

FORMULAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR
ENRIQUECIDO COM FONTES DE FÓSFORO

por

KEILA GARCIA FRANCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Nova Andradina - MS

Março - 2024

FORMULAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR
ENRIQUECIDO COM FONTES DE FÓSFORO

por

KEILA GARCIA FRANCO

Comitê de Orientação:

Orientador: Prof. Dr. José Milton Alves, IF Goiano - Campus Rio Verde

Orientador: Prof. Dr. Elcio Ferreira dos Santos, IFMS – Campus Nova Andradina

Coorientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto, IF Goiano - Campus Rio Verde

F825f Franco, Keila Garcia
Formulação do composto orgânico de resíduos de cana-
de-açúcar enriquecido com fontes de fósforo / Keila
Garcia Franco; orientador José Milton Alves; co-
orientador Aurélio Rubio Neto. -- Rio Verde, 2024.
50 p.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Resíduos. 2. Adubação fosfatada. 3.
Solubilizadores. 4. Microorganismos. I. Alves, José
Milton, orient. II. Neto, Aurélio Rubio, co-
orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Keila Garcia Franco

Matrícula:

2021202331540033

Título do trabalho:

Formulação do composto orgânico de resíduos de cana-de-açúcar enriquecido com fontes de fósforo

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 09 /07 /2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

• Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

• Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

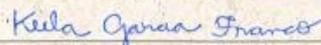
• Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Nova Andradina

09 /07 /2024

Local

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador 

Documento assinado digitalmente

JOSÉ HILTON ALVES

Data: 09/07/2024 11:02:37-0300

Verifique em <https://validar.ifgoiano.edu.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 42/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

FORMULAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR ENRIQUECIDO COM FONTES DE FÓSFORO

Autora: Keila Garcia Franco
Orientador: José Milton Alves

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADO em 01 de abril de 2024.

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Wagner Henrique Moreira
Avaliador externo - IFMS Campus
Nova Andradina

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Elcio Ferreira dos Santos
Avaliador externo - IFMS Campus
Nova Andradina

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Gutierrez Nelson Silva
Avaliador externo - IFMS Campus Nova
Andradina

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. José Milton Alves
Presidente da Banca - IF Goiano
Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Wagner Henrique Moreira, Wagner Henrique Moreira - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (1), em 08/07/2024 12:08:09.
- Jose Milton Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/07/2024 14:43:08.
- ELCIO FERREIRA DOS SANTOS, ELCIO FERREIRA DOS SANTOS - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (1), em 04/07/2024 15:53:05.
- Gutierrez Nelson Silva, Gutierrez Nelson Silva - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (1), em 05/07/2024 18:45:31.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/03/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 586075
Código de Autenticação: 12f8850e#0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

DEDICATÓRIA

A minha querida mãe, Cleuza Macedo Garcia, por tanto amor, cuidado, doação e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, cuidado e proteção em todos os momentos.

À minha linda família, em especial minha mãe Cleuza Macedo Garcia, pela confiança, apoio e amor dedicado durante toda minha vida.

A meu namorado Mateus Roberto Gualdi, pela paciência, compreensão e por sempre estar ao meu lado.

Aos professores José Milton Alves e Elcio Ferreira dos Santos, pela orientação, motivação e conhecimento admiráveis.

À empresa Energética Santa Helena, pelo suporte financeiro e incentivo à pesquisa.

Ao Polo de Inovação, Rio Verde - GO e a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”.

PROVÉRBIOS 16:3

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
	2.1 A cultura da cana-de-açúcar	14
	2.2 Adubação orgânica e fosfatada.....	15
	2.4 Uso de bactérias solubilizadoras de fósforo	18
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
	3.1 Caracterização do experimento	21
	3.2 Processo de compostagem.....	23
	3.3 Avaliações e análises químicas.....	24
	3.4 Análises químicas.....	124
	3.5 Análise estatística	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
5.	CONCLUSÃO.....	44
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1
2
3 FORMULAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR
4 ENRIQUECIDO COM FONTES DE FÓSFORO

5
6 por

7 KEILA GARCIA FRANCO

8 Sob orientação do Professor Dr. José Milton Alves, IF Goiano - Campus Rio Verde e do
9 Professor Dr. Elcio Ferreira dos Santos, IFMS – Campus Nova Andradina

10 RESUMO

11 A hipótese testada é se o composto formado pela torta de filtro, cama de frango e gesso
12 enriquecido com rocha fosfática (RP), em associação com bactérias solubilizadoras de fósforo
13 (PSB), aumenta a disponibilidade do nutriente. O delineamento experimental foi um fatorial
14 com 6 tratamentos e 5 repetições avaliados em 3 épocas, totalizando 90 parcelas
15 experimentais. Os tratamentos foram constituídos por tratamento padrão (T.P) da usina,
16 representado pelo T1 (5,5 t de torta de filtro + 4,0 t de cama de frango + 0,5 t de gesso); T2:
17 T.P + Fosfato Natural (FN); T3: T.P + FN + produto à base de bactérias solubilizadoras de
18 fósforo (Biomaphos); T4: T.P + superfosfato triplo (SFT); T5: 7,0 t de torta de filtro + 2,5 t de
19 cama de frango + 0,5 t de gesso + SFT); T6 – 6,0 t de torta de filtro + 4,0 t de cama de frango.
20 Foram avaliadas de forma decendial temperatura e umidade, e as análises químicas aos 45, 65
21 e 115 dias de compostagem. A análise estatística foi realizada a partir do software SISVAR,
22 utilizando o teste de Tuckey com significância de $P < 0,05$. As variáveis P_2O_5 , K_2O , Ca, Mg,
23 pH, M.O. e C.O foram influenciadas pelo tempo. Já as variáveis N, S e Umidade não
24 apresentaram efeito significativo. A aplicação do solubilizador não influenciou no teor de P
25 disponível. Não foi observada diferença no teor de P utilizando o fostato natural e a fonte
26 solúvel de fósforo. O gesso agrícola não reduziu a volatilização do nitrogênio no processo de
27 compostagem. Não há diferença entre as proporções das matérias-primas.

28 PALAVRAS-CHAVE: Resíduos; adubação fosfatada; solubilizadores; microrganismos.

29

30

31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

FORMULATION OF ORGANIC COMPOST FROM SUGARCANE RESIDUES
ENRICHED WITH PHOSPHORUS SOURCESLITTER

por

KEILA GARCIA FRANCO

Sob orientação do Professor Dr. José Milton Alves, IF Goiano - Campus Rio Verde e do
Professor Dr. Elcio Ferreira dos Santos, IFMS – Campus Nova Andradina

ABSTRACT

The hypothesis tested is whether the compound formed by filter cake, chicken litter and gypsum enriched with phosphate rock (RP) in association with phosphorus-solubilizing bacteria (PSB) increases the P availability. The experimental design was a factorial with 6 treatments and 5 replications evaluated in 3 seasons, totaling 90 experimental plots. The treatments consisted of the plant's standard treatment (T.P), represented by T1 (5.5 t of filter cake + 4.0 t of chicken litter + 0.5 t of gypsum); T2: T.P + Natural Phosphate (FN); T3: T.P + FN + product based on phosphorus-solubilizing bacteria (Biomaphos); T4: T.P + triple superphosphate (SFT); T5: 7.0 t of filter cake + 2.5 t of chicken litter + 0.5 t of gypsum + SFT); T6 – 6.0 t of filter cake + 4.0 t of chicken litter. Temperature and humidity were evaluated every ten days, and chemical analyzes were carried out at 45, 65 and 115 days of composting. Statistical analysis was performed using the SISVAR software, using the Tuckey test with a significance of $P < 0.05$. The variables P_2O_5 , K_2O , Ca, Mg, pH, M.O. and C.O were influenced by time. The variables N, S and Humidity did not show a significant effect. The solubilizer application did not influence the P available. No difference was observed in the P content using the natural phosphate and the soluble source of phosphorus. Gypsum did not reduce nitrogen volatilization in the composting process. There is no difference between the proportions of raw materials.

KEYWORDS: Waste; phosphate fertilization; solubilizers; microorganisms.

61

62

63 1. INTRODUÇÃO

64

65 O incremento na produção agrícola, visando suprir as necessidades de uma população em
66 expansão e uma grande demanda externa de alimentos, impulsionou o uso de fertilizantes
67 minerais para assegurar a disponibilidade de nutrientes essenciais e a fertilidade dos solos
68 utilizados na agricultura. Após o nitrogênio, o fósforo (P) desponta como o segundo nutriente
69 de maior relevância para promover o crescimento vigoroso e a produtividade das plantas
70 (ELHAISSOUFI *et al.*, 2021).

71 A ausência de fósforo no solo ou a insuficiência de fertilizantes que o forneçam pode
72 restringir o crescimento regular das plantas, uma vez que desempenha papel fundamental no
73 desenvolvimento das raízes. Como resultado, a deficiência de fósforo pode diminuir
74 substancialmente o rendimento das culturas, chegando até 15% (SHENOY *et al.*, 2005). É por
75 essa razão que a aplicação adequada do nutriente persiste como uma das práticas agrícolas
76 fundamentais para atender às exigências nutricionais das plantas.

77 Contudo, segundo Elhaisoufi *et al.* (2021), a presença de fósforo na maioria dos solos
78 agrícolas é frequentemente restrita pela forte ligação do P às partículas do solo e aos cátions
79 divalentes, resultando na formação de complexos de P insolúveis. Assim sendo, surge a
80 demanda constante por aprimorar de maneira sustentável a disponibilidade de fósforo no solo.
81 Essas melhorias podem envolver diversas estratégias, incluindo a aplicação de fontes
82 orgânicas de P associadas a recursos microbianos especializados na ciclagem do fósforo,
83 como as bactérias solubilizadoras de fosfato (PSB).

84 O setor sucroenergético brasileiro lidera o ranking global como maior produtor e
85 exportador de açúcar, ocupando ainda o segundo lugar na produção de etanol. A cana-de-

86 açúcar é considerada uma das grandes alternativas para os setores de biocombustíveis e
87 bioenergia, pela alta eficiência energética (CURSI *et al.*, 2021). Além disso, seus resíduos
88 industriais podem ser aproveitados favoravelmente como fonte de fertilizantes orgânicos
89 (vinhaça e torta de filtro) e na geração de bioenergia (bagaço) (BLAIR *et al.*, 2021). Com a
90 alta nos preços dos insumos observadas a partir do ano de 2021, o uso destes materiais
91 residuários dentro do ciclo produtivo torna-se ainda mais expressivo e rentável para o
92 produtor (VERA *et al.*, 2022).

93 A torta de filtro é gerada a partir do processo de filtragem do caldo da cana-de-açúcar
94 tratado, e é composta por restos de bagaço e material mineral presente na matéria-prima,
95 podendo ser aplicada em área total, de forma localizada no sulco de plantio ou em faixas na
96 linha da soqueira de cana (FERRAZ JUNIOR *et al.*, 2022). Contudo, este resíduo possui
97 baixo teor de fósforo (P) e elevada umidade, necessitando ser aplicada grande quantidade para
98 fornecer o recomendado de P para o cultivo da cana-de-açúcar, impactando negativamente o
99 custo de aplicação (MOTA *et al.*, 2019).

100 Por ser um material de elevada umidade (70 a 75% o teor de água), sugere-se o
101 enriquecimento da torta com fonte mineral de P₂O₅. Dentre as principais fontes minerais
102 utilizadas, têm-se a rocha fosfática como estratégia de redução de custos e aumento do efeito
103 residual do fertilizante, característica importante em solos de regiões tropicais, em que grande
104 parte do fósforo fica adsorvido nos óxidos/hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al)
105 (ZAVASCHI *et al.*, 2020).

106 Visto isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar se o enriquecimento do composto
107 orgânico de cana-de-açúcar com o uso de fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em
108 associação com bactérias solubilizadoras de fósforo (P) aumenta a disponibilidade do
109 nutriente.

110

111

112

113 **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

114

115 **2.1 A Cultura da cana-de-açúcar**

116

117 A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é originária do sudeste asiático e pertence
118 à família Poaceae, uma gramínea geralmente cultivada em áreas tropicais ou subtropicais.
119 Considerada uma das culturas mais importantes do mundo, é a principal matéria-prima para a
120 fabricação de açúcar e álcool (etanol), sendo fonte de renda e geração de empregos
121 (CAMARGO *et al.*, 2010; KIRUBAKARAN *et al.*, 2013).

122 A cultura é considerada uma das grandes alternativas para os setores de biocombustíveis
123 e bioenergia, pela alta eficiência energética. Além disso, possui crescimento perene e dossel
124 de longa duração, permitindo colheita durante a maior parte do ano e abastecimento constante
125 da indústria (CURSI *et al.*, 2021). Os resíduos industriais da cana podem ser aproveitados
126 favoravelmente como fonte de fertilizantes orgânicos (vinhaça e torta de filtro) e na geração
127 de bioenergia (bagaço) (BLAIR *et al.*, 2021). Com a alta nos preços dos insumos observada a
128 partir do ano de 2021, o uso destes materiais residuários, dentro do ciclo produtivo, torna-se
129 ainda mais expressivo e rentável para o produtor (VERA *et al.*, 2022).

130 Em virtude do preparo intensivo do solo necessário para o estabelecimento da cana-de-
131 açúcar, a fração orgânica do solo é estimulada a passar pelo processo de mineralização. Nesse
132 contexto, a utilização de fertilizantes organominerais ou outras fontes orgânicas, como a torta
133 de filtro, pode desempenhar papel fundamental na promoção da estabilidade agronômica do
134 solo. Isso, por sua vez, pode traduzir em rendimentos mais elevados na produção de cana-de-
135 açúcar (CHERUBIN *et al.*, 2016).

136 A torta de filtro é gerada a partir do processo de filtragem do caldo da cana-de-açúcar
137 tratado, e a produção é significativa, principalmente por usinas que utilizam a extração de
138 caldo por moendas. É composta por restos de bagaço e material mineral presente na matéria-
139 prima, podendo ser aplicada em área total, de forma localizada no sulco de plantio ou em
140 faixas na linha da soqueira de cana (FERRAZ JUNIOR *et al.*, 2022). Atualmente, a produção
141 anual total de torta de filtro e cinzas (24 milhões de Mg) poderia ser suficiente para adubar
142 cerca de 10% dos canaviais do Brasil (LOPES *et al.*, 2021). Contudo, este resíduo constitui
143 um material com baixo teor de fósforo (P), necessitando ser aplicada grande quantidade para
144 fornecer o recomendado de P para o cultivo da cana-de-açúcar, impactando negativamente o
145 custo de aplicação (MOTA *et al.*, 2019).

146

147 **2.2 Adubação orgânica e fosfatada**

148

149 A adubação orgânica na cana-de-açúcar é uma prática importante, além de contribuir
150 para a fertilidade do solo permite um destino sustentável aos resíduos da cultura, cujo descarte
151 incorreto causaria impactos ambientais. De acordo com Raij *et al.* (1996), para a cana-de-
152 açúcar, o uso de vinhaça e torta de filtro, resíduos importantes da agroindústria canvieira,
153 representam aportes relevantes de matéria orgânica, potássio e fósforo.

154 Vasconcelos *et al.* (2017) explorando os efeitos do uso de torta de filtro como fertilizante
155 no metabolismo, fotossíntese e armazenamento de fósforo da cana-de-açúcar, observaram que
156 este subproduto pode ser fonte alternativa de P para a cultura, com efeitos semelhantes ou
157 superiores aos dos fertilizantes minerais convencionais. Destacaram ainda que a aplicação de
158 torta de filtro pode melhorar a atividade da fosfatase ácida, a produção de açúcar e álcool
159 hidratado, e a troca gasosa em plantas de cana-de-açúcar. Por ser um resíduo orgânico, é

160 possível que a aplicação no solo contribua para a incorporação de matéria orgânica e,
161 consequentemente, para a melhoria da qualidade do solo e produtividade da cana.

162 O fósforo é um nutriente mineral crucial para o desenvolvimento agrícola e o
163 crescimento de culturas, sendo essencial para processos fisiológicos vitais. A introdução de
164 fertilizantes minerais, especialmente fosfatados, desde 1950, é amplamente creditada pelo
165 notável aumento na produção agrícola. Esse nutriente desempenha papel essencial na
166 promoção do desenvolvimento radicular, maturação rápida de plantas, produção de sementes,
167 melhoria da fixação biológica de nitrogênio, eficiência no uso da água e resistência a doenças.
168 Além disso, é fundamental em processos fisiológicos como transferência e armazenamento de
169 energia, fotossíntese, divisão celular e formação de sementes, controlados pelas moléculas
170 intracelulares ADP e ATP que contêm fósforo (KRISHNARAJ e DAHALE, 2014).

171 No entanto, a concentração de fósforo na solução do solo é muito baixa, tornando
172 altamente limitante para o crescimento das plantas, considerando a significativa necessidade
173 desse nutriente na produção agrícola (BHAT *et al.*, 2017). Adicionalmente, a disponibilidade
174 de P está intrinsecamente ligada ao pH do solo, podendo desencadear fenômenos de fixação e
175 precipitação que reduzem a disponibilidade e, por conseguinte, impactam a eficácia dos
176 fertilizantes fosfatados.

177 Devido à avançada maturidade dos solos tropicais, apenas os minerais primários e
178 secundários mais estáveis permanecem. Os minerais silicatados do tipo 1:1, como as
179 caulinitas, juntamente com os óxidos de ferro, alumínio e titânio, e alguns minerais herdados
180 ou transformados do material de origem, como a moscovita e a vermiculita com hidróxido de
181 alumínio entre camadas são comumente encontrados nesses solos. Essa mineralogia confere a
182 esses solos algumas características químicas importantes, como baixa capacidade de troca
183 catiônica (CTC), alto ponto de carga zero (PCZ), reservas limitadas de nutrientes e,
184 principalmente, alta adsorção de fósforo, resultando em baixos níveis de fertilidade

185 (SCHWERTMAN, 1964). Nesse contexto, a disponibilidade adequada de nutrientes é um dos
186 fatores mais influentes na produtividade das culturas, e a adubação fosfatada torna-se uma
187 prática essencial na agricultura dessas regiões (SANCHEZ, 2002; BEDIN *et al.*, 2003).

188 O Cerrado é uma região agrícola de grande relevância para o Brasil, sendo um
189 significativo produtor de grãos e fibras. No entanto, as áreas nativas geralmente apresentam
190 índices reduzidos de fertilidade, destacando os baixos níveis de fósforo disponível e o pH
191 baixo. Diante desse cenário, Rodrigues *et al.* (2016) investigaram as modificações geradas
192 pelos sistemas de manejo do solo, convencional e plantio direto, nas frações de fósforo em
193 Latossolos do cerrado brasileiro. Eles constataram que a conversão da vegetação nativa em
194 áreas agrícolas, com a aplicação anual de fertilizantes fosfatados ao longo de períodos
195 extensos, ocasionou aumento em todas as frações de fósforo no solo, tornando essas áreas
196 produtivas.

197 Recentemente, houve aumento significativo no interesse pela utilização de rochas
198 fosfáticas (RPs) como fontes alternativas de fósforo, impulsionado pelo seu custo
199 relativamente reduzido e potencial de aplicação. Diversos estudos foram conduzidos para
200 avaliar a eficácia de diferentes aditivos na promoção da disponibilidade e solubilidade do
201 fósforo proveniente de fontes naturais e aplicadas. Entre essas estratégias, modificações
202 orgânicas, como o uso de esterco animal, resíduos vegetais, adubo verde e a inoculação
203 bacteriana, têm sido reconhecidas como benéficas para aprimorar a eficiência do fósforo,
204 conforme destacado por Panhwar *et al.* (2011) e Gupta *et al.* (2011).

205 Ali *et al.* (2014) estudando o impacto do fosfato natural compostado com materiais
206 orgânicos no rendimento e na absorção de fósforo pelo bersem e pelo milho, obtiveram
207 resultados que apoiam a adoção desta adubação como estratégia viável para melhorar o
208 rendimento das colheitas, aumentar a fertilidade do solo e promover práticas agrícolas

209 sustentáveis em regiões em que o fosfato natural é tradicionalmente utilizado como
210 fertilizante.

211 Outro estudo realizado com fertilizante à base de fosfato natural e torta de filtro mostrou
212 que a adição da torta ao solo dificultou a ação de sorção de fósforo nos minerais de alumínio e
213 ferro, impedindo a formação de fases termodinamicamente mais estáveis e aumentando a
214 disponibilidade do nutriente à planta (BORGES *et al.*, 2019).

215 Neste sentido, ressalta-se a importância de associar a adubação mineral à orgânica,
216 fornecendo nutrientes para a planta e beneficiando os atributos químicos, físicos e biológicos
217 do solo. Dentre estes benefícios pode-se citar o aumento da capacidade de retenção de
218 umidade do solo; redução da densidade aparente; melhoria da taxa de infiltração de água; boa
219 porosidade do solo; aumento da capacidade de retenção de cátions; fornecimento de macro e
220 micronutrientes; redução da fixação de P; liberação gradual dos nutrientes; e melhores
221 condições para o desenvolvimento da microbiota do solo (SANTOS *et al.*, 2012).

222

223 **2.3 Uso de bactérias solubilizadoras de fósforo**

224

225 As evidências do envolvimento de alguns microrganismos do solo no fenômeno de
226 biossolubilização do fósforo não são recentes, remontando ao início de 1903 (KISHORE *et*
227 *al.*, 2015). Foi principalmente por meio dos estudos de Gerretsen (1948) e Pikovskaya (1984)
228 que a capacidade de certos microrganismos em solubilizar fósforo insolúvel foi inicialmente
229 revelada. Essa descoberta subsequente identificou diversos microrganismos solubilizadores de
230 fósforo, como bactérias e fungos benéficos, que vivem em estreita associação com as plantas,
231 proporcionando uma perspectiva promissora para o desenvolvimento de ferramentas
232 poderosas com o objetivo de promover uma agricultura sustentável, aumentando a eficiência
233 na utilização do fósforo.

234 Abbasi *et al.* (2015), estudando a mineralização de fertilizantes fosfatados solúveis e
235 fosfato natural insolúvel em resposta a PSB e esterco de aves na cultura da pimenta
236 (*Capsicum annuum* L.), observou que os fertilizantes fosfatados solúveis, como superfosfato
237 simples e fosfato diamônio, exibiram maior capacidade de liberação de P em comparação com
238 o RP insolúvel. No entanto, a eficiência do RP poderia ser melhorada em 80% e 17% quando
239 combinada com esterco de aves ou PSB, respectivamente, levando ao aumento da liberação e
240 utilização de P em sistemas solo-planta.

241 As PSB podem solubilizar compostos minerais de fósforo por meio da produção de
242 ácidos orgânicos e mineralizar fontes orgânicas do nutriente por meio da ação de enzimas
243 como fitases, fosfatases ácidas e alcalinas (KHAN *et al.*, 2014). A combinação do uso de PSB
244 e fosfato de rocha mostra-se uma alternativa eficaz para a adubação fosfatada em culturas
245 como milho e milheto (MAGALLON-SERVÍN *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2018).

246 Em abordagem semelhante, Estrada-Bonilla *et al.* (2020) também concluíram que a
247 inoculação de PSB podem melhorar o desempenho de fertilizantes orgânicos, caracterizando-
248 se como alternativa promissora na valorização dos resíduos e redução dos impactos sobre a
249 economia circular do setor sucroenergético brasileiro.

250 É amplamente reconhecido que o mecanismo de solubilização de fósforo pelas bactérias
251 solubilizadoras de fosfato (PSB) está associado à liberação de ácidos orgânicos de baixo peso
252 molecular (GOLDSTEIN, 1995; KIM *et al.*, 1997). Estes ácidos, por meio dos grupos
253 hidroxila e carboxila, formam complexos quelantes com os cátions ligados ao fosfato,
254 transformando-o em formas solúveis (KPOMBLEKOU e TABATABAI, 2003; CHEN *et al.*,
255 2006).

256 Experimentos nesta abordagem são pouco usuais, no entanto, relatos recentes indicam
257 que até 50% do superfosfato triplo poderia ser substituído por rochas fosfáticas. Essa
258 substituição foi observada quando inoculantes bacterianos capazes de solubilizar fósforo,

259 como *Enterobacter gergovie*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis*, foram aplicados junto com
260 as RPs no cultivo de arroz em ambientes de vaso e campo (RAJAPAKSHA *et al.*, 2011).

261 Os microorganismos desempenham papel essencial na decomposição da matéria
262 orgânica, na ciclagem e imobilização de nutrientes e em outras alterações químicas no solo
263 porque os processos relacionados à transformação do material orgânico são, em alguma fase,
264 mediados por estes seres. Portanto, a biomassa microbiana do solo, em particular, desempenha
265 papel fundamental nas conversões de matéria e nutrientes em energia, podendo ser
266 considerada uma fonte ou um dreno nesses processos (CUNHA *et al.*, 2015).

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

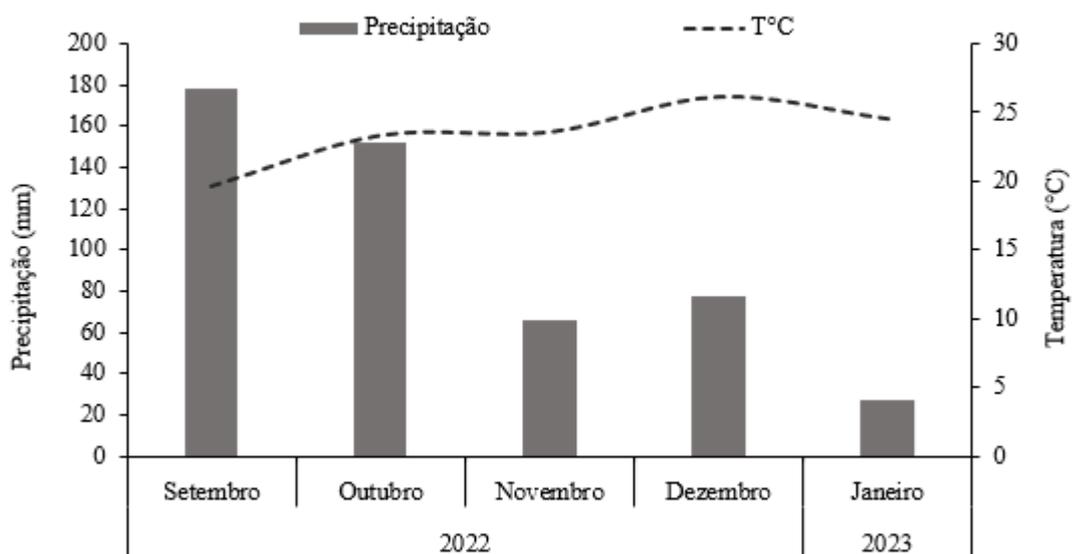
286 3. MATERIAL E MÉTODOS

287

288 3.1 Caracterização do experimento

289

290 O experimento foi conduzido de setembro de 2022 a janeiro de 2023 no pátio de
291 compostagem da usina de destilaria Santa Helena, localizada na Fazenda Santa Helena,
292 Rodovia MS 134, s/n, Km 25. A região possui clima caracterizado como tropical
293 (classificação climática Köppen-Geiger), com precipitação média anual de 1.650 milímetros,
294 e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão (Figura 1).



295

296 **Figura 1.** Precipitação (mm) e temperatura (°C) observadas no pátio de compostagem durante
297 a condução do experimento. Gráfico climatológico do município de Nova Andradina - MS,
298 safra 2022/23.

299

300 Os dados de temperatura foram obtidos a partir da estação meteorológica do IFMS

301 Campus Nova Andradina e a precipitação através de pluviômetros da área de vivência do
302 pátio de compostagem durante o período experimental.

303 O delineamento experimental foi em esquema fatorial, com 6 tratamentos e 5 repetições,
304 avaliadas em três períodos, totalizando 90 parcelas experimentais. Os tratamentos foram
305 estabelecidos considerando o tratamento padrão da usina e com base nas necessidades de
306 enriquecimento com fontes de fósforo para adubação de plantio. O tratamento padrão (T.P) da
307 usina será representado pelo T1 no experimento, e consiste em 5,5 t de torta de filtro + 4,0 t
308 de cama de frango + 0,5 t de gesso; T2: T.P + Fosfato Natural (FN); T3: T.P + FN + produto à
309 base de bactérias solubilizadoras de fósforo (Biomaphos); T4: T.P + superfosfato triplo
310 (SFT); T5: 7,0 t de torta de filtro + 2,5 t de cama de frango + 0,5 t de gesso + SFT); T6 – 6,0 t
311 de torta de filtro + 4,0 t de cama de frango.

312 A torta de filtro foi obtida na indústria da própria usina, o fosfato natural a partir da
313 empresa distribuidora de fertilizantes Fertipar, e a cama de frango oriunda da granja Carlos
314 Segalin. Antes da montagem do experimento as 3 matérias-primas foram coletadas e
315 encaminhadas para análise química (Tabelas 1 e 2).

316

317 **Tabela 1.** Caracterização química da torta de filtro e cama de frango utilizadas na montagem
318 das leiras, antes da instalação do experimento, 2022.

	pH	%M.O	%C.O	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O	%Ca ²⁺	%Mg ²⁺	%S	%Umidade
Torta de Filtro	4,9	65,8	38,2	1,9	1,3	0,2	1,3	0,4	0,1	64,0
Cama de Frango	6,9	57,5	33,3	2,1	1,6	4,4	3,8	1,7	0,5	22,1

319

320 **Tabela 2.** Caracterização química do fosfato natural reativo utilizado nos tratamentos 2 e 3,
321 antes da instalação do experimento, 2022.

	%P ₂ O ₅ (Total)	%P ₂ O ₅ (CNA)	%P ₂ O ₅ (AC)	%P ₂ O ₅ (H ₂ O)	%Ca (Total)
Fosfato Natural Reativo	30,0	2,9	8,7	---	33,0

322

323 Cada bloco constitui-se por uma leira de 12 metros de comprimento, cerca de 3,5 metros
324 de largura na base maior e 1,0 metro na base menor, e 1,1 metros de altura, totalizando o
325 volume de 29,7 m⁻³. O experimento todo aproximou-se de 178 m⁻³ de leira. As leiras foram
326 divididas em 5 unidades experimentais de 2 metros de largura, de modo a sobrar um metro de
327 cada lado, sendo descartado no momento das avaliações.

328

329 **3.2 Processo de compostagem**

330

331 Em local aberto, torta de filtro (550 kg/m de leira em T1, T2, T3 e T4; 700 kg m⁻¹ no
332 T5; e 600 kg m⁻¹ no T6) e cama de frango (400 kg m⁻¹ de leira em T1, T2, T3 e T4; 250 kg
333 m⁻¹ no T5; e 400 kg m⁻¹ no T5) foram distribuídas com o auxílio da pá carregadeira. O gesso
334 (50 kg m⁻¹ de leira em todos os tratamentos, com excessão do T6) foi aplicado com a
335 calcareadeira sobre as leiras já formadas.

336 O enriquecimento com fosfato natural (51,72 kg m⁻¹ de leira) e superfosfato triplo
337 (32,6 kg m⁻¹ de leira), referente aos tratamentos T2, T3, T4 e T5, foi realizado no primeiro dia
338 de compostagem, de modo a fornecer 150 kg de P₂O₅, conforme recomendação de adubação
339 fosfatada para cana-de-açúcar. A distribuição foi feita de forma manual utilizando baldes
340 previamente pesados.

341 Após a finalização da montagem das leiras, fez-se o revolvimento com o implemento
342 batedor acoplado ao trator, de modo a uniformizar todas as matérias-primas utilizadas.

343 No tratamento com o produto microbiológico Biomaphos, a dosagem utilizada foi de
344 10 mL m⁻³ de leira, conforme recomendação da empresa revendedora. Desta forma, o produto
345 foi diluído em 20 litros de água e a aplicação realizada no 1º e 30º dia de compostagem, de
346 modo a garantir a sobrevivência das bactérias (*Bacillus megaterium* 2x10⁹ UFC e *Bacillus*
347 *subtilis* 2x10⁹ UFC por mL) durante todas as fases do processo. A distribuição foi realizada

348 com o auxílio de regadores de plástico e a leira foi revolvida novamente com o batedor para
349 incorporação dos microrganismos.

350

351 **3.3 Avaliações e análises químicas**

352

353 O período de compostagem foi de 115 dias e as pilhas foram avaliadas de forma
354 decendial, controlando temperatura e umidade, mantendo a temperatura inferior a 60°C e
355 umidade próxima a 40%, condições favoráveis para o processo de compostagem. As leiras
356 foram molhadas com caminhão pipa e revolvidas mecanicamente duas vezes durante o
357 processo.

358 As avaliações de temperatura foram feitas com o auxílio de 5 termômetros culinários
359 adaptados em canos de PVC e inseridos 50 cm de profundidade, em cada parcela
360 experimental. O tempo de estabilização adotado foi de 10 minutos. Quanto as avaliações de
361 umidade foram retiradas amostras de cada parcela experimental e enviadas ao laboratório da
362 própria usina, e eram secas em estufas determinando os teores de umidade. As amostras foram
363 retiradas aos 45, 65 e 115 dias, após o início do experimento, sendo enviado para o laboratório
364 Athenas (SP) para análise do composto.

365

366 **3.4 Análises químicas**

367

368 As amostras para determinação das análises químicas foram retiradas nos dias
369 25/10/2022, 16/11/2022 e 06/01/2023, sendo coletada uma amostra de cada unidade
370 experimental e analisadas no laboratório Athenas (SP), a fim de determinar os níveis de
371 nutrientes presentes no composto. As variáveis avaliadas foram: matéria orgânica (M.O.),
372 carbono orgânico (C.O), N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, pH e umidade.

373

374 **3.5 Análise estatística**

375

376 Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos, as
377 médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados da análise estatística
378 foram obtidos utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância pode ser visualizado na Tabela 3. As variáveis P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, pH, M.O. e C.O foram influenciadas pelo tempo. Já as variáveis N, S e Umidade não foram influenciadas pelos tratamentos.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para todas as características avaliadas, para ensaio de uso de bactérias solubilizadoras de fósforo em composto orgânico de resíduos de cana-de-açúcar enriquecido com rocha fosfática e cama de frango conduzido em pátio de compostagem, no ano agrícola 2022/2023.

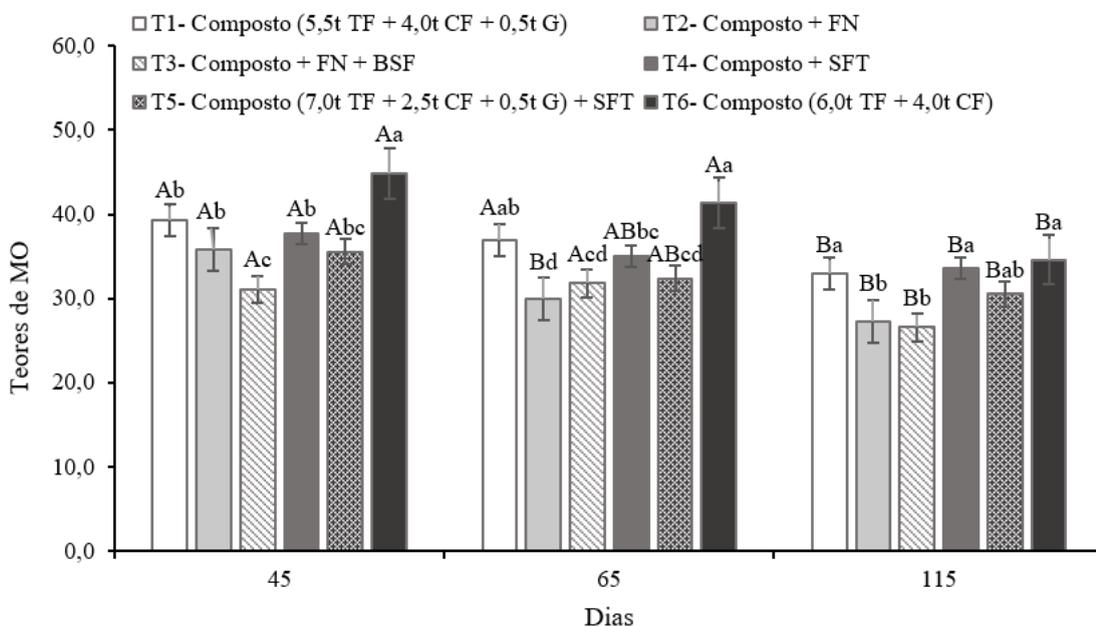
Parâmetros	Desdobramento		
	QM	Pr > Fc	CV (%)
M.O.	12.362511	0.0405*	7.17
C.O.	4.155178	0.0400*	7.15
N	0.040044	0.2078 NS	11.63
P ₂ O ₅	1.299378	0.0007*	11.73
K ₂ O	0.549400	0.0004*	15.68
Ca	4.398244	0.0007*	12.71
Mg	0.016978	0.0135*	7.27
S	0.390778	0.0513 NS	19.18
pH	0.189378	0.0000*	2.11
Umidade	9.632778	0.1034 NS	6.16

NS: não significativo; *Significativo (P <0,05). P₂O₅: fósforo; N: nitrogênio; K₂O: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; pH: potencial hidrogeniônico; M.O.: matéria orgânica; C.O.: carbono orgânico e; Umidade.

Para a variável matéria orgânica (M.O.), a interação foi significativa, ou seja, os teores

415 de M.O. variaram em função das épocas avaliadas. Desta forma, o tratamento T6 foi o que
 416 sobressaiu com as maiores médias nos três tempos avaliados, pode ser explicado por não ter
 417 incremento de fertilizante mineral neste tratamento. Já os tratamentos T3 e T2 apresentaram as
 418 piores médias nos três períodos avaliados, como mostra a Figura 2.

419 Aos 45 e 65 dias de compostagem os níveis de material orgânico no composto eram
 420 mais altos, sendo que na última avaliação, aos 115 dias, estes teores já estavam reduzidos,
 421 indicando o final do processo de compostagem, com conseqüente mineralização das matérias-
 422 primas e início da formação de substâncias mais estáveis. Após o processo de mineralização
 423 do material orgânico fresco, compostos fenólicos solúveis e os tecidos lignificados pouco
 424 degradados passam por processos bio-físico-químicos que resultam na formação das
 425 substâncias húmicas, em que são estabilizados (CUNHA *et al.*, 2015).



426
 427 **Figura 2.** Variação dos teores de matéria orgânica (%) em função do processo de
 428 compostagem ao longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova
 429 Andradina, MS.

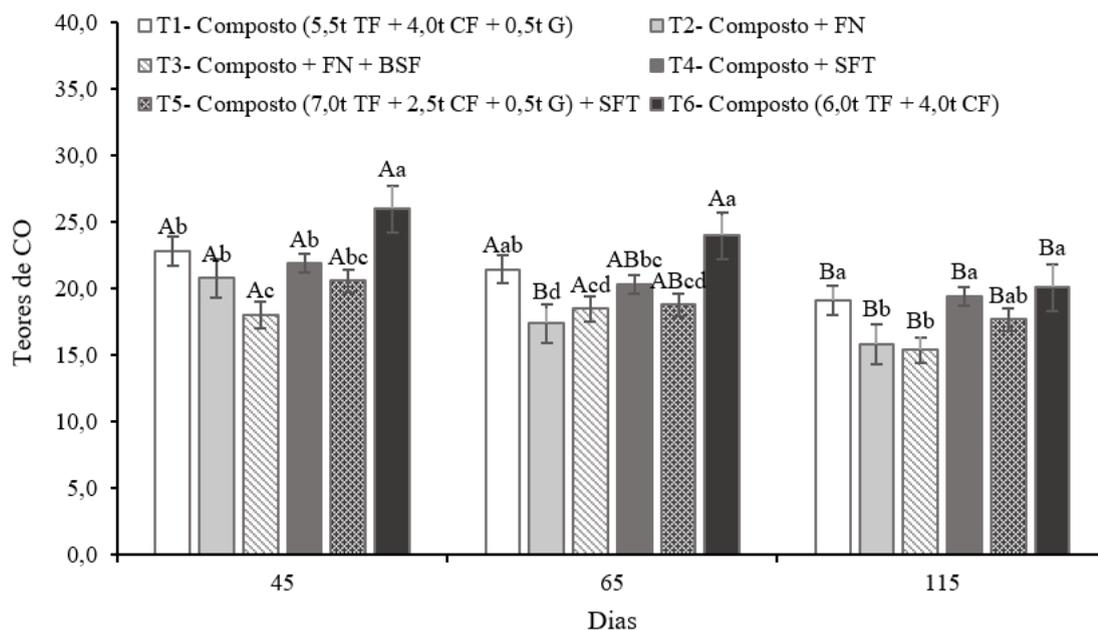
430
 431 Segundo Vizier (1983), em regiões tropicais com estações contrastantes, existe
 432 tendência à formação de compostos húmicos mais estáveis, à polimerização dos ácidos húmicos

433 e à diminuição dos ácidos fúlvicos, devido as condições de forte dissecação ocorridas durante
434 a estação seca. No entanto, Portugal *et al.* (2009), estudando os efeitos de diferentes doses de
435 cama de frango por dois anos consecutivos na cultura de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu,
436 não encontraram alterações significativas nos níveis de matéria orgânica do solo.

437 Esse fenômeno pode ser explicado pela presença de nutrientes adsorvidos a compostos
438 orgânicos nos fertilizantes orgânicos e organominerais. Essa característica confere
439 solubilidade gradual, significando que o conteúdo total não se dissolve completamente em
440 água de uma só vez, liberando os nutrientes de forma progressiva ao longo do tempo,
441 inicialmente com menor disponibilidade (LUZ e KORNDÖRFER, 2011).

442 Silva (2005), em um estudo que avaliou a influência da adubação mineral e da
443 utilização de cama de frango nas propriedades químicas do solo, destacou que a aplicação
444 constante de resíduos orgânicos pode resultar no aumento dos níveis dessas propriedades no
445 solo. Contudo, é importante ressaltar que a decomposição dos resíduos orgânicos é
446 influenciada por fatores como alta temperatura, umidade e atividades microbianas, podendo
447 afetar a disponibilidade desses nutrientes ao longo do tempo.

448 A variável carbono orgânico (C.O.) seguiu o padrão de comportamento da matéria
449 orgânica, apresentando interação significativa. O tratamento T6 sobressaiu com as maiores
450 médias, e T2 e T3 apresentaram as piores médias nos três períodos avaliados (Figura 3).



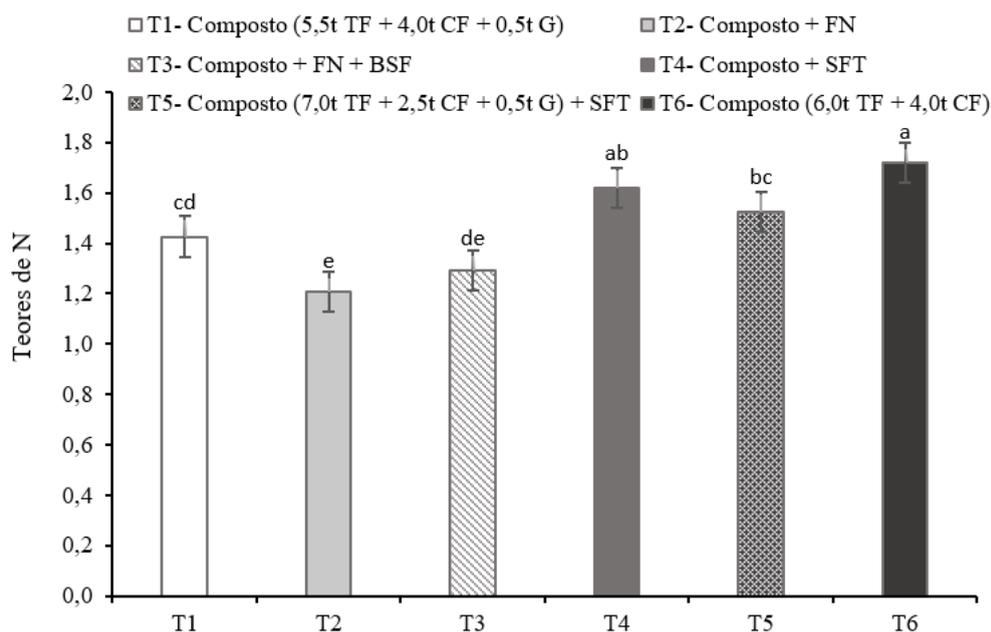
451

452 **Figura 3.** Variação dos teores de carbono orgânico (%) em função do processo de
 453 compostagem ao longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova
 454 Andradina, MS.

455

456 De acordo com Stevenson (1994), grande parte do carbono é liberada para a atmosfera
 457 na forma de CO₂, enquanto apenas uma pequena parcela dos produtos gerados durante a
 458 decomposição transforma-se em substâncias húmicas. A quantidade de carbono adicionado
 459 varia em função do volume e origem do resíduo vegetal incorporado (relação C/N), e as
 460 perdas estão diretamente relacionadas à atividade microbiana e aos processos de lixiviação de
 461 compostos solúveis (GUERRA *et al.*, 2008).

462 Não houve diferenças significativas para a variável nitrogênio (N), ou seja, o tempo
 463 não influenciou no desempenho dos tratamentos. Os tratamentos T4 e T6 apresentaram as
 464 maiores médias, independente do tempo avaliado, não diferindo estatisticamente entre si. Os
 465 tratamentos T2 e T3, com fosfato natural, foram os de menores médias para as três épocas
 466 avaliadas, como indicado na Figura 4.



467

468 **Figura 4.** Variação dos teores de nitrogênio (%) em função do processo de compostagem, em
 469 condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

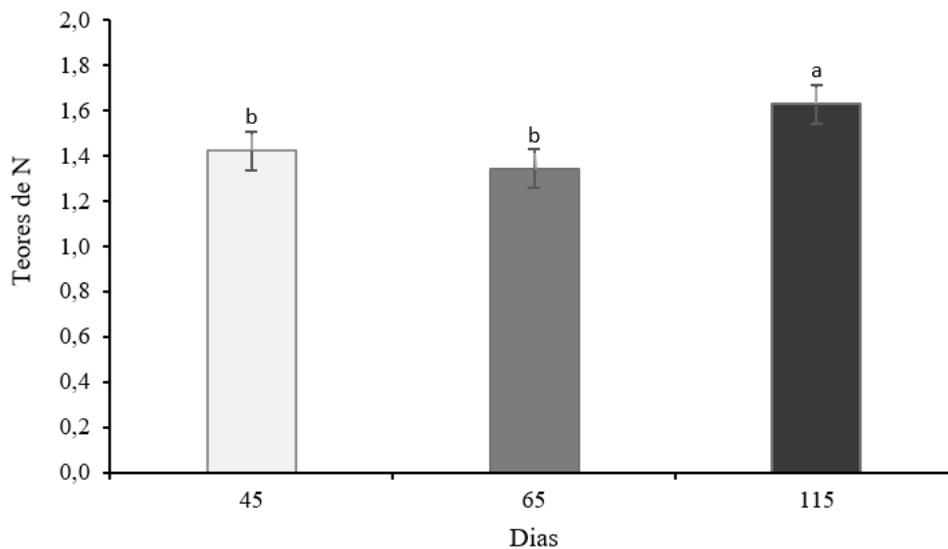
470

471 De acordo com Lara Cabezas e Souza (2008), a contribuição do gesso e do sulfato de
 472 amônio na redução das perdas de nitrogênio (N) por volatilização seria explicada porque a
 473 amônia liberada durante a hidrólise da ureia fica retida na solução do solo na forma de íon
 474 amônio (NH_4^+). Esse íon reagiria com o ânion sulfato presente na solução do solo, formando o
 475 sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), evitando o aumento na concentração de amônia livre e,
 476 consequentemente, reduzindo as perdas gasosas desse nutriente. No entanto, os resultados do
 477 presente trabalho contrariam essa hipótese.

478 A Figura 4 indica que a presença do gesso no processo de compostagem não reduz a
 479 perda de nitrogênio por volatilização, uma vez que o tratamento T6 apresentou as maiores
 480 médias de teor de N, mesmo com a ausência de gesso na leira. Resultados semelhantes foram
 481 obtidos por Minato *et al.* (2015) que, estudando a volatilização de N-NH_3 e o pH do solo
 482 sobre diferentes doses de calcário e gesso, concluíram que o gesso agrícola aplicado sobre o
 483 solo não alterou o pH e nem contribuiu na diminuição de perdas por volatilização de N na

484 forma de NH_3 .

485 Os períodos de 45 e 65 dias de compostagem foram os que apresentaram as piores
486 médias com relação aos teores de nitrogênio. Já aos 115 dias as médias foram melhores, como
487 demonstrado na Figura 5.



488

489 **Figura 5.** Variação dos teores de nitrogênio (%) em função do processo de compostagem ao
490 longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

491

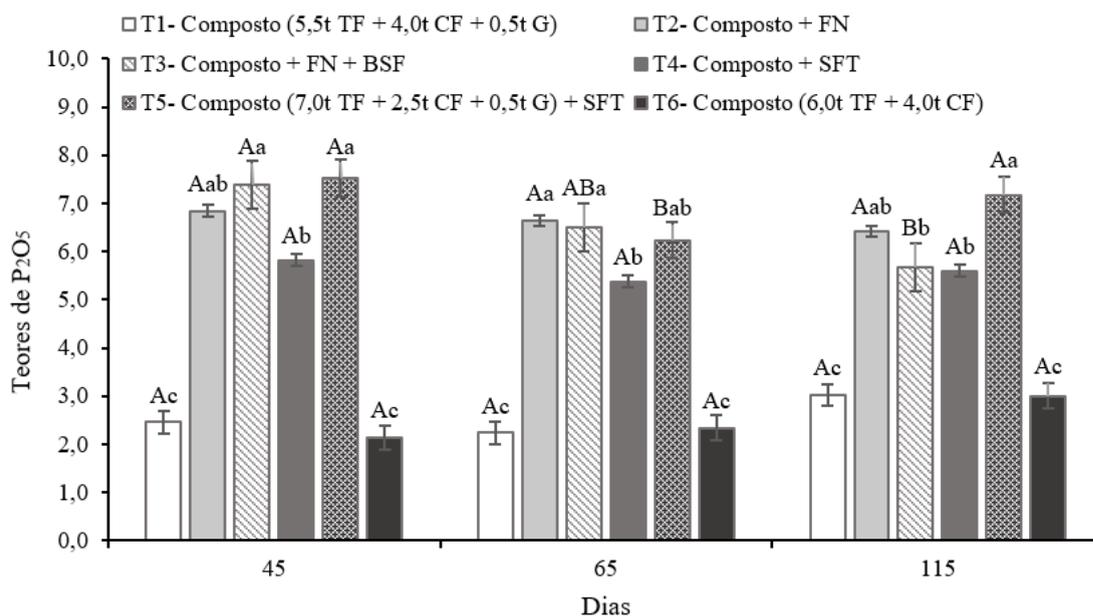
492 Segundo Guerra *et al.* (2008), existe a possibilidade de degradação da matéria orgânica
493 relativamente estabilizada. O nitrogênio (N) presente em cadeias alifáticas de moléculas
494 orgânicas pouco condensadas, como as que ocorrem em ácidos fúlvicos e húmicos, pode ser
495 utilizado no metabolismo microbiano, caracterizando a mineralização secundária da matéria
496 orgânica do solo.

497 Canabarro *et al.* (2003) destacaram que o nitrogênio orgânico presente em resíduos
498 orgânicos, como a cama de frango, possui taxa de mineralização relativamente baixa. Além
499 disso, os microrganismos envolvidos na decomposição dos compostos carbonáceos desses
500 materiais têm a capacidade de imobilizar uma parte do nitrogênio presente nos resíduos, o
501 que, por sua vez, pode reduzir a disponibilidade desse nutriente para as plantas.

502 Lourenço *et al.* (2010) não observaram resposta significativa do teor de N nas folhas de
503 cana-de-açúcar, decorrente da adubação orgânica, podendo estar relacionado ao fato que parte
504 desse material ainda estaria imobilizado. Isso demonstra que os benefícios da adubação
505 orgânica são acumulativos ao longo do tempo, e devem ser estudados por períodos mais
506 longos.

507 Em estudo conduzido por Crusciol *et al.* (2020), avaliando o desempenho agrônômico e
508 econômico da cana-de-açúcar (cana-planta e primeira soca) e a influência do efeito residual de
509 P e K em perfis superficiais e subsuperficiais sob adubação mineral e organomineral,
510 obtiveram concentrações foliares de N menores nos tratamentos com fonte organomineral,
511 embora utilizando polímero inibidor da enzima urease.

512 Para a variável fósforo (P_2O_5), os tratamentos variaram em função do tempo. O tempo
513 não modificou os teores de fósforo nos tratamentos T1, T2, T4 e T6. Os tratamentos T2 e T5
514 foram os que apresentaram as maiores médias nos três períodos avaliados, não diferindo
515 estatisticamente entre si. O tratamento T3, com aplicação do produto Biomaphos apresentou
516 as melhores médias aos 45 e 65 dias, no entanto aos 115 dias os teores de fósforo diminuíram.
517 Os tratamentos T1 e T6, sem adição de fósforo mineral, foram os que apresentaram as piores
518 médias, em todos os períodos avaliados, não diferindo estatisticamente entre si (Figura 6).



519

520 **Figura 6.** Variação dos teores de fósforo (%) em função do processo de compostagem ao
 521 longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

522

523 O desempenho do tratamento com aplicação de Biomaphos (T3) pode estar
 524 relacionado às bactérias selecionadas (*Bacillus megaterium* 2×10^9 UFC e *Bacillus subtilis*
 525 2×10^9 UFC por mL). Em estudo avaliando 2 grupos de bactérias solubilizadoras de fósforo
 526 inoculadas em fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em cana-de-açúcar, Estrada-
 527 Bonilla *et al.* (2020) observaram grande variação na capacidade destes microrganismos em
 528 solubilizar fosfato. Os resultados mostraram que *Azotobacter* sp AZTBR19 e *Pseudomonas*
 529 sp. PSBR10 exibiram os melhores atributos, enquanto *Bacillus* sp. BACBR04 e *Bacillus* sp.
 530 BACBR06 obtiveram os menores valores de atividade de solubilização.

531 Pode-se observar resultados superiores dos tratamentos T2 e T3, com adição de rocha
 532 fosfática, em relação ao tratamento com fosfato prontamente solúvel (T4) nos dois primeiros
 533 tempos avaliados. O T5, com doses mais elevadas de torta de filtro e fonte prontamente
 534 solúvel de P (SFT), apresentou os maiores índices em todos os tempos avaliados, não
 535 diferindo estatisticamente dos demais. Santos *et al.* (2009) relataram que a incorporação de

536 resíduos orgânicos resulta em aumento na disponibilidade de fósforo no solo, devido à ação
537 de ácidos orgânicos, húmicos e álcoois. Esses compostos desempenham papel crucial ao
538 fornecer substâncias, como fenóis, que contribuem para o aumento da disponibilidade desse
539 nutriente ao solo.

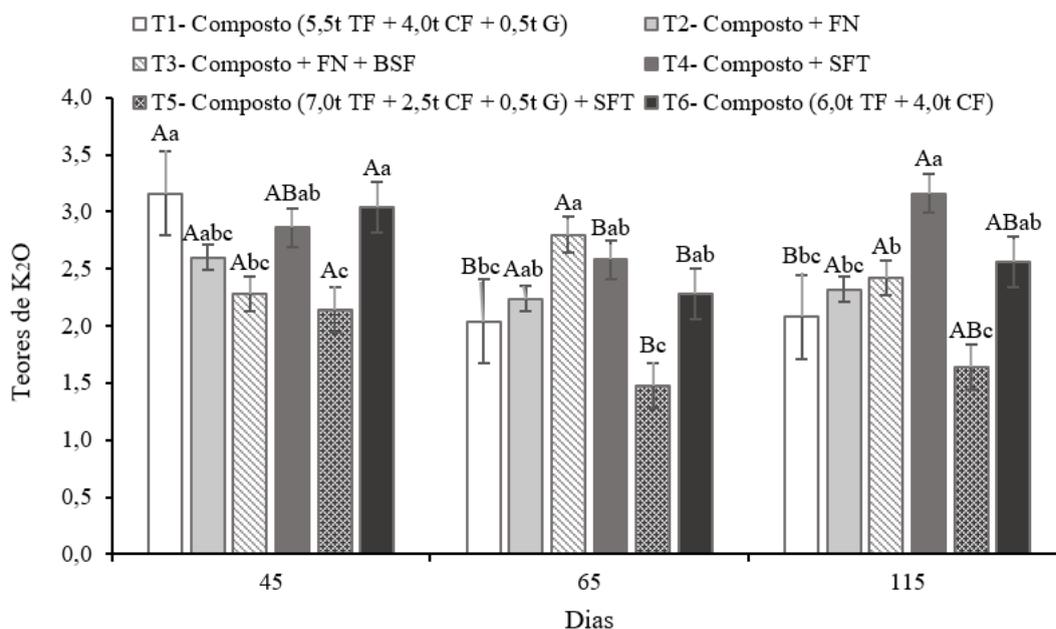
540 Lopes *et al.* (2021), estudando a hipótese de que e o composto de torta de filtro e
541 cinzas enriquecido com rocha fosfática e inoculação de bactérias solubilizadoras pode
542 substituir fertilizantes minerais fosfatados e melhorar a produção de cana-de-açúcar em
543 comparação à adubação mineral convencional, obtiveram resultados de produtividade 17,3 t
544 ha⁻¹ superiores nos tratamentos inoculados, em condições de campo. Trabalhos envolvendo a
545 inoculação de bactérias solubilizadoras de fósforo em outras culturas também mostram
546 resultados satisfatórios (MEGALLON-SERVIN *et al.* 2020; KORIR *et al.* 2017).

547 Em um estudo avaliando a biodisponibilidade de fósforo (P) e potássio (K)
548 provenientes de fertilizantes minerais e orgânicos, Teixeira (2013) observou que, com a
549 permanência do sistema radicular no solo, é esperada maior absorção de fósforo pela soqueira
550 da cana-de-açúcar, especialmente quando se utiliza fertilizante organomineral. Esse tipo de
551 fertilizante apresenta solubilidade mais lenta e efeito residual mais pronunciado, o que
552 potencialmente permite o fornecimento prolongado de fósforo para as plantas ao longo do
553 tempo.

554 Outro estudo realizado com fertilizante à base de fosfato natural e torta de filtro
555 mostrou que a adição da torta ao solo dificultou a ação de sorção de fósforo nos minerais de
556 alumínio e ferro, impedindo a formação de fases termodinamicamente mais estáveis e
557 aumentando a disponibilidade do nutriente à planta (BORGES *et al.*, 2019).

558 Com relação ao potássio (K₂O), houve diferenças significativas, ou seja, os
559 tratamentos variaram em função do tempo. O tempo não modificou os teores de potássio nos
560 tratamentos T2, T3 e T4. Os tratamentos T6 e T4 foram os que obtiveram as maiores médias

561 nos três períodos avaliados, não diferindo estatisticamente entre si. O tratamento T5 foi o de
 562 menor média para as três épocas avaliadas, podendo ser explicado pela menor dosagem de
 563 cama de frango neste tratamento (2,5t). Os dados estão representados na Figura 7.



564
 565 **Figura 7.** Variação dos teores de potássio (%) em função do processo de compostagem ao
 566 longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

567
 568 A torta de filtro é um material pobre em potássio, e a intenção de misturá-la com o
 569 resíduo de aves é, principalmente, suprir a demanda de K no plantio da cana-de-açúcar, com
 570 posterior complemento na adubação de cobertura. A cama de frango é uma mistura de
 571 substrato, fezes, penas e restos de ração utilizados na cama dos galpões de aves, e geralmente
 572 é reciclada como fertilizante orgânico ou corretivo do solo para aplicação direta em terras
 573 agrícolas (CHEN *et al.*, 2013; ENTICKNAP *et al.*, 2006). Uma alternativa que têm
 574 apresentado resultados satisfatórios é a compostagem desse material juntamente com os
 575 subprodutos da cana-de-açúcar e fertilizantes minerais, buscando melhorar suas propriedades
 576 químicas e físicas (CHEN e JIANG, 2014).

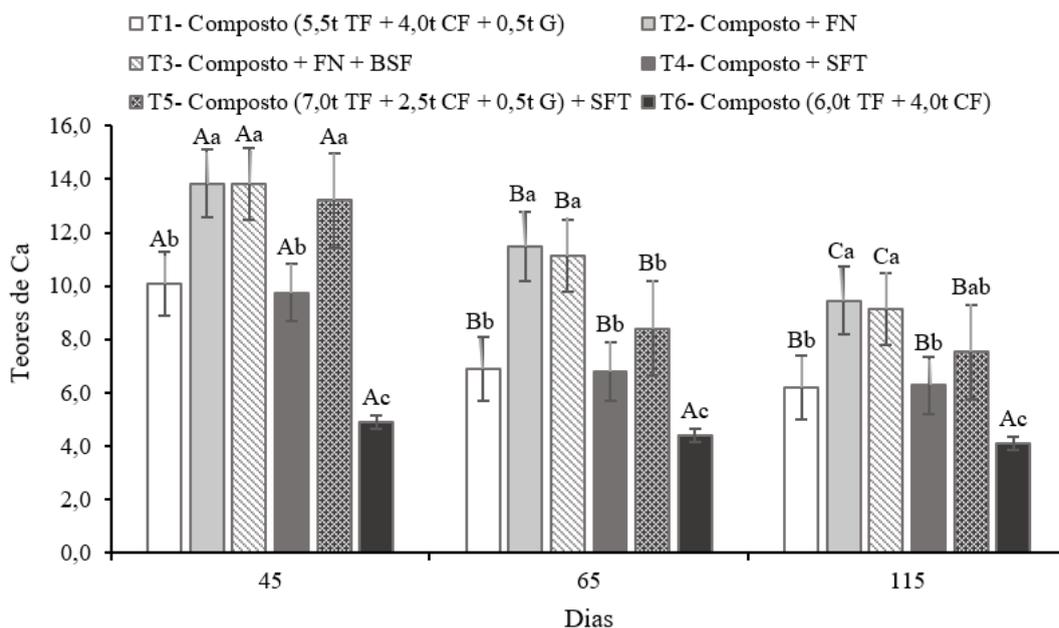
577 Estrada-Bonilla *et al.* (2020), estudando o uso de fertilizantes fosfatados de baixa

578 solubilidade coinoculados com bactérias solubilizadoras de fosfato em cana-de-açúcar,
579 obtiveram aumento nos teores de fósforo, potássio e nitrogênio no tecido vegetal, decorrente
580 da inoculação bacteriana. Estes dados não corroboram com o presente estudo, em que não foi
581 observado mineralização do potássio orgânico no tratamento inoculado (T3). Ramos *et al.*
582 (2016) não observaram diferença significativa no fornecimento de potássio ao solo através de
583 fontes orgânicas e minerais.

584 No que diz respeito ao potássio (K), Rosolem *et al.* (2018) conduziram um estudo para
585 avaliar a eficiência de diferentes fontes de K, incluindo KCl convencional e KCl revestido
586 com ácido húmico. Suas descobertas indicaram que o KCl revestido pode exercer controle
587 mais eficaz sobre a liberação de potássio para a solução do solo, especialmente em solos de
588 textura leve, ajudando a reduzir as perdas por lixiviação.

589 Houve diferenças significativas para a variável cálcio (Ca), em que o tempo não
590 modificou os teores do nutriente apenas no tratamento T6. Os tratamentos T2 e T3, com
591 aplicação de fosfato natural, foram os que obtiveram as maiores médias nos três períodos
592 avaliados, não diferindo estatisticamente entre si. O tratamento T6 foi o de menor média para
593 as três épocas avaliadas, como mostra a Figura 8.

594



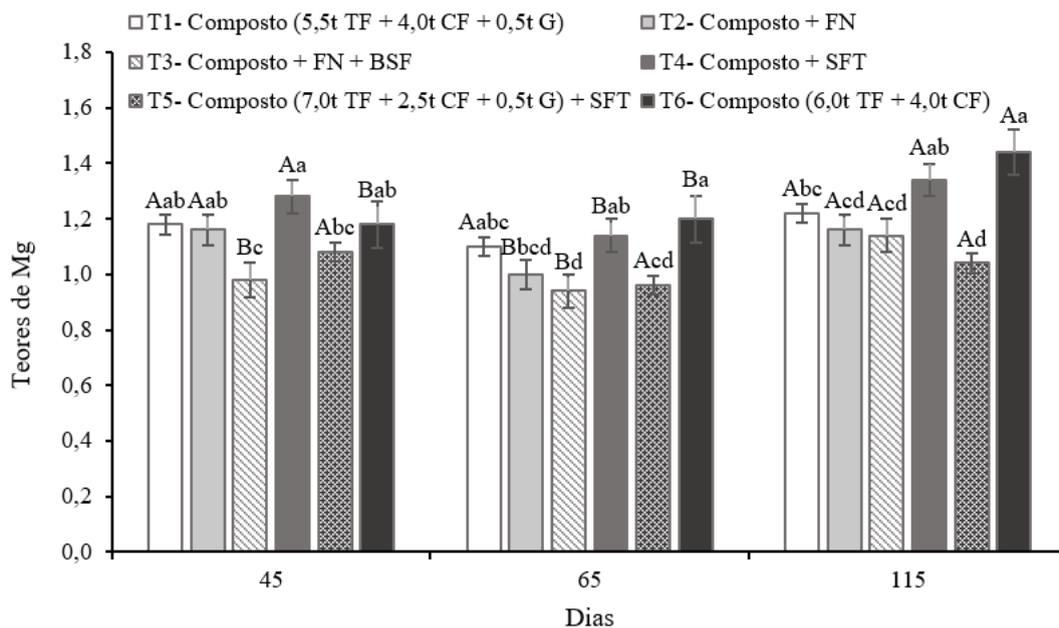
595

596 **Figura 8.** Variação dos teores de cálcio (%) em função do processo de compostagem ao longo
 597 de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

598

599 As maiores médias de cálcio nos tratamentos T2 e T3 podem ser explicados pela
 600 quantidade elevada de cálcio presente nas matérias-primas, sendo o fosfato natural (33% de
 601 Ca), e no T5 pela dosagem mais alta de torta de filtro (38% de Ca). Ramos *et al.* (2016) não
 602 observaram diferença significativa entre os tratamentos com adubação mineral, doses de
 603 cama-de-frango e adubação organomineral quanto aos teores de Ca e Mg no solo. No entanto,
 604 os níveis médios de cálcio disponível foram superiores quando aplicados cama de frango e
 605 fertilizante organomineral, possivelmente pela presença de fonte de Ca nesses tratamentos.

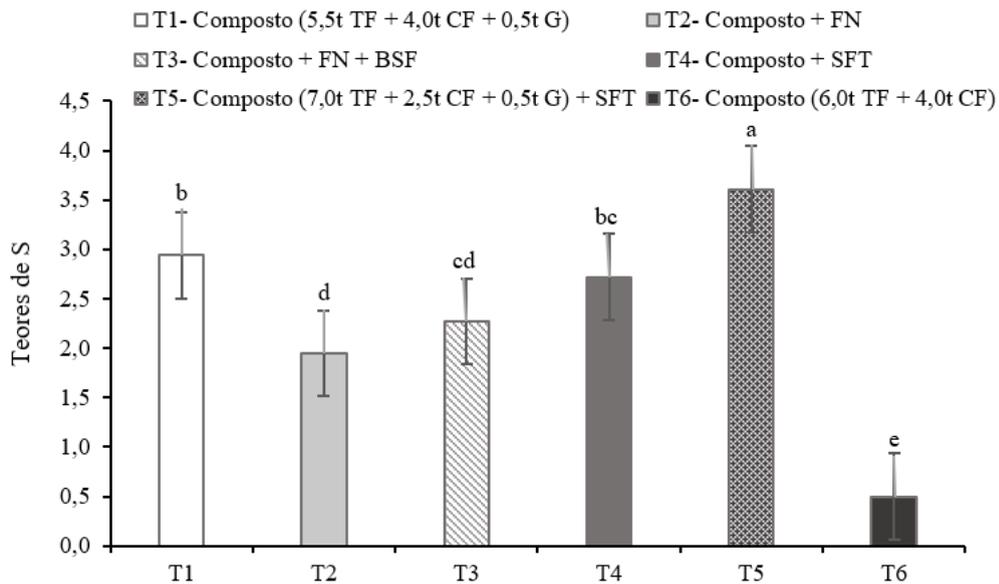
606 Para a variável magnésio (Mg), a interação também foi significativa. O tempo não
 607 modificou os teores de Mg apenas nos tratamentos T1 e T5. Os tratamentos T4 e T6 foram os
 608 que obtiveram as maiores médias nos três períodos avaliados, não diferindo estatisticamente
 609 entre si. Os tratamentos T3 e T5 foram os de menores médias para as três épocas avaliadas,
 610 como mostra a Figura 9.



611
 612 **Figura 9.** Variação dos teores de magnésio (%) em função do processo de compostagem ao
 613 longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

614
 615 Não foram observadas diferenças significativas quanto a variável enxofre (S), indicando
 616 que o tempo não influenciou no desempenho dos tratamentos. O tratamento T5 foi o que
 617 obteve as maiores médias nos três períodos avaliados, não diferindo estatisticamente entre si.
 618 O tratamento T6, sem adição de gesso, foi o de menor média para as três épocas avaliadas,
 619 como mostra a Figura 10.

620



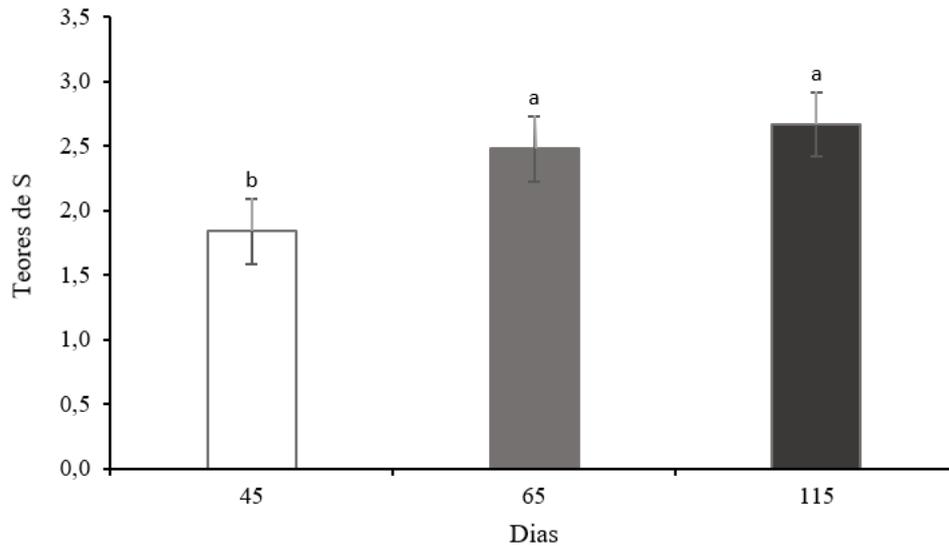
621

622 **Figura 10.** Variação dos teores de enxofre (%) em função do processo de compostagem, em
 623 condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

624

625 Ramos *et al.* (2016) também não observaram diferença significativa em relação ao S em
 626 folhas de cana-de-açúcar adubadas com adubo mineral, cama-de-frango e fertilizando
 627 organomineral. Segundo Alvarez *et al.* (2007), o enxofre tem alto poder de lixiviação e
 628 adsorção em partículas minerais e orgânicas.

629 O período de 45 dias de compostagem foi o que apresentou as médias mais baixas com
 630 relação aos teores de enxofre. Já aos 65 e 115 dias as médias foram maiores, não diferindo
 631 estatisticamente entre si, como demonstrado na Figura 11.



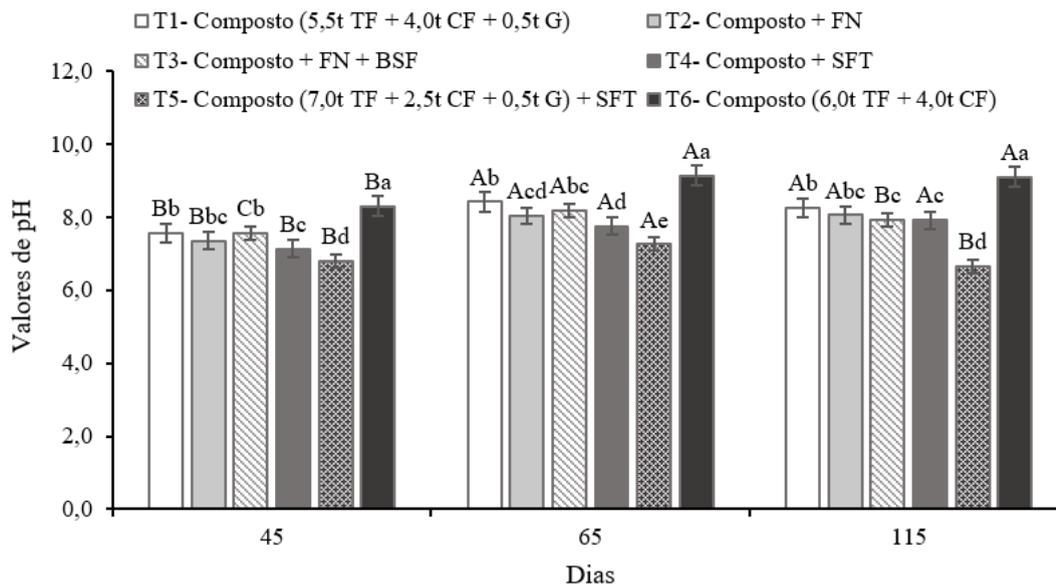
632

633 **Figura 11.** Variação dos teores de enxofre (%) em função do processo de compostagem ao
 634 longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

635

636 Entre os aspectos químicos do solo influenciados pela matéria orgânica, destacam-se a
 637 melhoria da disponibilidade de nutrientes para as culturas, o aumento da capacidade de troca
 638 de cátions (CTC) e a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes. Esse papel é
 639 especialmente relevante em solos tropicais, que são altamente intemperizados e ácidos
 640 (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Consequentemente, a matéria orgânica é reconhecida
 641 como fonte primordial de nutrientes para as plantas, fornecendo elementos essenciais como
 642 nitrogênio, fósforo e enxofre, uma vez que esses nutrientes são os principais constituintes.

643 Para a variável pH, a interação foi significativa. O tempo não modificou os teores de pH
 644 em todos os tratamentos avaliados. O tratamento T6, sem complementação com adubo
 645 mineral, foi o que apresentou as maiores médias nos três períodos avaliados. O tratamento T5
 646 foi o de menor média para as três épocas avaliadas, como mostra a Figura 12.



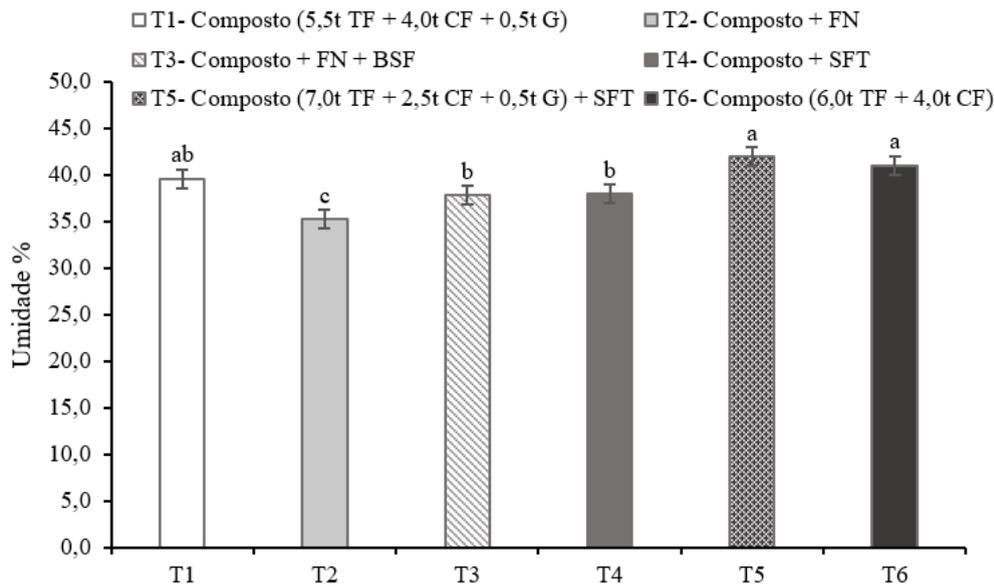
647

648 **Figura 12.** Variação dos valores de pH em função do processo de compostagem ao longo de
 649 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

650

651 Pode-se observar pequena redução do pH no local em que foram aplicados fertilizantes
 652 minerais, embora todos os tratamentos tenham apresentados valores acima de 6.0. Estes dados
 653 corroboram com Almeida Júnior (2010) que, comparando os efeitos da adubação orgânica e
 654 mineral nos atributos do solo e das plantas de cana-de-açúcar, constatou que a adubação
 655 mineral reduziu significativamente o pH do solo. Dados semelhantes foram obtidos por
 656 Ramos *et al.* (2016), que observaram pH perto de 5.0 nos tratamentos com cama-de-frango e
 657 fertilizante organomineral, e valores abaixo de 5 em decorrência da aplicação de nitrato de
 658 amônio.

659 Não houve diferenças significativas para a variável umidade, ou seja, o tempo não
 660 influenciou no desempenho dos tratamentos. Os tratamentos T1, T5 e T6 foram os que
 661 obtiveram as maiores médias nos três períodos avaliados, não diferindo estatisticamente entre
 662 si. O tratamento T2 foi o de menor média para as três épocas avaliadas, como mostra a Figura
 663 13.



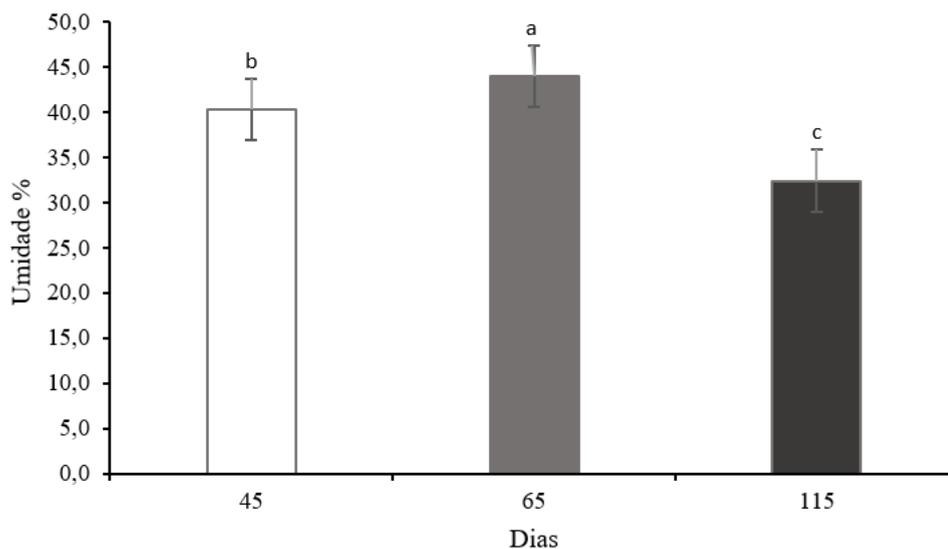
664

665 **Figura 13.** Variação dos valores de umidade (%) em função do processo de compostagem, em
 666 condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

667

668 Além dos efeitos da matriz orgânica na redução da adsorção de fósforo (P), a
 669 incorporação de matéria orgânica no solo desempenha papel importante na retenção de
 670 umidade nas proximidades da área de aplicação do fertilizante por período prolongado. Isso,
 671 por sua vez, facilita a difusão do fósforo no solo e resulta em aumento na quantidade de P que
 672 fica disponível para as raízes das plantas (HETTIARACHCHI *et al.*, 2006; MONTALVO *et*
 673 *al.*, 2014).

674 O período de 115 dias de compostagem foi o que apresentou as menores médias com
 675 relação aos teores de umidade do composto. Já aos 45 e 65 dias as médias foram maiores, não
 676 diferindo estatisticamente entre si, como demonstrado na Figura 14. Este resultado mostra que
 677 conforme a matéria orgânica vai sendo mineralizada e o processo de compostagem finalizado,
 678 a umidade tende a cair e estabilizar.



679
 680 **Figura 14.** Variação dos valores de umidade (%) em função do processo de compostagem ao
 681 longo de 115 dias, em condições a céu aberto no município de Nova Andradina, MS.

682
 683 Devido as condições financeiras, no presente trabalho não foram realizadas análises
 684 químicas de micronutrientes presentes do composto. Entretanto, sabe-se que a matéria
 685 orgânica forma complexos com estes elementos, como zinco e cobre, podendo aumentar a
 686 disponibilidade às plantas, ao mesmo ponto que reduz a disponibilidade de elementos tóxicos
 687 como manganês e alumínio, também por meio de complexação (BAYER e MIELNICZUK,
 688 2008).

689 Desta forma, diante dos resultados expostos, observa-se que o período de 110 dias foi o
 690 que apresentou os maiores índices de nutrientes disponíveis. A adição de fontes insolúveis de
 691 fósforo no processo de compostagem permitiu a disponibilização de fósforo semelhante à
 692 adição de SFT, prontamente disponível. Este resultado pode estar associado a matriz orgânica
 693 que dificulta a fixação do nutriente, tornando-o mais disponível.

694
 695
 696
 697

698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722

5. CONCLUSÃO

- 1) A aplicação do solubilizador não influenciou no teor de fósforo disponível.
- 2) Não foi observada diferença no teor de fósforo utilizando o fosfato natural e a fonte solúvel de superfosfato triplo.
- 3) O gesso agrícola não reduziu a volatilização do nitrogênio no processo de compostagem, não sendo indicado para esta função.
- 4) Não há diferença entre as proporções das matérias-primas, sendo o tratamento com teores mais elevados de torta de filtro com relação à cama-de-frango uma alternativa sustentável, uma vez que reutiliza resíduos industriais do próprio processo.

723

724

725 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

726

727 **Abbasi, M. K.; Musa, N.; Manzoor, M. 2015.** Mineralização de fertilizantes fosfatados
728 solúveis e fosfato natural insolúvel em resposta a bactérias solubilizadoras de fosfato e esterco
729 de aves e seu efeito no crescimento e na eficiência de utilização de P da pimenta (*Capsicum*
730 *annuum* L.), *Biogeosciences*, 12, 4607–4619.

731

732 **Ali, A.; Sharif, M.; Wahid, F.; Zhang, Z.; Shah, S. N. M.; Rafiullah, et al. 2014.** Efeito da
733 compostagem de fosfato natural com materiais orgânicos na produtividade e absorção de
734 fósforo em berseem e milho. *Sou J Plant Sci.* 05 :975–984.

735

736 **Almeida Júnior, A. B. 2010.** Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na
737 planta. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 58 p.

738

739 **Alvarez, V. H.; Roscoe, R.; Kurihara, C. H.; Pereira, N. F. 2007.** Enxofre. In: Novais RF,
740 Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (eds.). *Fertilidade do solo.* 1
741 ed. Viçosa: Soc. Bras. Ciênc. do Solo. cap. 6:595-644.

742

743 **Bayer, C.; Mielniczuk, J. 2008.** Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. A.;
744 Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo:*
745 *ecossistemas tropicais e subtropicais.* 2. ed. Porto Alegre: Metropole, p. 7-18.

746

747 **Bedin, I.; Furtini Neto, A. E.; Bedin, I.; Furtini Neto, A. E.; Resende, A. V.; Faquin, V.;**
748 **Tokura, A. M.; Santos, J. Z. L. 2003.** Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos
749 com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 27, p.
750 639-646.

751

752 **Bhat, N. A.; Riar, A.; Ramesh, A.; Iqbal, S.; Sharma, M. P.; Sharma, S. K. et**
753 **al. 2017.** Atividade biológica do solo contribuindo para a disponibilidade de fósforo em
754 vertissolos sob manejo agrícola orgânico e convencional de longo prazo. *Frente. Ciência das*
755 *Plantas.* 8 : 1523.

756

757 **Blair, M. J.; Gagnon, B.; Klain, A.; Kulisic, B. 2021.** Contribution of Biomass Supply
758 Chains for Bioenergy to Sustainable Development Goals. *Land*, 10, 181.

759

760 **Borges, B. M. M.; Abdala, D. B.; Souza, M. F. de; Viglio, L. M.; Coelho, M. J. A.;**
761 **Pavinato, P. S.; Franco, H. C. J. 2019.** Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane
762 byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. *Geoderma* 339,
763 20–30.

764

765 **Canabarro, D. V. N.; Giacomini, S. J.; Aita, C. et al. 2003.** Acúmulo de nitrogênio e
766 produtividade de milho com o uso de dejetos de suínos manejados na forma líquida e em
767 cama sobreposta. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Ribeirão
768 Preto.

769
770 **Camargo, L. A.; Júnior, J. M.; Pereira, G. T. 2010.** Spatial variability of physical attributes
771 of an Alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34,
772 p.617-630.
773
774 **Chen, Y. P.; Rekha, P. O.; Arun, A. B.; Shen, F. T.; Lai, W. A.; Young, C. C. 2006.**
775 Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soils and their tricalcium solubilizing abilities,
776 *Appl. Soil Ecol.*, 34, 33–41.
777
778 **Chen, Z.; Diao, J.; Dharmasena, M.; Ionita, C.; Jiang, X.; Rieck, J. 2013.** Thermal
779 inactivation of desiccation-adapted *Salmonella* spp. in aged chicken litter. *Appl. Environ.*
780 *Microbiol.* 79(22):7013-7020.
781
782 **Chen, Z.; Jiang, X. 2014.** Microbiological safety of chicken litter or chicken litter-based
783 organic fertilizers: *rev. Agric.*, 4(1):1-29.
784
785 **Cherubin, M. R. et al. 2016.** Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane
786 expansion in weathered Brazilian soils. *Geoderma* 265, 27–38.
787
788 **Crusciol, C. A. C.; Campos, M. de; Martello, J. M.; Alves, C. J.; Nascimento, C. A. C.;**
789 **Pereira, J. C. dos R.; Cantarella, H. 2020.** Organomineral Fertilizer as Source of P and K
790 for Sugarcane. *Scientific Reports* 10, 5398.
791
792 **Cunha, T. J.; Mendes, A. M. S.; GIONGO, V. 2015.** Matéria orgânica do solo. In: Nunes,
793 R. R.; Rezende, M. O. O. *Recurso solo: propriedades e usos.* São Carlos: Editora Cubo.
794 Disponível em:
795 <http://www.iqsc.usp.br/iqsc/sites/recursosolo/LIVRO/livroRECURSOSOLO.pdf>. Acesso em:
796 28 set. 2023.
797
798 **Cursi, D. E.; Hoffmann, H. P.; Barbosa, G. V. S.; Bressiani, J. A.; Gazaffi, R.; Chapola,**
799 **R. G.; Junior, A. R. F.; Balsalobre, T. W. A.; Diniz, C. A.; Santos, J. M.; Carneiro, M. S.**
800 **2021.** History and Current Status of Sugarcane Breeding, Germplasm Development and
801 Molecular Genetics in Brazil. *Sugar Tech* 24(1):112–133.
802
803 **Elhaisoufi, W.; Ghoulam, C.; Barakat, A.; Zeroual, Y.; Bargaz, A. 2021.** Phosphate
804 bacterial solubilization: A key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and
805 crop productivity. *J Adv Res.* Aug 23;38:13-28.
806
807 **Enticknap, J. J.; Nonogaki, H.; Place, A. R.; Hill, R. T. 2006.** Microbial diversity
808 associated with odor modification for production of fertilizers from chicken litter. *Appl.*
809 *Environ. Microbiol.* 72:4105-4114.
810
811 **Estrada-Bonilla, G. A.; Durrer, A.; Cardoso, E. J. B. N. 2020.** Use of compost and
812 phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability,
813 and the soil bacterial community. *Applied Soil Ecology*, v.157.
814
815 **Ferraz Junior, A. D. N.; Etchebehere, C.; Perecin, D.; Teixeira, S.; Woods, J. 2022.**
816 Advancing anaerobic digestion of sugarcane vinasse: Current development, struggles and
817 future trends on production and end-uses of biogas in Brazil. *Renewable and Sustainable*
818 *Energy Reviews.* V. 157, 112045.

819
820 **Ferreira, D. F. 2011.** Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*
821 51 (UFLA), 35: 1039-1042.
822
823 **Gerretsen, F. C. 1948.** A influência dos microrganismos na ingestão de fosfato pela
824 planta. *Plantar Solo* 1 51–81.
825
826 **Goldstein, A. H. 1995.** Recent progress in understanding the molecular genetics and
827 biochemistry of calcium phosphate solubilization by Gram negative bacteria, *Biol. Agric.*
828 *Hortic.*, 12, 185–193.
829
830 **Guerra, J. G. M.; Santos, G. A.; Silva, L. S.; Camargo, F. A. O. 2008.** Macromoléculas e
831 substâncias húmicas. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O.
832 Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto
833 Alegre: Metrópole. P. 19-26.
834
835 **Gupta, M.; Bisht, S.; Singh, B.; Gulati, A.; Tewari, R. 2011.** Enhanced biomass and steviol
836 glycosides in *Stevia rebaudiana* treated with phosphate-solubilizing bacteria and rock
837 phosphate, *Plant Growth Regul.*, 65, 449–457.
838
839 **Hettiarachchi, G. M.; Lombi, E.; Mclaughlin, M. J.; Chittleborough, D.; Self, P. 2006.**
840 Density changes around phosphorus granules and fluid bands in a calcareous soil. *Soil Sci.*
841 *Soc. Am. J.* 70, 960.
842
843 **Khan, Md Saghir; Zaidi, A.; Ahmad, E. 2014.** Mechanism of phosphate solubilization and
844 physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms, in: Khan, Mohammad
845 Saghir, Zaidi, A., Musarrat, J. (Eds.), *Phosphate solubilizing microorganisms: Principles and*
846 *application of Microphos technology.* Springer International Publishing, Cham, p. 31–62.
847
848 **Kim, K. Y.; Jordan, D.; Krishnan, H. B. 1997.** *Rahnella aqualitis*, a bacterium isolated from
849 soybean rhizosphere, can solubilize hydroxyapatite, *FEMS Microbiol. Lett.*, 153, 273–277.
850
851 **Kirubakaran, R.; Venkataramana, S.; Jaabir, M. S. M. 2013.** Effect of ethrel and
852 glyphosate on the ripening of sugar cane. *International Journal of Chemical Technology*
853 *Research*, v.5, p.1927-1938.
854
855 **Kishore, N.; Pindi P. K.; Ram Reddy, S. 2015.** “Microrganismos solubilizadores de fosfato:
856 uma revisão crítica”, em *Plant Biology Biotechnology*, eds Bahadur B., Venkat Rajam M.,
857 Sahijram L., Krishnamurthy K. (New Delhi: Springer;).
858
859 **Korir, H.; Mungai, N. W.; Thuita, M.; Hamba, Y.; Masso, C. 2017.** Efeito de co-
860 inoculação de rizóbios e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas no crescimento
861 de feijoeiro em solo com baixo teor de fósforo. *Frente. Planta Sci.* 8, 141.
862
863 **Kpoblekou, K.; Tabatabai, M.A. 2003.** Effect of low-molecular weight organic acids on
864 phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils,
865 *Agri. Ecosyst. Environ.*, 100, 275–284.
866
867 **Krishnaraj, P. U.; Dahale, S. 2014.** Solubilização de fosfato mineral: conceitos e
868 perspectivas na agricultura sustentável. *Processo. Ind. Nacional. Ciência. Acad.* 80 389–405.

869
870 **Lara Cabezas, W.A.R.; Souza, M.A. 2008.** Volatilização de amônia, lixiviação de
871 nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato
872 de amônio ou com gesso agrícola. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2331-2342.
873
874 **Lopes, C. M.; Silva, A. M. M.; Estrada-Bonilla, A. A.; Ferraz-Almeida, R.; Vieira, J. L.**
875 **V.; Otto, R.; Vitti, G. C.; Cardoso, E. J. B. N. 2021.** Improving the fertilizer value of
876 sugarcane wastes through phosphate rock amendment and phosphate-solubilizing bacteria
877 inoculation. *Journal of Cleaner Production* 298.
878
879 **Lourenço, K. S.; Corrêa, J. C.; Ernan, P. R.; Lopes, L. S.; Nicoloso, R. S. 2010.** Absorção
880 de NPK pelo feijoeiro adubado com camas de aves e fertilizantes minerais. In: congresso
881 brasileiro de ciência do solo 33. Anais Uberlândia/MG: SBCS (CD Rom).
882
883 **Luz, P. H. C.; Korndörfer, G. H. 2011.** Reciclagem de subprodutos na agricultura. In:
884 Vasconcelos, H. P. (Ed.). *Contribuições para a produção de alimentos: Ideias para uma*
885 *agricultura eficaz.* São Paulo: Nova Bandeira Produções Editoriais 1:123-143.
886
887 **Magallon-Servín, P.; Antoun, H.; Taktek, S.; Bashan, Y.; de-Bashan, L. 2019.** The maize
888 mycorrhizosphere as a source for isolation of arbuscular mycorrhizae-compatible phosphate
889 rock-solubilizing bacteria. *Plant Soil*.
890
891 **Magallon-Servin, P.; Antoun, H.; Taktek, S.; de-Bashan, L.E. 2020.** Projetando um
892 multiinoculante de espécies de bactérias solubilizadoras de rocha fosfática compatível com
893 micorrizas arbusculares para promoção do crescimento de plantas em solo com baixo teor de
894 P, corrigido com PR. *Biol. Fértil Solos* 56, 521-536.
895
896 **Minato, E. A.; Neto, M. E.; Versari, D. L.; Silva, J. de F.; Inoue, T. T.; Batista, M. A.**
897 **2015.** Volatilização de N-NH₃ e pH do solo sobre diferentes doses de calcário e gesso.
898 XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Centro de Convenções – Natal, RN.
899
900 **Montalvo, D., Degryse, F.; Mclaughlin, M. J. 2014.** Fluid fertilizers improve phosphorus
901 diffusion but not lability in andisols and oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78, 214.
902
903 **Mota, R. P.; de Camargo, R.; Lemes, E. M.; Lana, R. M. Q.; de Almeida, R. F.; de**
904 **Moraes, E. R. 2019.** Biosolid and sugarcane filter cake in the composition of organomineral
905 fertilizar on soybean responses. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 8, 131 e 137.
906
907 **Panhwar, Q. A.; Radziah, O.; Zaharah, A. R.; Sariah, M.; Razi, I. M. 2011.** Role of
908 phosphate solubilizing bacteria on rock phosphate solubility and growth of aerobic rice, J.
909 *Environ. Biol.*, 32, 607– 612.
910
911 **Pikovskaya, R. I. 1984.** Mobilização de fósforo no solo associada à atividade vital de
912 algumas espécies microbianas. *Microbiologia* 17 362–370. 10.
913
914 **Portugal, A. F.; Ribeiro, D. O.; Carballal, M. R.; Vilela, L. A. F.; Araújo, E. J.; Gontijo,**
915 **M. F. D. 2009.** Efeitos da utilização de diferentes doses de cama de frango por dois anos
916 consecutivos na condição química do solo e obtenção de matéria seca em *Brachiaria*
917 *brizantha* cv. Marandú. In: Anais Florianópolis: EMBRAPA suínos e aves p. 137-142.
918

919 **Raij, B. van; Cantarella, H. 1996.** Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van;
920 CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. (coord.) Recomendações de
921 adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. Ed. Campinas: Instituto Agrônômico
922 (IAC. Boletim Técnico, 100).
923

924 **Rajapaksha, R. M. C. P.; Herath, D.; Senanayake, A. P.; Senevirathne, M. G. T. L. 2011.**
925 Mobilization of rock phosphate phosphorus through bacterial inoculants to enhance growth
926 and yield of wetland rice, *Commun. Soil Sci. Plan.*, 42, 301–314.
927

928 **Ramos, L. A.; Lana, R. M. Q.; Korndorfer, G. H.; Silva, A. de A. 2016.** Effect of organo-
929 mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical
930 properties. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 12(1), pp. 20-27.
931

932 **Ribeiro, V. P.; Marriel, I. E.; Sousa, S. M. De; Lana, U. G. de P.; Mattos, B. B.; Oliveira,
933 C. A. De; Gomes, E. A.; Ribeiro, V. P.; Marriel, I. E.; Sousa, S. M. de; Lana, U. G. de P.;**
934 **Mattos, B. B.; Oliveira, C. A. De; Gomes, E. A. 2018.** Endophytic *Bacillus* strains enhance
935 pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. *Brazilian J. Microbiol.* 49, 40–46.
936

937 **Rodrigues, M.; Pavinato, P. S.; Withers, P. J. A.; Teles, A. P. B.; Herrera, W. F. B. 2016.**
938 Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna.
939 *Science of the Total Environment*, v. 542, p. 1050-1061.
940

941 **Rosolem, C. A.; Almeida, D. S.; Rocha, K. F.; Bacco, G. H. 2018.** Potassium fertilisation
942 with humic acid coated KCl in a sandy clay loam tropical soil. *Soil Res.* 56, 244–251.
943

944 **Sanchez, P. A. 2002.** Soil fertility and hunger in africa. *Science*, v. 295, p. 2019–2020.
945

946 **Santos, F.; Borém, A.; Caldas, C. 2012.** Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol –
947 Tecnologias e Perspectivas. 2 ed. rev. e ampl. 637 p. Viçosa, MG: Os Editores.
948

949 **Santos, E. T.; Heinrichs, R.; Figueiredo, P. A. M.; Paschoaloto, J. R.; Fruchi, V. M.;**
950 **Lisboa, L. A. M. 2009.** Atributos químicos do solo e estado nutricional da cana-de-açúcar
951 submetida à adubação orgânica e mineral. Disponível em:
952 http://www.dracena.unesp.br/#!/eventos/sicud_2009/anais_agronomi_a.php. Acesso em: 03
953 out. 2023.
954

955 **Schwertmann, U. 1964.** Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraction mit
956 ammoniumoxalat-losung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, v.105, p.194-
957 202.
958

959 **Shenoy, V. V.; Kalagudi, G. M. 2005.** Enhancing plant phosphorus use efficiency for
960 sustainable cropping. *Biotechnology Advances*, volume 23, issues 7–8, pages 501-513.
961

962 **Silva, A. A. 2005.** Potencialidade de recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens*
963 fertilizada como camas de aviário e fontes minerais. Uberlândia: Universidade Federal de
964 Uberlândia, 152 p.
965

966 **Stevenson, F. J. 1994.** Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2th ed. John
967 Wiley and Sons, Inc., New York.
968

- 969 **Teixeira, W. G. 2013.** Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes
970 mineral e organomineral. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia 99 p.
971
- 972 **Vasconcelos, R. de L.; Almeida, H. J. de; Prado, R. de M.; Santos, L. F. J. dos; Júnior, J.**
973 **M. P. 2017.** Filter cake in industrial quality and in the physiological and acid phosphatase
974 activities in cane-plant. *Industrial Crops & Products* 105, 133–141.
975
- 976 **Vera, I.; Wicke, B.; Lamers, P.; Cowie, A.; Repo, A.; Heukels, B.; Zumpf, C.; Styles, D.;**
977 **Parish, E.; Cherubini, F.; Berndes, G.; Jager, H.; Schiesari, L.; Junginger, M.; Brandão,**
978 **M.; Bentsen, N. S.; Daioglou, V.; Harris, Z.; Hilst, F. van der. 2022.** Land use for
979 bioenergy: Synergies and trade-offs between sustainable development goals. *Renewable and*
980 *Sustainable Energy Reviews* 161, 112409.
981
- 982 **Vizier, J. F. 1983.** Etude des phénomènes d'hydromorphie dans les sols des régions tropicales
983 à saisons contrastées. Dynamique du fer et différenciation des propils. *Travaux et Documents*
984 *de LÓRSTOM, Pais* (162), 294p.
985
- 986 **Zavaschi, E.; Ferraz-Almeida, R.; Faria, L. A.; Otto, R.; Vitti, A. C.; Vitti, G. C. 2020.**
987 Application of superphosphate complexed with humic acid in an area of sugarcane. *Rev.*
988 *Cienc. Agron.* 51.