

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

IDEON CESAR VASCONCELOS FILHO

**FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS EM INTERAÇÃO COM
MICRORGANISMOS E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA CANA-DE-AÇUCAR**

UBERLÂNDIA – MG

2023

IDEON CESAR VASCONCELOS FILHO

**FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS EM INTERAÇÃO COM
MICRORGANISMOS E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA CANA-DE-AÇUCAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA – MG

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre colocar anjos em forma de personas em meus caminhos.

Ao Professor Dr. Hamilton Seron Pereira, por todos os ensinamentos, por sempre incentivar a resolução de problemas por mim mesmo, ensinando como pensar e nunca me dando diretamente a solução.

Aos meus pais que sempre acreditaram e me motivaram a realização deste sonho, renunciaram a inúmeras coisas para que se tornasse possível, a minha irmã Jessica Vasconcelos por ser a primeira a acreditar em mim.

Aos meus irmãos de fraternidade, André Grupioni, Arthur Procopio, Diogo Tudela Filho, Paulo Jr. Guimarães, pelas muitas noites de estudos, festas e incontáveis caronas para o campus, obrigado por estarem comigo desde o primeiro dia de aula até o último. Fomos, somos e seremos os melhores.

Aos meus colegas de GPSi por me apoiarem em cada ideia e decisão, por acreditarem que o que eu falava e fazia era balizado pela verdade, honestidade e honra. Vocês acrescentaram muito na minha graduação e no meu desenvolvimento.

A todos meus colegas de graduação que partilhamos conhecimentos, felicidades, angústias e diversos outros sentimentos.

Ao Instituto de Ciências Agrárias, todos os docentes e técnicos por todo o aprendizado e liberdade para que me fizesse sentir confiante para enfrentar a vida profissional sabendo que me graduei em um dos melhores cursos do país.

Meu muito obrigado!

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.) do mundo, além de ser, isoladamente, o maior exportador de produtos sucroalcooleiros. Entendemos que a demanda destes itens é muito alta e para supri-los é necessário o desenvolvimento de tecnologias visando a produção sustentável a longo prazo. Sendo assim, esse trabalho tem o objetivo de avaliar dois compostos orgânicos na produção de fertilizantes organominerais, enriquecidos com bactérias. O experimento foi instalado com a cultura da cana-de-açúcar, utilizando delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4+2, sendo duas matrizes orgânicas (turfa e torta de filtro + composto Barn), três isolados de *Bacillus Amyloliquefaciens* e *Bacillus Subtilis* combinados codificados como B1, B2 e B3, um tratamento com MAP e uma testemunha absoluta, realizados em casa de vegetação com Latossolo Vermelho distrófico. Os resultados mostraram que houve maior acúmulo de massa seca da parte aérea de plantas de cana-de-açúcar com a adição do isolado B3 independente da fonte orgânica, resultando também em maiores valores de P, K, Mg, Cu, Zn e B acumulados na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar. Nos teores de nutrientes obtidos através da análise química, o P, K, Ca e Mg diferiam da testemunha. Maior atividade da enzima da β Glicosidade, foi observada quando usado os isolados de *Bacillus* codificados como B1. Já nos isolados B3, foi notado alta atividade das enzimas Fosfatase ácida. Em suma, as duas matrizes orgânicas, sendo composto barn e turfa apresentam eficiência semelhante para a maioria dos parâmetros avaliados neste experimento.

Palavras-chave: Organomineral, cana-de-açúcar, fertilizantes, bioindicadores.

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) and, independently, the largest exporter of sugarcane-based products. We understand that the demand for these items is very high, and to meet it, the development of technologies aimed at sustainable long-term production is necessary. Therefore, this work aims to evaluate two organic compounds in the production of organomineral fertilizers, enriched with bacteria. The experiment was set up with sugarcane cultivation using a completely randomized design in a 2x4+2 factorial scheme. Two organic matrices (peat and filter cake + Barn compost) were employed, along with three isolates of *Bacillus Amyloliquefaciens* and *Bacillus Subtilis* combined and coded as B1, B2, and B3. Additionally, there was a treatment with Monoammonium Phosphate (MAP) and an absolute control, all conducted in a greenhouse with dystrophic Red Latosol. The results indicated that there was a higher accumulation of dry mass in the aboveground part of sugarcane plants with the addition of isolate B3, regardless of the organic source. This also resulted in higher values of accumulated P (phosphorus), K (potassium), Mg (magnesium), Cu (copper), Zn (zinc), and B (boron) in the aboveground part of the sugarcane plants. In terms of nutrient content obtained through chemical analysis, the levels of P (phosphorus), K (potassium), Ca (calcium), and Mg (magnesium) differed from the control. Higher activity of the β -Glucosidase enzyme was observed when using the isolates of *Bacillus* coded as B1. Conversely, isolates B3 exhibited high activity of the Acid Phosphatase enzymes. In summary, the two organic matrices, namely Barn compost and peat, demonstrated similar efficiency for most parameters evaluated in this experiment.

Key words: Organomineral, sugarcane, fertilizers, bioindicators

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Localização do experimento e delineamento experimental	14
3.2 Avaliações	17
3.3 Análises estatísticas	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Número de perfilhos por vaso	18
4.2 Altura e diâmetro de colmos	18
4.3 Massa seca da parte aérea	19
4.4 Macronutrientes e micronutrientes acumulados na parte aérea	20
4.5 Análise química do solo	24
4.6 Bioindicadores de saúde do solo	28
5 CONCLUSÃO	30
6 REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) descrita em 1753 por Linneu, está prestes a chegar em uma produção de 598,3 milhões de toneladas na safra 2022/23. Esse número representa a força e a capacidade de produção do setor que é estimulado pelo mercado de biocombustível, porém, no ano de 2022 por razões mercadológicas e tributárias houve, também, uma destinação da cana para a produção de açúcar. O adoçante em algumas regiões produtoras se mostrou mais rentável (CONAB, 2022).

A cultura é cultivada em diversos tipos de solos, que variam de acordo com respectivas regiões. São Paulo, é responsável por aproximadamente 47% da área plantada no país, região onde predomina o Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2022).

Para atender à esta grande demanda por produtos derivados do setor sucoenergético, grandes quantidades de fertilizantes são necessárias para o cultivo da cana-de-açúcar. Desta forma, se faz necessário o uso de fontes que apresentam maior eficiência, de modo que seja possível a diminuição das doses recomendadas sem, contudo, causar redução na produtividade.

Dentre esses produtos, destacam-se os fertilizantes organominerais, (FOMs) os quais, de acordo com Kinpara (2020) apresenta três grandes vantagens no cenário agrícola atual, sendo a primeira delas o baixo custo da matéria-prima ou resíduo orgânico, a combinação de macro e micronutrientes em um material com grande conteúdo de matéria-orgânica, melhorando as características físico-químicas e biológicas do solo e, a terceira, o benefício ambiental proporcionado pelo destino produtivo de resíduos agroindustriais. Uma outra vantagem dos organominerais é a possibilidade de adição de produtos na matriz orgânica, a exemplo de microrganismos.

O fertilizante organomineral é um produto do enriquecimento de matérias-primas orgânicas, compostadas e bioestabilizadas, com fertilizantes minerais (RODRIGUES et al., 2015). A presença desta fração orgânica no fertilizante melhora a disponibilidade de nutrientes como o fósforo, nitrogênio e potássio para as plantas (KIEHL, 1985) assim, diminuindo as perdas de nutrientes no solo.

O conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é geralmente considerado como um dos

principais indicadores da qualidade do solo (RILEY et al., 2008), sendo sua manutenção em quantidades adequadas importante para manter a produtividade dos agroecossistemas (DING et al., 2012). A conversão da vegetação nativa para áreas agrícolas resulta no declínio da MOS, pois a retirada da cobertura vegetal e o revolvimento do solo são fatores que contribuem para o rompimento de agregados do solo expondo o carbono orgânico do solo (COS) à oxidação pela atividade microbiana, acelerando o processo de mineralização (ROSCOE; BUURMAN, 2003; OLIVEIRA et al., 2016).

Cattelan (1999) afirma que a utilização de microrganismos benéficos às plantas permite viabilizar uma agricultura sustentável, bem como Figueiredo et al. (2010) demonstram que as bactérias promotoras do crescimento de plantas desempenham processos ecológicos importantes, contribuindo para promover significativamente a produção agrícola. Para I.C. Vinhal-Freitas et al (2017) o carbono orgânico do solo, humina, atividade enzimática, fosfatase e arilsulfatase são os indicadores mais sensíveis para avaliar as mudanças no uso da terra nos solos do Cerrado

Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência de um fertilizante organomineral enriquecido com nitrogênio e fósforo, fabricado com diferentes matrizes orgânicas e combinados à isolados de espécies do gênero *Bacillus*, no desenvolvimento da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O agronegócio desempenha um papel fundamental na economia do Brasil, contribuindo significativamente para as exportações e a geração de empregos. Vários setores dentro do agronegócio, como agricultura, pecuária, agroindústria e serviços relacionados, têm impacto expressivo. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu aproximadamente 2% no primeiro trimestre de 2023, em comparação com o último trimestre do ano passado. O resultado foi em decorrência, principalmente, pelo aumento de 21,6% da Agropecuária, maior alta para o setor desde o quarto trimestre de 1996. Esta é responsável por cerca de 8% da economia do país.

A ampliação do setor agropecuário foi influenciada pela boa atuação de produtos com safras significativas no terceiro trimestre, como: milho (19,5%), cana-de-açúcar (13,1%), algodão herbáceo (12,5%) e café (6,9%) (IBGE, 2023).

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar a nível global, sendo responsável por uma parcela superior a 30%. Em 2020, a receita cambial do país proveniente dessa atividade atingiu aproximadamente 8,7 bilhões de dólares. Vale ressaltar que, em 2017, essa receita alcançou a marca de 12 bilhões de dólares. A cultura da cana-de-açúcar assumiu uma relevância significativa no agronegócio brasileiro, impulsionada pelos recordes alcançados na produção e exportação de açúcar. Ademais, sua relevância é notável pela contribuição para o abastecimento de carros por meio do etanol e pela geração de energia a partir do bagaço, conforme indicado por Souza (2018).

De acordo com o 3º Levantamento da Safra 2023/24 de cana de açúcar, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), há a expectativa de um aumento de 10,9% na produção em relação ao ciclo anterior, atingindo a marca de 677,6 milhões de toneladas. Esse resultado positivo é atribuído tanto pelo melhor rendimento das lavouras, estimado em 81.129 quilos por hectare, quanto à expansão da área de cultivo da cultura, calculada em cerca de 8,35 milhões de hectares.

Como já mencionado, essas altas produtividades são consequência do alto investimento no setor agrícola. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2021), em 2020, a importação de fertilizantes totalizou 32.872.543 toneladas, 10% a mais que o ano de 2019. Ao longo dos anos, o Brasil passou a importar cada vez mais adubos, no ano de 1998 a demanda foi de 7,4 milhões de toneladas. Já em 2020, foram importadas quase 33 milhões de toneladas, isso representa um aumento de 445% na importação de adubos em pouco mais de duas décadas.

A dependência das importações de adubo se intensifica ao constatar que o Brasil está projetado para ser responsável por quase metade da produção global de alimentos nos próximos anos, o que, por conseguinte, ampliará proporcionalmente a necessidade por fertilizantes.

Atualmente o país é quarto maior consumidor mundial de fertilizantes, respondendo por aproximadamente 8% desse total. A elevação nos preços desses insumos tem efeitos adversos nas exportações do agronegócio brasileiro, diminuindo a competitividade do produto nacional, uma vez que a maior parte do custo de produção está associada ao preço dos fertilizantes importados (MAPA, 2022).

Diante do déficit nacional de adubos, o setor de fertilizantes orgânicos e organominerais emerge como uma alternativa para corrigir as deficiências estruturais do solo brasileiro, buscando reduzir a dependência em relação a produtos externos. O desempenho do setor tem sido favorável desde o ano 2000, alcançando uma participação de mais de 10% no fornecimento total de nutrientes entregues aos produtores em 2012 (POLIDORO, 2013).

Empregar a adubação orgânica, incluindo o uso de fertilizantes organominerais, é uma possibilidade para promover uma adubação eficiente, preservando o crescimento da planta e o ambiente. Estes fertilizantes são oriundos da junção de compostos orgânicos estabilizados, derivados de fontes animais ou vegetais, e de fertilizantes minerais. Essa combinação resulta em uma textura farelada adequada para a aplicação em culturas, podendo passar por processos industriais (RAMOS et al., 2017).

A criação dos fertilizantes organominerais está relacionada às misturas manuais historicamente empregadas na rotina agrícola, que envolvem a adição de resíduos orgânicos às proporções de NPK. Essas misturas foram sendo aprimoradas, com a inclusão de mais nutrientes minerais conforme a resposta das cultivares. No entanto, se a combinação manual de porções orgânicas e minerais não alcançar um rendimento nutricional excedente ao adubo orgânico comum e não estiverem em conformidade com as exigências legais em relação às quantidades mínimas de nutrientes, essa mistura não pode ser classificada como fertilizante organomineral. Diante desse cenário, a esfera dos FOMs apresenta oportunidades promissoras para inovação no setor de fertilizantes (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

O Decreto nº 86.955, datado de 18 de fevereiro de 1982, estabeleceu a primeira definição de fertilizante organomineral na legislação brasileira. Em sua Seção I - Disposições Preliminares,

no art. 1º, inc. III, especifica que o fertilizante organomineral consiste na combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (citação).

Posteriormente, a Instrução Normativa nº 23, emitida em 31 de agosto de 2005, teve como objetivo revisar a definição anterior, que passou a ser: "produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos". Embora a definição permaneça essencialmente a mesma, as especificações, garantias e características dos fertilizantes organominerais destinados à aplicação no solo foram detalhadamente delineadas no Capítulo III da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, na seção V, art. 8º, § 1º. Este trecho estipula que os fertilizantes organominerais devem apresentar, no mínimo: 8% de carbono orgânico; CTC de 80 mmolc kg-1; 10% de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK); 5% de macronutrientes secundários e uma umidade máxima de 30% (citação).

Os compostos organominerais são classificados como granulados, em forma de farelo ou peletizado e descritos por lenta liberação dos nutrientes, fator este, denominado como slow release. Isso minimiza a perda de potássio e nitrogênio por lixiviação, ao mesmo tempo em que impede o contato imediato do fósforo com óxidos presentes no solo. Essa abordagem reduz significativamente a carência desse nutriente devido à adsorção (PROFIRO, 2016, citado por AGUIAR 2018).

No que se refere ao constituinte orgânico empregado na composição dos fertilizantes organominerais, a turfa predominou amplamente até o ano de 2000. Contudo, o avanço das técnicas tem propiciado a inclusão de diversas fontes de biomassa, como os resíduos provenientes da agroindústria e do saneamento básico. A Política Nacional de Resíduos Sólidos define o tratamento e a finalidade adequados para os resíduos, e se encontra em acordo com essa predisposição de substituir fontes não renováveis por fontes renováveis no setor de fertilizantes (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

Entre os muitos compostos que são passíveis de destinação à agricultura para a produção de fertilizantes organominerais, certas fontes de insumos destacam-se devido ao seu considerável potencial, tanto em termos de nutrientes, quanto pelas conveniências logísticas e tratamento desses

resíduos. Um desses compostos provém dos resíduos do setor sucroalcooleiro, como é o caso da torta de filtro, que se destaca devido ao seu potencial expressivo, resultante da considerável quantidade de nutrientes que contém (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

A torta de filtro é um resíduo derivado da filtração do caldo extraído das moendas através do filtro rotativo, constituindo-se como um subproduto da indústria sucroalcooleira. Inicialmente, esse resíduo era gerado exclusivamente no processo de produção de açúcar, contudo, atualmente, as usinas alcooleiras também o produzem (RAMOS et al., 2017).

Diversas fontes de matéria orgânica se mostram opções viáveis para compor um organomineral, podendo aprimorar os resultados econômicos e reduzir os impactos ambientais adversos nos sistemas de cultivo (GONÇALVES et al., 2020).

Para Hirzel et al. (2018), os fertilizantes organominerais incorporam todos os micronutrientes e macronutrientes cruciais para o desenvolvimento vegetal, exercendo um impacto positivo nos micro-organismos, na estrutura do solo e na disponibilidade de água neste. Ademais, os FOMs atuam como uma fonte de carbono e energia para micro-organismos, ao mesmo tempo em que inibe a lixiviação de nutrientes altamente móveis no solo, como nitrogênio (N), potássio (K) e boro (B). Além disso, proporciona a disponibilidade de micronutrientes essenciais. (YURI et al., 2004; POL & NOGAROLI, 2020).

A matéria orgânica do solo origina-se principalmente dos vegetais, cuja composição varia significativamente entre diferentes espécies vegetais e, dentro da mesma espécie, ao longo do ciclo de vida das plantas, além dos animais presentes no solo. A matéria orgânica do solo pode ser caracterizada como toda substância orgânica, seja de origem vegetal ou animal, abrangendo elementos como liteira, fragmentos de resíduos, biomassa microbiana, compostos solúveis, e a matéria orgânica fortemente associada aos minerais argilosos do solo (STEVENSON, 1994).

A MOS representa a principal fonte de carbono (C) para os micro-organismos. No entanto, nem todo o C presente na matéria orgânica é convertido em células microbianas. Uma grande parcela é perdida na forma de dióxido de carbono (CO₂) durante o processo de mineralização. O

teor de carbono (C) proveniente da matéria orgânica, que é assimilável pelos micro-organismos do solo, varia conforme o tipo específico de micro-organismo ou grupos de micro-organismos em consideração (NUNES; REZENDE 2022).

Experimentos de longa duração empregando fertilização orgânica, rica em matéria orgânica, e inorgânica evidenciaram que as modificações nos teores de carbono orgânico e no pH do solo, resultantes da aplicação de fertilizantes, têm o potencial de influenciar tanto a atividade quanto a composição da comunidade microbiana do solo (GEIS-SELER; SCOW, 2014; LI et al., 2015).

Os atributos microbiológicos têm sido extensivamente abordados na literatura como indicadores de qualidade (HINOJOSA et al., 2004; KIZILKAYA; BAYRAKLI, 2005; LISBOA et al., 2013; PARADELO; MOLDES; BARRAL, 2009; STURSOVÁ; BALDRIAN, 2011; ZHANG et al., 2011) considerando a interligação entre a atividade e microbiana, vegetação e sustentabilidade dos ecossistemas (DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996).

Os bioindicadores são mais sensíveis do que os indicadores químicos e físicos para identificar precocemente mudanças que acontecem no solo, por consequência do seu uso e manejo. Isso se deve ao fato de serem a parte mais viva e dinâmica da matéria orgânica presente no solo, desempenhando um papel crucial em importantes processos bioquímicos (STOCKER et al., 2017). Visto que, os microrganismos são responsáveis por inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, e agregação de partículas do solo (BURNS et al., 2013; HUNGRIA et al., 2009; NUNES et al., 2012).

Os bioindicadores mais apropriados para avaliar a qualidade do solo incluem a biomassa microbiana, a respiração, os quocientes microbiano e metabólico, e a atividade enzimática do solo (V.M. SANTOS & L.C. MAIA, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento e delineamento experimental

O experimento foi instalado em casa de vegetação localizada no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, campus glória, Uberlândia – MG. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x4 + 2 sendo: duas matrizes orgânicas (turfa num formulado organomineral 03-15-00 e torta de filtro + composto Barn num formulado organomineral 06-30-00), 3 isolados de *Bacillus Amyloliquefaciens* e *Bacillus Subtilis*. (B1, B2 e B3), um tratamento com MAP e uma testemunha absoluta, com quatro repetições em vasos com 40 dm³ de solo. As doses e os produtos utilizados em cada tratamento estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Doses e produtos utilizados em cada tratamento.

Trat.	Produto	Dose	Dose	Dose de	Dose de
		P2O5	de N	Produto	Produto
		----- mg dm ⁻³ -----			g vaso ⁻¹
1	Testemunha	0	0	0	0
2	MAP	100	20	195	7.8
3	Turfa	100	20	667	26.7
4	Turfa + B1	100	20	667	26.7
5	Turfa + B2	100	20	667	26.7
6	Turfa + B3	100	20	667	26.7
7	Torta de Filtro + CB	100	20	333.5	13.3
8	Fertium Phós CB + B1	100	20	333.5	13.3
9	Fertium Phós CB + B2	100	20	333.5	13.3
10	Fertium Phós CB + B3	100	20	333.5	13.3

Turfa: Matriz orgânica a base de turfa, formulado mineral 03-15-00. **Torta de Filtro + CB:** Matriz Orgânica a base de composto de barn e torta de filtro, formulado mineral 06-30-00. **B1, B2 e B3:** Diferentes isolados de *Bacillus Amyloliquefaciens* e *Bacillus Subtilis*.

A parcela experimental foi constituída por vasos de PVC de 30cm de diâmetro e 60cm de altura, com capacidade para 40 dm³ de solo (Figura 1).



Figura 1 - Parcela experimental composta por vasos de PVC. Fonte: Própria (2023).

Os vasos mencionados foram então preenchidos com 40dm³ por um solo de textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho, as características químicas e físicas estão descritas nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Caracterização química do solo utilizado neste experimento

PH	P	S	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	T	V	m	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	-- mg dm ⁻³ --			----- cmol _c dm ⁻³ -----						-- % --	----- mg dm ⁻³ -----						
5,5	1,4	6,7	103	0	0,6	0,2	1,6	1	2,6	39	0	1,1	0,2	1,1	6	2,9	0,3

pH: CaCl₂; P e K: Mehlich-1 (HCl 0,05 L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 1 mol L⁻¹); Ca, Mg e Al: KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: Solução Tampão SMP a pH 7; SB: Soma de base; T: CTC a pH 7,0; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Al; MO: Método colorimétrico; B: BaCl₂. 2 H₂O 0,125% à quente; Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA em pH 7.3 (SILVA, 2009).

Tabela 3. Caracterização física do solo utilizado neste experimento.

Areia Total	Silte	Argila
----- g kg ⁻¹ -----		
250	200	550

Análise textural pelo Método da Pipeta (SILVA, 2009).

Na data de 27 de setembro de 2021, todos os vasos receberam 50g de Oxyfertil 4520H, aplicado para com o objetivo de aumentar os teores de Ca²⁺, para 2cmol_c dm⁻³. No dia 16 de outubro de 2021, realizou-se a aplicação dos tratamentos, diretamente no solo e homogeneizado, como mostrado na figura 2.



Figura 2. Aplicação dos tratamentos antecedendo a homogeneização em 40 dm^{-3} de solo.

Em seguida, a operação de plantio se deu através do transplântio de duas mudas pré brotadas por vaso (Figura 3) sendo elas da variedade CTC 9002, a qual possui boa adaptabilidade à colheita mecanizada, TCH elevado e outras características em que se faz ser uma cultivar comumente plantada. Além disso, esta variedade é recomendada para ambientes A, B, C e D de acordo com a patenteadora (CTC, 2020).



Figura 3. Duas mudas pré-brotadas da variedade CTC 9002 por vaso.

O regime hídrico adotado foi por irrigação por gotejadores, o sistema era ligado dia sim dia não, para evitar que as plantas sofressem estresse hídrico. Aos 21 dias após a aplicação dos

tratamentos (06 de novembro de 2021), realizou a adubação de cobertura com 2,5g com cloreto de potássio (KCl) e 2,5g de nitrato de amônio (NH_4NO_3) por vaso.

3.2 Avaliações

Aos 61 DAA e 91 DAA (16 de dezembro de 2021 e 15 de janeiro de 2022) foi realizada a contagem do número de perfilhos presentes em cada vaso, nos 91 DAA também foram realizado o corte a 5cm do solo das duas plantas de cada vaso (Figura 4 – A), em seguida a altura e diâmetro de colmos foram mensurados com o auxílio da trena e do paquímetro (Figura 4 – B e C). As plantas foram colhidas e secas em estufa a 65°C com circulação de ar forçada por 72 horas, após este procedimento é obtido através da pesagem os valores de matéria seca da parte aérea por vaso.



Figura 4. A - Corte das plantas a 5 cm do solo; B - medição da altura; C – diâmetro de colmo.

Após a secagem do material vegetal, as amostras foram moídas e encaminhadas para laboratório terceirizado para a análise dos teores de nutrientes acumulados na parte aérea das plantas (valores em mg e g vaso⁻¹), conforme metodologia proposta por Silva (2009). Na data da colheita foram coletadas duas amostras de solo por vaso, com o intuito de se realizar análise de macro e micronutrientes as quais as amostras foram secas, peneiradas e encaminhadas para as análises em laboratório terceirizado (SILVA, 2009), uma segunda amostra, retirada em cada vaso foi encaminhada para o laboratório de microbiologia para análise dos bioindicadores da saúde do solo (atividade enzimática da Arilsulfatase, faspfatase ácida, β -Glicosidase e carbono da biomassa microbiana) (BioAS – EMBRAPA)(MENDES, et al., 2018).

3.3 Análises estatísticas

As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 betas (SILVA; AZEVEDO, 2016) e comparadas pelos testes de Tukey e Dunnet (comparação com a testemunha e o MAP), ambos a 0,05 de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número de perfilhos por vaso

É observado na tabela 4 que, aos 61 DAA o número de perfilhos por vaso, superiores a testemunha foram obtidos nas aplicações do CB sem microrganismos e com o isolado B3, sendo notado acréscimos de até 7 perfilhos por vaso⁻¹. Aos 91 dias após a aplicação, valores de perfilhos por vaso superiores à testemunha e ao MAP foram obtidos com as combinações Turfa + B2 e Turfa + B3, com ganhos de 3 perfilhos por vaso em relação ao tratamento que recebeu somente o fertilizante a base de Turfa (Tabela 4).

Tabela 4. Número de perfilhos de cana-de-açúcar por vaso (variedade CTC 9002) aos 61 e 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*.

Microrganismos	Perfilhos vaso ⁻¹					
	61 dias			91 dias		
	Turfa	CB	Média	Turfa	CB	Média
Sem	11,8	14,3 ⁺	13,0 A	6,0	8,3	7,2 A
B1	9,8	10,0	9,9 A	8,0	5,8	6,9 A
B2	12,0	11,5	11,8 A	9,0* ⁺	8,3	8,6 A
B3	11,0	12,7 ⁺	11,8 A	9,0* ⁺	6,3	7,6 A
Média	11,1 a	12,1 a		8,0 a	7,1 a	
Testemunha		7,3			5,8	
MAP		10,0			6,0	

⁺ 61 DAA: DMS de Tukey para fontes: 1,8; DMS de Tukey para microrganismos: 3,3; DMS de Dunnet: 5,0; CV: 22,3%. 91 DAA: DMS de Tukey para fontes: 2,6; DMS de Tukey para microrganismos: 1,9; DMS de Dunnet: 2,7; CV:18,5%.

4.2 Altura e diâmetro de colmos

A altura e diâmetro de colmos não foram afetados pelos tratamentos com organomineral isolados ou combinados aos diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*, de modo geral, não foi observada diferença nos valores como mostra as tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Altura de colmos da cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*.

Microrganismos	Altura de colmos (m)		
	Fonte		Média
	Turfa	CB	
Sem	2,4	2,4	2,4 A
B1	2,5	2,5	2,5 A
B2	2,4	2,5	2,4 A
B3	2,5	2,5	2,5 A
Média	2,4 a	2,5 a	
Testemunha		2,4	
MAP		2,4	

DMS de Tuley para fontes: 0,3; DMS de Tukey para microrganismos: 0,2; DMS de Dunnet: 0,4; CV: 8,9%

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Tabela 6. Diâmetro de colmos da cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*.

Microrganismos	Diâmetro de Colmos (mm)		
	Fonte		Média
	Turfa	CB	
Sem	18,7	19,8	19,3 A
B1	18,4	18,7	18,5 A
B2	18,5	18,9	18,7 A
B3	19,6	18,5	19,1 A
Média	18,8 a	19,0 a	
Testemunha		17,1	
MAP		19,5	

DMS de Tuley para fontes: 2,0; DMS de Tukey para microrganismos: 1,1; DMS de Dunnet: 3,0; CV: 7,8%.

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

4.3 Massa seca da parte aérea

A aplicação dos dois fertilizantes organominerais em combinação com o isolado B3, resultou em valores de massa seca da parte aérea superiores ao tratamento com MAP (presença do *), com ganhos de até 110g vaso⁻¹ (Tabela 7). Além disso, valores superiores à testemunha (presença do ⁺) foram obtidos com a aplicação dos fertilizantes, sem a adição de microorganismos, com a combinação CB + B1 e com as combinações Turfa + B3 e CB + BR (Tabela 7).

Tabela 7. Massa seca da parte aérea de plantas de cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*.

Microrganismos	Massa seca de plantas (g)		
	Fonte		Média
	Turfa	CB	
Sem	242,3 ⁺	240,7 ⁺	241,5 B
B1	223,5	247,0 ⁺	235,3 B
B2	234,0	235,0	234,5 B
B3	316,7 ^{*+}	271,7 ^{*+}	294,2 A
Média	254,1 a	19,0 a	
Testemunha		174,3	
MAP		206,5	

DMS de Tuley para fontes: 42,2; DMS de Tukey para microrganismos: 22,5; DMS de Dunnet: 62,9; CV: 13%.

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. ⁺Difere da testemunha e ^{*}difere do MAP pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

4.4 Macronutrientes e micronutrientes acumulados na parte aérea

Quando observamos os teores de N acumulados na parte aérea (Tabela 8), notamos de modo geral um aumento quando comparados a testemunha, isso se faz, devido ao incremento de N proveniente da adubação formulada, e também por estar presente nas matrizes orgânicas, com isso se observa uma diferença mínima significativa quando comparada ao MAP na matriz CB sem microrganismos, podendo ser fruto de uma menor taxa de imobilização quando comparada a mineralização, essa predominância de um processo sobre o outro é obtido através da relação entre carbono e nitrogênio no meio, e a presença de microrganismos capaz de promover a transformação de nitrogênio orgânico em inorgânico (CANTARELLA, 2007).

Quanto ao fósforo nota-se, na tabela 8, que valores maiores que a testemunha também foram obtidos com a aplicação dos fertilizantes, porém, só obtivemos valores semelhantes ao MAP quando associamos as fontes ao isolado B3, isso evidencia que nos tratamentos em que o fósforo acumulado nas plantas é menor que no tratamento com MAP, está ocorrendo o processo de imobilização do P, conforme descrito por Novais et al. (2007), uma das maneiras de alterar a concentração de fósforo na solução do solo é o uso de fontes orgânicas, essas podendo se tornar fontes ou dreno de P-Solução, ocasionando uma menor disponibilidade do fosforo para as plantas, isso ocorre de forma temporária e após o decréscimo da fonte de C o predomínio da mineralização volta ocorrer sobre a imobilização (NOVAIS, 2007).

Uma hipótese para o resultado de maior acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas quando o isolado B3 é inserido (Tabela 8), é uma maior atividade de fosfatases no solo proveniente da atividade microbiológica desse isolado, o envolvimento das fosfatases faz com que a disponibilidade de P ocorra para as plantas (Bielecki, 1973), as formas de P_o tem que ser transformadas em P_i, essa transformação é catalisada através de enzimas comumente chamadas por fosfatases (NOVAIS, 2007).

Tabela 8. Macronutrientes acumulados na parte aérea de planta cana-de-açúcar (variedade CTC 9002 aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes

Microorganismo	Fonte		Média
	Turfa	CB	
	N (g vaso⁻¹)		
Sem	1.665	2.051 ⁺	1.858 A
B1	1.410	1.234	1.322 A
B2	1.935	1.734	1.835 A
B3	1.605	1.644	1.625 A
Média	1.654 a	1.666 a	
Testemunha		1.084	
MAP		1.576	
	P (g vaso⁻¹)		
Sem	324* ⁺	280*	302 C
B1	455* ⁺	537 ⁺	496 B
B2	242*	258*	250 C
B3	707 ⁺	720 ⁺	714 A
Média	432 a	449 a	
Testemunha		163	
MAP		630 ⁺	
	K (g vaso⁻¹)		
Sem	4.920* ⁺	4.289	4.605 AB
B1	3.949	3.849	3.899 AB
B2	4.160	3.431	3.796 B
B3	4.991* ⁺	4.258	4.624 A
Média	4.505 a	3.957 b	
Testemunha		3.509	
MAP		3.277	

Continua...

Continua...

Ca (g vaso⁻¹)			
Sem	758	778	768 A
B1	674	1.054* ⁺	864 A
B2	831	934 [·]	883 A
B3	944 [·]	1.018* ⁺	981 A
Média	802 b	946 a	
Testemunha	599		
MAP	661		
Mg (g vaso⁻¹)			
Sem	640	690 ⁺	665 AB
B1	546	678 ⁺	612 B
B2	693 ⁺	688 ⁺	690 AB
B3	835* ⁺	721 ⁺	778 A
Média	678 a	694 a	
Testemunha	436		
MAP	527		
S (g vaso⁻¹)			
Sem	34	29	31 A
B1	29	36	33 A
B2	31	22	26 A
B3	41	33	37A
Média	34 a	30 a	
Testemunha	26		
MAP	31		

N: DMS de Tukey para fontes: 637,4; DMS de Tukey para microrganismos: 339,2; DMS de Dunnet: 949,5; CV: 29,5%. **P:** DMS de Tukey para fontes: 83,9; DMS de Tukey para microrganismos: 44,6; DMS de Dunnet: 125,0; CV: 14,3%. **K:** DMS de Tukey para fontes: 824,4; DMS de Tukey para microrganismos: 438,7; DMS de Dunnet: 1228,0; CV: 14,9%. **Ca:** DMS de Tukey para fontes: 216,4; DMS de Tukey para microrganismos: 115,2; DMS de Dunnet: 322,3; CV: 19,3%. **Mg:** DMS de Tukey para fontes: 155,1; DMS de Tukey para microrganismos: 82,5; DMS de Dunnet: 231,0; CV: 17,7%. **S:** DMS de Tukey para fontes: 16,2; DMS de Tukey para microrganismos: 8,6; DMS de Dunnet: 24,2; CV: 38,4%.

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. [·]Difere da testemunha e ⁺ difere do MAP pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Analisando os valores acumulados de potássio (Tabela 8), cálcio e magnésio, é visto que os resultados onde houve o incremento da matriz orgânica com os isolados B1 e B3 obtiveram maiores teores quando comparados aos tratamentos com MAP e a testemunha, resultado que pode ser justificado através dos benefícios do incremento de matéria orgânica em solos pobres em carbono, como aeração das estruturas do solo, maior estabilidade dos agregados e menor

compactação de solo (OSAKI, 1991). O enxofre não houve diferença mínima significativa para os tratamentos quando comparados com a testemunha ou com o tratamento MAP (Tabela 8)

Quanto aos micronutrientes, nota se na tabela 9 que, maiores valores médios de Cu acumulado na parte aérea de plantas são observados com os fertilizantes organominerais e com a adição do isolado B3, de acordo com Abreu, Lopes e Santos (2007) o Cu é o micronutriente que mais interage com os compostos orgânicos do solo, formando complexos estáveis, porém, sendo liberados com a decomposição da palhada por meio da atividade microbiana.

No caso dos micronutrientes Fe, Mn e Zn, é notado na tabela 9, que os valores médios de acúmulo são mais altos, quando utilizado os fertilizantes, independente da ausência ou presença da matriz orgânica se comparados a testemunha, o que é esperado, visto que uma planta com ausência de fósforo também terá dificuldades na assimilação de outros nutrientes.

Quando o Boro é analisado (Tabela 9), os teores acumulados deste nutriente são maiores sempre que a matriz orgânica é associada aos fertilizantes, isso ocorre devido a matéria orgânica ser uma fonte deste nutriente, sendo que a partir da sua decomposição que ocorre a sua liberação (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

Tabela 9. Micronutrientes acumulados na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*

Microrganismos	Fonte		Média
	Turfa	CB	
	Cu (mg vaso⁻¹)		
Sem	1,1	1,2	1,2 B
B1	1,0	1,3*	1,2 B
B2	0,9	1,2	1,1 B
B3	1,4*	1,7*	1,6 A
Média	1,1 b	1,4 a	
Testemunha		1,3*	
MAP		0,9*	
	Fe (mg vaso⁻¹)		
Sem	8,8 ⁺	2,1*	5,5 AB
B1	9,7 ⁺	9,2 ⁺	9,4 A
B2	6,9	3,1*	5,0 B
B3	6,3	12,0 ⁺	9,1 AB
Média	7,9 a	6,6 a	

Continua...

Continua ...

Testemunha		2,1	
MAP		10,1+	
Mn (mg vaso⁻¹)			
Sem	4,3 aA	3,3 aA	3,8
B1	5,4 aA ⁺	1,4 bB*	3,4
B2	3,9 aA	4,3 aA	4,1
B3	5,1 aA ⁺	3,6 bA	4,3
Média	4,7	3,2	
Testemunha		2,7	
MAP		4,5	
Zn (mg vaso⁻¹)			
Sem	11,4	9,7	10,6 AB
B1	9,5	6,9	8,2 B
B2	10,6	8,2	9,4 B
B3	15,4* ⁺	11,5	13,4 A
Média	11,7 a	9,1 b	
Testemunha		7,0	
MAP		9,0	
B (mg vaso⁻¹)			
Sem	4,8 ⁺	4,7 ⁺	4,7 B
B1	4,4	4,8 ⁺	4,6 B
B2	4,6	4,6	4,6 B
B3	6,1* ⁺	5,3* ⁺	5,7 A
Média	5,0 a	4,9 a	
Testemunha		3,4	
MAP		4	

Cu: DMS de Tukey para fontes: 0,3; DMS de Tukey para microrganismos: 0,2; DMS de Dunnet: 0,4; CV: 18,2%.
Fe: DMS de Tukey para fontes: 6,1; DMS de Tukey para microrganismos: 4,6; DMS de Dunnet: 6,4; CV: 45,0%.
Mn: DMS de Tukey para fontes: 2,0; DMS de Tukey para microrganismos: 1,5; DMS de Dunnet: 2,1; CV: 26,8%.
Zn DMS de Tukey para fontes: 3,3; DMS de Tukey para microrganismos: 1,7; DMS de Dunnet: 4,8; CV: 24,1%.
B: DMS de Tukey para fontes: 0,8; DMS de Tukey para microrganismos: 0,4; DMS de Dunnet: 1,2; CV: 13,0%.
Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. ⁺Difere da testemunha e * difere do MAP pelo teste de Dunnet

4.5 Análise química do solo

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 10), quanto ao pH e aos teores de Ca e Mg no solo. Por outro lado, teores de P superiores à testemunha e ao MAP foram obtidos com a utilização dos fertilizantes organominerais, independente da matriz orgânica ou dos microrganismos, sendo amplamente melhores que a testemunha e superiores ao MAP de forma significativa, este efeito de maior disponibilidade de fósforo quando associado a uma matriz orgânica em solos pobres em carbono é notado por outros autores, sendo de modo geral a adição

de resíduos orgânicos ao solo, causa efeito contrário, ocasionando, de modo geral, diminuição da adsorção e aumento da disponibilidade de P para as plantas, conforme observado por Laboski & Lamb (2003), citado por Novais et al. (2007). Outro mecanismo evidenciado por Haynes (1984) também é citado por Novais et al. (2007) que mostra a capacidade do solo adsorver ácidos orgânicos fortemente, gerando uma competição pelos sítios de adsorção de P e aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas.

Quando observamos o Potássio no solo (Tabela 10), vemos que os fertilizantes com base orgânica também foram capazes de se destacarem positivamente, sendo obtidos resultados melhores com a matriz orgânica a base de composto de barn e torta de filtro, ressalta-se ainda que quando o isolado B1 foi adicionado, esse efeito foi maximizado.

Se tratando dos micronutrientes o Cu, Fe e Zn, ficaram com valores abaixo da testemunha, e o Mn obteve valores médios que não diferiram estatisticamente, observados na tabela 10, segundo Abreu, Lopes e Santos (2007) um dos fatores que afetam a disponibilidade desses nutrientes no solo é a relação com a matéria orgânica, sendo através de compostos que a constituem, formados complexos orgânicos com esses micronutrientes metálicos, podendo diminuir a solubilidade e conseqüentemente a disponibilidade deles para a planta, a depender da constante de estabilidade apresentada por Stevenson & Ardakani (1972). Essa constante varia a depender da concentração em mols da substância orgânica e íons metálicos, tendendo ao equilíbrio entre disponibilidade e indisponibilidade do elemento.

Conforme resultados deste trabalho (Tabela 10) e observado através de experimentação por Dynia & Barbosa Filho (1993) citado posteriormente por Abreu, Lopes e Santos (2007) o poder de formação de complexos diminui seguindo a ordem Cu, Zn, Mn. Sendo o Cu o que mais interage com os compostos orgânicos do solo, formando grupamentos carboxílicos e fenólicos de alta estabilidade, sendo inclusive notado uma relação entre deficiência de Cu e teor de matéria orgânica nos solos. Abreu, Lopes e Santos (2007).

Em relação ao micronutriente Boro, obtivemos resultados médios que não se diferiram da testemunha e do MAP (Tabela 10), apesar desse elemento ter relação intrínseca com a matéria orgânica e os seus teores demonstram correlação positiva com os teores de carbono orgânico no solo, podendo ser explicado devido a sua baixa presença nos solos do experimento, obtendo como resultado valores menores que $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$.

Tabela 10. Análise química do solo cultivado com cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*.

Microrganismos	Fonte		Média
	Turfa	CB	
	pH		
Sem	6,5	6,6	6,6 A
B1	6,5	6,5	6,5 A
B2	6,6	6,6	6,6 A
B3	6,3	6,7	6,5 A
Média	6,5 a	6,6 a	
Testemunha	6,5		
MAP	7,0		
	P (mg dm⁻³)		
Sem	7,2 ⁺	7,2 ⁺	7,2 A
B1	8,4 ⁺	8,4 ⁺	8,4 A
B2	6,2 ⁺	8,2 ⁺	7,2 A
B3	8,2 ⁺	5,9 ⁺	7,0 A
Média	7,5 a	7,4 a	
Testemunha	1,3		
MAP	4,8 ⁺		
	K (mg dm⁻³)		
Sem	45,2 aA	39,2aBC	42,2
B1	61,9 bA	97,3 aA* ⁺	79,6
B2	48,5 aA	68,7 Aab ⁺	58,6
B3	51,7 aA	27,6 Ac	39,7
Média	51,8	58,2	
Testemunha	19,8		
MAP	47,2		
	Ca (mg dm⁻³)		
Sem	3,2	3,1	3,1 A
B1	3,1	3,1	3,1 A
B2	3,3	3,1	3,2 A
B3	2,7	3,2	3,0A
Média	3,1 a	3,1 a	
Testemunha	2,6		
MAP	3,1		
	Mg (mg dm⁻³)		
Sem	1,4	1,3	1,3 A
B1	1,5	1,5	1,5 A
B2	1,5	1,4	1,4 A
	Mg (mg dm⁻³)		
B3	1,1	1,3	1,2 A
Média	1,4 a	1,4 a	

Continua...

Continua...

Testemunha			1,4	
MAP			1,3	
Cu (mg dm⁻³)				
Sem	1,1 aA ⁺		0,9 aAB	1,0
B1	1,3 aA		1,0 Aab ⁺	1,2
B2	0,9 aA ⁺		1,2 aA ⁺	1,0
B3	1,0 aA ⁺		0,7 aB	0,9
Média	1,1		1,0	
Testemunha			1,6*	
MAP			1,1 ⁺	
Fe (mg dm⁻³)				
Sem	25,7		20,8	23,3 B
B1	31,0		29,3	30,2 A
B2	25,9		27,2	26,5
B3	25,4		19,0	AB
Média	27,0 a		24,1 a	22,2 B
Testemunha			31,2	
MAP			25,3	
Mn (mg dm⁻³)				
Sem	13,3 aA		12,7 aB	13,1
B1	13,0 bA		15,4 aA* ⁺	14,2
B2	12,3 aA		12,9 aB	12,6
B3	12,5 aA		12,1 aB	12,3
Média	12,8		13,3	
Testemunha			12,8	
MAP			13,2	
Zn (mg dm⁻³)				
Sem	2,7		2,3	2,5 A
B1	2,5		2,4	2,5 A
B2	2,5		1,8 ⁺	2,2 A
B3	3,1		2,0	2,5 A
Média	2,7 a		2,1 b	
Testemunha			2,9	
MAP			2,2	
C				
Sem	0,1 aA		0,1 aB	0,1
B1	0,1 bA		0,3 aA* ⁺	0,2
B2	0,2 aA		0,2 aB	0,2
B3	0,1 bA		0,2 aB	0,2
Mg (mg dm⁻³)				
Média	0,1		0,2 Aab	
Testemunha			0,2	
MAP			0,2	

pH: DMS de Tukey para fontes: 0,5; DMS de Tukey para microrganismos: 0,3; DMS de Dunnet: 0,7; CV: 5,5%.
P: DMS de Tukey para fontes: 01,6; DMS de Tukey para microrganismos: 3,0; DMS de Dunnet: 4,5; CV: 33,5%.
K: DMS de Tukey para fontes: 40,9; DMS de Tukey para microrganismos: 30,8; DMS de Dunnet: 2,7; CV: 42,0%.
Ca: DMS de Tukey para fontes: 0,5; DMS de Tukey para microrganismos: 0,3; DMS de Dunnet: 0,7; CV: 11,3%.
Mg: DMS de Tukey para fontes: 0,3; DMS de Tukey para microrganismos: 0,2; DMS de Dunnet: 0,5; CV: 16,8%.
H+Al: DMS de Tukey para fontes: 0,5; DMS de Tukey para microrganismos: 0,3; DMS de Dunnet: 0,7; CV: 11,9%.
SB: DMS de Tukey para fontes: 0,7; DMS de Tukey para microrganismos: 0,4; DMS de Dunnet: 1,1; CV: 11,7%.
Cu: DMS de Tukey para fontes: 0,4; DMS de Tukey para microrganismos: 0,3; DMS de Dunnet: 0,4; CV: 19,1%.
Fe: DMS de Tukey para fontes: 6,1; DMS de Tukey para microrganismos: 3,2; DMS de Dunnet: 9,0; CV: 17,1%.
Mn: DMS de Tukey para fontes: 1,8; DMS de Tukey para microrganismos: 1,4; DMS de Dunnet: 1,9; CV: 7,2%.
Zn: DMS de Tukey para fontes: 0,6; DMS de Tukey para microrganismos: 0,3; DMS de Dunnet: 0,9; CV: 19,0%.
B: DMS de Tukey para fontes: 0,1; DMS de Tukey para microrganismos: 0,1; DMS de Dunnet: 0,1; CV: 42,1%.

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. [†]Difere da testemunha e * difere do MAP pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

4.6 Bioindicadores de saúde do solo

Quando analisada a β Glicosidade, resultados significativos foram obtidos em todos os tratamentos que acrescentam fósforo a independem da adição de microrganismos, porém, quando adicionado as matrizes orgânicas esse efeito é maximizado e ao adicionar microrganismos a esses tratamentos, os isolados B1 se destacam (Tabela 11). As glicosidases desempenham papel de decomposição de carbono, hidrolisando os polímeros de carboidratos (BÖHME; BÖHME, 2006; XIAO-CHANG; QIN, 2006; CUNHA-QUEDA et al., 2007), portanto, o resultado é esperado por adicionarmos carbono em um solo pobre nesse quesito.

Quando avaliado o bioindicador fosfatase ácida, que é uma enzima reportada predominantemente em solos ácidos (Santos, 2015), obtivemos resultados significativos nos tratamentos de organomineral indiferente da adição de microrganismos, porém, quando adicionado o isolado B3 em conjunto com o CB, conseguimos resultados que se diferem quando comparados com a testemunha e MAP (Tabela 11).

Os tratamentos que se destacam quando avaliamos a Arilsulfatase são o CB, CB+B1 e CB+B2, e Turfa + B2 e B3 (Tabela 11). Essa enzima têm como função catalisar a hidrólise dos ésteres de sulfato orgânico no solo (TABATABAI, 1994) estas são indicadores indiretos de biomassa fúngica, devido os fungos possuírem ésteres de sulfato.

Analisando o bioindicador Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), notamos que todos os tratamentos se diferiram da testemunha, com exceção do CB+B3 (Tabela 11), o teor de CBM indica o potencial de disponibilidade de nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Tabela 11. Atividade das enzimas β glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase e carbono da biomassa do solo cultivado com cana-de-açúcar (variedade CTC 9002) aos 91 dias após a aplicação de fertilizantes organominerais em mistura com diferentes isolados de espécies do gênero *Bacillus*

Microorganismos	Fonte		
	Turfa	CB	Média
β Glicosidase ($\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{ solo}$)			
Sem	31,4 ⁺	32,2 ⁺	31,8 B
B1	36,7 ⁺ *	34,6 ⁺	35,6 A
B2	33,1 ⁺	35,0 ⁺	34,0 AB
B3	35,0 ⁺	30,5 ⁺	32,8 B
Média	34,0 a	33,1 a	
Testemunha	25,3		
MAP	31,7 ⁺		
Fosfatase ácida ($\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{ solo}$)			
Sem	131,3	151,0	141,1 B
B1	154,3	143,5	148,9 AB
B2	137,3	144,0	140,7 B
B3	158,8	163,8*	161,3 A
Média	145,4 a	150,6 a	
Testemunha	145,7		
MAP	136,7		
Arilsulfatase ($\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{ solo}$)			
Sem	10,7	14,0	12,4 B
B1	11,3	15,1*	13,2 B
B2	15,2 ⁺ *	14,7 ⁺ *	14,9 A
B3	14,7*	12,9	13,8 AB
Média	13,0 b	14,2 a	
Testemunha	12,2		
MAP	11,6		
CBM ($\mu\text{g C g}^{-1} \text{ solo}$)			
Sem	97,3 ⁺	104,1 ⁺	100,7 A
B1	96,6 ⁺	107,3 ⁺	101,9 A
B2	98,8 ⁺	102,4 ⁺	100,6 A
B3	108,9 ⁺	89,0	98,9 A
Média	100,4 a	100,7 a	
Testemunha	73,8		
MAP	95,4 ⁺		

Glicosidade: DMS de Tukey para fontes: 1,5; DMS de Tukey para microrganismos: 2,8; DMS de Dunnet: 4,2; CV: 6,4%. **Fosfatase:** DMS de Tukey para fontes: 9,4; DMS de Tukey para microrganismos: 17,6; DMS de Dunnet: 26,3; CV: 8,8%. **Arilsulfatase:** DMS de Tukey para fontes: 0,9; DMS de Tukey para microrganismos: 1,7; DMS de Dunnet: 2,6; CV: 9,5%. **CBM:** DMS de Tukey para fontes: 6,8; DMS de Tukey para microrganismos: 12,7; DMS de Dunnet: 19,0; CV: 9,6%.

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. ⁺Difere da testemunha e * difere do MAP pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

5 CONCLUSÃO

Maiores acúmulos de massa seca na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar é obtido com a aplicação dos fertilizantes organominerais em combinação com o isolado do gênero *Bacillus* codificado como B3.

A adição do isolado B3 aos fertilizantes organominerais resulta em maiores valores de P, K, Mg, Cu, Zn e B acumulados na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar. Além disso, maior acúmulo de K, Mn e Zn são observados com a aplicação do fertilizante à base de Turfa, enquanto o fertilizante à base de composto barn resulta em maior acúmulo de Ca e Cu.

Maior atividade das enzimas β glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida é observada com a adição dos isolados B1, B2 e B3, respectivamente.

De modo geral, as duas matrizes orgânicas apresentaram eficiência semelhante para a maioria dos parâmetros avaliados neste experimento.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al., **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 11, p. 645-736.

AGUIAR, F. R. **Produção de beterraba submetida a diferentes adubações. Trabalho de conclusão de curso** – Curso de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário Estatístico de 2022**. São Paulo: 2019. Disponível em: anda.org.br. Acesso em: 5 de Janeiro de 2024.

BIELESKI, R.L. **Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability**. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, v.24, p.225-252, 1973.

BÖHME, L., BÖHME, F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 1-12, 2006.

BRASIL. **Decreto n. 86.955, de 18 de fev. de 1982**. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União - Seção 1 - 24/2/1982, Página 3241.

BURNS, R. G.; DE FOREST, 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.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CATTELAN, A. J. **Métodos qualitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal**. Londrina: Embrapa Soja, Documentos Embrapa, n.139, 36p., 1999.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). **Varietades CTC**. 2018. Disponível em: <https://variedadesctc.com.br/>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – (2023). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. V.11 – safra 2023/2024 n.3 – Terceiro Levantamento. Brasília, p. 13- 41, Novembro 2023.

CONAB. **Produção de cana-de-açúcar cresce 4,4% e pode chegar a 598,3 milhões de toneladas na safra 2022/23.** 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4874-producao-de-cana-de-acucar-cresce-4-4-e-pode-chegar-a-598-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>. Acesso em: 20 set. 2023.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. dos S.; FIGUEIREDO, V. S. **Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro.** BNDES Setorial 45: Indústria química, p. 137-187, 2017.

CUNHA, T.J.F.; MENDES, A.M.S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo. Recurso solo: propriedades e usos.** São Carlos: Cubo, cap. 9, p. 273-293, 2015.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* v. 56, p. 2-54, 1996.

FIGUEIREDO, M. B. V. et al. **Microrganismos promotores de crescimento de plantas: bactérias promotoras de crescimento de plantas: estratégia para uma agricultura sustentável.** In: FIGUEIREDO, M. B. V. (Ed.). *Biotechnology aplicada a agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais.* Recife: Embrapa. p. 387–414, 2010.

GEISSELER, D.; SCOW, K.M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, Elsevier, HL, v. 75, p. 54 – 63, 2014.

GONÇALVES, C. A.; CAMARGO, R. de; SOUSA, R. T. X. de; SOARES, N. S.; OLIVEIRA, R. C. de; STANGER, M. C.; LANA, R. M. Q.; LEMES, E. M. **Chemical and technological attributes of sugarcane as functions of organomineral fertilizer based on filter cake or sewage sludge as organic matter sources.** PLoS ONE, v. 16, n.12, e0236852. 2020.

HINOJOSA, M. B.; CARREIRA, J. A.; GARCÍA-RUÍZ, R.; DICK, R. P. Soil moisture pre-treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal contaminated and reclaimed soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 36, p. 1559-1568, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno bruto.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p. 1985.

KINPARA, D. I. **Aspectos econômicos de fertilizantes organominerais obtidos a partir de cama de frango e de torta de filtro de cana-de-açúcar no Brasil.** Embrapa Cerrados- Documentos (INFOTECA-E), 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1130402/1/Doc360-Daniel-Kinpara-web.pdf>. Acesso em: 23 de dezembro de 2021.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de fertilizantes: estatísticas do setor**. DF, MAPA, 2022. Disponível em: Estatísticas do Setor — Ministério da Agricultura e Pecuária. Acesso em: 14 de janeiro de 2024.

MENDES, I. D. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. D. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. de O. (org.). **O solo: estrutura e composição**. São Carlos, SP: Cubo, 2022. cap. 9, p. 126-139..

POL, CH; NOGAROLI, JA. 2020. **Omissão de nutrientes na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)**. Revista Tuiuti: Ciência e Cultura 6: 68-87.

POLIDORO, J. C. **Fertilizantes Organominerais: Aspectos Mercadológicos e Tecnológicos – Rede FertBrasil**. In: V FÓRUM ABISOLO. Ribeirão Preto, SãoPaulo, Brasil: V Fórum Abisolo. 2013. Recurso solo: propriedades e usos. . São Carlos: Editora Cubo. Disponível em: <http://www.iqsc.usp.br/iqsc/sites/recursosolo/LIVRO/livroRECURSOSOLO.pdf>. Capítulo 8, pag.274. Acesso em: 16 jan. 2024

OSAKI, Flora. **Calagem & Adubação**. 2. ed. Curitiba: Camara Brasileira do Livro, 1991. 503 p.

RAMOS. L. A.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, A. A. **Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties**. African Journal of Agricultural Research, Grahamstown, v. 12, n.1, p. 20-27, 2017. DOI: 10.5897/AJAR2016.11024

Riley, H.; Pommeresche, R.; Eltun, R.; Hansen, S.; Korsæth, A., Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. **Agricultural Ecosystem Environment**, v.124, p.275-284, 2008.

RODRIGUES, V. W. B. **Eficiência do fertilizante organomineral produzido a partir de resíduos agroindustriais na cultura da cana-de-açúcar**. IV Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, Rio de Janeiro, v.4 p.1-4, 2015.

ROSCOE, R., BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil Tillage Research**. 70, 107–119, 2003.

SANTOS, V. M. dos; MAIA, L. C. BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, [S. l.], v. 10, p. 195–226, 2015. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/397>. Acesso em: 21 set. 2023.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**. v. 11, p. 3733-3740, 2016.

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

STEVENSON, FJ. & ARDAKANI, M.S. **Organic matter reactions involving micronutrients in soils**. In: MORTVEDT.J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., ed. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.79-114.

STEVENSON, FJ. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions**. 2th ed. John Wiley and Sons, Inc, New York, NY, 1994.

TABATABAI, M. A. Enzymes. In: WEAVER, R. W.; AUGLE, S.; BOTTOMLY, P. J.; BERDICEK, Q.; SMITH, S.; TABATABAI, M. A.; WOLLUM, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

VINHAL-FERITAS,IC; CORRÊA, GF; WENDLING B; Bobul'ská FERREIRA AS.,Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators, **Ecological Indicators**, Volume 74, 2017. Pag. 182-190.

YURI, JE; RESENDE, GM; MOTA, JH; RODRIGUES JÚNIOR, JC; SOUZA, RJ; CARVALHO, JG. 2004. **Comportamento da alface americana em função do uso de doses e épocas de aplicação de boro em cultivo de inverno**. Horticultura Brasileira 22: 593-596.