

O conhecimento do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar é um pré-requisito para a definição e uso adequado de técnicas agronômicas tais como o espaçamento, aplicação de adubos, irrigação, drenagem, controle de erosão, operações culturais entre outras.

Dada a importância da dinâmica do sistema radicular na interface solo-planta-água, poucos estudos têm sido realizados nessa área devido às dificuldades associadas a aspectos metodológicos e a complexidade do sistema radicular como um todo, o qual varia tanto no tempo quanto no espaço influenciado pelas condições físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA-OLAYA et al., 2017). Em termos metodológicos, atualmente tem-se buscado determinar uma forma capaz de amostrar as raízes com um mínimo de gasto de tempo e de trabalho e com o máximo de exatidão e precisão possíveis.

Métodos diretos de avaliação nos quais amostras de raízes são coletadas em um determinado volume de solo vêm sendo amplamente utilizados. O método de amostragem em monólito é considerado como método padrão já que permite estimar maior quantidade de raízes, o que resulta em uma maior exatidão (KÖPKE, 1981). Porém, a principal limitação desta técnica baseia-se no tempo gasto e no esforço físico que ela envolve.

A coleta de amostras em sonda é um método de amostragem que se apresenta como uma alternativa viável na avaliação do sistema radicular, uma vez que permite através de menor esforço quantificar a massa de raízes em um menor volume de solo. Após a coleta, as amostras são lavadas para separação das raízes. As principais limitações do método são a lavagem (JORGE et al., 1996) e a retirada de amostras em solos argilosos. Como vantagem, tem-se a possibilidade de retirada de grande número de amostras.

A forma correta de avaliar as raízes não existe, pois, a adequação de um método para o estudo do sistema radicular pode variar de acordo com a cultura, variedade estudada e seu manejo, com o tipo de solo e suas condições físico-químicas e, principalmente, com os cuidados e uniformidade de procedimentos da equipe operacional. A identificação de um método de amostragem para avaliação do sistema radicular que permita obter resultados confiáveis e que apresente facilidade operacional é um aspecto importante para o avanço de conhecimentos na área.

2.6 Bioestimulantes na agricultura

Os bioestimulantes são apresentados de várias formas e composições, como fertilizantes, contendo quantidades variáveis de macro e micronutrientes, além de princípio hormonal, algumas vezes não declarado. Dentre estes produtos que estimulam o desenvolvimento das plantas estão os biorreguladores, aminoácidos, ácidos fúlvicos e húmicos e algas marinhas (GOMEZ et al., 2015; NARDI et al., 2016).

Essas substâncias quando aplicadas às plantas, modificam ou alteram vários processos metabólicos e fisiológicos específicos, nas diferentes fases de desenvolvimento, possibilitando incrementos no teor de sacarose, precocidade de maturação e aumento na produtividade das culturas (CAPUTO et al., 2007).

O VIUSID Agro® é um bioestimulante que, em função de sua composição, propriedades e características químicas, possui a capacidade de estimular a formação e desenvolvimento de novos tecidos; de favorecer um adequado equilíbrio hormonal; incrementar o crescimento, estimular a divisão, diferenciação e alongamento celular; melhorar crescimento e desenvolvimento radicular e, com isso, participa decisivamente no balanço hídrico e na resposta fisiológica ao estresse abiótico nas plantas superiores (CATALYSIS, 2017).

Ademais, uma característica relevante é que todos os seus componentes foram submetidos a um processo de ativação molecular que permite o uso de doses relativamente baixas com bons resultados. Esse processo de acordo com o fabricante do produto em estudo

aumenta a energia das moléculas, devido a acumulação de elétrons adicionais nas órbitas internas. Cada componente é ativado separadamente seguindo um protocolo específico. Este processo aumenta a atividade biológica das moléculas, dando resultados surpreendentes e com potencial de melhoria a curto prazo.

Inúmeros trabalhos estão sendo realizados em diversas espécies de interesse agronômico na tentativa de validar os efeitos de bioestimulantes, mas diversos produtos com propriedades bioestimulantes muitas vezes não têm seus efeitos estendidos a nível radicular. O efeito positivo do bioestimulante FitoMas-E® foi relatado por Reyes et al. (2011), avaliando a altura, número de folhas e diâmetro do caule, porém não tiveram efeito no crescimento e no número de raízes durante a fase de aclimatação da cana-de-açúcar da cultivar C93-540.

A aplicação de reguladores vegetais no sulco de plantio resultou em efeitos positivos, promovendo acréscimos sobre a fase de brotação e início do perfilhamento para determinadas variedades como SP89-1115, SP81-3250 e RB86-7515 (FERREIRA et al., 2007). Ao avaliar a economia da aplicação de bioestimulantes na cana-de-açúcar (Miguel et al., 2009), constataram que o índice de lucratividade com a utilização de Stimulate® no tolete (26,22 %) e via foliar (25,48 %) foram bem superior ao da testemunha (13,09 %).

Avaliações com o VIUSID Agro® em diferentes culturas, como em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (PEÑA et al., 2015); e em milho (*Zea mays* L.) (ATTA et al., 2017), têm contribuído com novos conhecimentos sobre seu uso. Entretanto, os resultados ainda se mostram insuficientes para a cultura da cana-de-açúcar.

Os resultados obtidos por Gómez-Kosky et al. (2020) com uso do VIUSID Agro ® na cana-de-açúcar em micropropagação, sob condições controladas, permitiu comprovar o aumento da sobrevivência das plantas *in vitro* em mais de 20 %, com doses de 0,5 e 0,8 mL L^{-1}. No entanto, no Brasil, ainda não foram realizados estudos com o produto VIUSID Agro ® avaliando seu efeito direto no sistema radicular da cana-de-açúcar bem como na atividade enzimática do solo durante o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Deste modo, a ação do bioestimulante deve funcionar como um complemento no auxílio da manutenção fisiológica, o que pode ser muito importante em condições ambientais adversas, sendo necessárias, portanto, novas pesquisas para melhor avaliação dos efeitos destes produtos na agricultura, uma vez que seu uso tem sido propagado em várias regiões (VASCONCELOS, 2006).

2.7 Qualidade de solos e seus indicadores

Atualmente, o aumento da produção agrícola brasileira está mais relacionado ao aumento da produtividade do que a expansão de novas áreas agrícolas. Assim, a pressão sobre o componente solo requer mais estudos sobre sua capacidade de responder a essas novas demandas.

Os solos variam naturalmente em qualidade em função de suas propriedades e, dependendo do tipo de manejo utilizado, podem ocorrer mudanças em seus atributos físicos, químicos e biológicos (CHAVES et al., 2017). Analisar corretamente um sistema de produção não inclui apenas medir sua produtividade, mas sim buscar integrar a qualidade ambiental, a sustentabilidade agronômica e a viabilidade socioeconômica (MUKHERJEE; LAL, 2014).

Monitorar as alterações ocorridas nos atributos do solo, em agroecossistemas condicionadas pelos diferentes sistemas e práticas de manejo, é essencial para definir e traçar estratégias com menores impactos ao meio ambiente (CHERUBIN et al., 2015). Tal prática garante uma escolha mais adequada da técnica do manejo a ser feito na área de produção agrícola.

As recentes conquistas da ciência do solo, especialmente na biologia do solo, são promissoras para futuras avaliações de qualidade do solo (BÜNEMANN et al., 2018), uma vez que os organismos desempenham um papel central em seu funcionamento. Nessa perspectiva, é cada vez mais solicitado levar em consideração a biota do solo, principalmente os microrganismos, pois estes são considerados os mais sensíveis indicadores de qualidade do solo, em razão de sua elevada abundância, atividade metabólica e bioquímica, bem como responderem rapidamente às alterações impostas ao ambiente.

Nesse sentido, muitos esforços têm sido realizados para incorporar análises microbiológicas na rotina dos laboratórios de solo no Brasil. Objetivando preencher essas lacunas. Lopes et al. (2013), elaboraram as primeiras tabelas de interpretação para indicadores microbianos, trabalhando com Latossolos argilosos do Cerrado Brasileiro, analisado níveis críticos (baixo, moderado e adequado) para carbono da biomassa microbiana (CBM), β-glucosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase.

Um dos principais indicadores é a atividade enzimática do solo, no entanto a dificuldade para interpretação de valores individuais desses parâmetros, uma vez que a inclusão dos bioindicadores nessas avaliações pressupõe o estabelecimento de valores que possam separar solos com diferentes condições de sustentabilidade (TRASAR-CEPEDA et al., 1997; ARSHAD; MARTIN, 2002; TÓTOLA; CHAER, 2002; GIL-SOTRES et al., 2005)

2.8 Atividade enzimática do solo

As enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo e como são sintetizadas, principalmente, pelos organismos que nele crescem, as condições que favorecem a atividade da biota como a adubação orgânica também favorecem a atividade enzimática, que muitas vezes se relaciona positivamente com a produtividade ou com a qualidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A atividade enzimática do solo é considerada uma das melhores ferramentas para se verificar a estabilidade ecológica, pois sua sensibilidade de resposta perante mudanças no sistema solo-planta é imediata, acontecendo muito antes que outras alterações nos indicadores de qualidade do solo sejam detectadas (LV et al., 2014; CAVALCANTE et al., 2020).

Alguns estudos mediram a atividade enzimática no solo sob diferentes usos e manejos (MENDES et al., 2012; PANDEY et al., 2014; RASOOL et al., 2014; MEDEIROS et al., 2017), e indicam seu potencial para avaliação de impactos resultantes de manejo, contaminação do solo e atividades agrícolas.

As enzimas podem responder às mudanças no manejo das culturas e, consequentemente, do solo, de forma mais rápida que outras variáveis estudadas. Os estudos com estas proteínas podem ser úteis para monitorar as tendências (positivas ou negativas) no solo ao longo do tempo.

O monitoramento do solo pela atividade enzimática eliminaria problemas como mudanças sazonais e diferenças inerentes à atividade agrícola, sendo possível, ainda, o aproveitamento do seu potencial como indicadores precoces de alterações induzidas pelo manejo do solo. Para uma ampla compreensão dos ciclos biogeoquímicos do solo, diversas enzimas devem ser avaliadas.

As enzimas são divididas em diversas categorias como sendo hidrolíticas e oxidativas. Há um grupo no solo de enzimas não específicas que estão envolvidas diretamente na degradação de diversos compostos orgânicos, são as proteases, lipases e esterases, altamente sensíveis, e seus estudos amplamente aceitáveis como um indicador do solo através do método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) (RIBEIRO et al., 2015; NOGUEIRA et al., 2015)

O método enzimático da atividade de hidrólise do diacetato de fluoresceína tem também sido amplamente utilizado como indicador de qualidade do solo e mede a atividade potencial dos microrganismos heterotróficos envolvendo uma série de substratos (ADAM; DUNCAN, 2001; SCHUMACHER et al., 2015)

Foi observado o aumento das taxas de FDA em áreas de pastagem que receberam adubação orgânica por 14 anos, quando comparadas com valores obtidos de áreas adubadas por dois anos (SILVA et al., 2015). Em estudo realizado por Santos et al. (2015), avaliaram diferentes manejos de cobertura do solo em consórcio de soja e braquiária, e observaram maiores valores de FDA, cerca de 690 mg kg solo^{-1} h^{-1} na safra, enquanto na entressafra os valores obtidos foram aproximadamente 320 mg kg solo^{-1} h^{-1}, no sudoeste goiano.

Em solos da região de Rondônia em estágio de recuperação após exploração para mineração observou-se que a hidrólise de FDA foi capaz de demonstrar a oscilação da diversidade e da atividade microbiana (SOUZA et al., 2016).

2.8.1 Atividade urease do solo

A urease é indicadora da transformação do nitrogênio orgânico em mineral, processo denominado de mineralização (SILVA et al., 2018). É uma enzima intra e extracelular sintetizada por microrganismos e algumas espécies vegetais (GAO et al., 2019), amplamente distribuída no solo e com papel crucial no ciclo do N (CORDERO et al., 2019).

Esta enzima tem grande importância na produção agrícola, pois a disponibilização das formas assimiláveis pelas plantas, amoniacal ($NH4^{+}$) e nítrica ($NO3^{-}$), são obtidas a partir da hidrólise da ureia, que é realizada pela enzima urease. A ureia, no entanto, é o fertilizante com maior utilização na agricultura do país (VILLALBA et al., 2014).

A atividade da urease no solo pode ser afetada por matéria orgânica, pH, temperatura, umidade e fertilização química (FISHER et al., 2017; CUCCURULLO et al., 2020). Em condições de acidez elevada, alguns gêneros de bactérias são capazes de ativar a produção da urease para criar um ambiente com pH compatível com sua sobrevivência (KAPPAUN et al., 2018).

A atividade dessa enzima, tem sido relatada na literatura como sendo mais sensível a presença de contaminantes do que outras enzimas presentes no solo (BÅÅTH, 1989; LIPIŃSKA et al., 2013; SHEN et al., 2006). Essa maior sensibilidade, e sua relação com a microbiota do solo, tornam a avaliação da atividade da urease um parâmetro importante na bioindicação da qualidade do solo.

As metodologias utilizadas na determinação da atividade enzimática da urease no solo, apresentam uma etapa comum, em que uma solução tamponada, contendo o substrato ureia, é colocada em contato com o solo, e em seguida a mistura é incubada sob condições padronizadas por determinado período.

A avaliação da atividade enzimática, também tem sido realizada por métodos espectrofotométricos onde o produto da catálise enzimática reage especificamente com reagente colorimétrico, formando um produto cuja concentração é determinada espectrofotometricamente.

Vieira et al. (2016), concluíram que a enzima urease tem grande importância em demonstrar efeitos na decomposição do N-orgânico em função do período de amostragem do solo, confirmando que as maiores temperaturas podem ter ocasionado o aumento na atividade desta enzima igualando-as, independentemente, dos níveis de palha mantidos no solo cultivado com cana-de-açúcar. Segundo Longo e Melo (2005) a maior atividade da urease ocorre em períodos mais quentes do ano.

Oliveira (2021), identificou que a introdução das leguminosas no Sistema Silvipastoril (SSP) promoveu redução da atividade da urease em relação à braquiária solteira, possivelmente pela menor disponibilidade de N neste último sistema, e consequente estímulo da síntese da urease para aumentar a disponibilização do nutriente.

Barros et al. (2021), estudando a presença de bactérias amônio-oxidantes em um Sistema Silvipastoril (SSP), observaram maior abundância na braquiária solteira em relação a média das parcelas com leguminosas, o que poderia explicar a maior atividade da urease na braquiária, visto que muitas bactérias amônio-oxidantes são produtoras de urease (KOPER et al., 2004)

2.8.2 Atividade da fosfatase do solo

A fosfatase ácida é fundamental na mineralização do fósforo uma vez que catalisa a hidrólise de fósforo orgânico a fósforo inorgânico (REJSEK et al., 2012). Bunrs et al. (2013), destacam que a grande parte das fosfatases é sintetizada por microrganismos, porém, a fosfatase ácida também pode ser produzida por plantas e sua atividade é responsável pela mobilização mais ativa ou apropriada de fontes orgânicas de P, o que aponta catalisando a hidrólise de P a partir de fosfatomonoésteres ou fosfatodiésteres.

Essas enzimas são produzidas quando o solo possui um baixo nível de P, que é essencial para plantas e microrganismos (BALOTA et al., 2014). De acordo com Yada et al. (2015), podem ocorrer reduções nos níveis de atividade da fosfatase devido ao aumento do P na solução do solo.

O estudo dessas enzimas no solo é uma forma de avaliar a estabilidade ecológica dos diferentes biomas (LV et al., 2014), por apresentarem respostas rápidas às mudanças que

ocorrem no solo (RAIESI; BEHESHTI, 2014**;** SANTOS; MAIA, 2013), orientando as possíveis ações de gestão para revitalizá-lo (FERREIRA et al., 2017)

Em trabalho desenvolvido por Massenssini (2015), verificou-se o aumento de fungos produtores das fosfatases ácidas nas condições de ausência da adubação fosfatada, mostrando que a atividade desta enzima pode estar relacionada com alterações na composição da microbiota do solo ocasionada por situações de estresse, como a baixa disponibilidade de nutrientes. Hofman et al. (2016), ao avaliarem a enzima fosfatase em solos com alta e baixa disponibilidade de P, verificaram que a fosfatase ácida teve atividade 53% superior em regiões de baixa disponibilidade de P.

Como resultado de transformações bioquímicas, a produção das fosfatases a nível celular, são decorrentes de pouca absorção de P pelos microrganismos, esclarecendo os aumentos da atividade da fosfatase no solo quando os sistemas se encontram com baixas concentrações de P disponíveis (RHAGHOTHAMA, 1999; CONTE, 2001).

Compreender os níveis de atividade de fosfatase ácida secretada pelas raízes de plantas de interesse agrícola pode ser uma excelente forma de otimizar o manejo orgânico do solo, o que leva a uma melhor conservação e maior sustentabilidade agrícola, pois grande parte do P inorgânico assimilado pelas plantas é produzida a partir da mineralização do P orgânico pela atividade da fosfatase (ADETUNJI et al., 2017).

REFERÊNCIAS

ADAM, G.; DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology and Biochemistry,** v. 33, p. 943-951, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3>. Acesso em: ago. 2022.

ADETUNJI, A. T.; LEWU, F. B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/s0718-95162017000300018>. Acesso em: ago. 2022.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas**. Ciência Agrotecnica**, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500013>. Acesso em: ago. 2022.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3>. Acesso em: ago. 2022.

ATTA, M. M.; ABDEL-LATTIF, H. M.; ABSY, R. Influence of Biostimulants Supplement on Maize Yield and Agronomic Traits. **Bioscience Research,** v.14, p. 604-15, 2017. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/322491864_Influence_of_biostimulants_supplement_on_maize_yield_and_agronomic_traits>. Acesso em: ago. 2022.

AZEVEDO, M. C.; SOUZA SILVA, E.; MORAIS ALMEIDA, L. J.; ROSENDO, B. H. B.; SILVA RIBEIRO, J. E.; NETO, D. E. S.; MIELEZRSKI, F. Produtividade de genótipos de cana de açúcar em resposta à aplicação de calcário em microclima do semiárido brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e34710716784-e34710716784, 2021. Disponível e:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16784>. Acesso em: ago. 2022.

BÅÅTH, E. Effects of Heavy Metals in Soil on Microbial Processes and Populations (a Review). **Water Air Soil Pollut**, v. 47 p.335–379,1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00279331>. Acesso em: ago. 2022.

BADRI D. V.; WEIR T. L.; VAN DER LELIE D.; VIVANCO J. M. Rhizosphere chemical dialogues: plant-microbe interactions. ***Curr.* Opin. Biotechnol**. v.20, p. 642–650, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.09.014>. Acesso em: ago. 2022.

BAIS, H. P.; WEIR, T. L.; PERRY, L. G.; GILROY, S.; VIVANCO, J. M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, v.57, p. 233–266, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>. Acesso em: ago. 2022.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I.; YADA, I. F.; BARBOSA, G. M.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Coyne Soil microbial properties after long- term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment,** v. 490, p. 397-404, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv. 2014.05.019>. Acesso em: ago. 2022.

BARROS, F. M. R.; FRACETTO, F. J. C.; LIRA JÚNIOR, M. A.; BERTINI, S. C. B.; FRACETTO, G. G. M. Spatial and seasonal responses of diazotrophs and ammoniumoxidizing bacteria to legume-based silvopastoral systems. **Applied Soil Ecology**, v. 158, 103797, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103797>. Acesso em: ago. 2022.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BERG, G.; SMALLA, K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 68, p. 1–13, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x>. Acesso em: ago. 2022.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; BEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYOER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 120, p. 105-125, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>. Acesso em: ago. 2022.

BURNS, R. G. DEFOREST, J. L. MARXSEN. J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry,** v. 58, n. 1, p. 216-234, 2013. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.009>. Acesso em: ago. 2022.

CAPUTO, M. M.; SILVA, M. A.; BEAUCLAIR, E. G. F.; GAVA, G. J. C. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia**, v.32, n.12, p.834-840, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237748107>. Acesso em: ago. 2022.

CAVALCANTE, W. F.; SILVA, L. R. C.; SILVA, E. G.; OLIVEIRA, T. C.; MOREIRA, K. A. Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action. Revista Caatinga**,** v. 33, p. 142-150, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n116rc>. Acesso em: ago. 2022.

CATALYSIS. VIUSID agro, promotor del crecimiento. 2017. Disponível em:<http://www.catalysisagrovete.com> Acesso em: ago. 2022.

CHAVES, H. M. L.; LOZADA, C. M. C.; GASPAR, R. O. Soil quality index of on Oxisol under different land in the Brazilian savannah. **Geoderma**, v.10, p.183–190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.07.007>. Acesso em: ago. 2022.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; TORMENTA, C. A.; CERRI, C. C. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) evaluation of Brazilian sugarcane expansion on soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, p. 215–226, 2016. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj2015.09.0328>. Acesso em: ago. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. S**érie Histórica das Safras.** Brasília: 2021a. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/serie-historica-das-safrAS>. Acesso em: ago. 2022.

COMPANT, S.; SAMAD, A.; FAIST, H.; SESSITSCH, A. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. **Journal of advanced research**, v. 19, p. 29–37, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>. Acesso em: ago. 2022.

CORDERO, I.; SNELL, H.; BARDGETT, R. D. High throughput method for measuring urease activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 134, p. 72-77, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.014>. Acesso em: ago. 2022

CONTE, E. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no sistema plantio direto.** 2001. 65p. Dissertação (Mestrado em ciências do solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CUCCURULLO, A.; GALLIPOLI, D.; BRUNO, A. W.; AUGARDE, C.; HUGHES, P.; LA BORDERIE, C. Earth stabilisation via carbonate precipitation by plant-derived urease for building applications. **Geomechanics for Energy and the Environment**, 100230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gete.2020.100230>. Acesso em: ago. 2022.

DROGUE, B.; COMBES-MEYNET, E.; MËNNE-LOCCOZ, Y.; WISNIEWSKI-DYÉ, F.; PRIGENT-COMBARET, C. Control of the cooperation between plant growth-promoting rhizobacteria and crops by rhizosphere signals, **Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere**, p. 281–294, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118297674.ch27>. Acesso em: ago. 2022.

ESTEBAN, D.A.; SOUZA, Z.M.; TORMENA, C.A.; LOVERA, L.H.; LIMA, E.S.; OLIVEIRA, I.N.; RIBEIRO, N.P. Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. **Soil Tillage Research**, v.187, p.60–71, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.015>. Acesso em: set. 2022.

FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.4, p.1007-101, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600017>. Acesso em: set. 2022.

FERREIRA, S. R.; FERREIRA, M.; TEIXEIRA, A. O.; PEREIRA, I. A.; SOUZA, M. T.; MORAES, M. D.; MORAES, E. R. Produtividade de cana-de-açúcar de segundocortefertilizada com organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4594- 4600, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-329>. Acesso em: set. 2022.

FERREIRA, L. H. Z; ROSATO, M. M.; BOLONHEZI, A. C. Efeitos de reguladores vegetais aplicados no sulco de plantio em diversas variedades de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 19.,2007, Ilha Solteira, SP. **Anais...** Ilha Solteira: UNESP, 2007.

FISHER, K. A.; YARWOOD, S. A.; JAMES, B. R. Soil urease activity and bacterial ureC gene copy numbers: Effect of pH. **Geoderma,** v. 285, p. 1-8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.012>. Acesso em: set. 2022.

GAN, IVY; CHOW, W.S. Adaptação de propriedades químicas, físicas e morfológicas de nanocristais de celulose de bagaço de cana-de-açúcar via método de fosforilação. **Journal of Natural Fibers,** v. 18, pág. 1448-1459, 2021

GAO, Y.; HE J.; TANG, X.; CHU, J. Calcium carbonate precipitation catalyzed by soybean urease as an improvement method for fine-grained soil. **Soils and Foundations**, v. 59, p. 1631-1637, 2019. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.03.014>. Acesso em: set. 2022.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. **Sugarcane**. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. Cropwater relations. New York: Wiley-Interscience. 1983. p.445-479.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 877-887, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.003>. Acesso em: set. 2022.

GÓMEZ-KOSKY, R.; JARAMILLO, D. N.; ESQUIRO, C. R.; VILLEGAS, A. B.; CALIMANO, M. B.; ARMAS, P. M.; FERREIRO, J. A.; PINEDA, E.; KUKUTCU, B.; DANIELS, D. D. Effect of VIUSID Agro® and FitoMas-E® on the Ex Vitro Acclimatization of Sugarcane Plants (*Saccharum spp*.) Cultivar C90-469. **Sugar Tech**. v. *22*, p. 42-51, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00752-7>. Acesso em: set. 2022.

GÓMEZ-MERINO, F.C.; TREJO-TÉLLEZ, L.I. Biostimulant activity of phosphite in horticulturae. Scientia Horticulturae, v.196, p.82-90, 2015. Disponível em:<10.1016/j.scienta.2015.09.035> Acesso em: set 2022.

HOFMANN, K.; HEUCK, C.; SPOHN, M. Phosphorus resorption by young beech trees and soil phosphatase activity as dependent on phosphorus availability. **Oecologia.** v.181, p.369-379, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3581-x>. Acesso em: set. 2022.

JARDIN, P. D. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v.196, p.3-14, 30, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em: set. 2022.

JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado à ciência do solo (Compact Disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO. Resumos. Campinas: SBCS, 1996. 5 p.

KAPPAUN, K.; PIOVESAN, A. R.; CARLINI, C. R.; LIGABUE-BRAUN, R. Ureases: Historical aspects, catalytic, and non-catalytic properties –A review. **Journal of Advanced Research,** v. 13, p. 3-17, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.010>. Acesso em: set. 2022.

KOPER, T. E.; EL-SHEIKH, A. F.; NORTON, J. M.; KLOTZ, M. G. Urease-Encoding Genes in Ammonia-Oxidizing Bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 4, p. 2342-2348, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.70.4.2342-2348.2004>. Acesso em: set. 2022.

KÖPKE, V. **Methods for studyng root growth**. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1, Londrina. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, p. 303-318, 1980.

LIPIŃSKA, A.; KUCHARSKI, J.; WYSZKOWSKA, J. Urease Activity in Soil Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. **Polish Journal of Environmental Studies,** v.22, p.1393–1400, 2013. Disponível em: <http://www.pjoes.com/pdf-89104-22963?filename=Urease%20Activity%20in%20Soil.pdf>. Acesso em: set. 2022

LIU, D. L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phonological development in sugarcane, including sub optimum and supre-optimum temperature regiments. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.90, p.119-139, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00087-7>. Acesso em: set. 2022

LONGO, R.M.; MELO, W.J. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 645-650, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400017>. Acesso em: set. 2022

LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; CHAER, G.M.; REIS JÚNIOR, F.B.; GOEDERT, W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon**. Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.461 - 472, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0191>. Acesso em: set. 2022

LV, Y.; WANG, C. Y.; JIA, Y. Y.; WANG, W. W.; MA, X.; DU, J.; PU, G. Z.; TIAN, X. J. Effects of sulfuric, nitric, and mixed acid rain on litter decomposition, soil microbial biomass, and enzyme activities in subtropical forests of China. **Applied Soil Ecology**, v. 79, p. 1–9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.12.002>. Acesso em: set. 2022

MARAFON, A. C. **Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-Açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático**. EMBRAPA, 2012. 29 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222223/1/doc-168-corrigido-2021.pdf>. Acesso em: set. 2022.

MASSENSSINI, A. M.; TÓTOLA, M. R.; BORGES, A. C.; COSTA, M. D. Solubilização potencial de fosfatos mediada pela microbiota rizosférica de eucalipto cultivado em topossequência típica da zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.39, p.692-900, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/N73YL7n6tcsYwjvkcmm3gsH/?format=pdf>. Acesso em: set. 2022

MEDEIROS, E. V., DUDA, G. P., SANTOS, L. A. R., LIMA, J. R. S., ALMEIDA-CORTÊZ, J. S., HAMMECKER, C., LARDY, L., COURNAC, L. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. **Catena,** 151, 137-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.012>. Acesso em: set. 2022.

MENDES, I.D.C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G.M.; REIS JÚNIOR, F. B. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v. 359, n. 1–2, p. 183–195, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1195-6>. Acesso em: set. 2022.

MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A.; BÁRBARO, I. M.; ESPERANCINI, M. S. T.; TICELLI, M.; COSTA, A. G. F. Viabilidade econômica na utilização de um regulador vegetal em cana planta. **Informações Econômicas**, v. 39, p. 53-59, 2009. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/IE/2009/tec5-0109.pdf>. Acesso em: set. 2022

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 626 p.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Comparison of soil quality index using three methods. **Plos ONE** v. 9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981.t001>. Acesso em: set. 2022.

NARDI S., PIZZEGHELLO D., SCHIAVON M., ERTANI A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. **Science Agriculture** v.73, p.18–23, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>. Acesso em: set. 2022.

NOGUEIRA, M. A.; MIYAUCHI, M. Y. H.; BINI, D.; ANDRADE, G. **Microrganismos e Processos Microbianos como Bioindicadores de Qualidade Ambiental**. In: Yamada-OHASHI, A.Y.P.; PIRES, R.C.M., RIBEIRO, R.V., SILVA, A.L.B.O. Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. **Bragantia**, v.74, p.131–138, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0295>. Acesso em: set. 2022

OLIVEIRA, C. S. **Indicadores microbiológicos em sistema silvipastoril com leguminosas em ambiente tropical subúmido**. 2021. 98f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2021. Disponível em: <http://www.pgs.ufrpe.br/sites/pgs.ufrpe.br/files/documentos/cybelle_versao_autorizada_para_impressao_giselle_fracetto.pdf>. Acesso em: ago. 2022.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J. S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 51–60, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.013>. Acesso em: set. 2022

PEÑA, C. K.; RODRÍGUEZ, F. J. C.; MELÉNDREZ, J. F. Efecto de la aplicación de un

promotor del crecimiento activado molecularmente en el cultivo de Anthurium andreanum Lind. **Granma ciencia**, v.19, p.1-8, 2015. Disponível em: < https://www.redalyc.org/journal/837/83757421007/html/>. Acesso em: ago. 2022.

PLAXTON, W. C. **Plant response to stress: biochemical adaptations to P deficiency**. In: Goodman, R. M. Encyclopedia of plant and crop science. 1.ed. Marcel Dekker, 2004. p. 976-980.

POTHIER, J. F.; WISNIEWSKI-DYÉ F.; WEISS-GAYET, M.; MËNNE-LOCCOZ, Y.; PRIGENT-COMBARET, C. Promoter-trap identification of wheat seed extract-induced genes in the plant-growth-promoting rhizobacterium *Azospirillum brasilense* Sp245. **Microbiology**, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1099/mic.0.2007/009381-0>. Acesso em: set. 2022

RASOOL, N.; RESHI, Z. A.; SHAH, M. A. Effect of butachlor (G) on soil enzyme activity. **European Journal of Soil Biology**, v. 61, p. 94–100, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.02.002>. Acesso em: set. 2022

RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responsesto paddy rice cultivation than absolute enzyme activity in primary forests of northwest Iran. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 63-70, 2014. . Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.10.012>. Acesso em: ago. 2022.

REJSEK, K.; VRANOVA, V.; PAVELKA, M.; FORMANEK, P. Acid phosphomonoesterase (e.C.3.1.3.2) location in soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 196-211, 2012. Disponíve em: <https://doi.org/10.1002/jpln.201000139>. Acesso em: ago. 2022.

REYES, C. F.; RIVERA, O.; JIMENEZ, M.; OCA, J. L. M.; OCCEGUERA, Z.; HERNÁNDEZ, A.; GARCÍA, J.; MARTI´NEZ, S. Aclimatizacio´n de cultivares de can˜a de azu´car procedentes de la fase de enraizamiento a los que se les aplico´ FitoMas-E. **Centro Agrícola**, v.38, p.35–38, 2011. Disponível em: <http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero_2/cag032111785.pdf>. Acesso Set. 2022.

RHAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,** v. 50, p. 665-693, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.665> Acesso em: set 2022

REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. **Agricultural Systems**, v. 138, p. 77-87, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.004>. Acesso em: set. 2022

RIBEIRO, T. S.; CUNHA, P. Ö.; SILVA, L. A. P. Avaliação do Potencial de Biorremediação de Solos Contaminados: Método de Hidrólise de Diacetato de Fluoresceína (FDA) como Indicador de Atividade Microbiana. **Revista Aquila**, v.1, p.105-120, 2015. Disponível em: <file:///D:/Nova%20pasta%20(3)/Avaliacao_do_Potencial_de_Biorremediacao.pdf>. Acesso em: set. 2022

SANTOS, F. L. DOS; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SOUZA, E. D. de. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste goiano. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p.74-86, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n2p74-86>. Acesso em: set. 2022

SANTOS, V. M.; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais...**Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v.10, p.95-223, 2013. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/BIOINDICADORES-DE-QUALIDADE-DO-SOLO-Santos-Maia/c1fc958b8aa29ea871d74dfd7ad9ffc22aaadf8d>. Acesso em: set. 2022.

SCHUMACHER, T.E.; EYNARD, A.; CHINTALA, R. Rapid cost-effective analysis of microbial activity in soils using modified fluorescein diacetate method. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, p.4759-4762, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3922-4>. Acesso em Set. 2022

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar., 2006. p.19-36.

SHAIKH, S.S.; WANI, S.J.; SAYYED, R. Z. Impacto das interações entre rizosfera e rizobactérias: uma revisão. **Journal Bacteriol Mycology**, v. 5, n. 1, p. 1058, 2018.

SHEN, G.; LU, Y.; HONG, J. Combined Effect of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Urease Activity in Soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.63, p.474–480, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.01.009>. Acesso em: set. 2022

SHUKLA, K. P.; SHARMA, S.; SINGH, N. K.; SINGH, V.; TIWARI, K.; SINGH, S. Nature and role of root exudates: efficacy in bioremediation. **Africa Jornal Biotechnology**, v.10, p. 9717–9724, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJB10.2552>. Acesso em: set. 2022

SILVA, A. E. O; INÁCIO, E. S. B; SALCEDO, I. H; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from caatinga. **Revista Caatinga,** v. 31, n. 2, p. 405-414, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n217rc>. Acesso em: set. 2022

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SSILVA, D. A. A.; RACHE, M. M; PASSOS, V. H. GG.; SILVA, B. R. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 39, n. 1, p.1585-1594, fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150138>. Acesso em: set. 2022

SILVA, M. A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.51, p. 457-466, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1809-2667.20150011>. Acesso em: set. 2022

SILVEIRA, W. H. R. D. **Uso de bactérias promotoras de crescimento em cana-de-açúcar: uma abordagem para a sustentabilidade da cultura**. 2021. Monografia (Graduação em Ciências Biológica) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021 Rio Verde, 37 p. . Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1866/1/TCC-WINONA.pdf>. Acesso em: set. 2022

SILVA-OLAYA, A.; PELLEGRINO, C.; CERRI, C. Comparação de métodos de amostragem para avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar. **Revista de Ciência Agrícola**, v.34, p.7-16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.59>. Acesso em: set. 2022

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.009.> Acesso em: set. 2022

SMITH, D.M; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**. v.92, p.169–183, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j>. Acesso em: set. 2022

SOUZA, D. O.; ALVES, S. C. N.; DELARICA, D. L. D.; LAVEZZO, L. F.; MELO, W. J.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atividade bioquímica em áreas degradadas por mineração na Floresta Nacional do Jamari, RO. **Ciência e Tecnologia FATEC,** v. 8, p. 1-7, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326776371>. Acesso em: set. 2022

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 195-276, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285842908>. Acesso em: set. 2022

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical

properties. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, n. 2, p. 100-106, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s003740050350>. Acesso em: set. 2022

UEHARA, N.; SASAKI, N.; AOKI, N.; Ohsug, R. Effects of the temperature lowered in the daytime and night-time on sugar accumulation in sugarcane. **Plant Production Science**, v.12p420-427, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1626/pps.12.420>. Acesso em: set. 2022

VASCONCELOS, A.C.F. **Uso de bioestimulantes nas culturas de milho e soja**. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2006. Disponível em: <https://doi.org/0.11606/T.11.2007.tde-27022007-161744>. Acesso em: set. 2022

VASCONCELOS, A.C.M.; DINARDO-MIRANDA, L.L. Dinâmica do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar e implicações no controle de nematóides. **Revista e Ampliada**. 2ª Edição. Campinas. 2011. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/view/13512620/dinamica-do-desenvolvimento-radicular-da-cana-de-acucar-e->. Acesso em: set. 2022.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A. **Fisiologia do sistema radicular.** In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, 2010. p.882.

VASCONCELOS, A. C. M.; PRADO, H.; LANDELL, M. G. A. **Desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e características físico-hídricas e químicas dos ambientes de produção.** Ribeirão Preto: IAC, 2004. p.31.

VIEIRA, R. F.; RAMOS, N. P. Atividade enzimática e atividade microbiana em solo com quantidades variadas de palha de cana-de-açúcar. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso. CONGRESSO BRASILEIRO ONLINE DE AGRONOMIA CONVIBRA, **Anais...** p. 1-10, 2019. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1117252>. Acesso em: set. 2022.

VILLALBA, H. A. G., OTTO, R., TRIVELIN, P. C. O., Leite, J. Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. **Informações Agronômicas**, v. 148, p. 12–20, 2014. Disponível em: <http://ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A8C436B98265A2983257DB6006A962D/$FILE/Page12-20-148.pdf>. >. Acesso em: set. 2022.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistemas amazônicos. **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo, v.39, p.714-724, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140499>. >. Acesso em: set. 2022.

YAMADA-OGATTA, S. F.; NAKAZATO, G.; FURLANETO, M. C.; NOGUEIRA, M. A. **Tópicos Especiais em Microbiologia.** Londrina: UEL/ Departamento de Microbiologia, 2015.p. 262-281, 2015. Disponível em: <http://www.uel.br/ccb/microbiologia/pages/arquivos/Topicos%20Especiais%20em%20Microbiologia%20-%202015%20-%20UEL.pdf>. >. Acesso em: set. 2022.

YUAN, H., ZHU, Z., LIU, S., GE, T., JING, H., LI, B., KUZYAKOV, Y. Microbial utilization of rice root exudates: 13C labeling and PLFA composition. **Biology and Fertility of Soils.** v.*52*, p.615-627,2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1101-0>. >. Acesso em: set. 2022.

ZHAO, J.; WAN, S.; FU, S.; WANG, X.; WANG, M.; LIANG, C; CHEN, Y; ZHU, X. Effects of understory removal and nitrogen fertilization on soil microbial communities in Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 80-86, dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.013>. >. Acesso em: set. 2022.

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR TRATADA COM BIOESTIMULANTE

RESUMO

A utilização de biorreguladores na produção de cana-de-açúcar pode gerar maior potencial para a absorção de água e nutrientes, aumento no sistema radicular, do florescimento e da maturação. Objetivou-se verificar a influência do bioestimulante Viusid Agro®, sobre os parâmetros de produção e qualidade da cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em área comercial de cultivo de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros, Paraíba. O experimento foi conduzido em seu primeiro ano em cana planta, os sulcos foram abertos de forma mecanizada (0,40 cm) e o plantio de forma manual (15 a 18 gemas/m), com distribuição uniforme dos colmos nos sulcos cortados em toletes (60 cm), em espaçamento duplo alternado 0,8 x 1,5 m. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso (DBC), com cinco repetições. Cada parcela composta por quatro linhas com cinco metros de comprimento. O experimento foi montado em área de seis hectares, divididas em duas áreas de três hectares, tendo uma área recebido a aplicação de Viusid Agro® e a outra o manejo adotado na empresa. Os resultados foram submetidos a análise de variância com aplicação do teste t (Student), a 1% de probabilidade, na comparação das médias. Nos resultados observados, o Viusid Agro® proporcionou aumento significativo na produtividade da cana-planta, com incremento de 20,19 t ha^{-1}, quando comparado ao tratamento controle, maior uniformidade do canavial, na germinação, aumento no enraizamento, redução de falhas e competição entre as próprias touceiras, e padrões do perfilhamento. A aplicação Viusid Agro® melhora o crescimento e desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum spp;* Viusid Agro®,

ABSTRACT

The use of bioregulators in the production of sugarcane can generate greater potential for the absorption of water and nutrients, increase in the root system, flowering and maturation. The objective was to verify the influence of the biostimulant Viusid Agro®, on the parameters of production and quality of sugarcane. The study was carried out in a commercial area of sugarcane cultivation in the Coastal Tablelands, Paraíba. The experiment was carried out in its first year in plant cane, the furrows were opened mechanized (0.40 cm) and the planting was done manually (15 to 18 buds/m), with uniform distribution of the stalks in the furrows cut into stalks (60 cm), in alternating double spacing 0.8 x 1.5 m. A randomized block design (DBC) with five replications was used. Each plot consists of four rows of five meters in length. The experiment was set up in an area of six hectares, divided into two areas of three hectares, with one area receiving the application of Viusid Agro® and the other the management adopted by the company. The results were submitted to analysis of variance with the application of the t test (Student), at 1% probability, in the comparison of means. In the observed results, Viusid Agro® provided a significant increase in the productivity of the cane-plant, with an increment of 20.19 t ha-1, when compared to the control treatment, greater uniformity of the cane field, in germination, increase in rooting, reduction of failures and competition among the clumps themselves, and tillering patterns. The Viusid Agro® application improves the growth and development of sugarcane plants.

Keywords: Saccharum spp; Viusid Agro®,

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma importante cultura do setor agrícola, tanto pela sua relevância na produção de açúcar e etanol, quanto pela grande participação na matriz energética brasileira para atender a demanda crescente no mercado nacional e internacional (CONAB, 2017).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção estimada de 585.2 milhões de toneladas, cerca de 8,2 milhões de hectares em 2022 (CONAB, 2021). Isso gera uma grande demanda por fertilizantes para a sua nutrição, em sua maior parte, são importados de outros países a altos preços, o que elevam o custo de produção (BRASIL, 2020).

O uso de bioestimulantes são uma opção viável para mitigar os efeitos fisiológicos negativos do estresse hídrico em plantas, bem como a proteção contra patógenos, pois apresenta na sua composição substâncias capazes de modificar estruturas de crescimento vegetal, proporcionando uma maior absorção de água e nutrientes presentes na solução do solo pela cultura, agindo na qualidade das mudas como também na produção (Oliveira et al., 2017).

O mecanismo de ação dos reguladores vegetais está associado à interação molecular direta e específica, que desencadeia uma sucessão de eventos bioquímicos e fisiológicos que produzirão respostas mensuráveis (CASTRO et al., 2002).

O Viusid Agro® é uma solução que concentra em um único produto diferentes componentes (aminoácidos, fosfato de potássio, vitaminas e minerais) ativados por um processo minucioso que multiplica de maneira eficiente suas propriedades benéficas através de ativação molecular, aumentando a sinergia entre as moléculas da planta e que resultam em melhores condições de crescimento inicial e tempo mais curto nos ciclos de crescimento (DAVIDA, 2020).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência do bioestimulante Viusid Agro®, sobre os principais parâmetros de produção e qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*.).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização experimental

O presente trabalho foi realizado entre junho de 2019 a agosto de 2020 em área comercial de cultivo de cana-de-açúcar, pertencente à Usina Japungu, localizada no Município de Santa Rita, nos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba (34º 59’ de latitude sul e 7º 8’ de longitude oeste e altitude de 16 m).

O clima da região é do tipo As” segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como tropical com estação seca, cujo período chuvoso vai de maio a agosto, com precipitação média anual de 1.600 mm. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura arenosa, cuja características químicas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo, antes da instalação do experimento

pH	**P**	**S**	**K**	**Na^{+}**	**$H^{+}+Al^{+3}$**	**Al^{+3}**	**Ca^{+2}**	**Mg^{+2}**	**SB**	**CTC**	**M. O.**
H_2O (1:2,5)	---- mg/dm^3 ----			---------- $cmol_c/dm^3$ ----------							g/kg
5,32	2,2	-	27,9	0,02	1,89	0,25	0,37	0,78	1,24	3,13	7,19

2.2 Condução experimental

Seguindo os protocolos da Usina Japungu sob a adubação e uso dos produtos utilizados no experimento, foi utilizada a adubação mineral nitrogenada e fosfatada em toda área experimental, sendo aplicados todos em fundo do sulco. Foram aplicados 250 kg ha^{-1} de fosfato monoamônico - MAP (60 % de P_2O_5 e 16 % de N) e cobertura de 500 kg ha^{-1} da formulação 13-00-21.

As unidades experimentais corresponderam a 10,0 m de comprimento x 9,0 m de largura, compostas por seis linhas de cana-de-açúcar em espaçamento de 1,5 m. A área útil foi composta pelas quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade, totalizando 48 m². Os carreadores foram espaçados de 3,0 m entre parcelas e blocos.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a RB92579 que apresenta, entre outras características, ótimo perfilhamento, boa resposta para irrigação, alta eficiência no

uso da água e nutrientes, ótimo teor de sacarose e excelente produtividade agrícola (RIDESA, 2010).

O experimento foi conduzido em seu primeiro ano, ou seja, em cana planta, em que o processo de implantação foi realizado no dia 21 de junho de 2019. Os sulcos foram abertos de forma mecanizada a uma profundidade de 0,40 cm e o plantio foi executado de forma manual, com 15 a 18 gemas por metro linear, utilizando-se da técnica padrão pé e ponta, com distribuição uniforme dos colmos nos sulcos, que foram cortados em toletes com tamanho médio de 60 cm, utilizando o espaçamento duplo alternado 0,8 x 1,5 m.

Utilizou-se o delineamento de blocos completos ao acaso (DBC), com cinco repetições. Cada parcela foi composta por quatro linhas com cinco metros de comprimento. Como área útil da parcela foram utilizadas duas fileiras de plantas centrais, deixando-se as demais como bordadura e 0,5 m em cada extremidade das fileiras. Para controle das plantas infestantes foi utilizado os herbicidas Gamit, Velpa e Advance nas doses recomendadas pelo fabricante. O controle de formigas e cupins foi realizado com o ingrediente ativo Regente®, aplicado sobre toletes no sulco de plantio com dosagem recomendada pelo fabricante.

O experimento foi montado em uma área de seis hectares, divididas em duas áreas de três hectares, tendo uma área recebido a aplicação de Viusid Agro® (T1 e T2) e a outra apenas o manejo comumente adotado na empresa, sem o uso do Viusid Agro® (T3 e T4).

O tratamento que recebeu o Viusid Agro® (Tabela 2) teve sua , O controle foi realizado sem qualquer aplicação do bioestimulante, apenas com a adubação recomendada segundo os protocolos da empresa.

Tabela 2. Composição do Viusid Agro® avaliado g/100 mL

Composição	**%**	**Composição**	**%**
Fosfato de potássio	5	Pantotenato de cálcio	0,115
Ácido Málico	4,6	Piridoxal	0,225
Glucosamina	4,6	Ácido Fólico	0,05
Arginina	4,15	Cianocobalamina	0,0005
Glicina	2,35	Glicirrizanato Monoamônio	0,2
Ácido Ascórbico	1,15	Benzoato de Sódio	0,2
Sulfato de Zinco	0,115	Sorbato de Potássio	0,2

Aos 402 dias após o plantio, realizou-se o corte manual para avaliação das variáveis tecnológicas (TCH, Brix, ATR e Pol %). Amostrou-se três colmos aleatórios em cada linha útil. Foi amostrado quatro linhas, totalizando 12 colmos em cada unidade experimental.

Os feixes foram enviados ao laboratório de análise tecnológica. Determinou-se por refratometria o teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo (Brix%) da cana. Os açúcares redutores totais (ART) da cana foram determinados segundo a metodologia vigente no SPCTS (Sistema de Pagamento da cana-de-açúcar), pelo teor de sacarose descrita em Fernandes (2011).

2.3 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância com aplicação do teste t (Student), a 1% de probabilidade, na comparação das médias (SAEG, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento (junho de 2019 a agosto de 2020), observou-se que os maiores índices pluviométricos ocorreram nos meses de junho e julho de 2019, com 357 e 287 mm, respectivamente, e em março a julho de 2020 quando foi registrado o acumulado de 1325 mm. No período de agosto de 2019 a fevereiro de 2020 observou-se as menores precipitações (acumulado de 208 mm), caracterizando o período de estiagem na região (Figura 1).

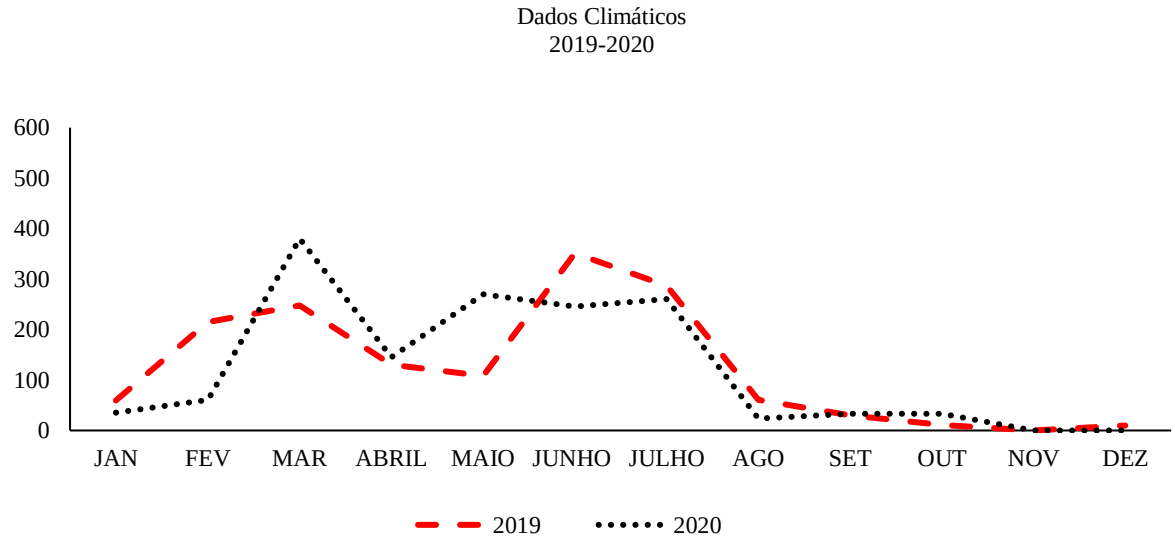


Figura 1. Acumulado mensal de precipitação pluviométrica (mm) da área experimental

No ano de 2019, as temperaturas se mantiveram elevadas durante quase todo o ciclo, porém, observa-se que a precipitação pluvial foi irregularmente distribuída, com volume de 380 mm de chuva concentradas no mês de março, o que reporta as más condições encontradas no período da colheita.

O Viusid Agro® proporcionou aumento significativo na produtividade da cana-planta, com incremento de 20,19 t ha^{-1}, quando comparado ao tratamento controle (sem Viusid Agro®) (figura 2). Segundo Ramos et al. (2015), ao aplicar pequenas doses observaram que os resultados promovidos pelos bioestimulantes são satisfatórios para o crescimento vegetal, uma vez que, os elementos presentes na composição desses produtos favorecem os processos metabólicos das plantas, aumentam seu potencial genético, mantem o equilíbrio hormonal, estimulam o desenvolvimento radicular e o perfilhamento.

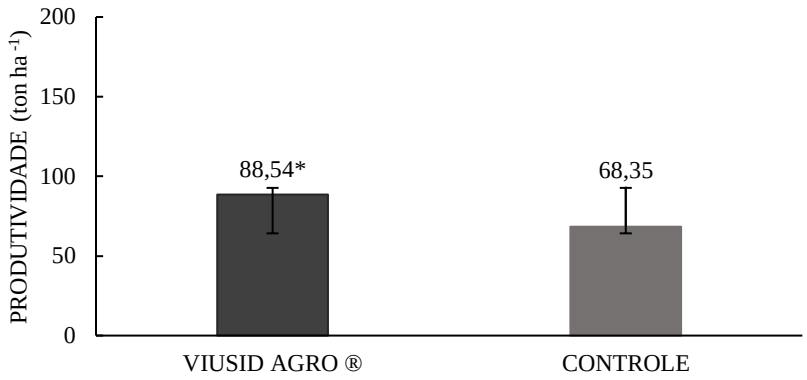


Figura 2. Respostas da produtividade da cana-de-açúcar submetida a aplicação de Viusid Agro ®. (*: significativo pelo teste *t* a 1%). Barra vertical indicando o desvio padrão

Esses resultados podem ser atribuídos à composição do Viusid Agro®, uma vez que este é constituído por diversas substâncias bioquímicas de alta energia, como aminoácidos, fosfato de potássio, pantotenato de cálcio, sulfato de zinco e ácido ascórbico, que podem ter impactado positivamente na produtividade da cana. Sabe-se que a aplicação de fórmulas contendo aminoácidos tem efeitos positivos no crescimento e produtividade das plantas, além de reduzir significativamente as lesões por estresse abiótico (KOWALCZYK; ZIELONY, 2008).

O ácido fólico, atua como transportador de compostos. É também uma coenzima muito importante no metabolismo de aminoácidos e na síntese de bases nitrogenadas necessárias para a formação de novos tecidos. Portanto, influencia positivamente o crescimento de órgãos vegetativos (AZCÓN-BIETO; TALÓN, 2008). O zinco está relacionado a síntese de triptofano e de proteínas que atuam no metabolismo do nitrogênio, além de ser exigido para a manutenção da auxina que atua no crescimento vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Desse modo, o sulfato de zinco pode ter contribuído para o maior crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar neste estudo quando comparado ao tratamento controle.

Também é atribuída particular importância para o processo biocatalítico de ativação molecular, onde, uma vez culminado, as moléculas são ativadas e um maior efeito é obtido a partir desses componentes nas colheitas (CATALYSIS, 2019). Isso é possível devido ao acúmulo de elétrons adicionais nas órbitas externas das moléculas. Cada componente é ativado separadamente seguindo um protocolo específico. Isso é o que leva à efeitos positivos do crescimento e desenvolvimento em plantas, com influência positiva no rendimento final.

O Viusid Agro® atua como um complemento no auxílio da manutenção fisiológica, devido a presença dos seus componentes o que pode resultar em economia de energia pela planta para a fabricação de proteínas, necessárias para as funções de respiração e fotossíntese, resultando em uma melhor resposta de rendimento.

Nesse estudo, a fase de perfilhamento e intenso crescimento coincidiu com a época seca, onde a precipitação dos meses de setembro a dezembro foi abaixo de 100 mm. O déficit hídrico associado a altas temperaturas podem provocar perturbações nas características das plantas, retardando o crescimento e desenvolvimento e, consequentemente, afetando a produtividade (GERGANOVA ET AL., 2016).

Na área com aplicação de Viusid Agro® houve uma uniformidade do canavial, na germinação, aumento no enraizamento, redução de falhas e competição entre as próprias touceiras, e padrões do perfilhamento que foram observadas no período de condução do trabalho (figura 3). Provavelmente, o produto estimulou os processos naturais que potencializam a fotossíntese, ativam o sistema natural de defesa, melhoram a absorção de nutrientes e promovem respostas aos estresses, reduzindo os danos, consequentemente, desenvolveu plantas fotossinteticamente mais ativas, principalmente com ganho na produtividade (t ha^{-1}), proporcionando melhorias aos atributos de qualidade, incluindo os teores de açúcar.

Figura 3. Fotos dos toletes 120 dias após o plantio em área tratada com Viusid Agro® (A, B e C) e uniformidade do Canavial 120 dias após aplicação do produto (D)

Kimura & Beauclair (2009), avaliando diferentes bioestimulantes sobre a brotação da cana-de-açúcar aplicados diretamente nos sulcos de plantio, não constataram efeitos significativos da aplicação de biostimulantes no perfilhamento da cana. Pordeus et al. (2020),

observaram que aplicações foliares semanais de Viusid Agro® a 0,4 ml L^{-1} em plantas de alface (var. *Soraia*) cultivadas hidroponicamente produziu plantas melhores que a testemunha.

Testando o bioestimulante Stimulate®, Rosseto (2016), realizou a aplicação de 0,5 L ha^{-1} do produto em um canavial da APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) em Jaú – SP, e com a aplicação deste bioestimulante observou-se um melhor desenvolvimento de colmos por metro e acréscimo de 12 t ha^{-1} na produtividade, saindo dos 171 t ha^{-1} para 183 t ha^{-1}.

O equilíbrio hormonal melhora a eficiência do metabolismo da planta. Com isso, há maior conversão de substâncias minerais em sustâncias orgânicas. Logo, o aproveitamento dos bioestimulantes é maximizado promovendo aumento da produtividade (Koprna et al., 2016)

Os açúcares totais recuperáveis (ATR) para cana-planta não foram significativamente influenciados (figura 4). Silva et al. (2014**),** afirmam que a variável ATR é fundamental para a indústria e para os produtores, pois é a base para que as unidades industriais estabeleçam o preço pago aos produtores.

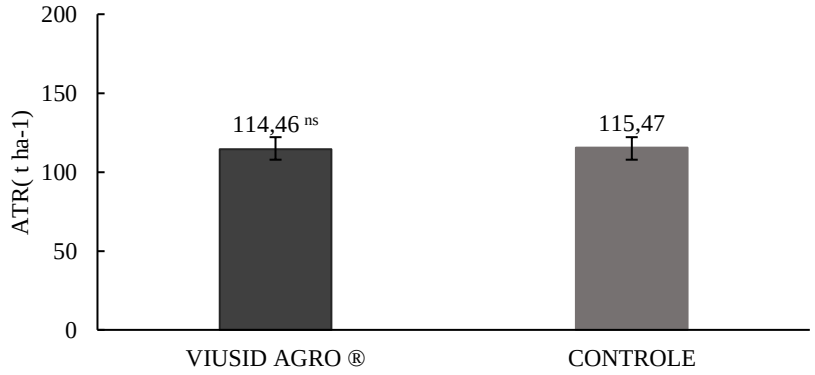


Figura 4. Açúcares totais recuperáveis (ATR) em t ha^{-1} de cana-de-açúcar submetida a aplicação de Viusid Agro®. (ns: não significativo pelo teste *t* a 1%). Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados

Considerando este aspecto, a qualidade dos colmos resultantes do melhor ATR se deve ao melhor desempenho de algumas variedades quando adequadamente abastecidas com água durante todo o ciclo de cultivo. Assim, a função do bioestimulante foi de proporcionar um melhor equilíbrio fisiológico para o desenvolvimento da planta, o que pode ser muito importante em condições ambientais (seca, geada), ou bióticas limitantes (pragas e doenças).

Na planta, o desdobramento da sacarose em glicose e frutose é uma reação de duplo sentido, isto é, ocorre a inversão, assim como a combinação, durante o metabolismo da

fotossíntese e respiração da planta; daí a importância do conhecimento do teor de ATR, para a avaliação da qualidade da matéria-prima (FERNANDES, 2003).

No mesmo sentido, Ferreira et al. (2020), com a utilização do bioestimulante Stimulate®, obtiveram ausência de influência nos dados de produtividade e perfilhamento. Silva et al. (2010), verificaram que o uso de Stimulate®, na dose de 0,5 L ha^{-1}, não proporcionou efeito nos parâmetros POL e ATR.

Analisando a variável Pol da Cana (Pol %) separadamente podemos observar que esta não foi influenciada pela presença ou não do bioestimulante (figura 5). Silva et al. (2010), verificaram que o uso de Stimulate®, na dose de 0,5 L $há^{-1}$, não proporcionou efeito nos parâmetros Pol da cana e ATR.

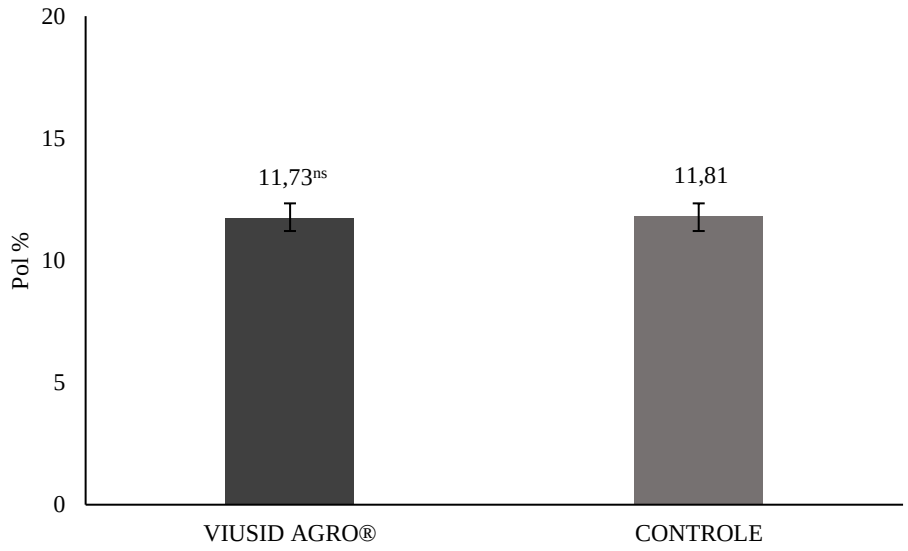


Figura 5: Teor de sacarose aparente na cana (Pol%) variedade RB92579. Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados

Dias et al. (2014), estudando o uso dos bioestimulantes Byozime, Stimulate e Pilatus no rendimento agrícola da cana-de-açúcar, observaram diferenças significativas entre os tratamentos para os anos de 2011 e 2012 em relação ao tratamento controle, onde o ano de 2011 apresentou um melhor rendimento agrícola, com respostas de produtividade chegando a 18% maiores no tratamento com 500 mL ha^{-1} de Biozyme.

Os sólidos solúveis totais (BRIX) foram influenciadas pela presença do bioestimulante. Houve aumento na média do tratamento com o uso do bioestimulante em relação ou que não houve o uso (figura 6). Quanto mais alto o grau Brix, maior as características de sabor e quantidade de açúcares no caldo.

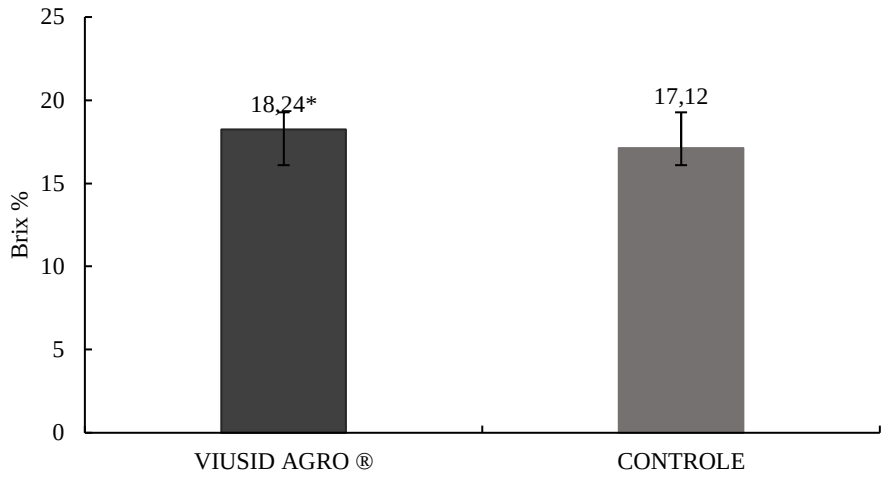


Figura 6. Respostas dos sólidos solúveis (BRIX) da cana de açúcar, submetida à aplicação do Biostimulante Viusid Agro® (*: significativo pelo teste *t* a 1%). Barra vertical indicando o desvio padrão dos dados

Apesar de existirem poucos trabalhos que avaliam a interferência do uso de bioestimulante no teor de sólidos solúveis, os resultados deste trabalho contradizem com Ferreira et. al. (2013), que não obtiveram diferença significativa para o Brix, quando avaliado a aplicação de bioestimulantes no sulco de plantio em oito variedades de cana-de-açúcar (SP89-1115, SP81- 3250, SP83-2847, SP91- 3011, RB72454, RB867515, RB835054 e SP91- 3440). Os autores encontraram valores entre 19,9 e 20,4, enquanto neste trabalho os valores ficaram entre 17,12 e 18,24.

Casillas et al. (1986), detectaram os benefícios dos bioestimulantes. Os autores observaram que mesmo quando aplicados em pequenas doses são capazes de atuar como ativadores do metabolismo vegetal e reativador de processos fisiológicos das plantas, por exemplo a translocação de açúcar na cana-de-açúcar. Nesta ocasião, é aproveitado os benefícios do bioestimulante para maximização dos processos fisiológicos e conversão em açúcares (MORAES, 2017).

É importante destacar a complexidade do Viusid Agro® na sua composição. E para ter conhecimento da ação de cada substância é importante conhecer o processo regulado, a dose necessária para manipular o processo, bem como o órgão da planta onde ocorrerão as reações.

4 CONCLUSÃO

A aplicação do promotor de crescimento Viusid Agro® melhora o crescimento e desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar e constitui uma alternativa eficiente para aumentar a produção desta cultura.

REFERÊNCIAS

AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M**. Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. 2.ed. Edificio Valrealty: Basauri, 2008. 699 p. Disponível em: <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>. Acesso em: mar. 2022

BRASIL, Y. **Resumo Nutricional da Cana-de-Açúcar**. 2020. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/resumo-nutricional-da-cana-deacucar/> Acesso em: ago. 2022.

CASILLAS, J. C. V.; LEODOÑO, J. I.; GUERRERO, H. A.; BUITRAGO, L. A. G. Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes en el cultivo de rabano (*Raphanus sativus* L.). **Acta Agronomica**, v.36, p.185- 195, 1986. **Avaiable on:** <https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/14730/15551>. Acesso em: mar. 2022

CASTRO, P. R. C.; SENA, J. O. A.; KLUGE, R. A. **Introdução a fisiologia do desenvolvimento vegetal.** Maringá: Eduem, Universidade Estadual de Maringá, 2002. 255p.

CATALYSIS. **VIUSID AGRO®, promotor del crecimiento**. 2019. Disponível em: <https://catalysisagro.es/en/agro/>. Acesso em: set. 2022.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. 1 ed. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <file:///D:/Nova%20pasta%20(3)/Boletim_Cana_1_Levantamento_17-18.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: mar. 2022

DAVIDA. **Davida group**. 2020. Disponível em: <http://davidagroup.com/>. Acesso em: mar. 2020.

DIAS, F. L. F.; TAVARES, S.; ÁVILA, M. D.; GIRIO, L. A. S.; SOUSA JÚNIOR, G. S. S.; BACILIERI, F; S. Avaliação de Biozyme e Pilatus em soqueira de cana. **Anais...**VIII workshop agroenergia: matérias primas. Ribeirão Preto, 2014. Disponível em: <http://infobibos.com/anais/agroenergia/8/Resumos/ResumoAgroenergia_2014_035.pdf>. Acesso em: set. 2022.

EPSTEIN, E. E BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perpectivas**. 2 ed. Trad. Editora Planta, 2006.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB**,** 2003. 240p.

FERREIRA, M. M. R.; FERREIRA, L. H. Z.; BOLONHEZI, A. C. Plant regulators applied in the planting furrow in some sugarcane cultivars. **Scientia Agraria**, v.14, p.59-64, 2013. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/.../24993>. Acesso em: ago. 2022.

FERREIRA, S. R.; FERREIRA, M.; TEIXEIRA, A. O.; PEREIRA, I. A.; SOUZA, M. T.; MORAES, M. D. LANA, R; M. Q.; MORAES, E. R. Produtividade de cana-de-açúcar de segundo corte fertilizada com organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p. 4594-4600, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-329>. Acesso em: ago. 2022.

GERGANOVA, M.; POPOVA, A. V.; STANOEVA, D.; VELITCHKOVA, M. Tomato plants acclimate better to elevated temperature and high light than to treatment with each factor separately. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 104, p. 234-241, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.030>. Acesso em: ago. 2022.

KIMURA, W.J.; BEAUCLAIR, E.G.F. **Resposta da brotação a diferentes bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba: ESALQ, 2009. 2p

KOPRNA, R.; DIEGO, N. D.; DUNDÁLKOVÁ, L.; SPÍCHAL, L. Use of cytokinins as agrochemicals. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. v.24, p.484-492, 2016. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.bmc.2015.12.022>. Acesso em: ago. 2022.

KOWALCZYK, K.; ZIELON T. Effect of Amino plant and Asahi on yield and quality of lettuce grown on Rockwool. Book of Abstracts of the Conference of bio stimulators in modern agriculture, **Poland**, v.40, p.7-8, 2008. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/37521008/effect-of-aminoplant-and-asahi-sl-on-yield-and-quality-of-lettuce-/14>. Acesso em: set. 2022.

MORAES, E. R. **Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar**. 2017. 71 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlânida. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21450/3/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20de%20fertilizante%20organomineral.pdf>. Acesso em: set. 2022.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, J. M.; SOUZA NETA, M. L.; OLIVEIRA, M. K.; ALVES, R. C. Substrato e bioestimulante na produção de mudas de maxixeiro. **Horticultura**

Brasileira, v. 35, p. 141-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170122>. Acesso em: set. 2022.

PORDEUS, A. V.; MORAES, L. A; MEDEIROS, D. O.; BENITEZ, L. C. Growth Response of Hydroponic Lactuca sativa L. to Application of Fertilizer Organic Viusid Agro®. **Journal of Agricultural Science,** v.12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n11p268>. Acesso em: set. 2022.

RAMOS, A. R.; BINOTTI, F. F. S.; SILVA, T. R.; SILVA, U. R. Bioestimulante no condicionamento fisiológico e tratamento de sementes de feijão. **Revista Biociências**, v.21, p.76-88, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343893418_Bioestimulante_no_condicionamento_fisiologico_e_tratamento_de_sementes_de_feijao>. Acesso em: set. 2022.

RIDESA. **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar**. Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, Curitiba. 2010, p.41. Avaiable on: <http://www.cana.com.br/biblioteca/informativo/catalogo-2010.pdf>. Acesso em: set. 2022.

ROSSETTO, R.; ARÉVALO, R.; JÚNIOR, J.; CATO, S.; COSTA, A**. Efeito de biorregulador e de fertilizantes aplicados no plantio da cana-de-açúcar**. In Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal, v.11, 2007. Disponível em: <https://www.sbfv.org.br/anais/>. Acesso em: set. 2022.

SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. 9.1 ed. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, Universidade Federal de Viçosa, 2006. Disponível em: <http://arquivo.ufv.br/Saeg/>. Acesso em: ago. 2022.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A.G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, v.40, p.774-780, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000057>. Acesso em: Ago. 2022.

CAPÍTULO II

ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR NA PRESENÇA DE BIOESTIMULANTE

RESUMO

As enzimas são essenciais para a saúde do solo e desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, na disponibilidade de energia e nutrientes para as plantas. Objetivou-se avaliar a atividade enzimática em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar com aplicação de bioestimulantes. O estudo foi realizado em área comercial de cultivo de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros, Paraíba. O experimento foi montado em uma área de seis hectares, divididas em duas áreas de três hectares, tendo uma área recebido a aplicação de Viusid Agro® (T1 e T2) e a outra apenas o manejo comumente adotado na empresa, sem o uso do Viusid Agro® (T3 e T4, controle). As coletas de solo para análises biológicas foram realizadas em três épocas durante o ciclo da cana planta em área com e sem aplicação do bioestimulante Viusid Agro®. Uma coleta na fase de intenso crescimento da cultura (120 DAP) que coincidiu no período seco, em dezembro de 2019, outra coleta em março de 2020 (240 DAP), fase de maturação da cultura e bom índice pluviométrico e a última coleta em agosto de 2020, 30 dias após a colheita da cana. Foram avaliadas as atividades das enzimas extracelulares que se relacionam com o ciclo do nitrogênio (urease), fósforo (fosfatase ácida) e atividade enzimática geral do solo (hidrólise do diacetato de fluoresceína - FDA). Os resultados foram submetidos a análise de variância com aplicação do teste Tukey a 5% de probabilidade. A urease não apresentou diferenças significativa entre a área com aplicação do bioestimulante VIUSID Agro® e o controle aos 120 dias após o plantio e 30 dias após a colheita. Nos resultados observados os valores de hidrólise do FDA foram superiores nas três coletas em área com VIUSID Agro®.

Palavras-chave: Enzima; VIUSID Agro®.

ABSTRACT

Enzymes are essential for soil health and play a key role in the decomposition of organic matter, energy and nutrients availability for plants. The objective was to evaluate the enzymatic activity in Yellow Red Argissolo cultivated with sugarcane with application of biostimulants.The study was carried out in a commercial sugarcane cultivation area in Tabuleiros Costeiros, Paraíba. The experiment was set up in an area of six hectares, divided into two areas of three hectares, with one area receiving the application of Viusid Agro® (T1 and T2) and the other only the management commonly adopted in the company, without the use of Viusid Agro® (T3 and T4, control). Soil samples for biological analysis were collected in three periods during the sugarcane cycle in areas with and without application of the biostimulant Viusid Agro®. One collection in the phase of intense crop growth (120 DAP) that coincided in the dry period, in December 2019, another collection in March 2020 (240 DAP), phase of crop maturation and good rainfall index and the last collection in August 2020, 30 days after the sugarcane harvest. The activities of extracellular enzymes that relate to the nitrogen cycle (urease), phosphorus (acid phosphatase) and general soil enzymatic activity (hydrolysis of fluorescein diacetate - FDA) were evaluated. The results were submitted to variance analysis with the application of the Tukey test at 5% probability. The urease did not show significant differences between the area with application of the biostimulant VIUSID Agro® and the control at 120 days after planting and 30 days after harvest. In the results observed the values of FDA hydrolysis were higher in the three collections in the area with VIUSID Agro®. The urease did not show significant differences between the area applied with the biostimulant VIUSID Agro® and the control at 120 days after planting and 30 days after harvest. The maximum activity of acid phosphatase was in the control at 1638.8 μg p-nitrophenol h-1 g-1 , 240 days after planting.

Keywords: Enzyme; VIUSID Agro®.

1 INTRODUÇÃO

As enzimas são essenciais para a saúde do solo e desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, na disponibilidade de energia e nutrientes para as plantas. Determinar as enzimas presentes no solo são essenciais para analisar o funcionamento microbiano do solo, sua diversidade e, consequentemente, a qualidade deste solo (BAILEY et al., 2011). A atividade microbiana é uma das principais responsáveis pela mineralização de nutrientes no solo (YADAV et al., 2019).

Neste processo, as enzimas extracelulares permitem aos microrganismos adquirir recursos e energia de biomoléculas complexas presentes no solo (ALLISON; VITOUSEK, 2005; WU et al., 2018). Solos saudáveis não apenas fornecem um ambiente de crescimento adequado para as plantas, mas também vários serviços ecossistêmicos essenciais. Sustentar solos saudáveis é essencial para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas durante as próximas décadas (KEESSTRA et al., 2016; LAL et al., 2018; LEHMANN et al., 2020)

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção estimada de 568,4 milhões de toneladas, abrangendo 8,2 milhões de hectares cultivados em 2022 (CONAB, 2021). A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) movimenta um grande ramo da atividade agrícola do país. Como alimento, por meio do açúcar, a cultura é a matéria prima que compõe a fabricação de inúmeros produtos industrializados que atendem as necessidades humanas.

As práticas de manejo no cultivo da cana de açúcar, bem como as condições ambientais do solo, tais como o ar, e disponibilidade de substratos (nutrientes), podem variar muito ao longo do tempo e ter grandes efeitos sobre parâmetros microbianos e bioquímicos do solo (GIACOMETTI et al., 2013). No futuro haverá uma demanda crescente de bioenergia o que exige, desde já, um aumento nas demandas pelas culturas ditas bioenergéticas, a exemplo da cana-de-açúcar. Tais demandas requerem mudanças no uso da terra, especialmente no que diz respeito ao manejo sustentável para aumentar a produtividade das culturas (BORDONAL et al., 2018; CHERUBIN et al., 2021), e evitar a perda de matéria orgânica, compactação e erosão, além de prejuízos a microbiota do solo, interferindo em seus processos bioquímicos (ARAÚJO; MONTEIRO 2007)

Os bioestimulantes são misturas de reguladores vegetais naturais ou sintéticos, microrganismos e/ou compostos de natureza química (aminoácidos, vitaminas e nutrientes) (Santos et al., 2017). Estes produtos são eficientes em baixas doses, atuando em processos

metabólicos e fisiológicos, podendo aumentar a absorção e eficiência de nutrientes, e em condições adversas, podem reduzir as perdas, pela minimização dos danos (JARDIN, 2015; YAKHIN et al., 2017).

Os bioestimulantes são, por isso, considerados estratégias inovadoras para minimizar os impactos causados por estresses (UGENA et al., 2018). Os efeitos da aplicação de bioestimulantes sobre a composição e a atividade dos microrganismos do solo não são totalmente equacionados e poucos trabalhos abordam o modo como a atividade microbiana responde as mudanças ocorridas no solo em função da adição de bioestimulantes.

Variáveis biológicas, como atividades enzimáticas, têm se destacado como potenciais indicadores de qualidade, pois são frequentemente mais sensíveis ao manejo do que as propriedades físicas e, ou, químicas (SAFFIGNA et al., 1989; BANDICK; DICK, 1999; MIJANGOS et al., 2006). As fosfatases ácida e alcalina são enzimas fundamentais para o processo de mineralização pois estas catalisam a hidrólise de ésteres fosfato, liberando o fosfato solúvel para as plantas. São classificadas em ácidas ou alcalinas de acordo com a atividade ótima em pH ácido (6,5) e alcalino (11).

A urease participa do ciclo do N, liberando N inorgânico. Catalisa a hidrólise da ureia liberando CO_2 (gás carbônico) e NH_3 (amônia) na natureza. É amplamente distribuída nos ambientes e foi detectada em microrganismos, plantas e animais (DICK et al., 1996). É considerada a enzima mais sensível à presença de contaminantes do que outras enzimas presentes no solo (BÅÅTH, 1989; LIPIŃSKA et al., 2013; SHEN et al., 2006). Essa maior sensibilidade, e sua relação com a microbiota do solo, tornam a avaliação da atividade da urease um parâmetro importante na bioindicação da qualidade do solo.

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi identificada como uma importante ferramenta biológica para medir a atividade microbiana total, uma vez que o FDA é hidrolisado por várias enzimas (lipases, proteases e esterases) presentes em vários grupos de microrganismos do solo (SILVA et al., 2004).

Assim, a hidrólise do FDA no solo pode fornecer indicações do potencial do solo para suportar processos bioquímicos essenciais para a manutenção da sua fertilidade, bem como a saúde do solo. Buscando entender melhor o efeito do atributo bioquímico na qualidade do solo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a atividade enzimática em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar com aplicação de bioestimulantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização experimental

O presente trabalho foi realizado entre junho de 2019 a agosto de 2020, em área comercial de cultivo de cana-de-açúcar, pertencente à Usina Japungu, localizada no Município de Santa Rita, nos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba cujas coordenadas geográficas são 34º 59’ de latitude sul e 7º 8’ de longitude oeste e altitude de 16 m.

O clima da região é do tipo As” segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como tropical com estação seca, cujo período chuvoso ocorre de maio a agosto, com precipitação média anual de 1.600 mm. O solo da área de estudo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura arenosa, cuja características químicas estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo, antes da instalação do experimento

pH	P	S	K	Na^{+}	$H^{+}+Al^{+3}$	Al^{+3}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	SB	CTC	M. O.
$H_2O_{(1:2,5)}$	---- mg/dm^3 ----			---------- $cmol_c/dm^3$ ----------							-- g/kg --
5,32	2,2	-	27,9	0,02	1,89	0,25	0,37	0,78	1,24	3,13	7,19

2.2 Condução experimental

Seguindo os protocolos da Usina Japungu, sob a adubação e uso dos produtos utilizados no experimento. Foi utilizada a adubação mineral nitrogenada e fosfatada em toda área experimental, sendo aplicados todos em fundo do sulco. Foram aplicados 250 kg ha^{-1} de fosfato monoamônico - MAP (60 % de P_2O_5 e 16 % de N) e cobertura de 500 kg ha^{-1} da formulação 13-00-21.

As unidades experimentais corresponderam a 10,0 m de comprimento x 9,0 m de largura, compostas por seis linhas de cana-de-açúcar em espaçamento de 1,5 m. A área útil foi composta pelas quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade, totalizando 48 m². Os carreadores foram espaçados de 3,0 m entre parcelas e blocos.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a RB92579 que apresenta, entre outras características, ótimo perfilhamento, boa resposta para irrigação, alta eficiência no

uso da água e nutrientes, ótimo teor de sacarose e excelente produtividade agrícola (RIDESA, 2010).

O experimento foi montado em uma área de seis hectares, divididas em duas áreas de três hectares, tendo uma área recebido a aplicação de Viusid Agro® (T1 e T2) e a outra apenas o manejo comumente adotado na empresa, sem o uso do Viusid Agro® (T3 e T4, controle).

O tratamento que recebeu o Viusid Agro® (tabela 2) teve sua aplicação no momento do plantio, via pulverização do colmo diretamente no sulco com a dosagem de 200 mL ha^{-1} diluído em calda de 250 L. Aos 90 e 120 dias após o plantio (DAP), foram realizadas novas aplicações, agora foliar, nas mesmas dosagens de plantio. O controle foi realizado sem qualquer aplicação do bioestimulante, apenas com a adubação recomendada segundo os protocolos da empresa.

Tabela 2. Composição do Viusid Agro® (g/100 mL)

Composição	**%**	**Composição**	**%**
Fosfato de potássio	5	Pantotenato de cálcio	0,115
Ácido Málico	4,6	Piridoxal	0,225
Glucosamina	4,6	Ácido Fólico	0,05
Arginina	4,15	Cianocobalamina	0,0005
Glicina	2,35	Glicirrizanato Monoamônio	0,2
Ácido Ascórbico	1,15	Benzoato de Sódio	0,2
Sulfato de Zinco	0,115	Sorbato de Potássio	0,2

2.3 Amostragem do solo

As coletas de solo para análises biológicas foram realizadas em três épocas durante o ciclo da cana planta em área com e sem aplicação do bioestimulante Viusid Agro®. Uma coleta na fase de intenso crescimento da cultura (120 DAP) que coincidiu no período seco, em dezembro de 2019, outra coleta em março de 2020 (240 DAP), fase de maturação da cultura e bom índice pluviométrico e a última coleta em agosto de 2020, 30 dias após a colheita da cana.

Os solos foram coletados, com o auxílio de um trado para amostra deformada, na profundidade de 0-10 cm. Este procedimento foi repetido três vezes em cada ponto de coleta, para que as subamostras de cada profundidade fossem reunidas para constituírem amostras compostas. As amostras foram levadas para o laboratório, acondicionados em sacos plásticos e mantidos refrigerados a 4ºC até o momento da análise.

2.4 Atividade biológica do solo

2.4.1 Ensaios enzimáticos

Foram avaliadas as atividades das enzimas extracelulares que se relacionam com o ciclo do nitrogênio (urease), fósforo (fosfatase ácida) e atividade enzimática geral do solo (hidrólise do diacetato de fluoresceína - FDA). Foram mensuradas em triplicata, utilizando-se métodos colorimétricos com substratos específicos para cada enzima avaliada.

2.4.2 Fosfatase Ácida

A atividade da fosfatase ácida foi determinada segundo a metodologia proposta por TABATABAI (1994), por espectrofotometria, quantificando o p-nitrofenol liberado após incubação de 1,0 g de solo em 0,2 mL de tolueno, 4 mL de tampão universal modificado (MUB) pH 6,5 para realização da atividade fosfatase ácida e 1 mL de solução de p-nitrofenil fosfato (0,025 M), a 37ºC, por 1 h. Em seguida as amostras foram filtradas, a leitura foi realizada em espectofotometro (490 nm). A atividade enzimática é expressa em μg de p-nitrofenol liberado por hora por grama de solo (μg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} solo seco).

2.4.3 Urease

A atividade de urease foi determinada segundo método descrito por Kandeler e Gerber (1988), com modificações. Amostras compostas de solo fresco (5g) foram misturadas com 20 mL de solução 75 mmol L^{-1} de tampão borato, pH 10 e 2,5 mL de solução 80 mmol L^{-1} de ureia. Incubaram-se as amostras a 37 ºC, sob agitação (200 rpm), durante duas horas. Em seguida, a reação foi interrompida com adição de 30 mL de solução 1 mol L^{-1} de cloreto de potássio acidificada (0,01 mol L^{-1} HCl), com agitação por 30 min.

Alíquotas de 1,4 mL foram transferidas para microtubos e centrifugadas a 14.000 rpm, por 10 min. Após esse tempo, 1 mL do sobrenadante foi retirado e misturado com 9 mL de água destilada, 5 mL de solução básica de salicilato/nitroprussiato de sódio e 2 mL de solução 0,1 % de ácido dicloroisocianúrico. Após uma hora em repouso, em temperatura ambiente, foi medida a intensidade da cor da solução (formação de um complexo de coloração verde), a 690 nm, em

espectrofotômetro UV/Vis. Controles negativos foram feitos, simultaneamente, para verificar a formação de amônia produzida por via não enzimática.

O procedimento foi o mesmo adotado para as amostras, exceto com relação à adição de ureia, que foi feita no final da incubação e imediatamente depois da adição de solução 1 mol L^{-1} KCl. A curva de calibração foi obtida a partir da solução padrão estoque, 1.000 mg mL^{-1} de $N\text{-}NH_4^+$. O conteúdo de $N\text{-}NH_4^+$ no solo foi calculado pela referência ao gráfico de calibração plotado a partir dos resultados obtidos com as soluções-padrão diluídas, contendo 0; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; e 4,0 mg mL^{-1} de $N\text{-}NH_4^+$. Todos os tratamentos foram feitos em triplicata, sendo a atividade de urease expressa em μg de $N\text{-}NH4^+$ liberado por duas horas por grama de solo (μg $N\text{-}NH4^+$ $2h^{-1}$ $g\text{-}^{-1}$ solo seco).

2.4.4 Hidrólise do diacetato de fluoresceína-FDA

A atividade da hidrolise da FDA foi determinada segundo método descrito por Burns (1978), com modificações. Os frascos foram fechados com folha de alumínio e incubado sob agitação de 150 rpm a 24°C por 20 minutos. Após a incubação, foram adicionadas alíquotas de 3 ml da solução em tubos contendo 3 ml de acetona, para interromper a reação. Esta etapa foi realizada o mais rápido possível. A suspensão foi centrifugada a 4000 rpm por 10 minutos e, em seguida, observada a densidade ótica em espectrofotômetro no comprimento de onda de 490 nm, para a determinação da quantidade de fluoresceína hidrolisada. Com os dados obtidos, foi elaborada uma curva padrão e posteriormente calculada a quantidade de fluoresceína hidrolisada. A atividade enzimática é expressa em μg fluoresceína liberado por dia por grama de solo seco (μg F g^{-1} solo seco).

2.5 Análise estatística

Os dados das atividades enzimáticas foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Analisaram-se as diferenças das médias dos atributos bioquímicos entre as áreas em cada época separadamente. Quando as variáveis foram diferentes estatisticamente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bioquímica dos solos coletados em áreas com e sem aplicação do bioestimulante Viusid Agro® apresentou diferenças na atividade das enzimas urease,fosfatase ácida e hidrolise do dicatetato (FDA). A urease não apresentou diferenças significativa entre a área com aplicação do bioestimulante e o controle aos 120 dias após o plantio e 30 dias após a colheita (figura 2).

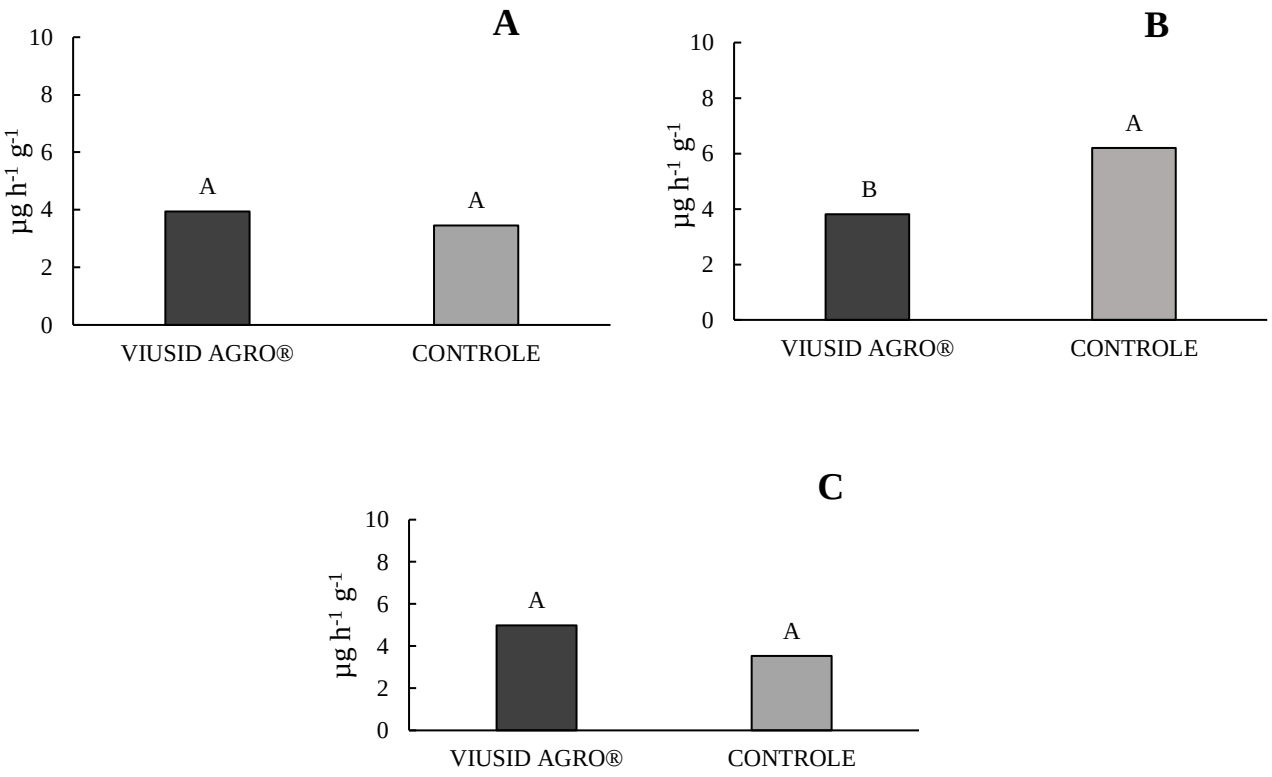


Figura 1. Atividade da urease (µg kg^{-1} h^{-1} de $N\text{-}NH_4^+$ no solo) em solo cultivado com cana-de- açúcar com (VIUSID Agro®) e sem (CONTROLE) aplicação de bioestimulante, em três épocas de amostragem (A: 120 dias após o plantio; B: 240 dias após o plantio e C: 30 dias após a colheita).

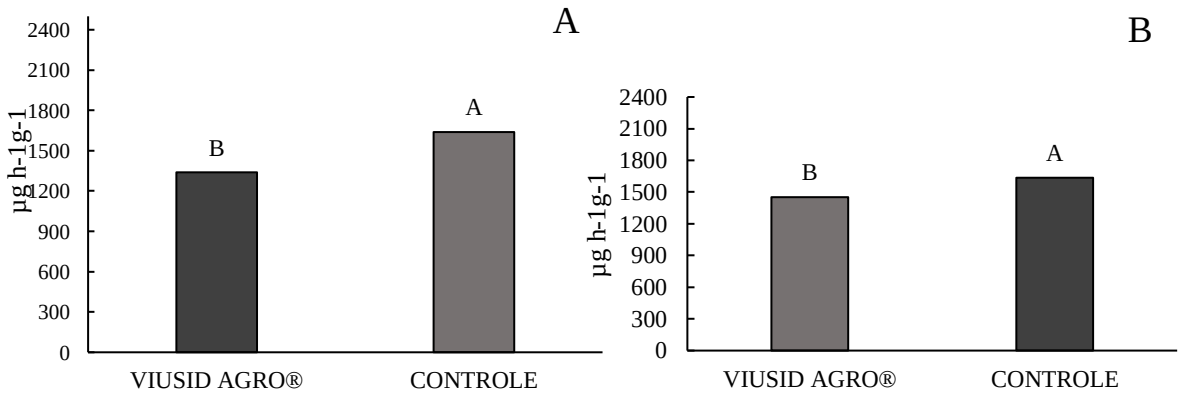
A menor resposta da urease obtida aos 240 dias após o plantio, pode estar relacionada a fase da planta onde ocorre o máximo perfilhamento com intenso crescimento não só da parte aérea, como também do sistema radicular. Nessas condições é comum a adubação de cobertura da cultura, sendo os adubos nitrogenados amplamente empregados, o que pode ter favorecido a maior resposta da urease no tratamento controle.

Quando a atividade da urease do solo se apresenta alta, há uma formação rápida de amônia, que pode ser volatilizada quando não é adsorvida por um complexo coloidal do solo (MELO et al., 2012). Se atividade da enzima urease for baixa, implica que a produção de N-amoniacal é baixa, podendo deixar um déficit na exigência nutricional das plantas (MELO et al., 2012). A estimativa da atividade da atividade urease do solo pode fornecer indicações do potencial deste para a conversão de N orgânico em N mineral (LANNA et al., 2010).

A maior atividade no controle pode ser explicada por alguns fatores. Essas mudanças podem ser explicadas devido a diminuição da mineralização do N no solo, provavelmente devido à limitação da concentração de formas lábeis de N e, ou, selecionando microrganismos com baixa atividade ureolítica. No entanto, essa observação deve ser investigada, pois a urease catalisa apenas uma etapa específica do ciclo do N e sua mensuração não representa a taxa geral de mineralização de N orgânico.

O Viusid Agro® tem em sua composição uma gama de aminoácidos que podem ter produzido mudanças específicas na composição dos microrganismos do solo, sendo capaz de atuar como inibidores da urease para reduzir a velocidade de hidrólise da ureia, liberando de maneira gradativa o N no solo. Assim, aumentado a eficiência de uso deste pelas plantas, devido a redução das perdas deste nutriente principalmente por volatilização da amônia e por lixiviação de amônio e nitrato, ao diminuir a concentração desses íons na solução do solo no período posterior a aplicação da ureia.

A análise de variância apresentou diferença significativa entre as áreas nas diferentes épocas de amostragem. A atividade de fosfatase ácida foi mais elevada em área de cultivo de cana-de-açúcar sem aplicação do bioestimulante (Viusid Agro®) (figura 3). Aos 240 dias, a máxima atividade da fosfatase ácida foi no controle de 1638,8 μg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} e aos 30 dias após a colheita, um aumento significativo de 1995,52 PNP g $^{-1}$ solo h^{-1}diferindo estatisticamente das áreas com o bioestimulante.



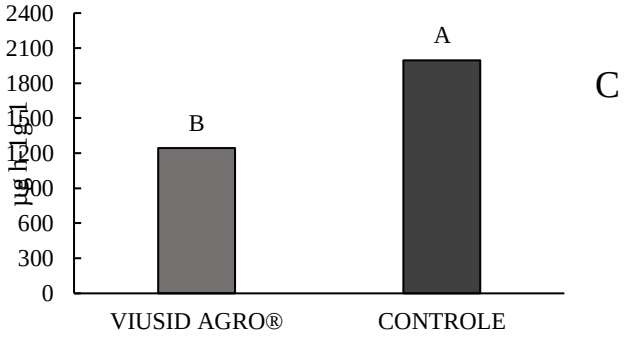


FIGURA 2. Atividade da Fosfatase ácida (µg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} solo seco) em solo cultivado com cana-de- açúcar com (VIUSID Agro®) e sem (CONTROLE) aplicação de bioestimulante, em três épocas de amostragem (A: 120 dias após o plantio; B: 240 dias após o plantio e C: 30 dias após a colheita).

A atividade da fosfatase ácida é favorecida pela baixa disponibilidade de P às plantas e aos microrganismos e pode ser inibida por altas concentrações de fosfato inorgânico no solo (TRANNIN et al., 2007). Os valores mais baixos encontrados na área com o bioestimulante podem ser explicados pelo teor de fósforo existente no solo (tabela 1), pois a menor atividade de fosfatase ácida está relacionada com teores mais elevados de fosfato inorgânico no solo (GATIBONI et al. 2008).

A produção de fosfatase é controlada pela demanda biológica e a atividade enzimática tende a ser menor quando o fosfato inorgânico é mais abundante (ALLISON et al., 2007). Ademais, o fosfato de potássio, um dos componentes do Viusid Agro® consiste em resíduo orgânico e sua liberação ocorre gradativamente via ação enzimática (SANTOS et al. 2011), e que também pode relacionar-se com os resultados deste estudo.

Tal fato foi observado por Hofman et al. (2016), que ao avaliarem a enzima fosfatase em solos com alta e baixa disponibilidade de P, verificaram que a fosfatase ácida teve atividade 53% superior em regiões de baixa disponibilidade de P. Essa resposta ocorre tanto na microbiota do solo quanto na rizosfera das plantas, onde os baixos níveis de P solúvel desencadeiam uma resposta para aumentar a mineralização e remobilização de fosfatos no solo (UTUOBO; TEWARI, 2014). Provavelmente, o bioestimulante influenciou a absorção de nutrientes do solo devido ao fornecimento de hormônios vegetais que estimula o enraizamento e o desenvolvimento do sistema radicular (DANTAS et al., 2012).

Os valores de hidrólise do FDA foram superiores nas três coletas em área com Viusid Agro®, no entanto, os valores diminuíram ao longo do estudo. Aos 120 dias, a maior atividade foi de 71,64 mg F g solo seco^{-1} dia^{-1}. A menor atividade, foi observada no controle, 30 dias após a colheita, com uma média de 10,20 µg F g solo seco^{-1} dia^{-1}.

A capacidade de hidrólise do diacetato de fluoresceína pelas enzimas é um atributo bioquímico geral de grande importância, pois pode representar a atividade global enzimática do solo (SCHNÜRER; ROSWALL, 1982). É um dos bioindicadores mais adequados, importantes e sensíveis, relacionados à qualidade do solo.

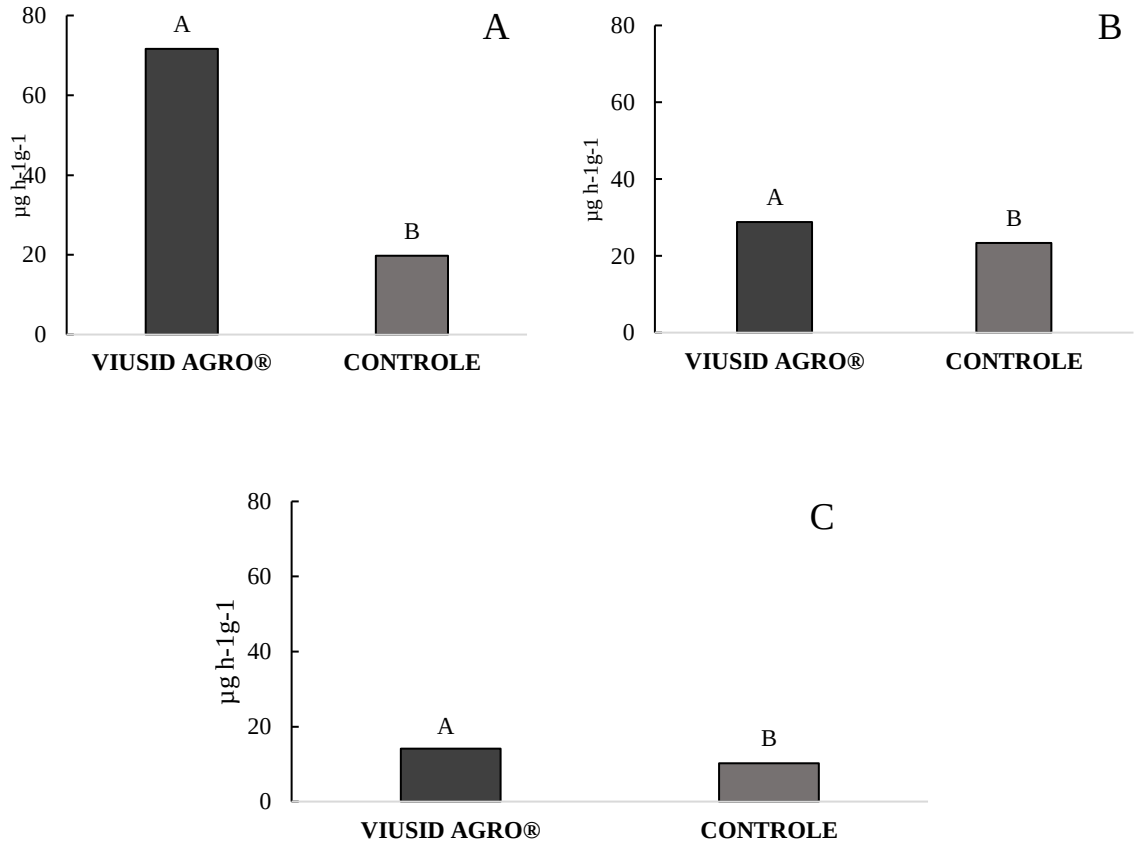


Figura 3. Atividade hidrolítica do diacetato de fluoresceína (µg F g^{-1} solo seco) em solo cultivado com cana-de-açúcar com (VIUSID Agro®) e sem (CONTROLE) aplicação de bioestimulante, em três épocas de amostragem (A: 120 dias após o plantio; B: 240 dias após o plantio e C: 30 dias após a colheita).

Os aminoácidos presentes no VIUSID Agro®, a exemplo da arginina, auxiliam o desenvolvimento radicular, promove uma elevação da solubilidade, absorção de nutrientes, participam de processos importantes como a fotossíntese e assim melhoram a relação solo-planta, de modo que o crescimento radicular eficiente, promove a maior liberação de exsudatos

na rizosfera, estes por sua vez são fonte de alimento para os microrganismo e aumentam atividade metabólica e assim melhora as condições do solo, através da atividade das enzimas.

Em vista do apresentado, a atividade enzimática possui potencialidade para o entendimento da qualidade dos solos dos Tabuleiros Costeiros em função do uso e manejo. Porém, para estabelecer parâmetros, ainda são necessários estudos que ajudem a compreender o comportamento da atividade enzimática ao longo do tempo e confirmar a permanência da influência dos atributos que determinam essa atividade nos solos avaliados.

4 CONCLUSÕES

- A urease não apresentou diferenças significativa entre a área com aplicação do bioestimulante VIUSID Agro® e o controle aos 120 dias após o plantio e 30 dias após a colheita;
- A máxima atividade da fosfatase ácida foi no controle de 1638,8 μg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} ,240 dias após o plantio;
- Os valores de hidrólise do FDA foram superiores nas três coletas em área com VIUSID Agro®;
- A maior atividade foi de FDA foi 71,64 mg F g solo $seco^{-1}$ dia^{-1}, aos 120 dias.

REFERÊNCIAS

ALLISON, S. D.; VITOUSEK, P. M. Respostas de enzimas extracelulares a insumos simples e complexos de nutrientes. **Biologia e Bioquímica do Solo**, v. 37, n. 5, p. 937-944, 2005.

ALLISON, V.J., CONDRON, L.M., PELTZER, D.A.; RICHARDSON, S.J., TURNER, B.L.Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence. **Soil Biol. Biochem**. v.39, p.1770-1781,2007. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.006>. Acesso em ago. 2022

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosciense Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684>. Acesso em: ago. 2022.

BANDICK A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry,** v. 31, p.1471–1479, 1999. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00051-6>. Acesso em ago. 2022

BÅÅTH, E. Effects of Heavy Metals in Soil on Microbial Processes and Populations (a Review). **Water, Air, and Soil Pollution**, v.47, p.335–379, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00279331>. Acesso em: set. 2022.

BAILEY, V.L., FANSLER, S.J., SMITH, J.L., BOLTON JR., H. Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. **Soil Biol. Biochem,** v. 43, p.296 – 301, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.014>. Acesso em: set. 2022.

BORDONAL, R., DE, O., MENANDRO, L.M.S., BARBOSA, L.C., LAL, R., MILORI, D.M.B.P., KOLLN, O. T., FRANCO, H.C.J., CARVALHO, J.L.N., 2018b. Sugarcane yield and soil carbon response to straw removal in south-central Brazil. **Geoderma**, v.328, p.79–90. Disponível em: <https://doi.org/ 10.1016/j.geoderma.2018.05.003>. Acesso em: set. 2022.

BURNS, R. G.; DEFOREST, J. L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry,** v. 58, p. 216-234, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.009>. Acesso em: set. 2022.

CHERUBIN, M.R., CARVALHO, J.L.N., CERRI, C.E.P., NOGUEIRA, L.A.H., SOUZA, G.M., CANTARELLA, H. Land use and management effects on sustainable sugarcanederived bioenergy. **Land**, v.10, 72. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land10010072>. Acesso em: set. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. S**érie Histórica das Safras.** Brasília: 2021a. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/serie-historica-das-safrAS>. Acesso em: set 2022

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. Disponível em:<https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100004>. Acesso em: set 2022

DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. Madison: **Soil Science Society of America**, 1996. p. 247-272.

JARDIN, P. D. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em: set 2022

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1085-1091, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800019>. Acesso em: set. 2022.

GIACOMETTI, C.; DEMYANB, M.C.; CAVANIA, L.; MARZADORIA, C.; CIAVATTAA, C.; KANDELERC, E. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 32–48, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.002>. Acesso em: set. 2022.

HOFMANN, K.; HEUCK, C.; SPOHN, M. Phosphorus resorption by young beech trees and soil phosphatase activity as dependent on phosphorus availability. **Oecologia**, v.181, v.369-379, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3581-x>. Acesso em: set. 2022.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. Biol. **Fert. Soils**, 6:68-72, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00257924>. Acesso em: set. 2022.

KEESSTRA, S. D.; BOUMA, J.; WALLINGA, J.; TITTONELL, P.; SMITH, P.; CERDA, A.; MONTANARELLA, L.; QUINTON, J. N.; PACHEPSKY, Y.; VAN DER PUTTEN, W. H.; BARDGETT, R. D.; MOOLENAAR, S.; MOL, G.; JANSEN, B.; FRESCO, L. O. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **Soil,** v.2, 11-28, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>. Acesso em: set. 2022.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. S**ustainability**, v.7, p.5875-95. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su7055875>. Acesso em set. 2022.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1933-1939, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600018>. Acesso em: set. 2022.

LEHMANN, J.; BOSSIO, D. A.; KÖGEL-KNABNER, I.; RILLING, M. C. The concept and future prospects of soil health. **Nat Rev Earth Environ**, v.1, p.544-53,2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8.>. Acesso em: set. 2022.

LIPIŃSKA, A.; KUCHARSKI, J.; WYSZKOWSKA, J. Urease Activity in Soil Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. **Polish Journal of Environment Studies**, v.22, p.1393–1400, 2013. Disponível em: <http://www.pjoes.com/pdf-89104-22963?filename=Urease%20Activity%20in%20Soil.pdf>. Acesso em: set. 2022.

MELO, W.J.; MELO, G.M.P.; ADEMIR, S.F.A.; MELO, V.P. **Avaliação de atividade enzimática no solo.** In: FIGUEIREDO, M.V.B.; BURITY, H.A.; OLIVEIRA, J.P.; SANTOS, C.E.R.S.; SATMFORD, N.P. Biotecnologia aplicada à agricultura 2ª ed. Brasília – DF 2012.

MIJANGOS, I. R.; PÉREZ, I.; ALBIZU, C. G. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. **Enzyme and Microbial Technology,** v.40, p.100–106, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.10.043>. Acesso em: set. 2022.

RIDESA. **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar**. Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, Curitiba. 2010, p.41. Disponível em: <http://www.cana.com.br/biblioteca/informativo/catalogo-2010.pdf>. Acesso em: set. 2022

SAFGNA P. G.; POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; THOMAS, G. A. Influence of sorghum residuesand tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol. **Soil Biology and Biochemistry,** v.21, p.759–765, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90167-3>. Acesso em: set. 2022.

SANTOS, J. P.; BORGES, T. S.; SILVA, N. T.; ALCANTARA, E.; REZENDE, R. M.; FREITAS, A. S. Efeito de bioestimulante no desenvolvimento do feijoeiro. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 15, n. 1, p. 815-824, 2017.

SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environment Microbiololgy** v.43, p.1256-1261, 1982.

SHEN, G.; LU, Y.; HONG, J. Combined Effect of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Urease Activity in Soil. **Ecotoxicology Environment Saf**. v.63, p.474–480, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.01.009>. Acesso Set. 2022.

SILVA, M., SIQUEIRA, E. R., & COSTA, J. L. D. S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, v.*34*, p.1493-1496,2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500025>.>. Acesso Set. 2022

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Eds). Methods of soil analysis. Microbiological and biochemical properties. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. v.5. Part 2. p.775-833.

TRANNIN, I.C. DE B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. D. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira do de Ciência Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500032>. Acesso em: set. 2022.

UGENA, L.; HÝLOVÁ, A.; PODLEŠÁKOVÁ, K.; HUMPLÍK, J. F.; DOLEŽAL, K.; DE DIEGO, N.; SPÍCHAL, L. Characterization of biostimulant mode of action using novel multi-trait high-throughput screening of Arabidopsis germination and rosette growth. **Frontiers in Plant Science,** v. 9, e:1327, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01327>. Acesso em: set. 2022.

WU, F.; OWENS, J. D.; HUANG, T.; SARAFIAN, A.; HUANG, K. F.; SEN, I. S.; HORNER, T. J.; BLUSZTAJN, J.; MORTON, P.; NIELSEN, S. G. (2019). Vanadium isotope composition of seawater. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 244, 403-415. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.10.010>. Acesso em: set. 2022.

YADAV, V., JAIN, S., MISHRA, P., KHARE, P., SHUKLA, A.K, KARAK, T., & SINGH, A.K. Melhoria na mineralização de nutrientes e atividades microbianas de solo franco-arenoso

por biocarvão envelhecido em campo a curto prazo. **Ecologia do solo aplicada**, v.138, p.144-155, 2019.

YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROWN, P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, e:2049, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.02049/full>. Acesso em: set. 2022