

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA

OXIDAÇÃO DE ENXOFRE E DISPONIBILIZAÇÃO DE
FÓSFORO EM GRÂNULOS DE FERTILIZANTE
ORGANOMINERAL INOCULADO COM MICRORGANISMO
Bacillus cereus – 81R

Autor: Arizeu Luiz Leão Arantes

Rio Verde – GO
Março - 2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA

OXIDAÇÃO DE ENXOFRE E DISPONIBILIZAÇÃO DE
FÓSFORO EM GRÂNULOS DE FERTILIZANTE
ORGANOMINERAL INOCULADO COM MICRORGANISMO
Bacillus cereus - 81R

Autor: Arizeu Luiz Leão Arantes
Orientadora: Dr.^a Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio
Coorientadores: Dr. Rodrigo Baghiroli
Dr. Jáliston Júlio Lopes Alves

Dissertação para obtenção do título de
MESTRE EM AGROQUÍMICA, no
Programa de Pós-Graduação em
Agroquímica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Goiano
– Campus Rio Verde – Área de
concentração Agroquímica.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

A662o Arantes, Arizeu Luiz Leão
OXIDAÇÃO DE ENXOFRE E DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO
EM GRÂNULOS DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL INOCULADO
COM MICRORGANISMO *Bacillus cereus* - 81R / Arizeu Luiz
Leão Arantes; orientadora Dr.^a Suzana Maria Loures
de Oliveira Marcionilio; co-orientador Dr.^o Rodrigo
Braghiroli. -- Rio Verde, 2023.
96 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação
em Agroquímica - PPGAq) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2023.

1. Adubação. 2. Cama aviária. 3. Sulfato . 4.
Rocha Fosfatada. 5. Microrganismo. I. Marcionilio,
Dr.^a Suzana Maria Loures de Oliveira , orient. II.
Braghiroli, Dr.^o Rodrigo, 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

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Arizeu Luiz Leão Arantes

Matrícula:

20211033103I0066

Título do trabalho:

OXIDAÇÃO DE ENXOFRE E DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM GRÂNULOS DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL INOCULADO COM MICRORGANISMO *Bacillus cereus* – 81R

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Projeto passível de patente

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 01 /07 /2023

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.

Rio Verde

25 /04 /2023

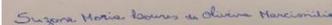
Local

Data



Arizeu Luiz Leão Arantes

Ciente e de acordo:



Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilo



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

Documentos 36/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

OXIDAÇÃO DE ENXOFRE E DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM GRANULOS DE FERTILIZANTE
ORGANOMINERAL INOCULADO COM *Bacillus cereus* - 81R

Autor: Arizeu Luiz Leão Arantes
Orientadora: Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio

TITULAÇÃO: Mestre em Agroquímica - Área de Concentração Agroquímica

APROVADA em 30 de março de 2023.

Prof.^a Dr.^a Aline Maria dos Santos
Teixeira
Avaliadora externa - IFRJ / Campus
Duque de Caxias

Prof. Dr. Danilo Augusto Silvestre
Avaliador interno - IF Goiano /
Campus Rio Verde

Prof. Dr. Rodrigo Braghiroli
Avaliador externo - IF Goiano /
Campus Rio Verde

Prof.^a Dr.^a Suzana Maria Loures de
Oliveira Marcionilio
Presidente da Banca - IF Goiano /
Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Aline Maria dos Santos, Aline Maria dos Santos - Professor Avaliador de Banca - 10.952.708/0001-04 (1), em 01/04/2023 14:31:40.
- Rodrigo Braghiroli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/03/2023 17:56:37.
- DANILO AUGUSTO SILVESTRE, DANILO AUGUSTO SILVESTRE - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1), em 30/03/2023 13:59:57.
- Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMAQ-RV, em 30/03/2023 11:55:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/03/2023. 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: 480513
Código de Autenticação: 70946a81e7



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

“O papel dos infinitamente pequenos,
é infinitamente grande.”

Louis Pasteur

As pessoas mais importantes da minha vida, Maria Luiza, Lauro Arantes (*in memoriam*), José Peixoto (*in memoriam*), Benedita de Oliveira (*in memoriam*), Marjorie Ariadeny, Ariano Augusto, Aryel Vinicius, Natalia Lazara, Ana Laura Leão, Mariana Carvalho, Pedro Lucas Leão, Emanuel Leão, Clymene Loyola, Cleony Loyola.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao SENHOR E SALVADOR que esteve comigo nos caminhos sinuosos me fortalecendo, abençoando a minha casa e me honrando fielmente.

À professora Dr.^a Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio, pela orientação e direcionamento no decorrer do projeto.

Ao professor Dr. Rodrigo Braghiroli, pela orientação, disponibilização do laboratório, amizade, motivação, confiança, oportunidade e respeito participando, compartilhando e vivenciando tanto as etapas serenas quanto as turbulentas do projeto.

À coorientação do Dr. Jálison Júlio Lopes Alves segurando na mão, iluminando a vereda e compartilhando o conhecimento na área agrônômica, metodológica e avaliativa dos resultados.

Ao professor Dr Celso Martins Belisário, pela amizade e por sempre motivar a não desistir dos objetivos.

Ao professor Dr Edson Souchie, Laboratório de Microbiologia do Solo, Dr Matheus Ventura e doutorando Antônio Menezes, pela disponibilização de microrganismos e reagentes.

Ao professor Dr. Leandro Carlos, Janir Martins e José Nilson, pela disponibilização de área do viveiro, casa de vegetação, equipamentos para plantio em vaso e secagem de amostras.

Ao professor Dr. Anísio Corrêa e Felipe Torres, pela concessão de sementes e aperfeiçoamento na formação técnica de análises de solo e foliares.

Aos amigos e parceiros do bloco da agroquímica Dr^a Marilene Oliveira, Gislene Sepulber, Layza Passarele, Vicente Douglas, Maycon Ferreira, Douglas Barros, Sayuri Rafaelle, Fabiana Silva, Stheffany Sousa, Fernanda Destefani, Aline Mendonça, Lhays Lara e Luciana Faria, que atuaram direta ou indiretamente na realização das etapas de execução do projeto.

Ao Laboratório Centro Multi-Usuário de Análises (CEMA), José Carlos Bento, Lemuel Miqueias e Santyago Andrade, pela organização, disponibilização de equipamentos e auxílio nos procedimentos analíticos.

Ao Laboratório de Águas e Efluentes, especialmente as colegas Adriana Bernardes e Carol Loureiro pelos dias juntos e compartilhamento do mesmo espaço.

Ao laboratório de Análise de Solo e Tecido Foliar, professor Dr. José Milton, professor Dr. Lucas Anjos e monitora Thaís Veloso, pela disponibilização de equipamentos e vidrarias.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde pela oportunidade de verticalização na formação dos egressos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ARIZEU LUIZ LEÃO ARANTES, natural de Goiânia – GO, nascido em 05 de abril de 1981, filho de Maria Luiza Leão e Lauro Arantes Faria (in *memoriam*). Ingressou no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO em 2013 no técnico em comércio, em 2014 técnico em contabilidade, em 2016 licenciatura em química, em 2019 técnico em química e em 2021 no mestrado no Programa de Pós – Graduação em Agroquímica sob orientação da professora Dr.^a Suzana Maria de Loures Marcionilio e do professor Dr. Rodrigo Braghiroli na linha de pesquisa agroquímica ambiental.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE QUADROS.....	xviii
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS.....	xix
RESUMO.....	xx
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1. Fertilidade do Solo.....	22
2.2. Fertilizante Organomineral.....	23
2.3. Cama Aviária	24
2.4. Enxofre.....	25
2.4.1. Dinâmica do enxofre no sistema solo-planta-atmosfera.....	27
2.4.2. Absorção e assimilação de enxofre pelas plantas.....	29
2.5. Microrganismos Solubilizadores	29
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
OBJETIVOS.....	39
Geral.....	39
Específicos.....	39
 CAPÍTULO I - DIVERSIDADE DE MATERIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL	 40

Resumo.....	40
Abstract.....	40
1. Introdução.....	41
2. Métodos.....	43
3. Desenvolvimento de organomineral no contexto de publicações.....	43
3.1. Publicações com Fertilizantes.....	43
3.2. Fertilizantes Organo.....	44
3.2.1. Organomineral de Agronindústria.....	46
3.2.1.1. Cama Aviária.....	46
3.2.1.2. Agroindústria: Sulcroalcoleira.....	47
3.2.1.3. Agroindústria: bovinocultura.....	47
3.2.1.4. Agroindústria: suinocultura.....	48
3.2.1.5. Biochar.....	48
3.2.1.6. Lodo de tratamento de águas residuais.....	49
4. Aplicação do fertilizante organomineral.....	50
4.1. Organomineral no Cultivo do Melão.....	50
4.2. Organomineral no Cultivo de Tomate.....	50
4.3. Organomineral no Cultivo da Batata.....	51
6. Considerações Finais.....	51
7. Agradecimentos.....	52
8. Financiadores.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

CAPÍTULO II - POTENCIAL OXIDATIVO MICROBIANO DE ENXOFRE ELEMENTAR EM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL	58
2.1. INTRODUÇÃO.....	58
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
2.2.1. Oxidação de S ^o <i>in vitro</i>	60
2.2.1.1. Coleta e determinação das características químicas do solo.....	60
2.2.1.2. Preparo e formulação dos fertilizantes organominerais.....	60
2.2.2. Ensaios <i>in vitro</i>	62
2.2.2.1. Determinação do teor de enxofre.....	63
2.2.2.2. Determinação do teor de fósforo.....	64

2.2.2.3. Determinação do pH em CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹	64
2.2.3. Avaliação do Crescimento Microbiano.....	65
2.2.4. Ensaio em Casa de Vegetação.....	65
2.2.4.1. Determinação de enxofre.....	66
2.2.4.2. Determinação de fósforo.....	66
2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	67
2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
2.4.1. <i>In vitro</i>	68
2.4.1.1. Colonização de <i>Bacillus</i> em fertilizante organomineral.....	68
2.4.1.2. pH em CaCl_2 de amostra <i>in vitro</i>	71
2.4.1.3. Concentração de S e P.....	73
2.4.2. Casa de Vegetação.....	78
2.4.2.1. Parâmetros de crescimento de plantas.....	78
2.4.2.2. Produção de biomassa seca.....	80
2.4.2.3. Teor de S e P na parte aérea.....	82
2.5. CONCLUSÃO.....	84
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
CONCLUSÃO GERAL.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

Página

CAPÍTULO II – POTENCIAL OXIDATIVO MICROBIANO SOBRE ENXOFRE ELEMENTAR EM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL

Tabela 1. Formulação dos tratamentos da combinação, cama aviária com enxofre e termofosfato com e sem inoculação com granulação entre 2.00 e 4.65 mm de acordo com MAPA, 2020.....	62
Tabela 2. Resultado da análise do solo para realização de experimento em condições controlada e em casa de vegetação. Os valores da análise foram obtidos em laboratório privado utilizando a metodologia Silva (2009).....	67
Tabela 3. Resultado da análise nutricional da cama de frango realizado em laboratório privado, de acordo com a metodologia de análise foliar Viçosa (1997).....	68
Tabela 4. Composição garantida por fabricante do Fertilizante Mineral Simples: Termofosfato Magnésiano YOORIM@ Master 1 Si.....	68
Tabela 5. Valores de pH em CaCl_2 de amostra <i>in vitro</i> em função do tempo de 0 a 70 dias. Determinação dos valores pela metodologia de Viçosa (2005).....	73
Tabela 6. Concentração de S e P de amostra <i>in vitro</i> durante período experimental de 0 a 70 dias. Determinação do teor pelo método de Silva (2009).....	74
Tabela 7 – Teor de S e P na massa seca aérea no cultivar de milho suplementado com fertilizante organomineral por 70 dias.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
INTRODUÇÃO	
Figura 1. Etapas simplificada da produção industrial do fertilizante organomineral (Fonte: KIEHL, 1993, adaptado).....	24
Figura 2. Enxofre inorgânico com estados de oxidação em diversas formas (adaptado). Fonte: Suzuki (1999).....	26
Figura 3. Ciclo do enxofre (S) em área florestal, apresentando suas entradas (setas azuis), transformações (setas pretas) e saídas (setas vermelhas). Fonte: ROCHA <i>et al.</i> , 2015.....	28
 CAPÍTULO I – DIVERSIDADE DE MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL	
Figura 1. Incidência de publicações com o termo “fertilizer” na base de dados Scopus	44
Figura 2. Número de publicações com o termo organomineral fertilizer na base da dados Scopus	45
 CAPITULO II – POTENCIAL OXIDATIVO MICROBIANO SOBRE ENXOFRE ELEMENTAR EM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL	
Figura 1. Avaliação da sobrevivência microbiológica por período de armazenamento no fertilizante organomineral enriquecido com enxofre e microrganismo oxidante. Densidade populacional apresentada em unidade formadora de colônias/ gramas (UFC g ⁻¹)	

¹). Tratamentos inoculados com *Bacillus cereus* 81R: CFS= cama aviária + enxofre, CFP = cama aviária + termofosfato, CFSP = cama aviária + enxofre + termofosfato.....69

Figura 2. Visualização do crescimento do microrganismo inoculado no fertilizante organomineral enriquecido em períodos distintos em suas formulações com armazenado em temperatura ambiente. Tratamentos inoculados com *Bacillus cereus* 81R: CF + S° = cama aviária + enxofre, CF + Rocha = cama aviária + termofosfato, CF+ Rocha + S° = cama aviária + termofosfato + enxofre. (A) Inoculação inicial, (B) Inoculação com 60 dias e (C) inoculação com 210 dias. Fonte: Próprio autor, 2023.....70

Figura 3. – Variação de pH em CaCl₂ de amostras de solo *in vitro* tratadas com fertilizante organomineral com e sem inoculação em relação ao período experimental. Determinação pela metodologia Viçosa (2005). Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPC = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo.....72

Figura 4. Concentração de sulfato em amostra de solo tratado com fertilizante organomineral enriquecido com enxofre elementar com e sem inoculação com microrganismo solubilizador *in vitro*. Determinação do teor pela metodologia de Silva (2009). Tratamentos: CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo.....75

Figura 5. Resposta da altura das plantas de milho cultivado em casa de vegetação com tratamento de fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo. CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPC = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).....78

Figura 6. - Diâmetro do colmo do cultivo de milho em casa de vegetação com tratamento com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento,

CFSS = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPC = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).....80

Figura 7. Rendimento de massa seca na parte aérea no cultivo do milho em casa de vegetação com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSS = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPC = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).....81

Figura 8. Rendimento de massa seca da raiz do cultivo de milho em casa de vegetação com tratamento com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSS = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPC = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).....81

Figura 9. Concentração de S e P na parte aérea de plantas de milho cultivado por 70 dias. Os tratamentos utilizados foram: tratamento com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSS = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPC = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).....83

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
CAPÍTULO I - DIVERSIDADE DE MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DE FERTILIZANTE ORAGNOMINERAL	
Quadro 1. Quadro de termos utilizados para buscas no Scopus	43

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

AN	Agar nutriente
Ca	Cálcio
CF	Cama de aviário
CRAS	Capacidade de Retenção de água no Solo
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
Fe	Ferro
mmolc Kg ⁻¹	Mili mol de concentrao por quilograma
G	Gramas
g L ⁻¹	Gramas por litro
H	Horas
K	Potássio
Kg há ⁻¹	Quilogramas por hectare
L/L	Litro por litro
MAP	Fosfato monoamônico
Mg	Magnésio
mL há ⁻¹	Mililitro por hectare
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
NP	Nitrogênio e fósforo
NK	Nitrogênio e potássio
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
P	Fósforo
PK	Fósforo e potássio
pH	Potencial hidrogeniônico
ONU	Organizao das Nações Unidas
S	Enxofre
S	Enxofre elementar
SO ₄ ²⁻	Sulfato
TFSA	Terra fina seca ao ar
t há ⁻¹	Tonelada por hectare
UFC	Unidade formadora de colônias
Zn	Zinco
C	Grau Celsius

RESUMO

ARANTES, ARIZEU LUIZ LEÃO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, março de 2023. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agroquímica). **OXIDAÇÃO DE ENXOFRE E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM GRÂNULOS EM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL INOCULADO COM MICRORGANISMO *Bacillus cereus* – 81R**. Orientadora: Dr.^a Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio, Coorientador: Dr. Rodrigo Braghiroli, Coorientador: Dr. Jáliston Júlio Lopes Alves.

Com o aumento populacional nas últimas décadas, intensificou a demanda por alimentos, conseqüentemente maior produtividade agrícola e agroindustrial, buscando maior produtividade que solicita do solo maior fertilidade. A cama aviária possui grande potencial para produção de fertilizantes pela disponibilidade de nutrientes. O enxofre é um macronutriente importante para as plantas, por seus aminoácidos cistina e metionina, além de estar ligado a síntese da clorofila. Os microrganismos do solo, principalmente do gênero *Bacillus* e *Thiobacillus*, oxida o enxofre elementar, disponibilizando-o na forma de sulfato para as plantas. A produção de fertilizante organomineral oriundo da cama aviária (CF) com rocha fosfatada (TP), enriquecido com enxofre (S^o) e inoculado, pode reduzir impactos ambientais na utilização adequada da CF, redução na aplicação de fertilizantes químicos e disposição de nutrientes necessários para as plantas. Com isso, o objetivo do estudo foi: a) avaliar a oxidação do elementar e solubilização do fósforo por *Bacillus cereus* 81R em fertilizante organomineral de cama aviária, b) resposta do cultivar milheto (*Pennisetum glaucum* ANm 25) a aplicação do fertilizante organomineral obtido.

A CF foi seca em estufa de circulação por 72h a 65°C, triturada e granulada. O material obtido foi enriquecido com S°, TP nas seguintes formulações: CF 95% + S° 5%; CF 60% + TP 40%; CF 62.5% + S° 5% + 32.5% TP, com e sem *B. cereus* (1%) e 1% amido de milho para agregar resistência aos grânulos. O experimento I foi realizado em condições *in vitro* nos tempos 0, 14, 28, 42, 56 e 70 dias. O teor de enxofre, fósforo e pH foi determinado em cada tempo. O experimento II foi realizado em casa de vegetação avaliando altura de planta, diâmetro do colmo, massa seca aérea, massa seca raiz, teor de enxofre e de fósforo no cultivar de milho. Avaliando a capacidade da estirpe utilizada *B. cereus*, constatou sua sobrevivência em matriz do fertilizante organomineral por 90 dias. Todos os tratamentos apresentaram redução de pH e elevação no teor de S. O período de oxidação do enxofre apresenta pico máximo aos 28 dias, sugerindo que a determinação de S-sulfato ocorra após 28 dias de incubação. As formulações do organomineral apresentaram maior altura, diâmetro do colmo e produção de biomassa das plantas de milho em comparação com o controle.

Palavras-chave: adubação, cama aviária, sulfato, rocha fosfatada, microrganismo.

ABSTRACT

ARANTES, ARIZEU LUIZ LEÃO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, July, 2022. Dissertation (Graduate Program in Agrochemistry). **SULFUR OXIDATION AND PHOSPHORUS AVAILABILITY IN GRANULES IN ORGANOMINERAL FERTILIZER INOCULATED WITH MICROORGANISM *Bacillus cereus* – 81R.** Advisor: Dr.^a Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio, Co-advisor: Dr. Rodrigo Braghiroli, Co-advisor: Dr. Jálison Júlio Lopes Alves.

With the population increase in recent decades, the food demand has intensified, as well as the agricultural and agroindustrial productivity. Greater productivity requests greater soil fertility. Poultry litter has great potential for fertilizer production due to the nutrient's availability. Sulfur is an important macronutrient for plants, as it constitutes its amino acids cystine and methionine, in addition to being linked to the synthesis of chlorophyll. Soil microorganisms, mainly from the genus *Bacillus* and *Thiobacillus*, oxidize elemental sulfur, making it available in the sulfate form for plants. The organomineral fertilizer production from poultry litter (CF) with phosphate rock (TP), enriched with sulfur (S⁰) and inoculated, can reduce environmental impacts in the CF proper use, reduction in the chemical fertilizers application and nutrients disposal necessary for plants. Therefore, the objective of the study was: a) to evaluate the elemental oxidation and solubilization of phosphorus by *Bacillus cereus* 81R in organomineral fertilizer from poultry litter, b) response of millet cultivar (*Pennisetum glaucum* ANm 25) to the application of organomineral fertilizer obtained. The CF was dried in a circulation oven for 72 hours at 65°C, ground and granulated. The material obtained was enriched with S, TP in the

following formulations: CF 95% + S° 5%; CF 60% + TP 40%; CF 62.5% + S° 5% + 32.5% TP, with and without *B. cereus* (1%) and 1 % corn starch to add strength to the granules. Experiment I was carried out under *in vitro* conditions at times 0, 14, 28, 42, 56 and 70 days. Experiment II was carried out in a greenhouse, evaluating plant height, stem diameter, aerial dry mass, root dry mass, sulfur and phosphorus content in millet cultivar. Evaluating the capacity of the *B. cereus* strain used, it was verified its survival in the organomineral fertilizer matrix for 90 days. All treatments showed a pH reduction and increase S. The sulfur oxidation period has a maximum peak at 28 days, suggesting that the determination of S-sulfate occurs after 28 days of incubation. The organomineral formulations showed greater height, stem diameter and biomass production of millet plants compared to the control.

Keyword: fertilizing, poultry litter, sulfate, phosphate rock, microorganism.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional mundial, a agricultura, após várias décadas de produção intensificada começa a enfrentar situações críticas ligadas a alterações climáticas, degradação do meio ambiente e perdas de áreas agricultáveis. Esses fatores têm ocasionado redução da fertilidade do solo e, conseqüentemente perdas de nutrientes.

Com isso, a utilização de fertilizantes convencionais, por exemplo organomineral enriquecido com enxofre, pode ser uma estratégia para restauração e redução na degradação do solo (HOLATKO *et al.*, 2022).

Fertilizante organomineral é um produto originado da mistura entre matéria orgânica, principalmente das agroindústrias, com fertilizante mineral que, durante as últimas décadas ganhou potencial na agricultura mundial pelas características nutricionais como, maior disponibilidade de nutrientes (HOROWITZ & MEURER, 2006).

Destacam nesse contexto, a cama aviária para produção do organomineral, que por sua grande disponibilidade e teores de nutrientes primários tem sido utilizada como matriz orgânica na composição de fertilizantes (BENITES *et al.*, 2022).

Cama aviária é um produto retirado das granjas avícolas formado por composto vegetal (serragem de madeira, palha de arroz ou casca de amendoim), excremento de aves, penas, derrame de ração entre outros (BRUNEROVÁ, *et al.*, 2020), podendo ser aplicada diretamente no solo ou comercializado para diversas finalidades (CRIPPEN *et al.*, 2021).

Quando aplicada diretamente em grandes volumes no solo, pode levar a eutrofização de rios e lagos pelo escoamento de nutrientes (BENITES *et al.*, 2022). Uma alternativa para redução dos impactos ambientais e utilização eficiente dos nutrientes disponíveis, é produção do fertilizante organomineral que promove melhorias de

fertilidade do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (FRAZÃO *et al.*, 2021). Este fertilizante quando enriquecido com enxofre fornece a demanda nutricional necessária para às plantas tanto de nutrientes primários, secundários e micronutrientes (REZENDE *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O enxofre é um nutriente necessário às plantas, encontra-se presente em sua estrutura na forma de aminoácidos sulfurados tais como cistina e metionina (OLIVEIRA *et al.*, 2020). É matéria-prima na produção de ácido sulfúrico, que é diretamente utilizado na fabricação de fertilizante e ácido fosfórico (STIPP e CASARIN, 2010). Está associado à formação de minerais, desenvolvimento de organismos e regulação climática (DENG *et al.*, 2022).

No solo o enxofre apresenta transformações controladas por processos bióticos e abióticos, que normalmente estão ligadas a mineralização, imobilização, oxi – redução e assimilação pelas plantas, destacando que em cada processo o potencial reacional está ligado a fatores da condição do solo, como concentração de argilominerais, óxidos de ferro e de alumínio, carbono e N (STIPP e CASARIN, 2010). A absorção pelas plantas ocorre na forma oxidada a SO_4^{2-} , que majoritariamente é o produto da ação de bactérias do gênero *Thiobacillus* (HAMMERSCHMIEDT *et al.*, 2022).

O efeito oxidativo sobre o enxofre elementar no solo, é estimulado por *Thiobacillus*, e por fatores abióticos (SCHERER, 2001). A eficiência do processo de oxidação do enxofre elementar a sulfato, está ligada a fatores do solo como, pH, umidade, textura, nutrientes, aeração (HOROWITZ & MEURER, 2006) e temperatura do solo variando entre 25 e 45°C (SEVERO, 2017).

O fertilizante organomineral enriquecido com enxofre e granulometria estabelecida apresenta maiores concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio e pode ser distribuído por adubadeiras convencionais reduzindo custos desde a indústria até o produtor (HOROWITZ & MEURER, 2006).

A sua produção com cama de aviário pode incorporar matéria orgânica no solo, aumentar retenção de água e aeração, e, além disso, podendo suprir em partes ou integralmente o efeito do fertilizante químico (BLUM *et al.*, 2003), e quando inoculado pode aumentar a disponibilidade nas concentrações adequadas de nutrientes para absorção das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fertilidade do Solo

A agricultura na sua história foi considerada como uma arte que surgiu juntamente com a humanidade e vem evoluindo e tornando-se uma ciência que através dos séculos suas práticas tornaram-se necessárias para suprir a demanda alimentícia de uma população que está em elevado crescimento (MAPA, 2009).

Com a evolução científica, novos materiais genéticos de plantas cultivadas foram surgindo, aumentando a produtividade das culturas agrícolas e, conseqüentemente, à demanda de fertilizantes químicos. (COELHO E VERLENGIA, 1988).

Adubos ou fertilizantes, podem ser considerado como compostos químicos, minerais, orgânicos, sintéticos, naturais ou misto (organominerais) que possuem em sua composição um ou mais nutrientes que podem ser adicionados ao solo para suprir em partes ou integralmente as necessidades nutricionais das plantas, que o solo naturalmente não disponibiliza (MAPA, 2009). As concentrações desses nutrientes podem variar em relação às localidades, afetando a fertilidade do solo (THORAT; PATLE & KASHYAP, 2023).

O aumento da fertilidade do solo pode assegurar o fornecimento de nutrientes às plantas, no entanto, necessita de correção e adubação, seja orgânica, mineral ou organomineral (HAWROT-PAW *et al.*, 2022). Alguns agricultores sem formação técnico/científica adicionam quantidades elevadas de fertilizantes no solo, e esta prática tem causado perdas de nutrientes e poluição de rios e lagos (THORAT; PATLE & KASHYAP, 2023).

O uso adequado de insumos para nutrição das plantas, otimiza e potencializa a produtividade pela disponibilidade de nutrientes e a manutenção biológica do solo; contudo, a utilização inadequada e exagerada de fertilizantes pode resultar em efeitos adversos como, toxicidade das plantas, poluição do lençol freático, lixiviação e entre outros (CAMPOS *et al.*, 2013).

2.2. Fertilizante Organomineral

Fertilizante organomineral é um produto de características nutricionais como liberação lenta de nutrientes, maior concentração de nitrogênio, fósforo e potássio (HOROWITZ & MEURER, 2006) de várias naturezas físicas, podendo ser aplicado na forma granulado diretamente no solo, solução via foliar ou fertirrigação (MAPA, 2009).

Na natureza durante longos períodos, várias associações ou interações têm ocorrido naturalmente, por exemplo: minerais de rochas com microrganismos, plantas e animais da microfauna e macrofauna. A partir dessas associações nos ecossistemas com o material orgânico das florestas naturais, são formados os fertilizantes organomineral natural, que é fonte de nutrientes que podem ser disponibilizados para às plantas (KIEHL, 2013).

Na indústria o processo de produção de fertilizantes organomineral busca produtos que tenham certificação de qualidade, exigido por normas técnicas (MAPA, 2009) visando qualidade e concentrações de material orgânico e, além disso, proporciona maior rentabilidade e lucratividade para ao produtor rural (KIEHL, 2013).

No Brasil com a expansão avícola, o país tornou se o maior exportador mundial de aves; com isso seus excrementos tornaram-se excedentes ao meio ambiente pelo descarte incorreto (BENITES *et al.*, 2022). Esse aumento tem possibilitado a produção de fertilizante organomineral pela presença de nutrientes orgânicos essenciais às plantas como, N e P (SAHU *et al.*, 2018; MANZOOR *et al.*, 2021; CHAUDHARY *et al.*, 2022 & PRAJAPATI *et al.*, 2022).

O preparo industrial (Figura 1) segue normas e orientações de regulamentação de produção, rotulagem e distribuição para fertilizantes organominerais no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, pela Instrução Normativa nº 61 de 8 de julho de 2020 (MAPA, 2020).

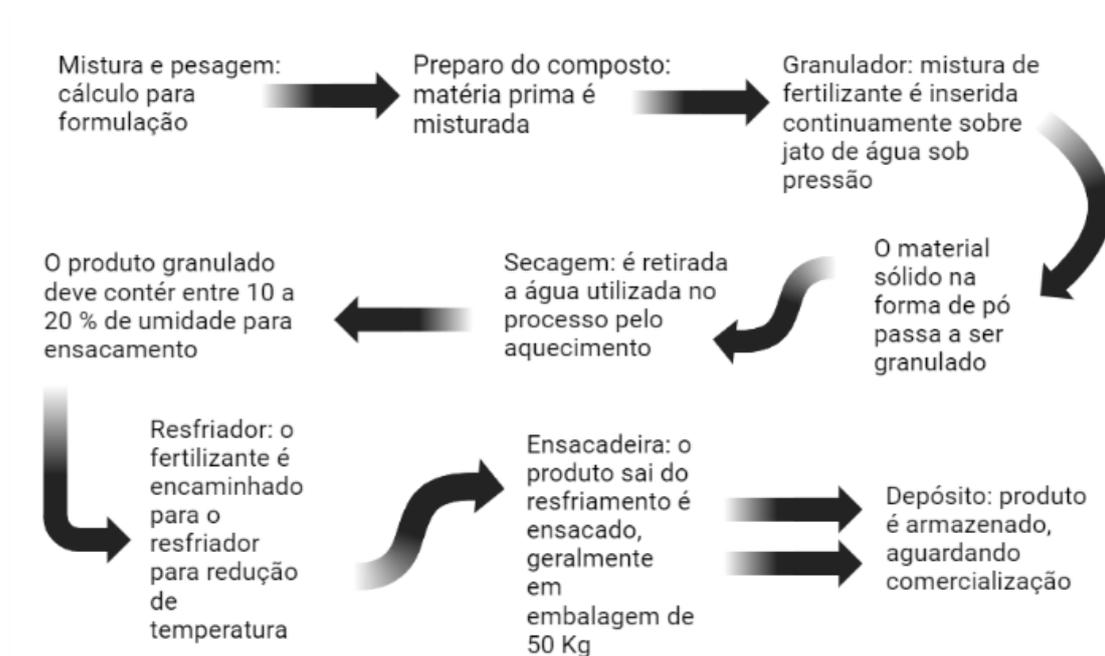


Figura 1 – Etapas simplificada da produção industrial do fertilizante organomineral (Fonte: KIEHL, 1993, adaptado).

2.3. Cama Aviária

Com a produção avícola em grande expansão mundialmente, o Brasil tornou-se o primeiro exportador mundial de frangos (BENITES *et al.*, 2022), seguido pelos Estados Unidos e União Europeia (EMBRAPA, 2022). Contudo, esse crescimento da avicultura necessitará de gerenciamento adequado dos rejeitos gerados (cama aviária) (NASCIMENTO *et al.*, 2020), visando tanto atender a demanda alimentícia populacional, quanto redução nos impactos ambientais (BENITES *et al.*, 2021).

Cama aviária ou cama de frango, é a combinação de excrementos de aves com outros materiais como, derrame de ração, penas, aparas de madeiras, palha de arroz ou serragem (RITZ & MERKA, 2009; BRUNEROVÁ, *et al.*, 2020; TEWOLDE *et al.*, 2022), influenciado por fatores atenuantes de suas características como, dieta, quantidade de animais ou período de utilização (RITZ & MERKA, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

No contexto de diversidade, podem identificar a utilização desse material em avícolas de diferentes espécies e portes de animais como peru, galinhas poedeiras, frangos de corte em outros, variando em função do material e característica da criação do animal.

Pode ser aplicada diretamente no solo ou comercializado para diversas finalidades (CRIPPEN *et al.*, 2021), como aplicação em solos para reciclar nutrientes que seriam descartados (BURNS *et al.*, 2022).

A sua aplicação no solo pode melhorar e aumentar o teor de matéria orgânica (GROHSKOPF *et al.*, 2019; RATKE *et al.*, 2021) influenciando na dinâmica do solo e fornecendo nutrientes necessários para as plantas (CARDOSO *et al.*, 2019; POSPISILOVA *et al.*, 2011). No entanto, esses dejetos quando aplicado diretamente em grandes volumes no solo pode acumular causando poluição ambiental (BURNS *et al.*, 2022; NASCIMENTO *et al.*, 2020; BENITES *et al.*, 2022).

Uma possibilidade de redução dos impactos ambientais e eficiência no uso de nutrientes disponíveis, tem-se a produção de fertilizante organomineral granulado enriquecida com macronutrientes primários, secundários e/ou micronutrientes (FRAZÃO *et al.*, 2021) que podem promover melhorias de fertilidade do solo, redução por perdas de nutrientes por processos de lixiviação e evaporação, fornecendo a demanda necessária de nutrientes para as plantas (REZENDE *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2020; FRAZÃO *et al.*, 2021).

2.4. Enxofre

O enxofre é um macronutriente secundário que desempenha muitas funções nas plantas, destacando-se como constituinte dos aminoácidos essenciais (cistina e metionina) e da acetil-coenzima A (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Além disso, o enxofre está ligado a síntese da clorofila e formação da ferredoxina, que funciona como transportadora de elétrons na fotossíntese. (CHUNG *et al.*, 2022).

O enxofre pode ser similarmente encontrado *in natura* como sulfato de cálcio (gesso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), pirita (FeS_2) em xistos, carvão, calcário ou em arenitos, em formações sedimentares como sais, elementar em areias betuminosas ou no húmus do solo (ROCHA *et al.*, 2015).

Sua forma mais estável é o enxofre elementar, produto da oxidação imediata do H_2S . Entre o S^0 e o SO_2 , possui duas formas hipotéticas intermediárias instáveis, o SO e uma forma hidratada, o H_2SO_2 . O enxofre com valência +6, sua forma mais oxidada, está como SO_3 , proveniente da ligação do dióxido e um oxigênio sobre ação catalítica, hidratado na forma de H_2SO_4 ou dissociado como SO_4^{2-} (BISSANI & TEDESCO, 1988; SUZUKI, 1999) (Figura 2).

-2	0	+2	+4	+6
H ₂ S	S	(SO)	SO ₂	SO ₃
Sulfeto de hidrogênio	S Elementar	Monóxido de Enxofre	Dióxido de Enxofre	Trióxido de Enxofre
HS ⁻	S ₈	H ₂ SO ₂	H ₂ SO ₃	H ₂ SO ₄
	S ⁰	Ácido sulfoxílico	Ácido sulfuroso	Ácido sulfúrico
			SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
			Sulfito	Sulfato
	S	Tiosulfato		SO ₃ ²⁻
	S			SO ₃ ²⁻
	S	Tetracionato		SO ₃
S ²⁻	Polissulfeto		S _n	

Figura 2 – Enxofre inorgânico com estados de oxidação em diversas formas (adaptado). Fonte: Suzuki (1999).

Na forma dióxido de enxofre, é um gás extremamente solúvel que origina duas outras formas, o H₂SO₃ e sua forma dissociada como SO₃²⁻. Não menos importante, o tetracionato possui 4 átomos de enxofre, sugerindo que sua configuração tenha 2 átomos com valência 0 e as outras +4 e +6 (BISSANI & TEDESCO, 1988; SUZUKI, 1999). O enxofre também pode ser encontrado no solo temporariamente em estado gasoso como SO₂, SO₃ e H₂S, que são celeremente oxidadas a ácido sulfúrico (BOHN *et al.*, 1986) (Figura 2).

Bioquimicamente está envolvido em diversas incorporações de moléculas orgânicas na forma de tióis ou compostos de aminoácidos sulfatados (cisteína e metionina), que formam resíduos necessários nos mecanismos das reações enzimáticas, direcionando as mudanças ocorrida nos estados de oxidação ou na substituição covalente, e atuam em alguns resíduos como desintoxicantes de metais pesados, xenobióticos, transmissores de patógenos e espécies de oxigênio reativas (KOPRIVA; MALAGOLI & TAKAHASHI, 2019).

É um elemento biogênico essencial encontrado na natureza participante do ciclo da matéria e de energia, promovendo transformação da matéria orgânica, de nutrientes, de metais pesados em água e sedimentos no ciclo biogeoquímico (GHEORGHIEVICI *et*

al., 2023). Que pode ser disponibilizado no meio, por liberação de erupções vulcânicas que contribui de 2 a 35% de todas as emissões na forma dos gases H_2S/ SO_2 (CHAN *et al.*, 2022).

Na crosta terrestre, o enxofre faz parte de 0,06 a 0,10% de sua composição, estando em depósitos vulcânicos, bacias com evaporitos e formações salinas naturais, associado ao petróleo, carvão mineral, sulfetos - como, pirrotita, galena, pirita- sulfatos - como gipsita e anidrita - ou na forma gasosa como gás natural ou H_2S em locais alagados como pântanos ou proveniente de atividades industriais (HAVLIN *et al.*, 2005; ALBUQUERQUE; AZAMBUJA & LINS, 2008; FONSECA & BACIC, 2009).

2.4.1. Dinâmica do enxofre no sistema solo-planta-atmosfera

No solo (Figura 3, página seguinte) encontra-se predominantemente na forma orgânica armazenado como sulfato de carbono (C-S) ou como sulfato de éster (C-O/ N-S), no entanto para sua absorção pelas plantas é necessário estar na forma inorgânico (SO_4^{2-}) (GHARMAKHER *et al.*, 2009; WYNGAARD & CABRERA, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O enxofre inorgânico é a forma que as plantas o absorvem (S – sulfato), que possui maior solubilidade em água e mobilidade no solo. O átomo de enxofre também pode estar ligado a outros elementos em estados de oxidação que variam de -2 a +6, sendo que algumas de suas formas podem ser, sulfato em solução, sulfato adsorvido à fração sólida, dióxido de enxofre, sulfito, tiosulfato, enxofre elementar e sulfeto principalmente em locais alagados (BOHN *et al.*, 1986; BISSANI & TEDESCO, 1988).

A redução do sulfato (Figura 3) ocorre por processo anaeróbio, e bactérias utilizam o SO_4^{2-} em processos respiratórios produzindo S^{2-} que são perdidos para a atmosfera como H_2S (OSÓRIO FILHO *et al.*, 2007; RODRIGUES, MELLO & SOUZA 2007).

O enxofre depositado no solo está em permanente conversão, é imobilizado passando de inorgânico para orgânico, ou é mineralizado quando convertido de forma orgânica para inorgânica (KERTESZ & MIRLEAU, 2004).

Durante o crescimento das plantas a fonte potencial de enxofre orgânico, é a mineralização da matéria orgânica. Este processo apresenta dois aspectos importantes, a

obtenção de enxofre disponível no solo para as plantas e um elo importantíssimo no ciclo do enxofre no solo (CHEN *et al.*, 2022).

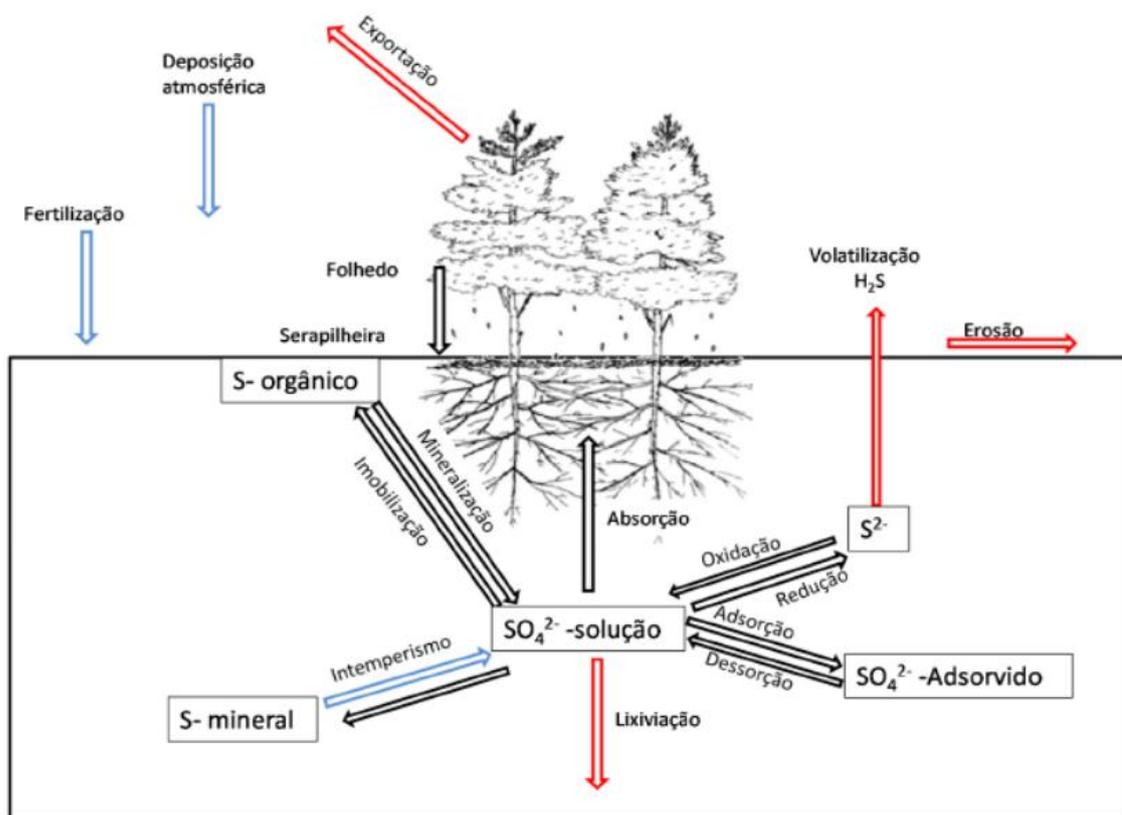


Figura 3 – Ciclo do enxofre (S) em área florestal, apresentando suas entradas (setas azuis), transformações (setas pretas) e saídas (setas vermelhas). Fonte: ROCHA *et al.*, 2015.

A atividade de mineralização tem como destaque a mineralização bioquímica e a mineralização biológica. O processo bioquímico ocorre em meio de baixo teor de sulfato no solo, e os microrganismos do solo juntamente com as raízes das plantas produzem sulfatases, que tendem a hidrolisar o éster sulfato (CHEN *et al.*, 2022).

Com a mineralização biológica, o enxofre ligado ao carbono é decomposto por ação de microrganismos com o fornecimento de energia pelo carbono orgânico, que é oxidado gerando um subproduto, a liberação do enxofre (CHEN *et al.*, 2022).

Normalmente em solos que possuem características de baixo teor de matéria orgânica, textura grosseira, alta drenagem e sujeitos a lixiviação apresentam grande deficiência de enxofre, atribuído a redução nas entradas de enxofre no sistema do solo e com o aumento de sua saída (KOST; CHEN & DICK, 2008).

2.4.2. Absorção e assimilação de enxofre pelas plantas

A absorção do enxofre pelas raízes das plantas ocorre na forma de sulfato (VITTI *et al.*, 2006; CHUNG *et al.*, 2022). O sulfato na rizosfera é reconhecido por transportadores localizados nas membranas citoplasmáticas das células rizodérmicas e do córtex externo, e é transportado da raiz para parte aérea via xilema (HOUHOU; JOUTEI & LOUAHLIA, 2018; CHORIANOPOULOU & BOURANIS, 2022).

Chegando na parte aérea, o sulfato é transferido para os cloroplastos ou para os vacúolos, dependendo da necessidade da planta; seguindo o processo interno de transporte, o sulfato é transportado por meios específicos que se encontram na membrana citoplasmática ou na membrana de organela sub celular (CHORIANOPOULOU & BOURANIS, 2022).

Outros mecanismos possíveis são a utilização do sulfito para biossíntese de sulfolipídios no plastídio, ou transportado para o peroxissomo, em que ocorre a reação de reoxidação a sulfato pela atividade da enzima sulfito oxidase (CHORIANOPOULOU & BOURANIS, 2022).

A redução na disponibilidade de sulfato, reduz a síntese de enzimas, como a Rubisco (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase) afetando a assimilação de CO₂ do meio e consequentemente retardando a síntese de carboidratos (CHUNG *et al.*, 2022).

Nas últimas décadas observou-se deficiência de enxofre nos cultivares, principalmente à clorose nas folhas novas das plantas (ABDALLA & MUHLING, 2019). A deficiência desse nutriente impacta tanto na produtividade quanto na qualidade das culturas (VELIZ *et al.*, 2020).

Por estas razões, a limitação do enxofre impacta significativamente no crescimento das plantas, pois sua deficiência aumenta a redução da atividade metabólica, reduz a concentração de clorofila e amplia a alteração nas características morfológicas da raiz, em especial nas de grande necessidade de enxofre para maximizar a absorção de nutrientes (HOUHOU; JOUTEI & LOUAHLIA, 2018).

2.5. Microrganismos Solubilizadores

Microrganismos podem ser compreendidos por um organismo de tamanho microscópico, formado por uma única ou várias células (unicelular ou multicelular), com

a maioria das espécies habitando o solo, classificados em bactérias, fungos e protozoários (WANI *et al.*, 2015), que podem exercer funções operacionais como solubilização de nutrientes.

Para disponibilização do enxofre elementar para plantas é necessário à oxidação que ocorre majoritariamente por meio de reações catalisadas por enzimas arissulfatases e rodanases, as quais são produzidas por bactérias do gênero *Thiobacillus* (LOPES, 2017), podendo ser exemplificado pela equação 1 (SUZUKI, 1999, adaptado).



As bactérias do gênero *Thiobacillus* juntamente com fatores físicos do solo como aeração, umidade, temperatura entre 25 e 45°C e teor de matéria orgânica influenciam na oxidação do enxofre (SEVERO, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Suas colônias podem chegar a aproximadamente 1 milhão de bactérias/ g de solo (POURBABAEE *et al.*, 2020) e quando combinada com fertilizantes podem disponibilizar nutrientes para as plantas.

Em fertilizantes naturais reativos, o uso de enxofre elementar associado a *Thiobacillus thiooxidans* apresenta reações de oxidação do S° (FONTANIVA *et al.*, 2008), produzindo ácido sulfúrico e provocando redução momentânea do pH do solo, induzindo a solubilização de rochas fosfática. Esse processo libera fósforo para o meio, melhorando a eficiência agrônômica relativa e absorção de nutrientes pelas plantas (MANZOR *et al.*, 2021; CHAUDHARY *et al.*, 2022 & PRAJAPATI *et al.*, 2022).

O gênero *Bacillus* é um patógeno que habita o solo que pode causar tanto contaminação de alimentos, quanto benefícios para os seres humanos (SÁNCHEZ, MEDINA & REMIREZ, 2018) como solubilizador de P em rocha fosfatada por exemplo. Com ocorrência na rizosfera de algumas plantas, produz antibióticos com eficiência fúngica para o cultivar (VILAIN *et al.*, 2006).

Ademais, possui potencial de fixação do nitrogênio atmosférico (*e. g.* *B. polymyxa-syn*) e solubilizador de fosfatos indisponíveis (*Bacillus cereus*) (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), podendo com isso induzir o aumento de prolina, enzimas antioxidante e fotohormônios ampliando tanto o rendimento quanto o aumento do crescimento das culturas (SEBASTIAN *et al.*, 2021, ZHANG *et al.*, 2023).

Contudo, estudos com aplicação do *B. cereus* na área de ciências agrárias tanto para oxidação como solubilização de minerais são escassos, revelando grande potencial científico com sua inoculação.

Portanto, a adição de microrganismos solubilizadores de minerais em combinação com fertilizantes ganharam ênfase, principalmente aquelas ligadas ao crescimento vegetal, aumento da solubilização de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas; estimulando a produção de sideróforos e fitohormônios vegetais, melhorando a ciclagem de nutrientes, aumentando a atividade enzimática do solo e acelerando o processo de mineralização de nutrientes no solo (LI *et al.*, 2021).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M. A.; LI, F.; WENZEL - STORJOHANN, A.; SULIEMAN, S.; TASDEMIR, D.; MUHLING, K. H. Comparative Metabolite Profile, Biological Activity and Overall Quality of Three Lettuce (*Lactucasativa L.*, *Asteraceae*) Cultivars in Response to Sulfur Nutrition. **Pharmaceutics**, 13, 713. 2021.

ABDALLA, M. A. & MUHLING, K. H. Plant-Derived Sulfur Containing Natural Products Proceed as a Response to Biotic and Abiotic Stresses: A Review of Their Structural Diversity and Medicinal Importance. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, 92, pp. 204-215. 2019.

ALBUQUERQUE, G. A. S. C. de; AZAMBUJA, R. S. L & LINS, F. A. F. Agrominerais – Enxofre. Rochas: minerais industriais: uso e especificações. **Centro de Tecnologia Mineral – CETEM**. Rio de Janeiro – RJ, v. 2, p. 577-590. 2008.

BENITES, V. de M.; MOLIN, S. J. D.; MENEZES, J. F. S.; GUIMARÃES, G. S. & MACHADO, P. L. O. de A. Organomineral Fertilizer Is an Agronomic Efficient Alternative for Poultry Litter Phosphorus Recycling in an Acidic Ferralsol. **Frontiers in Agronomy**. v. 4. 2022.

BISSANI, C. A. & TEDESCO, M. J. O Enxofre no solo. Simpósio Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira. **XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do solo**. Anais, Londrina – Pr. Embrapa, p. 11 – 29. 1988.

BLUM LEB; AMARANTE CVT; GÜTTLER G; MACEDO AF; KOTHE D; SIMMLER A; PRADO G; GUIMARÃES L. Produção de Moranga e Pepino em Solo

com Incorporação de Cama Aviária e Casca de Pinus. **Horticultura Brasileira** 21: 627-631. 2003.

BOHN, H. L.; BARROW, N. J.; RAJAN, S. S. S. & PARFITT, R. L. Reactions of Inorganic Sulfur in Soils. American Society of Agronomy – Crop Science Society of America – Soil Science Society of America. **Sulfur in Agriculture**. Agronomy Monograph. Madson, v. 27, p. 233 – 249. 1988.

BRUNEROVÁ, A.; MULLER, M.; GURDIL, G. A. K.; SLEGER, V. & BROZEK, M. Analysis of the Physical-Mechanical Properties of a Pelleted Chicken Litter Organic Fertiliser. **Research in Agricultural Engineering**. v. 66, p. 131-139. 2020. <https://doi.org/10.17221/41/2020-RAE>.

BURNS, J.; KULESZA, S.; VANN, R. & WOODLEY, A. Effects of Nitrogen Source and Rate on Soybean Yield and Quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 54, n. 5, p. 559 – 570. 2022.

CAMPOS, D. V. B. de; FREIRE, L. R.; ZONTA, E.; EIRA, P. A. da; DUQUE, F. F.; DE-POLLI, H.; SOUTO, S. M.; SANTOS, G. de A. & ANJOS, L. H. C. dos. Adubos e Corretivos. EMBRAPA. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1 ed. cap. 5, pág. 107 – 110. Seropédica – RJ. Editora Universidade Rural. 2013.

CARDOSO, A. I. I.; SILVA, P. N. de L.; COLOMBARI, L. F.; LANNA, N. B. L.; FERNANDES, D. M. Phosphorus Sources Associated with Organic Compound in Broccoli Production and Soil Chemical Attributes. **Horticultura Brasileira**. v. 37, n. 2. 2019.

CHAN, Y. H.; LOCK, S. S. M.; WONG, M. K.; YIIN, C. L.; LOY, A. C. M.; CHEAH, K. W.; CHAI, S. Y. W.; LI, C.; HOW, B. S.; CHIN, B. L. F.; CHAN, Z. P. & LAM, S. S. A State-of-the-art Review on Capture and Separation of Hazardous Hydrogen Sulfide (H₂S): Recent Advances, Challenges and Outlook. **Environmental Pollution**, 314. 2022.

CHAUDHARY, S.; DHANKER, R.; SINGH, K.; BRAR, B. & GOYAL, S. Characterization of Sulfur-Oxidizing Bacteria Isolated from Mustard (*Brassica juncea* L.) Rhizosphere Having the Capability of Improving Sulfur and Nitrogen uptake. **Journal of Applied Microbiology**. ed. 5, v. 133, p. 2814 - 2825. 2022.

CHEN, G.; LU, Q.; BAI, J.; WEN, L.; ZHANG, G.; WANG, W.; WANG, C.; LIU, Z. Organic Sulfur mineralization in surface soils from coastal wetlands with

different flooding periods affected by the flow-sediment regulation in the Yellow River Delta, China. **Catena**, 215. 2022.

CHORIANOPOULOU, S. N. & BOURANIS, D. L. The Role of Sulfur in Agronomic Biofortification with Essential Micronutrients. **Plants**, 11, 1979. 2022.

CHUNG, J. S.; KIM, H. C.; YUN, S. M.; KIM, H. J.; KIM, C. S.; LEE, J. J. Metabolite Analysis of Lettuce in Response to Sulfur Nutrition. **Horticulturae**, 8, 734. 2022.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. Fertilidade do Solo. **Instituto Campineiro de Ensino Agrícola Agrônômico**. Campinas – SP. 1988.

COSTA, A. M. da; BORGES, E. N.; SILVA, A. de A.; NOLLA, A. & GUIMARÃES, E. C. Potencial de Recuperação Física de um Latossolo Vermelho, sob Pastagem Degradada, Influenciado pela Aplicação de Cama de Frango. **Ciênc. Agrotec.** v. 33, ed. esp., p. 1991 – 1998. 2009.

CRIPPEN, T. L.; SHEFFIELD, C. L.; SINGH, B.; BYRD, J. A., BEIER, R. C. & ANDERSON, R. C. Poultry Litter and the Environment: Microbial Profile of Litter During Successive Flock Rotations and after Spreading on Pastureland. **Science of the Total Environment**. v. 146413. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146413>.

DENG, X.; RUAN, L.; REN, R.; TAO, M.; ZHANG, J.; WANG, L.; YAN, Y.; WEN, X.; YANG, X. & XIE, P. Phosphorus accelerate the sulfur cycle by promoting the release of malodorous volatile organic sulfur compounds from Microcystis in freshwater lakes. **Science of the Total Environment**, 845. 2022.

EMBRAPA. Estatísticas Frango de Corte – Produção, Consumo, Exportação e Importação. **Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - Suínos e Aves**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>> pesquisado em 10/ 03/ 2023, 20:28h. 2022.

FONSECA, D. S. & BACIC, I. R. Enxofre. Economia mineral do Brasil. **Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM**, ed 2, p. 126-141. Brasília, 2009.

FONTANIVA, S.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Eficiência Agronômica Relativa do Fosfato Natural Reativo de Gafsa Associado a Enxofre com Acidithiobacillus. **Fertbio – Desafios para o Uso do Solo com Eficiência e Qualidade Ambiental**. 2008.

FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. de M.; PIEROBON, V. M.; RIBEIRO, J. V. S. & LAVRES, J. A Poultry Litter-Derived Organomineral Phosphate Fertilizer Has Higher

Agronomic Effectiveness Than Convencional Phosphate Fertilizer Applied to Field-Grown Maize and Soybean. **Sustainability**. v. 13, 11635. 2021.

GHARMAKHER, H. N.; MACHET, J. M.; BEAUDOIN, N.; RECOUS, S. Estimation of sulfur mineralization and relationships with nitrogen and carbon in soils. **Biol Fertil Soils**. 45, p. 297-304. 2009.

GHEORGHIEVICI, L.; STOICA, C. O.; GHEORGHIEVICI, G. L.; FURCUSLESCU, C. & LAZAR, V. Assessment of the Physiological Groups of Bacteria from Salt Lakes and Euxinic Sediments Involved in Sulfur Cycle, Therapeutical Mud Formation, and Regeneration. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, 13, 44. 2023.

HAMMERSCHMIEDT, T.; HOLATKO, J.; HUSKA, D.; KINTL, A.; SKARPA, P.; BYTESNIKOVA, Z.; PEKARKOVA, J.; KUCERIK, J.; MUSTAFA, A.; RADZIEMSKA, M.; MALICEK, O.; VANKOVA, L. & BRTNICKY, M. Impact of smart combinations of graphene oxide and micro/nanosized sulfur particles on soil health and plant biomass accumulation. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 9, 53. 2022.

HAWROT, M.; MIKICIUK, M.; KONIUSZY, A. & MELLER, E. Influence of Organomineral Fertiliser from Sewage Sludge on Soil Microbiome and Physiological Parameters of Maize (*Zea mays* L.). **Agronomy**, 12, 1114. 2022.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L. & NELSON, W. L. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Chap. 7, ed. 7, p. 528. **Pearson Prentice Hall**. New Jersey, 2005.

HOLATKO, J.; HAMMERSCHMIEDT, T.; MUSTAFA, A.; KINTL, A.; RADZIEMSKA, M.; BALTAZAR, T.; JASKULSKA, I.; MALICEK, O.; LATAL, O. & BRTNICKY, M. Carbon-enriched organic amendments differently affect the soil chemical, biological properties and plant biomass in a cultivation time-dependent manner. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 9, 52. 2022.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de Dois Fosfatos Naturais Farelados em Função do Tamanho da Partícula. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, p. 41 – 47. 2003(a).

HOROWITZ, N. **Oxidação e Eficiência Agronômica do Enxofre Elementar em Solos do Brasil**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do

Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003(b).

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do Enxofre Elementar em Solos Tropicais. **Ciência Rural**, v.36, p.822-828, 2006.

HOUHOU, M.; JOUTEI, K. A. & LOUAHLIA, S. Biomass Production, Chlorophyll Content and Morphological Parameters Are Affected by Sulfur Deficiency in *Eruca sativa* L. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**. 44, pp 67-75. 2018.

KERTESZ, M. A. & MIRLEAU, P. The Role of Soil Microbes in Plant Sulphur Nutrition. **Jornal of Experimental Botany**, v. 55, n. 404. 2004.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**. Editora Degaspari, 5ª ed. Piracicaba - SP 2013.

KOPRIVA, S.; MALAGOLI, M. & TAKAHASHI, H. Sulfur Nutrition: Impacts on Plant Development, Metabolism and Stress Responses. **Journal of Experimental Botany**, vol. 70, n. 16, pp. 4069–4073. 2019.

KOST, D.; CHEN, L.; DICK, W. A. Predicting plant sulfur deficiency in soils: results from Ohio. **Biol Fertil Soils**. 44, p. 1091-1098. 2008.

LI, C.; JIA, Z.; ZHAI, L.; ZHANG, B.; PENG, X.; LIU, X.; ZHANG, J. Effects of Mineral-Solubilizing Microorganisms on Root Growth, Soil Nutrient Content, and Enzyme Activities in the Rhizosphere Soil of *Robinia pseudoacacia*. **Forests**, 12, 60. 2021.

LOPES, L. O. **Eficiência da Adubação Sulfatada nos Teores de Macronutrientes e nas características Agronômicas da Cultura da Soja no Cerrado**. (dissertação). Universidade Federal do Piauí – Programa de Pós Graduação em Agronomia. 2017.

MANZOOR, S.; RASHEED, M.; JILANI, G.; ULLAH, M. A.; HUSSAIN, S. S. & ASADULLAH, M. Integration of Phosphate Solubilising Bacteria, Sulfur Oxidizing Bacteria with on Maize (*Zea mays*). **Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences**. n. 1, v. 64, p. 43 - 48. 2021.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. 2009.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Experiências da agricultura orgânica reduzem uso de insumos e custos da produção — Português

(Brasil). 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/experiencias-da-agricultura-organica-reduzem-uso-de-insumos-e-custos-da-producao>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. 2020.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Mapa e CBI lançam Plano de Investimento para Agricultura Sustentável — Português (Brasil). 2020. Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-e-cbi-lancam-plano-de-investimento-para-agricultura-sustentavel>>. Acesso em: 24 março. 2022.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Ed. 2, pg. 18, 56. Editora UFLA. 2006.

NASCIMENTO, A. O. MATTOS, B. B.; MOLIN, S. J. D.; FIALHO, R. L.; CABRAL-ALBUQUERQUE, E. C. M. & BENITES, V. M. Phosphorus Diffusion and Agronomic Efficiency of Chicken Litter Organomineral Fertilizers Improved with Binder Materials. **Waste and Biomass Valorization**. v. 12, p. 3765 – 3772. 2020.

POSPISILOVA, L.; FORMANEK, P.; KUCERIK, J.; LIPTAJ, T.; LOSAK, T. & MARTENSSON, A. Land use Effects on Carbon Quality and Soil Biological Properties in Eutric Cambisol. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. v. 61, p. 661 – 669. 2011

POURBABAEE, A. A.; DINEKABOODI, S. K.; HOSSEINI, H. M. S.; ALIKHANI, H. A.; EMAMI, S. Potencial Application of Selected Sulfur-Oxidizing Bacteria and Different Sources of Sulfur in Plant Growth Promotion under Different Moisture Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **Taylor & Francis Group, LLC**. 2020.

OLIVEIRA, R. J., SILVA, R. C. D. da, SILVA JUNIOR, G. S., MUNIZ, P. H. P. C., PELÁ, A. Oxidação de Enxofre Elementar em Diferentes Fontes e Doses de Fertilizantes. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 5, p.27735-27745, may. 2020.

OLIVEIRA, R. J. **Oxidação de Enxofre Elementar e Absorção Pelo Milho em Função de Diferentes Fertilizantes e Doses**. (dissertação mestrado). Universidade Estadual de Goiás. 2018.

OLIVEIRA, R. J., SILVA, R. C. D. da, SILVA JUNIOR, G. S., MUNIZ, P. H. P. C., PELÁ, A. Oxidação de Enxofre Elementar em Diferentes Fontes e Doses de Fertilizantes. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 27735-27745, may. 2020.

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. R.; SANTOS, J. P.; ANDRADE, M. J. B. de & ALCANTARA, H. P. de. Enxofre Aplicado na Cultura da Soja (*Glycine max* (L) Merrill). **Ciênc. Agrotec. Lavras**. v. 33, n.5, p. 1255-1259. 2009.

RITZ, C. W. & MERKA, W. C. Maximizing Poultry Manure Use Through Nutrient Management Planning. The University of Georgia – **Colleges of Agricultural and Environmental Science & Family and Consumer Sciences – Cooperative Extension**. B1245. 2009.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. de M.; GODINHO, T. de O. & FILHO, L. F. da S. S. Nutrição e Fertilização com Enxofre e Uso de Gesso em Plantações de Eucalipto. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n. 208, p. 01-14. 2015.

SÁNCHEZ, A. de J. C.; MEDINA, C. A. G. & RAMÍREZ, M. D. About *Bacillus cereus* and Food Safety (A Review). **Revista de Ciencias – Facultad de Ciencias Naturales y Exactas**. Universidad del Valle. n. 1, v. 22, p. 93-108. 2018.

SCHERER, H. W. Sulphur in crop production. **European Journal of Agronomy, Bonn, Germany**, v. 14, p. 81-111, 2001.

SEBASTIAN, A. M.; UMESH, M.; PRIYANKA, K. & PREETHI, K. Isolation of Plant Growth-Promoting *Bacillus cereus* from Soil and Its Use as a Microbial Inoculant. **Arabian Journal for Science and Engineering**. n. 46, p. 151-161. 2021.

SEVERO, P. J. da S. **Incubação e Doses de Enxofre Elementar Sobre os Atributos Químicos de um Solo com Excesso de Sais e Sódio**. (TCC) Universidade de Campina Grande. 2017.

STIPP, S. R., CASARIN, V. A Importância do Enxofre na Agricultura Brasileira. **Informações Agronômicas**, 2010.

SUZUKI, I. Oxidation of inorganic sulfur compounds: Chemical and enzymatic reactions. *Canadian Journal of Microbiology*. Ottawa, v. 45, p. 97-105. 1999.

TEWOLDE, H.; WAY, T. R.; BUEHRING, N. & JENKINS, J. N. Fertilizer Value of Poultry Litter Applied by Subsurface Band vs. Surface Broadcast in Corn Production. **Journal of Plant Nutrition**. 2022.

THORAT, T.; PATLE, B. K. & KASHYAP, S. K. Intelligent insecticide and fertilizer recommendation system based on TPF-CNN for smart farming. **Smart Agricultural Technology**, v. 3. 2023.

VANDECASTEELE, B.; REUBENS, B.; WILLEKENS, K.; DE NEVE, S. Composting for increasing the fertilizer value of chicken manure: Effects of feedstock on P availability. **Waste and Biomass Valorization**, v. 5, n. 3, p. 491–503, 30 ago. 2014.

VELIZ, C. G.; CRIADO, M. V.; GALOTTA, M. F.; ROBERTS, I. N. & CAPUTO, C. Regulation of senescence-associated protease genes by sulphur availability according to barley (*Hordeum vulgare* L.) phenological stage. **Annals of Botany**, n. 126, p. 435-444. 2020.

VILAIN, S.; LUO, Y.; HIDRETH, M. B. & BROZEL, V. S. Analysis of the Life Cycle of the Soil Saprophyte *Bacillus cereus* in Liquid Soil Extract and in Soil. **Applied and Environmental Microbiology**. n. 7, v. 72, p. 4970-4977. 2006.

WANI, F. S.; AHMAD, L.; ALI, T. MUSHTAQ, A. Role of Microorganisms in Nutrient Mobilization and Soil Health – A Review. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 9, n. 2, p. 1401-1410, 2015.

WYNGAARD, N.; CABRERA, M. L. Measuring and estimating sulfur mineralization potential in soils amended with poultry litter or inorganic fertilizer. **Biol Fertil Soils**. 51, p. 545-552. 2015.

ZHANG, C.; ZHANG, Q.; LUO, M.; WANG, Q. & WU, X. *Bacillus cereus* WL08 Immobilized on Tobacco Stem Charcoal Eliminates Butylated Hydroxytoluene in Soils and Alleviates the Continuous Cropping Obstacle of *Pinellia Ternata*. **Journal of Hazardous Materials**. n. 450, 131091. 2023.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar a eficiência do microrganismo *Bacillus cereus* na oxidação de enxofre elementar em matriz organomineral fosfatada.

Específicos

- Avaliar a eficiência de oxidação do enxofre elementar em matriz organomineral inoculado com *Bacillus cereus* 81R em condições controlada;
- Avaliar a disponibilidade de fósforo em matriz organomineral inoculado com *Bacillus cereus* 81R em condições controlada;
- Avaliar a colonização por *Bacillus cereus* 81R em matriz organomineral;
- Determinar parâmetros fitotécnicos e químicos em plantas de milheto (*Pennisetum glaucum*) cultivado em casa de vegetação com adubação organomineral.

CAPITULO I

(Publicação Ebook. **Desenvolvimento Agroquímico e Sustentabilidade Ambiental**.
cap. 5, p. 70 - 89. Editora IF Goiano, 2023. ISBN: 978-65-87469-42-3)

DIVERSIDADE DE MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL

Arizeu Luiz Leão Arantes¹
Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio¹
Rodrigo Braghiroli¹
Marilene Silva Oliveria¹
Marjorie Ariadeny Ferreira Barros Ribeiro¹
Marianna Azevedo da Silva¹

Resumo

Adubação é o processo de reposição dos nutrientes no solo para que as plantas produzam efetivamente. O uso correto da fertilização eleva a produtividade. A redução nas reservas e a elevação dos valores dos insumos, abriu estudos para novas técnicas de fertilização. A pesquisa bibliográfica pôde ocorrer utilizando-se diversas bases de dados como Scopus, Embrapa e livros. O uso do Scopus permitiu conhecer o número de produções ao longo do tempo para fertilizantes e fertilizantes organomineral. Fertilizante organomineral é um composto de matéria orgânica com fertilizante químico. Destacam-se entre as matrizes orgânicas os resíduos aviários, bovinos, suínos, sucroalcooleiros, lodo de esgoto e biochar. Tal estudo mostrou crescimento na produção e aplicação do organomineral, visando reciclagem e redução nos impactos ambientais.

Palavras-chave: Agroindústria, Cama Aviária, Suinocultura, Lodo de Esgoto, Sucroalcooleira.

Abstract

Fertilization is the process of replacing nutrients in the soil for plants to produce effectively. The correct use of fertilization increases productivity. The reduction in reserves and the increase in input values opened studies for new fertilization techniques. Bibliographic research can be carried out using several databases such as Scopus,

¹ Instituto Federal Goiano, IF Goiano - Campus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural

Embrapa and books. The use of Scopus made it possible to know the number of productions over time for fertilizers and organomineral fertilizers. Organomineral fertilizer is a compound of organic matter with chemical fertilizer. Among the organic matrices, poultry, cattle, swine, sugar-alcohol, sewage sludge and biochar stand out. The study showed the growth in the production and application of the organomineral aiming at recycling and reducing environmental impacts.

Keywords: Agroindustry, Chicken Bedding, Swine Farming, Sewage Sludge, Sugar-alcohol.

1. Introdução

Entende-se por adubos ou fertilizantes, compostos químicos, minerais, orgânicos, sintéticos, naturais ou misto (organominerais) que tenha um ou mais nutrientes que podem ser adicionados no solo para suprir em partes ou integralmente as necessidades nutricionais das plantas (MAPA, 2009). O uso adequado de insumos na nutrição das plantas, potencializa a produtividade devido a manutenção física e biológica do solo. Contudo, a utilização inadequada de fertilizantes pode resultar na intoxicação das plantas ou impactos ambientais indesejados (EMBRAPA, 2013).

Numa ordem cronológica, os relatos de adubação são observados desde 900 a 700 A.C., pelo poeta grego Homero, seguido de Theophrastus (372 a 287 A.C.), Columello no seu manual da agricultura (60 A.C.), pelo Tratado dos Sais e da Agricultura de Barnardo Palissy (1563) até o impulso científico a partir de 1750 que evoluiu em experimentações agrícolas em 1840 com Liebig, químico alemão e o pai da química agrícola pela publicação de estudos que fundamentais na produção industrial de fertilizantes. Assim o avanço da ciência e tecnologias, possibilitou aprimorar processos que tornam possíveis maiores rendimentos, menores custos e maior produtividade nos novos fertilizantes (COELHO E VERLENGIA, 1988).

Nas últimas décadas implementou de no Brasil várias práticas agrícolas, principalmente com a utilização de biofertilizante, bioinsumos, plantio direto, fixação biológica de nitrogênio no solo entre outros processos que reduziu o uso de fertilizantes químicos. A aplicação de técnicas modernas na agricultura sustentável contribui para o aumento sucessivo na produtividade impulsionando o mercado verde interno do país,

aumento na exportação como de carne bovina, aves, soja, café, açúcar e suco de laranja (MAPA, 2019/2020).

O fertilizante organomineral é um produto fruto de matéria orgânica principalmente das agroindústrias enriquecido com fertilizante mineral. Ao longo das últimas décadas é um produto que ganhou espaço na agricultura mundial pelas suas características nutricionais como, maior concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, com empregabilidade em menores quantidades por área (HOROWITZ; JOSÉ MEURER, 2006).

O fertilizante orgânico e organomineral considerando sua natureza possui diversas aplicações como foliar, fertirrigação, hidroponia, sementes, fluido, em solução e outros. Sua classificação está vinculada a origem da matéria-prima de produção, e dividido em classes: (A) de origem vegetal, animal ou de processamento da agroindústria, (B) oriundo de atividade industrial ou da agroindústria com metais pesados ou compostos orgânicos sintéticos tóxicos, (C) provenientes de lixo domiciliar e (D) oriundos de dejetos sanitários. A especificação do organomineral segue parâmetros estabelecidos no artigo 8º para sólidos com teor de carbono orgânico 8%, umidade máxima 30%, CTC mínimo de 80 mmolc Kg⁻¹, macronutrientes primários 10% para misturas NP, NK, PK ou NPK e macronutrientes secundários com 5% para cada um na formulação. Quanto a solubilidade, a tolerância é de 1% de resíduo sólido a 20° C expresso em g L⁻¹. A granulometria seguiu a ABNT nº 5 e nº 8, com percentual de 5% retido em peneiras de 1 e 4 milímetros. Para comercialização no Brasil, os produtos necessitam estar devidamente embalados ou acondicionados em recipientes adequados com rótulos e todas as informações relacionadas do produto e do fabricante conforme Instrução Normativa DAS/ MAPA 25/ 2009 de 28 de Julho de 2009. (MAPA, 2009).

O ano de 2020 foi declarado o ano Internacional das Nações Unidas para a Sanidade Vegetal pela ONU, buscando potencializar a consciência de proteger a sanidade das plantas, focar em soluções para extirpar a fome, minimizar a pobreza, abroquelar o meio ambiente e alavancar o desenvolvimento econômico. Essa visão no Brasil, como referência no agronegócio mundial, ainda possui megabiodiversidade a ser explorada para redução no consumo de insumos, custos produtivos e produtos tóxicos altamente nocivos e poluentes (VIDAL; SALDANHA; VERISSIMO, 2020).

Recentemente o governo implementou o Plano Nacional de Fertilizantes, objetivando intensificar a produção agrícola brasileira reduzindo as importações de

insumos utilizados na agricultura. O plano abrange de 2022 até 2050 com estimativa de redução de 30% da dependência nacional da matéria prima importada, aumentando o poder competitivo do agronegócio nacional, superação dos desafios atuais como redução da dependência tecnológica externa e no fornecimento de insumos, além da modernização, reativação e ampliação de projetos industriais já existentes vislumbrando investimentos para adequação da infraestrutura nacional (MAPA, 2022). O objetivo deste trabalho é demonstrar os registros das principais publicações sobre a diversidade de matéria prima na produção e aplicação de fertilizante organomineral.

2. Métodos

O presente levantamento bibliográfico se deu pela base de dados Scopus, livros e site da Embrapa, com vistas a delinear as publicações referente a temática proposta. Os termos de busca estão no quadro 1 quanto a busca no SCOPUS.

Quadro 1- Quadro de termos utilizados para buscas no Scopus

	Termo	Campos
1	<i>Fertilizer</i>	Article title, Abstract, Keywords
2	<i>Organomineral fertilizer</i>	Article title, Abstract, Keywords

Fonte: Autores 2022.

3. Desenvolvimento de organomineral no contexto de publicações mundiais

3.1 Publicações Com Fertilizantes

A pesquisa relacionada ao tema “fertilizer”, apresentou o quantitativo de cento e vinte cinco mil e duzentas e oitenta e cinco publicações (Figura 1), pois trata se de um termo de ampla abrangência e relacionado a várias categorias de matérias prima para produção de fertilizantes. Nota- se a grande demanda das publicações nos últimos anos, chegando a treze mil e quinhentos e noventa publicações no ano de 2021, com tendência ao crescimento por fatores ligados ao meio ambiente devido aos grandes impactos sofridos.

Figura 1-Incidência de publicações com o termo “fertilizer” na base de dados Scopus



Fonte: Autores 2022.

3.2 Fertilizantes Organo

O termo “organomineral fertilizer” (Figura 2), apresentou no período cronológico estudado, um total de 257 artigos, com picos nos anos de 2014, 2020 e 2021 e 59 publicações no período de 2015 a 2021, utilizando diversas bases orgânicas na produção de fertilizante organomineral. Voltando a identificar o crescimento mundial recente na utilização de fertilizante organomineral principalmente em condições tropicais visando economia e sustentabilidade (RODRIGUES et al., 2021).

Figura 2 – Números de publicações com o termo organomineral fertilizer na base de dados Scopus

Fonte: Autores 2022.

O fertilizante organomineral é uma fonte de composto orgânico que pode agregar melhora na qualidade do solo, principalmente nas suas propriedades físicas e de produtividade. Sua eficiência agrônômica foi avaliada em um Cambissolo Húmico da região subtropical brasileira, constatando desempenho equivalente ao fertilizante mineral, podendo substituí-lo (MUMBACH et al., 2020). O índice de eficiência agrônômica com a utilização de fertilizante organomineral de cama de frango, foi superior em 20% com relação a aplicação de fertilizante mineral na cultura de milho, pois o mesmo possuía um conteúdo inicial maior de P (GROHSKOPF et al., 2019a).

A utilização de fertilizante organomineral além de respostas positivas no controle de pH e redução de lixiviação, também pode mitigar os efeitos do estresse salino principalmente em regiões semiáridas. Com a aplicação do biofertilizante bovino, o estresse salino do cultivar amendoim irrigado reduziu, aumentando a eficiência no uso da água nos 40 dias pós plantio (DE SOUSA et al., 2021). A combinação da cama de frango com o MAP na plantação de tomate, apresentou maior crescimento de 15-28% nas plantas pelo fornecimento P necessários para demanda da planta (NGO et al., 2021).

No cultivo de eucalipto, o fertilizante organomineral politizado apresentou aumento nas respostas morfofisiológicas como maior diâmetro, altura do colo, altura da planta, conteúdo de clorofila a e b, biomassa microbiana e atividade microbiana (DELVAUX et al., 2021). As estratégias de uso de produtos na agricultura têm como

finalidade aumentar a fertilidade do solo. O lodo de esgoto biodigeridos estabilizado com remoção de patógenos produzindo fertilizante organomineral, tornou se redução de subprodutos de tratamento de efluentes (NASCIMENTO et al., 2020).

3.2.1. Organomineral de Agroindústria:

3.2.1.1 Cama aviária

O composto com cama aviária apresentou melhoras na concentração de matéria orgânica, mais estabilidade com relação ao consumo de oxigênio, melhorando a disponibilidade do P para as plantas no solo e redução nas perdas de nutrientes por lixiviação (VANDECASTEELE, et al., 2014). O aumento do valor dos fertilizantes de P, intensifica a dificuldade na sua aplicação. Dessa forma compostos orgânicos como cama aviária veem sendo um produto de grande interesse, pois fornece P mineralizado na forma de ortofosfato para as plantas (MACKAY, et al., 2017). O fertilizante organomineral fosfatado surgiu para redução na dependência de produtos químicos, possibilitando reduzir ou substituí-lo com eficácia, uma vez que a matéria orgânica promove a recuperação de P possibilitando sua absorção e aumento no rendimento da biomassa nas plantas (FRAZÃO et al., 2019).

O desenvolvimento de produção de fertilizante organomineral de dejetos aviários em experimento de campo com 3 fatores, reflete no aumento de indicadores positivos agroquímicos na fertilidade do solo podendo ser recomendado para substituição do fertilizante convencional (CHEBYKINA et al., 2021). Entre outras culturas a produção do grão de café busca otimização em seus resultados, sendo que muitos estudos buscam viabilidade em suas aplicações. O esterco de galinha em cafeeiro irrigado, garantiu a uniformidade das fontes nutricionais orgânicas aumentando a produtividade em aproximadamente 10% quando comparado com adubações estritamente mineral (FERNANDES et al., 2021). A interação entre nutrientes pode promover mudanças significativas tanto no solo quanto nas plantas. Variados tratamentos com milho em vaso em casa de vegetação foram analisados, evidenciando o aumento da sinergia entre os nutrientes com maior interação do P e N na biomassa seca da parte aérea, e aumento da interação dos nutrientes na planta ao longo do período de cultivo com aplicação de cama de frango (GROHSKOPF et al., 2019b).

3.2.1.2. Agroindústria: Sucroalcooleira

A indústria sucroalcooleira com sua diversidade de subprodutos, possibilita a utilização de alguns deles como fertilizantes organominerais e fertirrigantes. Os resíduos de valores nutritivos que são utilizados como fertilizante são a vinhaça e a torta de filtro. A vinhaça é obtida no processo produtivo do álcool, proveniente da fermentação do melaço ou da fermentação do caldo de cana. A torta de filtro é extraída da filtração do caldo nas moendas do filtro rotativo, constituída de 1,2 a 1,8% de fósforo em média, 70% de umidade, alto teor de cálcio e teor considerável de micronutrientes, e com potencial nutritivo desse já é conhecido a muitos anos, contudo somente nos últimos 20 anos com o aumento dos insumos químicos, que se intensificou sua utilização (EMBRAPA, 2019).

A torta de filtro é uma mistura de bagaço moído e o lodo decantado proveniente do tratamento do caldo de cana. Esse produto emerge de filtros rotativos após extração de sacarose residual do lodo, sendo o principal resíduo orgânico para produção de organomineral da cana – de – açúcar desde final a década de 90 (ANDRÉ GONÇALVES et al., 2021).

3.2.1.3 Agroindústria: bovinocultura

Uma grande parte da população está vivendo em situação de crise aguda alimentar. Com a elevação dos valores combinada com a baixa renda da população, pesquisadores propõem o uso de vegetais com alto poder nutritivo. A moringa entra nesse cenário com grande poder nutritivo, além de estar envolvida na imobilização de poluentes da água em regiões contaminadas por metais pesados. Sendo assim estudos mais recentes utilizam a combinação de várias dosagens do fertilizante mineral com esterco bovino para aumento do valor nutricional de vegetais como a moringa (KWEY et al., 2018).

A união de matriz orgânica com um mineral rico em nutrientes, produz fertilizantes mais eficientes com redução de custos e minimização de resíduos agroindustriais. Com o desenvolvimento de novas tecnologias para aumento na eficiência, formulações de fertilizantes propõem a liberação lenta de nutrientes reduzindo a perda por lixiviação e aumentando a sua eficiência. Nesse contexto estudos com fertilizantes produzidos com fontes de matéria orgânica de conteúdo ruminal de bovinos de corte e fertilizante mineral emergem como produtos com grande eficiência nutricional (AUGUSTO DE SOUZA MAGALHÃES et al., 2017).

A produção de morango limita se a certas regiões nordestinas durante o outono e o inverno. No entanto, para outras regiões pode se utilizar ambientes climatizados que criam condições artificialmente propícias a produtividade. Para redução do uso de adubação mineral, a utilização de biofertilizante líquidos derivados de bovinos e até mesmo de caprinos, mostra se como uma forma eficaz no fornecimento de nutrientes essenciais a planta. Essa técnica busca componentes com menor agressão ao meio ambiente com redução na aplicação da adubação mineral (CHAGAS et al., 2018).

3.2.1.4. Agroindústria: suinocultura

As tecnologias recentes para produção de fertilizantes veem buscando novas matrizes. Nesse ponto o resíduo agrícola torna se um atrativo, assim dejetos líquidos da suinocultura, é transformado em fertilizante organomineral com valioso potencial ambiental e grande benefício econômico. Sua combinação com os fertilizantes minerais, possibilita tratar os resíduos, liberando sua aplicação em terras agrícolas, eliminando o risco de contaminação da hidro e litosfera, aumentando a fertilidade, as reservas de carbono e nutrientes do solo e conseqüentemente aumentando a atividade enzimática no local de sua aplicação (KULIKOVA et al., 2020).

Resíduos orgânicos tornar se matéria prima para produção de fertilizante organomineral. Os resíduos suínos podem ser citados como exemplo de matriz para produção de fertilizante devido as suas propriedades, pois torna a mistura dispersa de solução aquosa de sais minerais e compostos orgânicos com partículas de excrementos e alimentos em um produto de alto valor nutricional (GRIBUT; KULIKOVA; KASHARIN, 2020). A eficiência dos fertilizantes organomineral, está relacionada a tecnologia de reaproveitamento de matéria orgânica. Uma formulação de fertilizantes fluídos de dejetos suínos para disponibilização de P e N, apresentou grande eficácia agrônômica com relação a matrizes sólidas como fonte de liberação dos nutrientes para adubação em solos arenosos (GROHSKOPF et al., 2020).

3.2.1.5. Biochar

O biocarvão é um produto com carbonos produzido a partir da biomassa orgânica pirolisada em condições de oxigenação controlada. Seu manejo no solo pode aumentar a fertilidade e a produtividade, e melhorar as condições físico química do solo, como pH, trocas catiônicas, retenção de água e enriquecimento de minerais no solo, proporcionando

redução na utilização de fertilizantes, aumentando o crescimento, saúde e produtividade das plantas (KUMAR et al., 2021). O biochar pode ser produzido com a utilização de diversas matrizes como estrume, madeira, resíduos de cultura e urbanos. O lodo de esgoto com o tratamento térmico por pirólise transforma-se em um fertilizante multi-nutriente, considerado rico em nutrientes, carbono e livre de patógenos devido ao processo produtivo (FACHINI et al., 2021).

O biochar é um produto sólido obtido da pirólise da biomassa com limitação ou baixa concentração de oxigênio. Os resíduos de madeira é um exemplo de material que pode ser convertido em biochar, considerado ser uma grande fonte de biomassa, e posteriormente desempenhando um papel de correção e melhoramento na qualidade do solo. Na aplicação ambientalmente favorável, combina-se fertilizantes minerais com biochar, tornando-o num produto atraente em liberação gradativa de nutrientes, especialmente P e com melhor viabilidade financeira (POGORZELSKI et al., 2020).

3.2.1.6. Lodo de tratamento de águas residuais

A alta na demanda por maiores resultados agrícolas para suprir o crescente consumo de alimentos ligado ao aumento populacional nas últimas décadas, esgotamento de recursos minerais e aumento na produção de resíduos urbanos, como lodo esgoto, promoveram a aplicação de técnicas para reutilização de resíduos. Como possibilidade do descarte do lodo de esgoto, sua reutilização na fabricação de fertilizante organomineral torna-se uma alternativa para reduzir o acúmulo em aterros sanitários pois é matéria-prima rica em nutrientes, matéria orgânica e atividade microbiana (RODRIGUES et al., 2021).

Os fertilizantes organominerais são uma alternativa na redução do uso de fertilizantes minerais possuindo a vantagem de utilizar passivos ambientais na sua composição. O processo de tratamento do lodo, consiste na separação da parte sólida do líquido, promovendo retorno do efluente ao meio ambiente com redução dos impactos. O lodo é uma matriz rica em matéria orgânica e nutrientes, que recebendo o tratamento adequado e suplementado com fertilizantes minerais, pode ser utilizado na agricultura para adubação (DE MORAES et al., 2020). Os lodos de esgotos dentre os resíduos orgânicos, são os que levantam grande preocupação no seu descarte. Sendo assim a melhor estratégia para sua disposição, é seu uso na agricultura associado com fertilizante mineral, permitindo recuperação de nutrientes, melhora na qualidade do solo e redução dos custos com fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2020).

4. Aplicação do fertilizante organomineral

4.1. Organomineral No Cultivo Do Melão

O Melão (*Cucumis melo L.*) é uma hortaliça pertencente a família da melancia e do pepino, fonte de fibras, fósforo, cobre, enxofre, ferro, cálcio, vitaminas A, C e B. É originário da África e da Ásia e no Brasil possui grande impacto na região nordeste tanto nas áreas econômicas quanto sociais. A maior parte de produção é destinada ao mercado Europeu, com 99% das exportações, ficando 2% para Ásia e Oriente Médio, com aspectos sociais e econômicos, pois os impactos financeiros que fertilizantes incidem sobre os custos, podendo representar incidência de 25 a 50% no valor do produto final (DOS SANTOS et al., 2020).

Em trabalho realizado na região de Juazeiro (BA), Santos et al. (2020a) em área de solo caracterizado como Neossolo flúvico de textura franco arenosa, obteve aumento de 13 t ha⁻¹ com relação a testemunha na produtividade e também na qualidade do melão Gladial na aplicação de fertilizante organomineral associada a fertirrigação na dose de 2228 mL ha⁻¹, em duas safras com 75 dias após a semeadura. A produtividade do melão Mirage com a aplicação de biofertilizante misto composto por dejetos bovinos, aviários, cinza e água, mostrou grande eficiência, maior produtividade, espessura e cavidade de polpa com relação ao controle, devido a contribuição nutricional que permite maiores reações fotossintéticas, produzindo mais carboidratos aumentando massa e produtividade (SILVA DOS SANTOS et al., 2019).

4.2. Organomineral No Cultivo De Tomate

O tomate (*Lycopersicon esculentum*) é uma hortaliça da família solanácea herbácea. Da sua família também fazem parte berinjelas, pimentas e pimentões. No Brasil é uma das hortaliças mais consumidas, possui licopeno que auxilia no combate ao câncer, rico em vitaminas A e C. O seu cultivo é muito exigente dos nutrientes N, K, Ca, S, P e alguns metais como Mg, Cu, Mn, Fe e Zn¹² (PERES; TERRA; REZENDE, 2020).

No trabalho de (ROSSET et al., 2016) com mudas da variedade híbrida *Tyta*, que possui resistência a *TomV*, *fusariose* e *TyLCV*. O tratamento composto por adubação mineral N-P-K (10-10-10) + fertilizante organomineral Crop⁺, após o transplantio, e adubação realizada nos dias 1, 24, 40, 65, 79, 91, 105, 119 e 133 com fertilizante

organomineral foliar na dose 2×10^{-3} L/ L H₂O, teve produtividade de 12314,67 Kg ha⁻¹, produzindo maior rendimento em comparação com as médias dos outros tratamentos.

Peres, Terra e Resende (2020) destacou a importância da utilização do adubo organomineral, com as melhorias no solo propiciando aumento do número, peso médio, massa fresca e massa seca de frutos por planta na cultura de tomateiro híbrido, cultivar CVR 2909. Mostrando que os resultados com a adubação organomineral utilizado no trabalho em cobertura no cultivo de tomateiro industrial, recebem atributos possibilitando aumento da produtividade e redução na utilização de fertilizantes minerais.

4.3. Organomineral No Cultivo Da Batata

A batata (*Solanum tuberosum L.*) originou se na região dos Andes peruanos e bolivianos, com cultivo milenar. No século XVI foi importada para Europa, e sendo dispersadas por vários outros países, inclusive implantada no Brasil (SCHLEGEL et al., 2018). Possui grande impacto econômico nacional, devido a produtividade que são ligadas as condições climáticas regionais e a evolução tecnológica, gerando a necessidade de processos de produção mais eficazes (ISMAEL TEIXEIRA GOMES et al., 2019).

DE SOUZA et al., 2017 analisando o potencial do fertilizante organomineral comercial no cultivar de batata *Asterix*, observou que houve aumento na produtividade da classe especial com a utilização do produto Acorda aplicado durante o plantio no sulco, pois o fertilizante organomineral líquido, é composto por aminoácidos, carbono orgânico, fósforo, molibdênio e cobalto que são elementos participantes integrais nas etapas de germinação, enraizamento, respiração, fotossíntese e síntese de proteínas pelas plantas.

A batata *Atlantic* é uma das mais cultivada no país. No ciclo produtivo aplicando 2975 kg ha⁻¹ de fertilizante organomineral, obteve um aumento na sua produtividade (CARDOSO; LUZ; LANA, 2015). Para batata inglesa branca, o rendimento na produtividade está diretamente relacionado ao aumento da dose de P da matriz aplicada. Sendo que a disponibilização dos nutrientes pelo fertilizante organomineral, mais lenta e de forma gradativa as plantas possibilita maiores rendimentos e maior aproveitamento da disposição dos nutrientes (ISMAEL TEIXEIRA GOMES et al., 2019).

6. Considerações Finais

O mercado de fertilizante organomineral está mundialmente em ascensão. As ações da humanidade de proteção ao meio ambiente estão criando a conscientização de

reaproveitamento de materiais orgânicos, como resíduos ou dejetos que possuem grande potencial nutritivo para plantas. A crescente demanda por alimentos, incentiva os agro - empresários a buscar produtos com maior produtividade agrícola. A elevação no valor das matérias prima minerais, coloca estudos de produção de novos produtos com grande eficiência cada vez mais necessário. O campo da fertilização, é uma área vastamente a ser explorada por produtos de alta capacidade nutricional e ambientalmente correto.

7. Agradecimentos

Aos laboratórios: Fitoquímica e Fertilizantes Organominerais, Águas e Efluentes, Central Multiusuário de Análises e Microbiologia do IF Goiano – Rio Verde. Os autores agradecem à FAPEG e à CAPES pelo apoio financeiro aos projetos científicos e ao e-book.

8. Financiadores

Aluno bolsista Projeto financiado pela CAPES/ FAPEG

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ GONÇALVES, C. et al. 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, p. e0236852, 15 dez. 2021.

AUGUSTO DE SOUZA MAGALHÃES, C. et al. Eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados em mudas de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 80–85, 20 dez. 2017.

CARDOSO, A. F.; LUZ, J. M. Q.; LANA, R. M. Q. Productivity of potato tubers “Atlantic” as a function of organomineral fertilizer use. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 80–89, 1 out. 2015.

CHAGAS, K. L. et al. Agronomic performance of strawberry plants under growing environments and organomineral fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 331–339, 1 out. 2018.

CHEBYKINA, E. V. et al. **Changes in agrochemical indicators in an agricultural landscape with sod-podzolic soils against the background of the use of non-traditional fertilizers.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...**IOP Publishing Ltd, 21 dez. 2021.

DE ALMEIDA, M. J. et al. Replenishment of water and fertilization with organo-mineral in the growth and production of industrial tomato. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 69–85, 29 mar. 2019a.

DE ALMEIDA, M. J. et al. Replenishment of water and fertilization with organo-mineral in the growth and production of industrial tomato. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 69–85, 29 mar. 2019b.

DELVAUX, J. C. et al. Soil quality bioindicators in initial eucalyptus growth under organomineral fertilization based on sugarcane filter cake. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 4, p. 602–609, 2021.

DE MORAES, E. R. et al. Yield and biometry of fertilized sugar cane with organomineral fertilizer of sewage sludge and biostimulant. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 5, p. 1564–1576, 1 set. 2020.

DE SOUSA, J. T. M. et al. Physiological Responses IF Peanut Crops to Irrigation With Brackish Waters and Aplicativo of Organo-mineral Fertilizers.<sup/>. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 682–691, 15 set. 2021.

DE SOUZA, B. U. et al. Agronomic efficiency of liquid biofertilizers in potato cultivar Asterix. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 12, n. 4, p. 405–409, 2017.

DOS SANTOS, E. N. et al. Organic and mineral fertilizer in the culture of melons in the sub-middle valley of the river São Francisco. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1233–1250, 1 out. 2020.

EMBRAPA. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1 ed, pág. 107 – 110. Seropédica – RJ. Editora Universidade Rural. 2013.

EMBRAPA. **Adubação Resíduos Alternativos**. AGEITEC – EMBRAPA. 2019.

FACHINI, J. et al. Novel K-enriched organomineral fertilizer from sewage sludge-biochar: Chemical, physical and mineralogical characterization. **Waste Management**, v. 135, p. 98–108, 1 nov. 2021.

FERNANDES, A. L. T. et al. Adubação orgânica e organomineral do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. Supl. 1, p. 1–14, 1 dez. 2021.

FRAZÃO, J. J. et al. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses. **Geoderma**, v. 337, p. 582–593, 1 mar. 2019.

FRAZÃO, J. J. et al. A poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer has higher agronomic effectiveness than conventional phosphate fertilizer applied to field-grown maize and soybean. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 21, 1 nov. 2021.

GRIBUT, E. A.; KULIKOVA, M. A.; KASHARIN, D. V. **Optimization of organic fertilizers production technology for fractional separation of biodegradable organic waste**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...IOP Publishing Ltd**, 1 set. 2020.

GROHSKOPF, M. A. et al. Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Khandiudox with a high phosphorus content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 7 out. 2019a.

GROHSKOPF, M. A. et al. Interaction between Phosphorus and Nitrogen in Organomineral Fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 21, p. 2742–2755, 30 nov. 2019b.

GROHSKOPF, M. A. et al. Efficiency of fluid organomineral fertilizer with pig slurry in nitrogen and phosphorus availability. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 84–93, 2020.

HOROWITZ, N.; JOSÉ MEURER, E. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. 2006.

ISMAEL TEIXEIRA GOMES, J. et al. **Nível crítico de fósforo em batata-inflesa sob adubação mineral e Organo-mineral**. 2019.

KULIKOVA, M. A. et al. **Environmental assessment of the impact of ammophos-based organic fertilizers on the environment**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...IOP Publishing Ltd**, 4 nov. 2020.

KUMAR, A. et al. Fertilizing behavior of extract of organomineral-activated biochar: low-dose foliar application for promoting lettuce growth. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 1 dez. 2021.

KWEY, M. M. et al. Evaluation of the growth and the nutritional status of the leaves and roots of moringa oleifera under the influence of organomineral amendments in Humid tropical region. **Tropicultura**, v. 37, n. 2, p. 1–21, 2018.

MACKAY, J. E. et al. Organic amendments as phosphorus fertilisers: Chemical analyses, biological processes and plant P uptake. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 107, p. 50–59, 1 abr. 2017.

MAPA. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA**. 2009.

MAPA. **Experiências da agricultura orgânica reduzem uso de insumos e custos da produção — Português (Brasil)**. 2019. Disponível em:

<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/experiencias-da-agricultura-organica-reduzem-uso-de-insumos-e-custos-da-producao>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

MAPA. **Mapa e CBI lançam Plano de Investimento para Agricultura Sustentável — Português (Brasil)**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-e-cbi-lancam-plano-de-investimento-para-agricultura-sustentavel>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA_decreto Plano Nacional de Fertilizantes 2022. 2022.

MUMBACH, G. L. et al. Agronomic efficiency of organomineral fertilizer in sequential grain crops in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 4, p. 3037–3049, 1 jul. 2020.

NASCIMENTO, A. L. et al. Chemical attributes of sewage sludges: Relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120746, 10 jun. 2020.

NGO, H. T. T. et al. Development of an organomineral fertiliser formulation that improves tomato growth and sustains arbuscular mycorrhizal colonisation. **Science of The Total Environment**, p. 151977, 26 nov. 2021.

OLIVEIRA, R. J. et al. Oxidação de enxofre elementar em diferentes fontes e doses de fertilizantes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27735–27745, 2020.

PERES, L. A. C.; TERRA, N. F.; REZENDE, C. F. A. Produtividade do tomate industrial submetido a adubação organomineral em cobertura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10586–10599, 2020.

POGORZELSKI, D. et al. Biochar as composite of phosphate fertilizer: Characterization and agronomic effectiveness. **Science of The Total Environment**, v. 743, p. 140604, 15 nov. 2020.

RODRIGUES, M. M. et al. Sewage sludge as organic matrix in the manufacture of organomineral fertilizers: Physical forms, environmental risks, and nutrients recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127774, 1 set. 2021.

ROSSET, E. et al. **Efeitos de fertilizante organomineral na produção de tomate (Lycopersicon esculentum)** Effects of Fertilizers organic in tomato production (Lycopersicon esculentum). v. 25, n. 2, p. 12–17, 2016.

SCHLEGEL, G. et al. **Manejo de solo e adubação na implantação da cultura da batata na região de Guarapuava - PR.** Soil management and fertilization in the implementation of potato culture in the region of Guarapuava - PR. 2018.

SILVA DOS SANTOS, V. et al. **Rendimento de milho após aplicação de fertilizantes orgânico e mineral como estratégia de melhoria da fertilidade do solo.** 2017.

VANDECASTEELE, B. et al. Composting for increasing the fertilizer value of chicken manure: Effects of feedstock on P availability. **Waste and Biomass Valorization**, v. 5, n. 3, p. 491–503, 30 ago. 2014.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERISSIMO, M. A. A. Bioinsumos_o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. **Sanidade Vegetal**, p. 382–410, 2020.

CAPÍTULO II

POTENCIAL OXIDATIVO MICROBIANO SOBRE ENXOFRE ELEMENTAR EM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL

2.1. INTRODUÇÃO

Presenciando um momento delicado na história do planeta com o avanço populacional. A ascensão científica na área da saúde possibilitou melhor qualidade de vida (PISON, 2022), aumentando a população mundial de 2,5 bilhões de pessoas em 1950 para mais de 8 bilhões de pessoas no ano de 2022 (TUPY, 2022).

Além das questões sociais, tem-se vivido muitos desafios em relação ao crescimento demográfico mundial (GOUJON, 2022), tais como questões ambientais e o maior dos dilemas, produção e segurança alimentar para população (BENITES *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2023).

Tais desafios são bases de inúmeras pesquisas acadêmicas e tema central de aperfeiçoamento tecnológico para produção agrícola sustentável (RATKE *et al.*, 2021), focando no aproveitamento de resíduos que causam danos severos ao meio ambiente (NASCIMENTO *et al.*, 2020; FRAZÃO *et al.*, 2021).

A liberação gradual dos fertilizantes organomineral (CARDOSO *et al.*, 2019), a inserção de nutrientes (enxofre) (TISDALE *et al.*, 1993) e micro-organismos simbiotes (OLIVEIRA, 2018) com a utilização de fontes alternativas (cama aviária) (CRIPPEN *et al.*, 2021) são algumas das práticas que apresentam excelentes resultados para o bom desenvolvimento das plantas cultivadas e aumento de produtividade (FRAZÃO *et al.*, 2021; REZENDE *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Para uma produção de sucesso, é preciso que as plantas recebam quantidade adequada de nutrientes durante o cultivo (CAMPOS *et al.*, 2013) e muitas vezes uma alta quantidade de compostos são aplicados nos solos (BENITES *et al.*, 2022) que tendem a ficar condicionados para futuros plantios (WITHERS *et al.*, 2018).

A depender da fonte de fertilizante utilizada na produção agrícola, uma cadeia de eventos pode levar a modificação da fauna microbiana (POSPISILOVÁ *et al.*, 2011), eutrofização das águas (BENITES *et al.*, 2022), emissão de gases nocivos na atmosfera ou perdas de nutrientes (FRAZÃO *et al.*, 2021; REZENDE *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

No intuito de aproveitar subprodutos industriais com alto valor para a agricultura, técnicas para a formulação de fertilizantes são desenvolvidas para minimizar os impactos ambientais e promover o cultivo agrícola que atenda adequadamente as necessidades do mercado, emergindo o fertilizante organomineral.

Organomineral é um produto oriundo da combinação de matrizes orgânica e fertilizante mineral (HOROWITZ & MEURER, 2006), seus componentes orgânicos lhe permitem troca catiônica (CERRI, 2011), recicla materiais orgânicos (como cama aviária) permitindo liberação lenta de nutrientes (FRAZÃO *et al.*, 2021) e redução nos impactos ambientais (BENITES *et al.*, 2022).

A cama aviária é um resíduo agroindustrial formado por material vegetal (serragem de madeira, palha de arroz ou casca de amendoim), excremento de aves, penas, derrame de ração entre outros (BRUNEROVÁ *et al.*, 2020), que pode ser aplicada diretamente no solo (CRIPPEN *et al.*, 2021). Em volumes excessivos causa riscos ao solo, aos seres humanos e animais (NASCIMENTO *et al.*, 2020) como a poluição que leva a eutrofização de lagos e rios pelo escoamento de nutrientes (BENITES *et al.*, 2022).

Contudo, possui grande potencialidade para produção de fertilizantes pela presença de nutrientes como enxofre, nitrogênio e fósforo (BENITES *et al.*, 2022), possibilitando aumento no teor de matéria orgânica (COSTA *et al.*, 2009), influenciando na biomassa microbiana do solo (POSPISILOVÁ *et al.*, 2011).

Enriquecida com enxofre promove disponibilidade adequada de sulfato, resultando na redução do pH, levando a solubilidade e absorção de outros nutrientes como N e P pelas plantas (CHAUDHARY *et al.*, 2022 & PRAJAPATI *et al.*, 2022).

A utilização da cama aviária no organomineral reduz impactos ambientais usufruindo dos nutrientes disponíveis (FRAZÃO *et al.*, 2021), reduz lixiviação, custos e melhora a fertilidade do solo (ZECH *et al.*, 1997; BRITO *et al.*, 2005; PAULETTI *et al.*, 2008).

Quando combinada na forma de organomineral com enxofre e microrganismos, possibilita a demanda nutricional necessária para as plantas (REZENDE *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A partir das peculiaridades citadas anteriormente, a utilização do fertilizante organomineral produzido pela combinação de cama aviária, enxofre, termofosfato e *Bacillus cereus* 81 R apresentam potencial de contribuir com as melhorias de

características físicas, químicas, biológicas em solos e na disponibilidade nutricional para as plantas.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Oxidação de S^o *in vitro*

2.2.1.1. Coleta e determinação das características químicas do solo

O experimento *in vitro* foi realizado no Laboratório de Fertilizantes Organominerais (FOMLab) do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e os ensaios *in vivo* foram conduzidos em casa de vegetação do setor de olericultura da mesma instituição. Os ensaios foram realizados entre os meses de abril e dezembro de 2022.

Foi utilizado solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico (LVdf), fase cerrado, de textura argilosa (SANTOS *et al.*, 2018) coletado na camada 0.0 – 0.30 m de profundidade a uma latitude 17°48'24,04" S e longitude 50°54'20,82" W (+/- 2 m), em altitude de aproximadamente 750 m em área de cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde - GO.

As características físico-químicas do solo das amostras coletadas foram analisadas de acordo com metodologia proposta por Silva (2009). Em que o material foi seco, destorroado, separado por tamização e homogeneizado da fração < 2 mm, denominado de terra fina seca ao ar (TFSA).

2.2.1.2. Preparo e formulação dos fertilizantes organominerais

A cama de aviário foi fornecida por avicultor da cidade de Rio Verde - GO. Foi realizado a análise química para a determinação dos constituintes presentes na cama de aviário de acordo com metodologia Viçosa (2005). O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65°C por 72 h. Posteriormente triturada em moinho de bolas, tamizada utilizando peneira ASTM 400 - Tyler 400 mesh.

Foi utilizado o Termofosfato YOORIM[®] Master 1 Si, como matéria-prima termofosfato magnésiano de registro MG-90432-10124-7. Adotou-se processo de

tamisação utilizando peneira ASTM 400 - Tyler 400 mesh para padronização da granulometria dos compostos.

Como agente solubilizador de enxofre foi utilizado o isolado 81R de *Bacillus cereus*, disponibilizado pelo laboratório de microbiologia agrícola do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. O crescimento e a multiplicação de *B. cereus* 81R foi de acordo com metodologia proposta por Tortora, Case & Funke (2016), com adaptações. Para o preparo do meio de cultura, utilizou solução aquosa com 40 g de caldo de carne, 22 g açúcar em 1000 mL de água destilada. Os fracos contendo o meio de cultivo foi mantido em incubação durante sete dias, em agitação de 120 rpm, com temperatura de $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Em seguida, o meio foi centrifugado a 3500 rpm, durante 10 min. O precipitado foi liofilizado.

Os fertilizantes foram produzidos em granulador de disco rotativo desenvolvido no FOMLab. O desenvolvimento do organomineral foi realizado conforme os parâmetros de concentração e granulometria fornecidos pela Instrução Normativa nº 61 de 8 de julho de 2020. A formulação definida foi de 60% de base orgânica, 30% Termofosfato e 10% de enxofre elementar com e sem microrganismos solubilizadores de enxofre e fósforo. Foram dispersados 24 g dos cultivados de *B. cereus* 81R em 36 g de amido de milho para a incorporação ao fertilizante durante o processo de granulação. Para melhor enrijecimento dos grânulos, adicionou 1% de amido de milho na formulação (MAPA, 2020).

A cama aviária tamizada, o fertilizante mineral, o amido de milho e o microrganismo foram homogeneizados, umedecidos, granulados em rotatividade e secos por 24 h em temperatura ambiente, posteriormente levado em estufa de circulação a 35°C por 72 h.

Foram preparados seis tratamentos com combinações em % massa/ massa, que estão descritos na tabela 1:

Tabela 1 – Formulação dos tratamentos da combinação, cama aviária com enxofre e termofosfato com e sem inoculação com granulação entre 2.00 e 4.65 mm de acordo com MAPA, 2020.

Sigla	Tratamento
CFSs	95 % Cama aviária + 5 % enxofre elementar sem microrganismo
CFPs	60 % Cama aviária + 40 % termofosfato sem microrganismo
CFSPs	62.5 % Cama aviária + 5 % enxofre elementar + 32.5 % termofosfato sem microrganismo
CFSc	95 % Cama aviária + 5 % enxofre elementar + 1 % microrganismo
CFPc	60 % Cama aviária + 40 % termofosfato + 1 % microrganismo
CFSPc	62.5 % Cama aviária + 5 % enxofre elementar + 32.5 % termofosfato + 1 % microrganismo

2.2.2. Ensaios *in vitro*

Para ensaios *in vitro* foram adicionados 85 g de TFSA, 5 g do fertilizante formulado, recobrando com 15 g de TFSA e água destilada até atingir a capacidade de retenção de água no solo, mantendo em incubadora (Tecnal TE – 371) a temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$, com capacidade de campo constante. Foram realizadas retirada de amostras para avaliação da liberação nos períodos de 00, 14, 28, 42, 56 e 70 dias. O experimento foi montado com delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com quatro repetições para análises físicas e químicas.

A determinação da capacidade de retenção de água foi realizada conforme método descrito Silva (2009), adaptado. E foram adicionados em recipiente o solo e seco em estufa de circulação a 60°C por 72 h, transferiu 100 g para um funil de vidro com papel filtro de filtragem lenta (faixa azul) fixado em um suporte universal, juntamente com uma proveta de 250 mL para coleta do percolado. Foram adicionados 200 mL de água destilada lentamente, após a drenagem da água, o volume percolado foi aferido e utilizado como referência para o cálculo da retenção de água no solo. A taxa retenção de água no solo é dada pela diferença entre o volume adicionado e o volume percolado em 100 g de solo.

2.2.2.1. Determinação do teor de enxofre

A determinação de enxofre baseia-se na metodologia desenvolvida por Vitti (1989) e aplicada segundo orientação da Silva (2009). Consiste na extração do sulfato pelos íons fosfato (500 mg de P L⁻¹) dissolvidos em ácido acético (2.0 mol L⁻¹) e quantificação posterior o teor de S disponível pela turbidez formada com a precipitação do sulfato de bário formado, em espectrofotômetro.

A extração consistiu na adição de 10 cm⁻³ de solo em erlenmeyer de 125 mL e 25 mL de solução extratora [2.034 g de Ca(H₂PO₄)₂ em solução de ácido acético (CH₃COOH) 120 mL L⁻¹], agitando por 30 minutos a 200 rpm em mesa agitadora horizontal, adicionou 0.25 g de carvão ativado, agitando novamente em mesma velocidade por três minutos, filtrou adicionando novamente 0.25 g de carvão ativado em papel filtro de filtração lenta para obtenção de sobrenadante cristalino isento de particulados ou impurezas.

Para determinação, 10 mL do sobrenadante foi adicionado em tubo de ensaio, 1 mL de solução semente HCl 6,0 mol L⁻¹ contendo 20 mg de S L⁻¹ [Adicionou em um balão de 1000 mL, 200 mL de H₂O destilada e 0.1087 g de K₂SO₄, solubilizando e adicionando posteriormente 500 mL de HCl p.a. (d = 1.19) e completando o volume] e 500 mg de BaCl₂.2H₂O, aguardando 30 segundos, agitando 30 segundos (agitador vortex) até total dissolução, aguardou 5 minutos para leitura em espectrofotômetro em comprimento de ondas 42 nm.

O teor de sulfato é calculado pela equação (1).

$$S-SO_4^{2-} (\mu\text{g cm}^{-3} \text{ de solo}) = A \times B \quad (1)$$

Em que se tem:

A = concentração de S-SO₄²⁻ (μg mL⁻¹) do extrato determinado pela equação da curva padrão;

B = 2.5, fator de correção obtido em razão da diluição da etapa de extração (10 cm⁻³ de solo em 25 mL de solução extratora) (SILVA, 2009).

2.2.2.2. Determinação do teor de fósforo

A determinação de fósforo, baseia-se na extração por solução duplo-ácido Mehlich - 1 ($\text{HCl } 0.05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0.0125 \text{ mol L}^{-1}$) pela solubilização do elemento pelo efeito do pH e com ação do Cl^- de restringir a reação de readsorção do íon fosfato extraído. O P extraído é determinado em espectrofotômetro pela intensidade de cor pela reação do molibdato de amônio com ácido ascórbico (SILVA, 2009).

Adicionou-se 5 cm^3 de solo em erlenmeyer de 125 mL, 50 mL de solução Mehlich - 1 [Em balão de 1000 mL, adiciona-se 200 mL de H_2O destilada + 4.3 mL de HCl ($d = 1.19$) + 0.69 mL de H_2SO_4 ($d = 1.84$) homogeneizou e completou o volume com H_2O destilada] agitado por 5 minutos a 200 rpm em mesa agitadora horizontal, deixando em repouso por aproximadamente 16 h.

Pipetou 5.0 mL do sobrenadante em frasco apropriado + 10 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída (Em um balão de 1000 mL contendo 250 mL de H_2O , adicionou-se 2 g de subcarbonato de bismuto + 150 mL de H_2SO_4 concentrado; em um béquer solubilizou-se 20 g de molibdato de amônio em H_2O destilada, transferindo para o balão contendo o H_2SO_4 e completando o volume com H_2O destilada. Adicionou-se 300 mL da solução em balão 1000 mL completando o volume para diluição) + 300 mg de ácido ascórbico, agitando por 2 minutos em mesa agitadora em 180 rpm, após repouso por 60 minutos efetuou leitura em espectrofotômetro em comprimento de ondas 660 nm.

O cálculo do teor é obtido pela equação (2).

$$\text{mg de P dm}^{-3} \text{ no solo} = \text{leitura} \times 10 \text{ Fp} \quad (2)$$

Multiplica-se Fp por 10 para concentração direta de fósforo na amostra (SILVA, 2009).

2.2.2.3. Determinação do pH em $\text{CaCl}_2 \text{ } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$

Adicionou-se 10 cm^3 de solo em frasco de 50 mL + 25.0 mL de solução CaCl_2 (Solubilizou 1.469 g de CaCl_2 em balão de 1000 mL com 200 mL de H_2O destilada, completando o volume) agitou em mesa agitadora por 10 minutos a 200 rpm, deixou em

repouso por 30 minutos, efetuou leitura em equipamento devidamente calibrado (VIÇOSA, 2005).

2.2.3. Avaliação do crescimento microbiano

Para avaliação de sobrevivência microbiológica em fertilizante armazenado em temperatura ambiente, utilizou-se o método padrão de contagem por plaqueamento em superfície para determinação do número de unidades formadoras de colônia (UFC). As placas petri foram preparadas com meio de cultura AN, 3 g de extrato de carne, 5 g de peptona de carne e 15 g de ágar - ágar homogeneizados e autoclavado. Solubilizou 10g da amostra em 90 mL de solução salina 0,85% (8,5g/ 1000 mL de NaCl), solubilizou alíquota de 1 mL em 9 mL de solução salina (diluição 10^{-1}). Para segunda diluição (10^{-2}), retirou a alíquota de 1 ml homogeneizando em 9 mL de solução salina. Dispersou alíquota de 100 μ L em placa de Petri com AN, armazenando-as em temperatura ambiente durante 120h para contagem das colônias (SILVA *et al.*, 2018).

2.2.4. Ensaio em casa de vegetação

O experimento foi realizado em casa de vegetação no viveiro de mudas do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, utilizando o delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições, em esquema fatorial 3x2 (três formulações de fertilizante organomineral enriquecidos com *B. cereus* e três formulações de fertilizante organomineral sem *B. cereus*, mais tratamento controle sem a adição de fertilizantes e correção). As formulações utilizadas foram: controle, cama de aviário (CF) + termofosfato (TP), cama de aviário (CF) + enxofre (S^o), cama de aviário (CF) + enxofre (S^o) + termofosfato (TP), com e sem inoculação.

Foram utilizados vasos plásticos de 5 dm³, em que 4,5 dm³ de TFSA foram adicionados e 20 g de organomineral. Cada tratamento recebeu as quantidades equivalentes a 150 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 80 kg ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio, sendo que o N foi adicionado em duas doses, uma de 50 kg ha⁻¹ no plantio e duas de 50 kg ha⁻¹ aos 15 e 30 dias após a germinação. O K foi adicionado em duas doses de 40 kg ha⁻¹, uma no plantio e outra com 30 dias.

Não foi efetuada a correção de acidez do solo. Para a conversão da adubação de N e K em kg ha^{-1} para os vasos considerou-se a quantidade de nutriente por planta, para um plantio em campo com população de 150.000 plantas por hectare.

Os fertilizantes foram colocados em sulcos longitudinais no solo dos vasos, na profundidade de 5 cm, com recobrimento com solo. Dez sementes de milho, cultivar ANm 25, foram semeadas a 2 cm de profundidade. Aos oito dias após o plantio foi realizado o desbaste, mantendo-se quatro plantas por vaso. Foi avaliado o crescimento de plantas, determinado os teores de S e P e acúmulo de biomassa seca.

2.2.4.1. Determinação de enxofre

Análise baseada na digestão seca pela incineração da amostra em mufla a 550°C por 3 horas, solubilizando a amostra em ácido nítrico 1 mol e diluindo a amostra 1:4 em H_2O destilada (VIÇOSA, 2005).

O material vegetal passou por secagem em estufa de circulação de ar por 72 h a 65°C . Posteriormente triturou-se o material em moinho de facas, adicionando 0.50 g da amostra em cadinho, levou-se a mufla por 3 h em temperatura constante de 550°C . Após esfriar, adicionou 25 mL de ácido nítrico 1 mol L^{-1} [em um balão de 1000 mL adicionou 300 mL de H_2O destilada e 69,74 mL de HNO_3 (65%) e completou o volume] para solubilizar a cinza, transferindo para recipiente de armazenamento formando o extrato I. Diluiu 5 mL do sobrenadante em 20 mL de H_2O destilada para formação do extrato II (VIÇOSA, 2005).

Para análise de S, adicionou 10 mL do extrato II em tubo de ensaio + 1 mL de solução semente HCl 1 mol L^{-1} (descrita em metodologia 2.4.1) + 500 mg de BaCl_2 , deixando em repouso por 30 segundos, homogeneizando em agitador vortex, deixou em repouso por 5 minutos, efetuou leitura em espectrofotômetro em comprimento de ondas 420 nm (VIÇOSA, 2005). A concentração de S é calculada pela equação da reta padrão com $R^2 = 0.9776$.

2.2.4.2. Determinação de fósforo

Com a utilização de tubo de ensaio para determinação de P, adicionou 1 mL de extrato II (extrato descrito em metodologia 2.2.4.1.) + 20.5 mL de H_2O destilada + 2.5 mL

de solução ácida de molibdato de amônio diluída (Em um balão de 1000 mL contendo 250 mL de H₂O, adicionou-se 2 g de subcarbonato de bismuto diluído com H₂O em béquer + 150 mL de H₂SO₄ concentrado; em um béquer solubilizou-se 20 g de molibdato de amônio em H₂O destilada, transferindo para o balão contendo o H₂SO₄ e completou o volume com H₂O destilada para preparo de solução concentrada. Adiciona-se 300 mL da solução concentrada em balão de 1000 mL completar o volume para diluição) + 1 mL de solução de ácido ascórbico 2% (solubilizou 2 g de ácido ascórbico em balão de 100 mL com H₂O destilada), homogeneizando em agitador vortex, após repouso de 20 minutos efetuou leitura em espectrofotômetro com comprimento de ondas 725 nm (VIÇOSA, 2005). Cálculo da concentração foi obtido pela equação da reta padrão com $R^2 = 0.9982$.

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados pelo software R. Foi realizado teste de normalidade de resíduos dos dados. As médias foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e comparadas pelo teste Tukey $P \leq 0.05$.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas do solo foi realizada de acordo com metodologia de Silva (2009) e apresentado na tabela 2. O resultado da análise nutricional da cama aviária utilizada no experimento é demonstrado na tabela 3 e a composição do fertilizante termofosfato garantida pelo fabricante na tabela 4.

Tabela 2 - Resultado da análise do solo coletado para realização de experimento em condições controlada e em casa de vegetação. Os valores da análise foram obtidos em laboratório privado utilizando a metodologia Silva (2009).

pH CaCl ₂	Textura %			Matéria Orgânica g Kg ⁻¹	Ca	Mg	Al	
	Argila	Silte	Areia					
5.5	42.5	10	47.5	15.3	10.91	1.28	0.1	
S	P	K	Cu	Mn	Zn	Na	B	Fe
5.3	1.5	112	4.5	143	0.8	6.0	0.02	143

Tabela 3. Resultado da análise nutricional da cama de frango realizado em laboratório privado, de acordo com a metodologia de análise foliar Viçosa (1997).

pH CaCl ₂	Carbono Orgânico	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S(SO ₄)	Cu	Mn	Zn	B	Fe
7.8	g Kg ⁻¹ 367.5g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹g Kg ⁻¹mg Kg ⁻¹				
		32	27.5	34	24.3	2.0	3.3	514.8	283.5	191.5	75.3	1326.8

Tabela 4 – Composição garantida por fabricante do Fertilizante Mineral Simples: Termofosfato Magnésiano YOORIM® Master 1 Si.

P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ sol. Ácido cítrico 2%	Ca	Mg	Si	Cu	Mn	Zn	B
17.5	16	18	7	% 10	0.05	0.3	0.55	0.1

2.4.1. *In Vitro*

2.4.1.1. Colonização de *Bacillus* em fertilizante organomineral

A figura 1 representa a sobrevivência do *Bacillus* no organomineral durante o período de incubação. O tratamento CFP apresentou maiores UFC no decorrer do período de incubação, defrontado com o tratamento CFS e CFSP. Após 30 dias iniciais, observou-se redução nas UFC até 120 dias em todos os tratamentos, com sobrevivência crítica no organomineral aos 90 dias de incubação.

Cada microrganismo possui valor ótimo de temperatura para a sua multiplicação e desenvolvimento, sendo esse valor dependente do aporte enzimático apresentado pelo organismo. A bactéria utilizada é caracterizada como mesófilo suportando temperaturas entre 20 e 40°C (CARDOSO & ANDREOTE, 2016).

Com isso, o decréscimo das UFC observado no decorrer do experimento não se deve a um fato isolado de variação de temperatura, tendo em vista que foi armazenado em temperatura ambiente. No entanto, o fertilizante foi armazenado com o mínimo de umidade, fato que não forneceu o meio necessário para desenvolvimento do microrganismo durante o período amostral.

Os baixos valores de UFC observados podem ser relacionados ao processo de produção do organomineral. Os organismos passaram por etapa de liofilização e incorporação em base de amido. Este processo pode ter levado a severa redução da

quantidade de UFC em cerca de 1000 vezes, pois ambientes com falta de umidade ou temperaturas $< 10^{\circ}\text{C}$ ou $> 40^{\circ}\text{C}$ podem ocasionar limitação na ação das bactérias oxidantes (LARA *et al.* 2019).

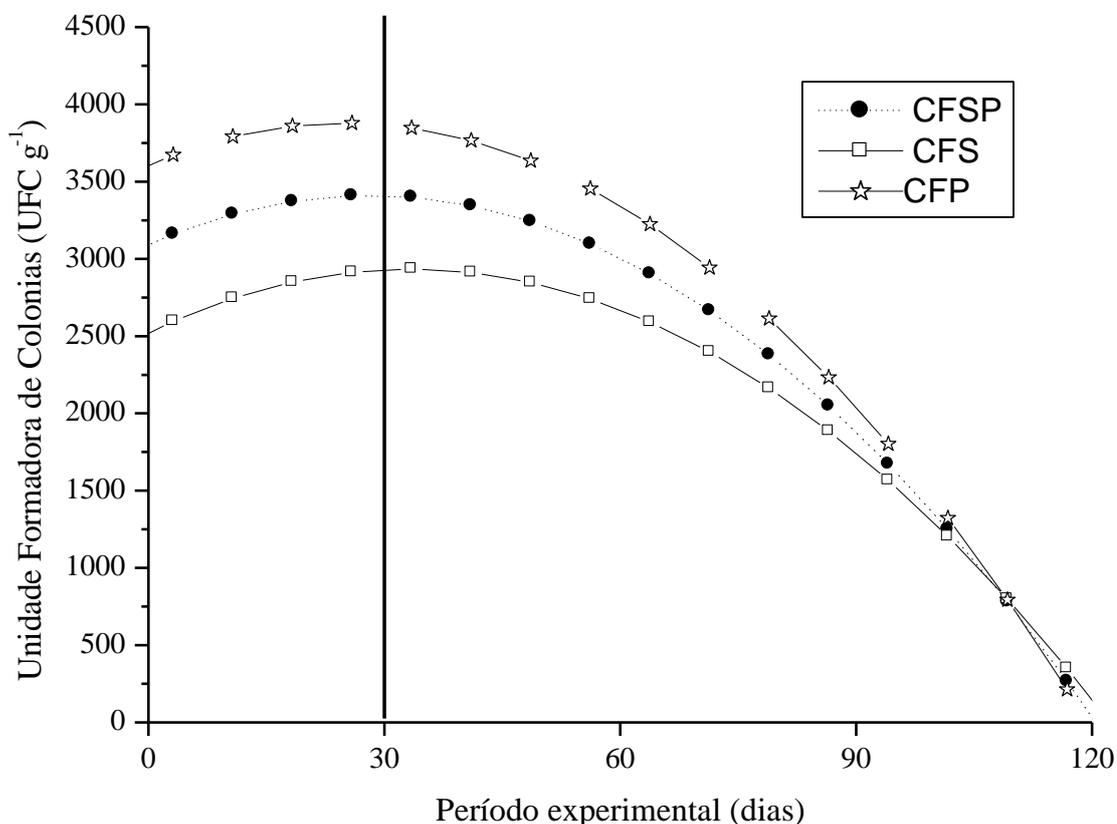


Figura 1 – Avaliação da sobrevivência microbológica por período de armazenamento no fertilizante organomineral enriquecido com enxofre e microrganismo oxidante. Densidade populacional apresentada em unidade formadora de colônias/ gramas (UFC g⁻¹). Tratamentos inoculados com *Bacillus cereus* 81R: CFS= cama aviária + enxofre, CFP = cama aviária + termofosfato, CFSP = cama aviária + enxofre + termofosfato.

A sobrevivência microbológica dos tratamentos respondeu ao tempo de armazenamento de 60 dias, apresentando redução expressiva das UFC com tempo de 90 a 120 dias, e posteriormente com 210 dias as análises mostraram inatividade dos microrganismos.

A cama aviária tende a apresentar potencialidade para produção de fertilizante organomineral enriquecido com microrganismos, fato evidenciado em estudos de fertilizante granulado com cama de frango, rocha fosfatada e inoculado com bactérias solubilizadoras de P por Mattos *et al.* (2017), podendo identificar a sobrevivência de microrganismos com seis meses de armazenamento, corroborando com tempo similar do experimento para armazenamento do organomineral enriquecido com *Bacillus cereus*.

Os parâmetros também ressaltados por Mattos *et al.* (2017) para qualidade do produto são, a forma de armazenagem, a capacidade do inóculo em competir com os microrganismos presente na matriz base e que a ausência de fonte orgânica para ser utilizada pelas estirpes como fonte de energia, pode apresentar respostas negativas no processo de sobrevivência.

A contagem de UFC apresentou 10^3 UFC de *Bacillus cereus* nas formulações inicial dos fertilizantes (Figura 2). Em comparação com estudo de Mattos *et al.* (2017), a contagem de UFC de microrganismos solubilizadores de P apresentou resultado distinto (10^4 UFC) em formulação contendo rocha fosfatada sem cama aviária. Contudo, a formulação de CF + TP demonstrou ter potencial em fornecer fonte orgânica necessária para sobrevivência das estirpes, corroborando com Mattos *et al.*, 2017.

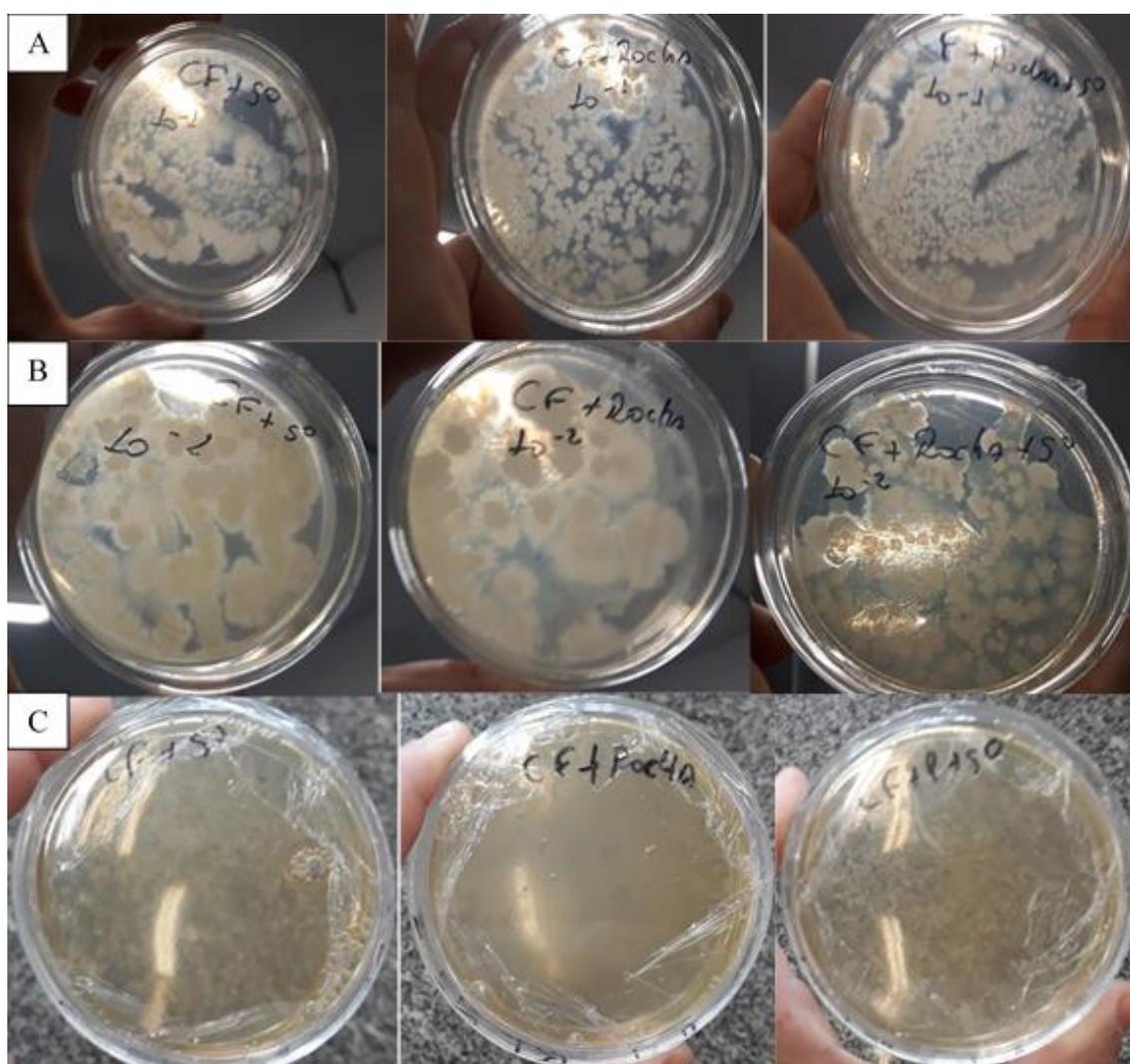


Figura 2 - Visualização do crescimento do microrganismo inoculado no fertilizante organomineral enriquecido em períodos distintos em suas formulações com armazenado em temperatura ambiente. Tratamentos inoculados com *Bacillus cereus* 81R: CF + S° = cama aviária + enxofre, CF + Rocha = cama aviária + termofosfato, CF+ Rocha + S° = cama aviária + termofosfato + enxofre. (A) Inoculação inicial, (B) Inoculação com 60 dias e (C) inoculação com 210 dias. Fonte: Próprio autor, 2023.

Em controvérsia com a pesquisa de Mattos *et al.* (2017), a diferença na contagem de UFC do estudo demonstrou menor discrepância na redução das unidades das colônias durante o período amostral. Observando que Mattos inicialmente contou com 10^8 UFC e finalizando em 10^4 UFC, o presente estudo iniciou com 10^3 UFC, estabilizando em 10^2 UFC até 120 dias.

A população de bactérias em solos pode variar sua população entre 25×10^3 e 550×10^3 UFC g^{-1} (SILVA *et al.*, 2023), podendo induzir que a inoculação promoveu características populacionais correlativas a densidade do microrganismo encontrada no solo, e sendo assim, podem promover reação de oxidação do enxofre elementar.

2.4.1.2. pH em $CaCl_2$ de amostra *in vitro*

Todos os fertilizantes apresentaram pH alcalino no tempo inicial, expectativa relatada pela presença de nitrogênio na forma amoniacal em sua composição (ADELI *et al.*, 2007). O controle não apresentou resultado conclusivo nas leituras, aspecto observado pelo desprovimento da aplicação de corretivos ou tratamentos na amostra que poderiam promover alteração do meio.

A figura 3 mostra a redução no valor de pH para ambos os tratamentos até 42 dias de incubação, sendo que a partir deste tempo tem-se comportamentos distintos para as diferentes formulações. As formulações contendo CF e S independentemente da presença da bactéria, apresentaram tendência de redução no valor de pH, enquanto os tratamentos que possuem rocha fosfatada em sua formulação, apresentaram tendência de elevação do pH. Esses resultados indicam que alteração de pH pode estar relacionada com forma do elemento na composição.

A redução de pH observada durante o período, é explicada por Adeli *et al.* (2007) como resultado da oxidação do enxofre elementar acidificando o meio e reduzindo o pH, e conseqüentemente possibilitando a solubilização de fósforo, podendo aumentar seu teor e tornando lábil para absorção das plantas.

O gráfico a seguir (Figura 3) aponta o comportamento do pH dos tratamentos dentro do período amostral.

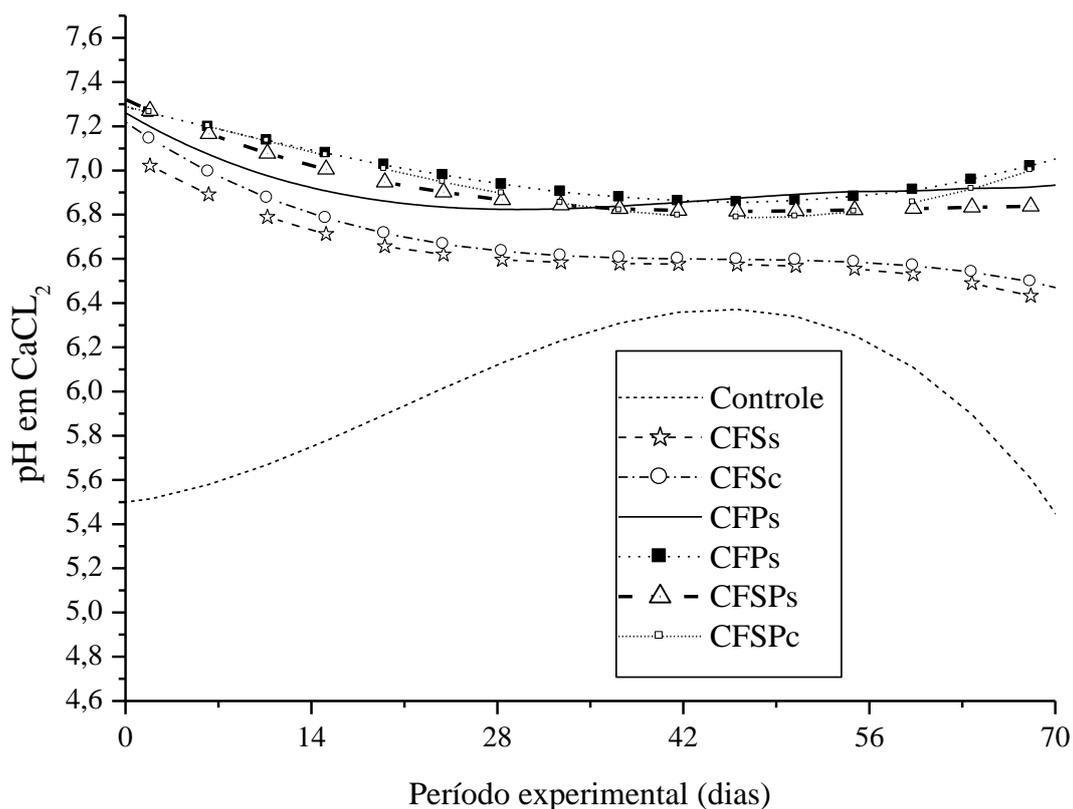


Figura 3 – Variação de pH em CaCl₂ de amostras de solo *in vitro* tratadas com fertilizante organomineral com e sem inoculação em relação ao período experimental. Determinação pela metodologia Viçosa (2005). Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo.

O pH respondeu significativamente após 14 dias com redução nos valores, respaldando similaridade nos resultados do experimento realizado por Brito, Vendrame & Brito 2005 utilizando resíduos orgânicos, identificando que a aplicação de esterco bovino e esterco de poedeira, produz redução do pH, podendo ser relacionados ao maior fornecimento de ácidos orgânicos ocasionados pela decomposição ao longo do tempo.

A redução do pH também foi observada por Araújo *et al.* (2015) na recuperação de solos alcalinos em Campina Grande – PB, com a aplicação enxofre elementar, melhorando atributos químicos e fertilidade do solo, explicado pelo efeito oxidativo provocado pela ação biológica no S⁰, gerando ácido sulfúrico na solução do solo.

Os resultados estatísticos para valores de pH são apresentados na tabela 5:

Tabela 5 - Valores de pH em CaCl₂ de amostra *in vitro* em função do tempo de 0 a 70 dias. Determinação dos valores pela metodologia de Viçosa (2005)

Tratamento	Tempo (dias)					
	0	14	28	42	56	70
Controle	5.50 cC	5.72 dB	6.19 dA	6.28 cA	6.27 cA	5.45 dC
CFSs	7.11 aA	6.65 cB	6.67 cB	6.59 bC	6.50 bC	6.42 cC
CFSc	7.26 abA	6.65 cBC	6.80 bcB	6.58 bD	6.52 bCD	6.50 cD
CFPs	7.30 aA	6.80 bcB	6.93 abB	6.89 aB	6.82 aB	6.89 bB
CFPc	7.31 aA	7.01 aB	7.03 aB	6.84 aC	6.86 aC	7.06 aB
CFSPs	7.35 aA	6.92 abBC	6.97 aB	6.82 aBC	6.77 aC	6.86 bBC
CFSPc	7.31 aA	7.01 aB	6.99 aB	6.76 aC	6.81 aC	7.05 aB

Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

Em controversa, estudos em Cruger no Mississippi – EUA, Adeli *et al.* (2007) não obteve resultado significativo na alteração do pH utilizando cama de frango em concentrações reduzidas ou com formulação de cama de frango + fertilizante químico. Todavia, obtiveram redução significativa no pH com aplicação de alta concentração de cama de frango (6.7 Mg ha⁻¹) em relação ao controle, resposta que pode estar relacionada com alta deposição de cama aviária.

2.4.1.3. Concentração de S e P

O tratamento não adubado (controle) não apresentou resultado para enxofre e fósforo durante o período experimental (5.3 mg dm⁻³ e 1.5 mg dm⁻³) fato corroborado com Horowitz & Meurer 2006, inviabilizando sua incorporação dentro das análises estatísticas e conseqüentemente apresentação gráfica.

A oxidação de enxofre e conseqüentemente teor de sulfato observado (Tabela 6), mostra que todos os tratamentos, exceto o CFSPc apresentou aumento no teor de sulfato aos 14 e 28 dias, mantendo-se constante durante os 42 dias subsequentes. Para o tratamento CFSPc notou aumento no teor de sulfato também aos 70 dias.

A seguir são apresentados os resultados experimentais de oxidação de enxofre elementar e solubilização de P (Tabela 6) dentro do período experimental.

Tabela 6 - Concentração de S e P de amostra *in vitro* durante período experimental de 0 a 70 dias. Determinação do teor pelo método de Silva (2009).

	S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)					
	0	14	28	42	56	70
CFSs	76.3 bC	153.1 abB	162.1 aA	162.7 aA	160.2 aA	165.0 bA
CFSc	82,1 aC	156.2 aB	164.3 aA	164.2 aA	162.3 aA	162.8 bA
CFSPs	49.5 cC	150.8 bB	160.6 aA	161.6 aA	162.9 aA	164.8 bA
CFSPc	54.5 cD	142.7 cC	163.3 aB	166.8 aAB	164.4 aB	171.3 aA

	P (mg dm ⁻³)					
	CFPs	911.5 aA	656.6 bC	595.4 cCD	574.7 cD	763.4 bB
CFPc	922.3 aA	726.9 aBC	674.1 bCD	613.9 cD	717.7 bBC	761.7 abB
CFSPs	822.2 bB	676.9 abC	633.2 bcC	691.7 bC	919.6 aA	814.1 aB
CFSPc	768.1 bAB	726.9 aBC	754.9 aB	835.1 aA	765.4 bB	751.9 bB

Tratamentos: CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

O aumento no teor do enxofre dos tratamentos observado juntamente com a redução do pH pode promover sua disponibilidade adequada e conseqüentemente aumentar a absorção de outros nutrientes como N e P pelas plantas (SAHU *et al.*, 2018; MANZOOR *et al.*, 2021; CHAUDHARY *et al.*, 2022 & PRAJAPATI *et al.*, 2022).

Malik *et al.* (2021) identificou rápido aumento na taxa de oxidação de S^o em solos corrigidos com cama aviária, pressupondo que a aplicação de enxofre com matriz orgânica afeta significativamente o teor de S no solo, corroborando com os resultados.

No experimento realizado observa-se aumento no teor de S a partir de 14 dias para todos os fertilizantes testados, não ocorrendo resultado significativo para fertilizantes inoculados com o organismo *Bacillus cereus*.

A concentração de enxofre ao longo do tempo demonstrada na figura 4, pontua o aumento na disponibilização até 35 dias com atenuação significativa até 42 dias e tendência no aumento do teor a partir de 65 dias novamente.

Em relação ao período de incubação que variou de zero a 70 dias, foi observado (Figura 3) que até o 28º dia a oxidação do S-elementar aumentou acentuadamente. Esses resultados estão provavelmente relacionados ao tempo de crescimento da população de organismos oxidantes e à colonização das partículas do S^0 por estes organismos (HOROWITZ & MEURER, 2006).

Essa hipótese discorda das observações de CHAPMAN (1989), que constatou que houve período maior de defasagem para o início do processo de oxidação em solos aos quais o S^0 havia sido adicionado diretamente. Essa resposta pode ser atribuída, provavelmente a incorporação de S^0 diretamente ao grânulo do fertilizante contendo organismos oxidantes inoculados causando a diminuição do tempo inicial de oxidação.

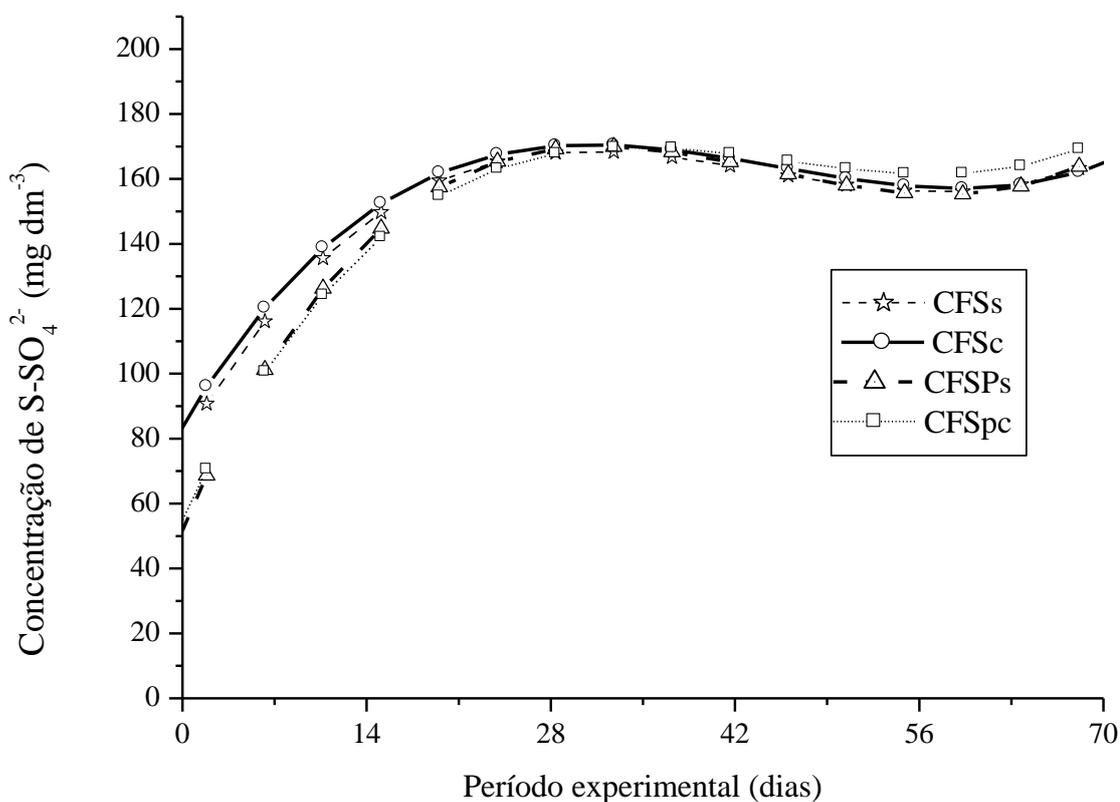


Figura 4 – Concentração de sulfato em amostra de solo tratado com fertilizante organomineral enriquecido com enxofre elementar com e sem inoculação com microrganismo solubilizador *in vitro*. Determinação do teor pela metodologia de Silva (2009). Tratamentos: CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSpc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo

Existem alguns métodos para determinar a taxa de oxidação do S-elementar em solos: a) os que determinam o S-sulfato acumulado após seis dias de incubação do solo

com S-elementar (JANZEN & BETTANY 1987; TABATABAI, 1993) e b) métodos que determinam o S-elementar remanescente após 70 dias ou mais de incubação.

Porém, não existe metodologia para determinação de S-sulfato incorporado em fertilizante organomineral. Com isso, notando o valor máximo de S-sulfato no experimento ocorrendo aos 28 dias de incubação, sugere-se que a determinação de S-sulfato em organominerais seja realizada após 28 dias de incubação no solo.

Entretanto, Watkinson (1989) sugere determinação de valores após 70 dias, sugestão que corrobora com resultados obtidos pela tendência no aumento do teor no período final do experimento.

O resultado do tratamento CFSPc no teor de S com relação aos demais até 42 dias, segue parâmetros identificados por Oliveira *et al.* (2020) obtendo maior desempenho aos 45 dias com a incorporação de S^o ao fosfatado MAP nas doses de 64, 96 e 128 mg dm⁻³, mostrando que a combinação S^o e P tende a possuir afinidade de disponibilização de nutrientes por período longo pela oxidação do enxofre liberando H⁺ que tende a solubilizar P independente de inoculação.

O tratamento CFSs no período inicial, apresentou maior resposta significativa na disponibilidade de enxofre (82.1 mg dm⁻³) com rendimento atenuado em 65% com relação ao tratamento de menor significância (CFSPs), pressupondo que a combinação mineral + matriz orgânica traz resultados eloquentes indiferente à inoculação (HOROWITZ e MEURER, 2006).

A oxidação do enxofre é afetada por condições de ambientação como tamanho de partículas, falta de umidade ou temperaturas < 10° C ou > 40°C que poderá ocasionar redução na ação dos microrganismos e diminuição na conversão do S^o a sulfato (LARA *et al.*, 2019).

Com isso a oxidação microbiológica do enxofre apresenta melhores resultados com temperaturas entre 27° a 35°C, em partículas de área superficial maiores, pois a reação de oxidação ocorre nas superfícies externas, em que fatores individuais como pH não afeta substancialmente a reação, que muitas vezes ocorre por *Thiobacillus* com pH<2 até pH>9 (EDWARDS, 1998).

Seguindo nesses parâmetros a resposta dos tratamentos enriquecido com S^o como fonte nutricional para plantas do experimento, corrobora com Lara *et al.* (2019) apresentando inúmeros benefícios em relação a aplicação de fertilizantes sulfatados, pois sua maior concentração de enxofre, ao longo do tempo possibilita ação microbiológica

que poderá converter o S^o em sulfato que é incorporado ao metabolismo das plantas pelas vias primárias e secundárias.

O experimento apresentou com o aumento no teor de S, redução no pH e maior solubilidade do P, com rendimento significativo no tratamento da combinação entre cama aviária + S^o + termofosfato sem microrganismo (CFSPs) em 56 dias.

A disponibilização de fósforo apresentou decréscimo nos primeiros 42 dias para os tratamentos CFPs e CFPc com aumento no teor após esse período. Para os tratamentos contendo S^o foi observado comportamento semelhante, no entanto, para o tratamento CFSPc a elevação no teor de P apresentou pico máximo aos 42 de incubação.

Os tratamentos CFSP indiferente de inoculação, apresentaram desempenho com crescimento significativo entre 28 e 56 dias, corroborando com Jazaeri *et al.* (2016) na razão da interação do P em tratamentos com níveis de S inoculados com *Thiobacillus*, evidenciando que o enxofre elementar é substrato indispensável para bactérias oxidantes desse gênero, uma vez que a reação de oxidação produz ácido sulfúrico, que pode ser responsável no aumento da solubilização da apatita mineral.

Os tratamentos iniciaram com maior teor de P, podendo ser explicado que pela combinação de cama de frango com rocha fosfatada, possibilitando a elevação no teor de fósforo, pois uma fração do mesmo adicionado na ração, não sofre hidrólise no aparelho digestivo das aves, descartados como fezes e esterco pelos animais (BRITO, VENDRAME & BRITO, 2005 cita Cassol, Gillis *et al* 2001; Gianello 2001 e Costa 2001),

Os tratamentos inoculados apresentaram diferença significativa no teor de P entre os 14 e 56 dias, esperando ser efeito do crescimento das colônias, pois a utilização de microrganismo em formulados com rochas fosfatadas, tendem a beneficiar a qualidade do solo, a dinâmica na rizosfera das plantas podendo solubilizar fosfatos em diversos solos, reduzindo o uso de fertilizantes químicos (SILVA *et al.*, 2023), podendo promover maior rendimento das culturas e fertilidade do solo (LIU *et al.*, 2023)

A combinação do enxofre com rocha fosfatada, demonstrou diferença significativa inicialmente com 28 dias entre os tratamentos. O inoculado a diferença esteve no período que compreende 28 a 42 dias. Corroborando com Silva *et al.* (2023) que utilizando da combinação de S^o, lodo de esgoto, apatita e inoculo bacteriano exibindo oxidação de enxofre a sulfato produzindo o meio ácido e solubilização de P em período similar ao analisado.

Com o conhecimento de que o gênero *Bacillus* entre outros possui a capacidade de solubilizar fosfato mineral insolúvel em áreas de cultivo (ALIKHANI *et al.*, 2023) e que a solubilização do P está relacionada a redução do pH, as características do microrganismo, a qualidade do P e com as características do material orgânico produzido (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006) nota-se crescimento significativo no teor de enxofre e fósforo ao longo do tempo, assim como acidificação do meio podendo ser atrelado as respostas dos tratamentos.

2.4.2. Casa de Vegetação

2.4.2.1. Parâmetros de crescimento de plantas

O parâmetro altura de plantas está exibido na figura 5. Os tratamentos em relação ao controle demonstraram incremento significativo com média 219 % maior, observando que os produtos da relação cama aviária + fertilizante químico podem ter potencialidade para disposição de nutrientes necessários para as plantas.

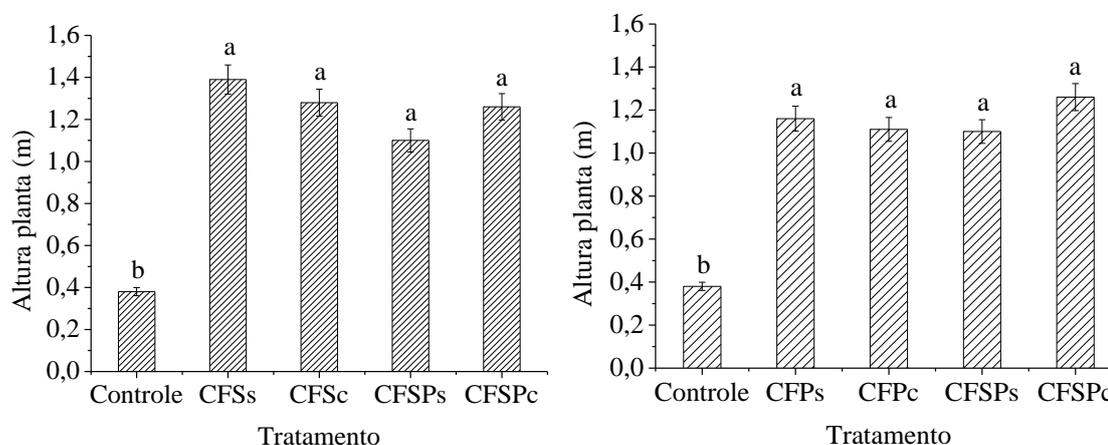


Figura 5 - Resposta da altura das plantas de milho cultivado em casa de vegetação com tratamento de fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSS = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

A baixa resposta do controle pode ser relacionada a utilização de solo de cerrado nativo sem correção, em solo que possuem correções consecutivas os nutrientes tornam-se suficiente para a produtividade durante nova safra (BENITES *et al.*, 2022) apresentando estabilidade em alguns de seus atributos e consequentemente dificultando a

percepção da resposta do fertilizante a curto prazo (GROHSCOPF *et al.*, 2019) com plantio de cultivar sem correção.

Portanto, com a utilização de solo não corrigido, a diferença da resposta dos tratamentos com relação ao controle pode ser atribuída à baixa disponibilidade nutricional (SENAR, 2020). Em casos pontuais, pode-se relatar que a disponibilidade de P pela mobilização de ânion orgânico e carboidratos liberados nas raízes de milho, em locais de baixa disponibilidade de P (CARVALHAIS *et al.*, 2011) auxilia no crescimento.

A resposta das plantas com relação aos tratamentos pode ser atribuída a liberação lenta do fertilizante organomineral, contribuindo para redução das perdas de P pela adsorção nos colóides do solo (GROHSCOPF *et al.*, 2019; FRAZÃO *et al.*, 2021), conferindo grande potencialidade de fertilização pelo maior aproveitamento nutricional das plantas (FERNANDES *et al.*, 2015; CORRÊA *et al.*, 2018).

O aspecto de similaridade na resposta dos tratamentos, sugere que há fator de maior impacto no rendimento, e que seja componente em comum nos tratamentos. Posto isto, a resposta dos tratamentos pode corroborar com Brahim *et al.*, (2017) e a combinação de rocha P e S^o resulta no aumento significativo dos parâmetros de crescimento, acúmulo de biomassa da parte aérea, rendimentos de grãos e vagens por planta com relação ao controle no cultivar de soja, sugerindo aumento da solubilidade e absorção de P e maior fixação de N pelas plantas.

Pontuando outro aspecto para o rendimento, Frazão *et al.* (2021) relata estar atribuído ao fertilizante de cama aviária rendimento e eficácia agrônômica mais alta que o fertilizante mineral fosfatado convencional pela composição nutricional, possuindo produtividade similar ou superior a fertilizantes mineral (BABALOLA, OSHUNSANYA & ARE, 2007; CORRÊA *et al.*, 2018). Compartilhando com esses atributos, pressupõem que o rendimento significativo da altura das plantas com relação ao controle seja pela aplicação do fertilizante organomineral.

A resposta dos tratamentos corrobora com Benites *et al.* (2022) e Withers *et al.* (2018) com a utilização de cama aviária como fonte de nutriente, em especial o P na forma de fertilizante organomineral, como recurso eficaz para reciclar o fósforo disponível em resíduos orgânicos aumentando o potencial nutricional para os cultivares obtendo rendimento de produtividade.

Todavia, em estudos da aplicação de fertilizantes organomineral em comparação com outras matrizes químicas, Mumbach *et al.* (2019) não obteve melhor eficiência do

produto organomineral em relação ao fertilizante químico. Nesse aspecto Grohskopf *et al.* (2019) explana que pelas divergências e escassez de estudos entre organomineral e químico, principalmente referente às formulações, torna-se necessário a realização de mais pesquisas.

O diâmetro do colmo (Figura 6) não mostrou diferença significativa no resultado entre os tratamentos, seguindo com resposta análoga as outras análises. Comparando o controle com os tratamentos organominerais, a diferença de rendimento dos tratamentos é de 231% em média maior.

O baixo diâmetro do colmo apresentado no controle defrontando com o resultado dos demais tratamentos, pode inferir que a indisponibilidade de nutrientes necessários do solo sem tratamento seja responsável pela baixa produtividade (SENAR, 2020).

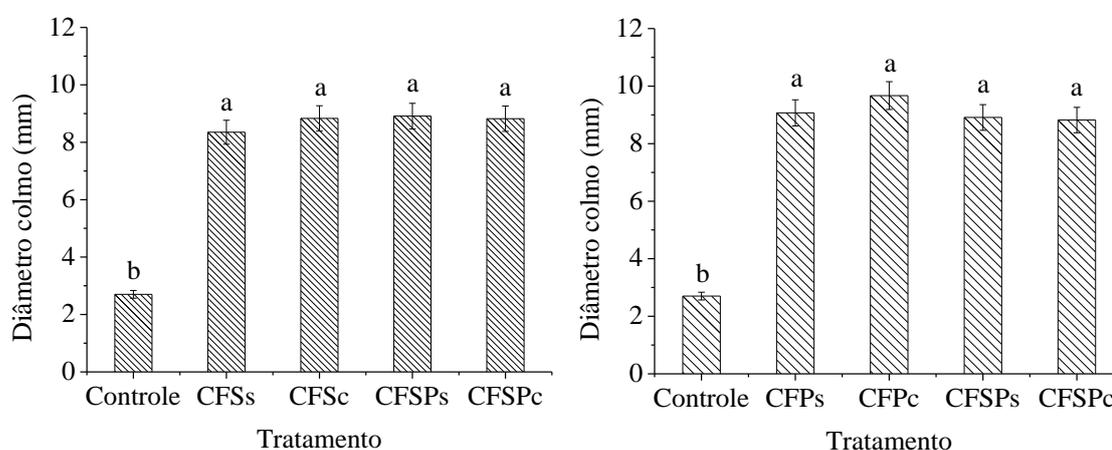


Figura 6 - Diâmetro do colmo do cultivo de milho em casa de vegetação com tratamento com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

2.4.2.2. Produção de biomassa seca

O rendimento da matéria seca aérea dos tratamentos (Figura 7) apresentou resultados significativos somente com relação ao controle, exibindo a necessidade de correção nutricional no solo utilizado, demonstrando que para desenvolvimento de cultivares torna-se necessário a incorporação de biomassa e nutrientes para o aumento de matéria orgânica e qualidade do solo (ANTILLE *et al.*, 2017; BORGES *et al.*, 2019; FONTOURA *et al.*, 2019).

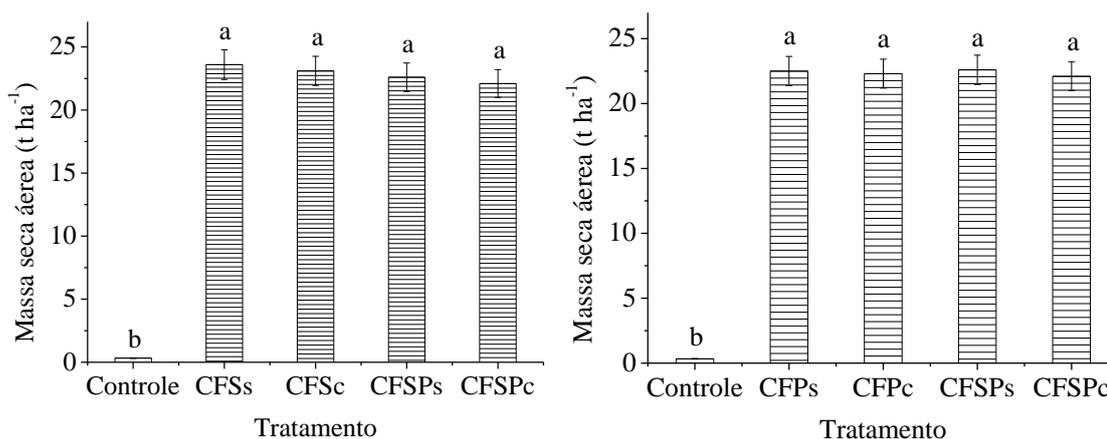


Figura 7 - Rendimento de massa seca na parte aérea no cultivo do milho em casa de vegetação com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

O rendimento dos tratamentos com matéria seca aérea possibilitou acúmulo de até 72 vezes maior em relação ao controle (CFSs). Contudo, as diferenças estatisticamente não são relevantes no estudo, corroborando com estudos de Maia e Sá *et al.* (2017) que obtiveram aumento no acúmulo da massa seca aérea em primeiro cultivo de milho com aplicação de fertilizante organomineral.

O efeito dos tratamentos sobre a massa seca de raiz é apresentada na figura 8. O tratamento CFSs apresentou acúmulo de 188 vezes mais massa do que o controle (11.3 t ha⁻¹ contra 0.06 t ha⁻¹) mesmo estatisticamente não exibindo resultados significativos.

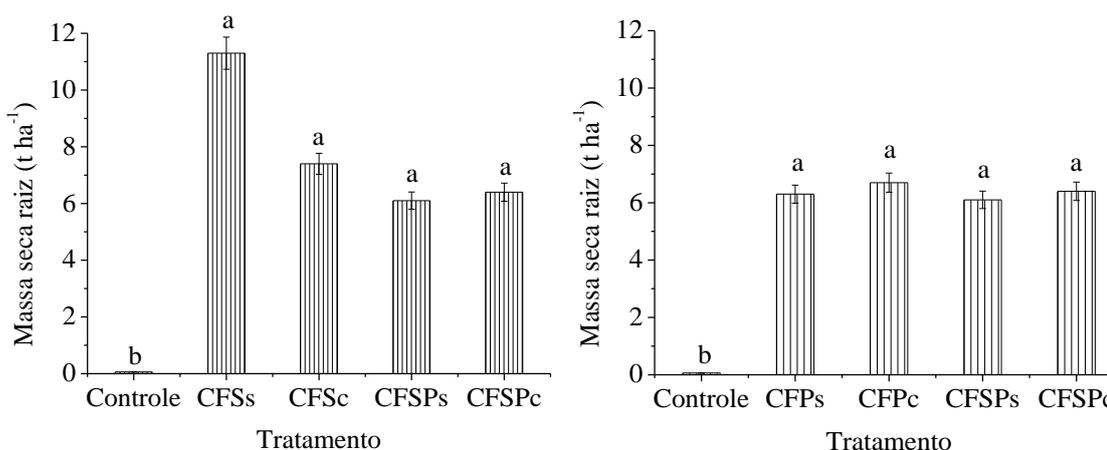


Figura 8 - Rendimento de massa seca da raiz do cultivo de milho em casa de vegetação com tratamento com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

A eficiência do efeito dos tratamentos na massa seca área pode ser comparada com estudos de Nakayama, Pinheiro & Zerbini (2013) comparando fertilizante organomineral com químico em 5 tratamentos em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*), demonstrando não haver disparidade estatística significativa na avaliação dos resultados da aplicação entre o fertilizante organomineral com o mineral.

Em estudos de campo com plantas de canola, o enriquecimento dos tratamentos com enxofre, fósforo e bactéria do gênero *Thiobacillus* resultou no aumento da produção de grãos, sugerindo efeito sinérgico entre a combinação da inoculação com o fertilizante organomineral (RAHMANI *et al.*, 2018).

Em contraste, os resultados do presente estudo mostram que não houve diferenças estatística entre os tratamentos com e sem inoculação, indicando que o crescimento e acúmulo de biomassa nas plantas foram similares entre as formulações do fertilizante organomineral.

A liberação lenta dos nutrientes do organomineral vinculado a rizosfera próxima dos grânulos favorável, poderá ser indicação no maior rendimento dos tratamentos com relação ao controle, sendo que a liberação gradativa do grânulo pode ser percussora de maior crescimento do cultivar, pois os nutrientes tendem a ser absorvidos ou adsorvidos conforme a necessidade nutricional da planta

2.4.2.3. Teor de S e P na parte aérea

O teor de S na parte aérea das plantas está apresentado na figura 9. A análise estatística apresentou diferença significativa somente na razão controle com os demais tratamentos. Os tratamentos revelando acúmulo de S de 90% a 128% maior em relação ao controle. As plantas dos tratamentos inoculados não apresentaram resposta significativa em relação aos não inoculados.

Em estudos Gupta & Jain (2008) observou aumento na remoção do enxofre do solo significativamente com o incremento de maiores teores nos tratamentos, podendo ser atribuído esse aspecto ao aumento da concentração de grão e massa seca aérea. Em contraste, todos os tratamentos apresentaram resultados similares, notando somente maior rendimento de massa seca da raiz com o tratamento CFSs.

O controle apresentou rendimento em média 430% menor do que os tratamentos utilizados para análises de acúmulo de P (Figura 9).

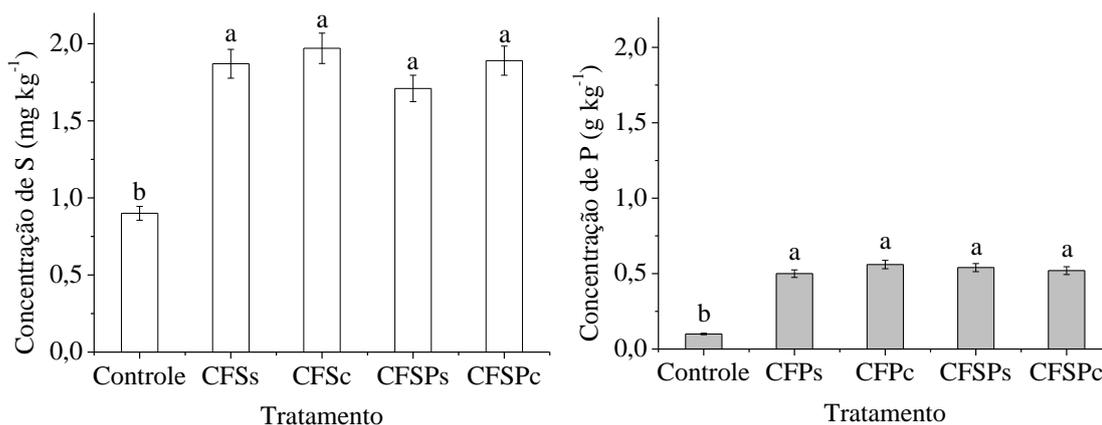


Figura 9 – Concentração de S e P na parte aérea de plantas de milho cultivado por 70 dias. Os tratamentos utilizados foram: tratamento com fertilizante organomineral. Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$).

A concentração de P não apresentou diferença estatística entre os tratamentos no tecido vegetal (Tabela 6) corroborando com Corrêa *et al.* (2018); Grohskopf *et al.* (2019) e Mumbach *et al.* (2019) que não obtiveram resultados significativos com os tratamentos. Podendo ser relacionado a resposta com a melhor disponibilidade no teor de P inorgânico da rocha fosfatada possibilitando sua absorção pelas plantas (BENITES *et al.*, 2022; MACKAY *et al.*, 2017).

Os dados dos teores de S e P na massa seca do cultivar de milho cultivado em casa de vegetação estão na tabela 7.

Tabela 7 – Teor de S e P na massa seca aérea no cultivar de milho suplementado com fertilizante organomineral por 70 dias.

Enxofre		Fósforo	
	S (mg kg ⁻¹)		P (g Kg ⁻¹)
Controle	0.90 b	Controle	0.10 b
CFSs	1.87 a	CFPs	0.50 a
CFSc	1.97 a	CFPc	0.56 a
CFSPs	1.71 a	CFSPs	0.54 a
CFSPc	1.89 a	CFSPc	0.52 a

Tratamentos: Controle = sem tratamento, CFSs = cama aviária + enxofre sem microrganismo, CFSc = cama aviária + enxofre com microrganismo, CFPs = cama aviária + termofosfato sem microrganismo, CFPc = cama aviária + termofosfato com microrganismo, CFSPs = cama aviária + enxofre + termofosfato sem microrganismo, CFSPc = cama aviária + enxofre + termofosfato com microrganismo. Letras idênticas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey $P \leq 0.05$.

Corroborando com Frazão *et al.* (2014) e Araújo *et al.* (2020), o acúmulo de fósforo na parte aérea nas plantas de milho não diferiram significativamente entre as fontes estudadas.

Sakurada *et al.* (2016) relata que diferentes técnicas de produção de organomineral tende a resultar em fertilizantes com diferentes teores de P disponível para as plantas, contudo, um ponto em destaque levantado é a possibilidade da disposição de P para ciclos subsequentes. Com isso, nota se que o efeito dos tratamentos não inferiu na absorção de P pelas plantas.

Esperava-se que a inoculação apresentasse aumento na solubilidade de P indisponível, atuando de forma complementar no crescimento das plantas, auxiliando nas ações de fixação do nitrogênio e produção de fitormônios que tendem a estimular tolerância a estresses ambientais (RAHMANI *et al.*, 2018), contudo foram observadas somente diferenças numéricas dos resultados.

2.5. CONCLUSÃO

A estirpe utilizada *Bacillus cereus* demonstrou boa capacidade de sobrevivência em fertilizante organomineral em até 90 dias.

Todos os tratamentos apresentaram oxidação de enxofre elementar, solubilização de P e redução no pH nas amostras analisadas.

A taxa de oxidação do enxofre apresentou elevação significativa com 14 dias de incubação.

A combinação cama aviária, enxofre, rocha fosfatada e *Bacillus cereus* influencia positivamente a oxidação do S e a disponibilidade de P.

As formulações do organomineral aumentam o crescimento e produção de biomassa seca das plantas do milho em relação as plantas do tratamento controle.

A liberação lenta dos nutrientes do organomineral e a proximidade dos grânulos na região da rizosfera, indicam melhor eficiência das plantas de milho, conseqüentemente contribuindo para maior desempenho das plantas.

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELI, A.; SISTANI, K. R. & TEWOLDE, ROWE, D. E. & TEWOLDE, H. Effects of Broiler Litter Applied to No-Till and Tillage Cotton on Selected Soil Properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 71. p. 974 - 983. doi:10.2136/sssaj2006.0092. 2007.

ALIKHANI, H. A.; BEHESHTI, M.; POURBABAEI, A. A.; ETESAMI, H.; RAHMANI, H. A. & NOROOZI, M. Phosphorus Use Management in Paddy Fields by Enriching Periphyton with Its Phosphate – Solubilizing Bacteria and Fungi at the Late Stage of Rice Growth. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition.** 2023.

ANTILLE, D. L.; GODWIN, J.; SAKRABANI, R.; SENEWEERA, S.; TYRREL, S. F. & JOHNSTON, A. E. Field-Scale Evaluation of Biosolids-Derived Organomineral Fertilizers Applied to Winter Wheat in England. **Agronomy Journal.** v. 109. p. 654-674. 2017. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0495>.

ARAÚJO, J. L.; SEVERO, P. J. da S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO, R. G. & PAIVA, K. F. de. Enxofre Elementar ou Sulfato de Cálcio para Remediação de Solos Salino-Sódicos? **Pesquisa Agropecuária Tropical.** v. 45, n. 4, p. 388-396. Goiânia – GO. 2015.

ARAÚJO, M. D. M.; SOUZA, H. A. de; BENITES, V. de M.; POMPEU, R. C. F. F.; NATALE, W. & LEITE, L. F. C. Organomineral Phosphate Fertilization in Millet in Sandy Soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 24, n. 10, p. 694-699. 2020.

AULAKH, M. S.; JAGGI, R. C. & SHARMA, R. Mineralization - Immobilization of Soil Organic S and Oxidation of Elemental S in Subtropical Soils Under Flooded and Nonflooded Conditions. **Biol Fertil Soils.** 35, p. 197 - 203. 2002.

BABALOLA, O.; OSHUNSANYA, S. O. & ARE, K. Effects of Vetiver Grass (*Vetiveria nigriflora*) Strips, Vetiver Grass Mulch and an Organomineral Fertilizer on Soil, Water and Nutrient Losses and Maize (*Zea mays*, L) Yields. **Soil & Tillage Research.** 96, p. 6 - 18. 2007.

BENITES, V. de M.; MOLIN, S. J. D.; MENEZES, J. F. S.; GUIMARÃES, G. S. & MACHADO, P. L. O. de A. Organomineral Fertilizer Is an Agronomic Efficient Alternative for Poultry Litter Phosphorus Recycling in an Acidic Ferralsol. **Front. Agrono.** v. 4. 2022.

BORGES, B. M. M. N.; ABDALA, D. B.; SOUZA, M. F. de; VIGLIO, L. M.; COELHO, M. J. A.; PAVINATO, P. S. & FRANCO, H. C. J. Organomineral Phosphate Fertilizer from Sugarcane Byproduct and its Effects on Soil Phosphorus Availability and Sugarcane Yield. **Geoderma**. v. 339. p. 20-30. 2019. DOI.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036.

BRAHIM, S.; NIESS, A.; PFLIPSEN, M.; NEUHOFF, D. & SCHERER H. Effect of Combined Fertilization With Rock Phosphate and Elemental Sulphur on Yield and Nutrient Uptake of Soybean. **Plant Soil Environ**. v. 63, n. 2. p. 89-85. 2017.

BRITO, O.R.; VENDRAME, P.R.S.; BRITO, R.M. Alterações das Propriedades Químicas de Um Latossolo Vermelho Distroférico Submetido a Tratamentos com Resíduos Orgânicos. **Seminário: Ciência Agrária**, Londrina - PR, v.26, n.1, p.33-40, 2005.

BRUNEROVÁ, A.; MULLER, M.; GURDIL, G. A. K.; SLEGER, V. & BROZEK, M. Analysis of the Physical-Mechanical Properties of a Pelleted Chicken Litter Organic Fertiliser. **Research in Agricultural Engineering**. v. 66, p. 131-139. 2020. <https://doi.org/10.17221/41/2020-RAE>

CAMPOS, D. V. B. de; FREIRE, L. R.; ZONTA, E.; EIRA, P. A. da; DUQUE, F. F.; DE-POLLI, H.; SOUTO, S. M.; SANTOS, G. de A. & ANJOS, L. H. C. dos. Adubos e Corretivos. EMBRAPA. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1 ed. cap. 5, pág. 107 – 110. Seropédica – RJ. Editora Universidade Rural. 2013.

CARDOSO, E. J. B. N. & ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do Solo**. ESALQ. Piracicaba – SP. 2ª ed., p. 27 – 34. 2016.

CARDOSO, A. I. I.; SILVA, P. N. de L.; COLOMBARI, L. F.; LANNA, N. B. L.; FERNANDES, D. M. Phosphorus Sources Associated with Organic Compound in Broccoli Production and Soil Chemical Attributes. **Horticultura Brasileira**. v. 37, n. 2. 2019.

CARVALHAIS, L. C.; DENNIS, P. G.; FEDOSEYENKO, D.; HAJIREZAEI, M. R.; BORRISS, R. & WIRÉN, N. V. Root Exudation of Sugars, Amino Acids, and Organic Acids by Maize as Affected by Nitrogen, Phosphorus, Potassium, and Iron Deficiency. **J. Plant Nutr. Soil Sci**. 174, p. 3 - 11. 2011.

CERRI, C. E. Eficiência agronômica dos organominerais: **Informe Abisolo**. 1. ed. São Paulo, SP: ABISOLO, p. 10, 2011.

CHAPMAN, S. J. Oxidation of Micronized Elemental Sulphur in Soil. **Plant and Soil**. v.116, p. 69 – 76. 1989.

CHAUDHARY, S.; DHANKER, R.; SINGH, K.; BRAR, B. & GOYAL, S. Characterization of Sulfur-Oxidizing Bacteria Isolated from Mustard (*Brassica juncea* L.) Rhizosphere Having the Capability of Improving Sulfur and Nitrogen uptake. **Journal of Applied Microbiology**. ed. 5, v. 133, p. 2814 - 2825. 2022.

CORRÊA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; NICOLOSO, R. da S.; LOURENÇO, K. S. & MARTINI, R. Organic, Organomineral, and Mineral Fertilizers with Urease and Nitrification Inhibitors for Wheat and Corn under no-tillage. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasilia - DF. v. 51, n. 8, p. 916 - 924. 2016.

CORRÊA, J. C.; REBELLATTO, A.; GROHSKOPF, M. A.; CASSOL, P. C.; HENTZ, P. & RIGO, A. Z. Soil Fertility and Agriculture Yield with the Application of Organomineral or Mineral Fertilizers in Solid and Fluid Forms. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasilia - DF. v. 53, n. 5, p. 633 - 640. 2018.

COSTA, A. M. da; BORGES, E. N.; SILVA, A. de A.; NOLLA, A. & GUIMARÃES, E. C. Potencial de Recuperação Física de um Latossolo Vermelho, sob Pastagem Degradada, Influenciado pela Aplicação de Cama de Frango. **Ciênc. Agrotec.** v. 33, ed. esp., p. 1991 – 1998. 2009.

CRIPPEN, T. L.; SHEFFIELD, C. L.; SINGH, B.; BYRD, J. A., BEIER, R. C. & ANDERSON, R. C. Poultry Litter and the Environment: Microbial Profile of Litter During Successive Flock Rotations and after Spreading on Pastureland. **Science of the Total Environment**. v. 146413. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146413>.

EDWARDS, P. J. Sulfur Cycling, Retention, and Mobility in Soils: A Review. **USDA – United States Department of Agriculture – Forest Service**. 1998.

FERNANDES, D. M.; GROHSKOPF, M. A.; GOMES, E. R.; FERREIRA, N. R. & BULL, L. T. Fósforo na Solução do Solo em Resposta à Aplicação de Fertilizante Fluidos Mineral e Organomineral. **Irriga**. UNESP. Botucatu - SP. ed. esp. p. 14 - 27. 2015.

FONTOURA, S. M. V.; PIAS, O. H. de C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M. R.; MORAES, R. P. de & BAYER, C. Effect of Gypsum Rates and Lime With Different Reactivity on Soil and Crop Grain Yields in a Subtropical Oxisol Under no-Tillage. **Soil & Tillage Research**. v. 193. p. 27-41. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.005>.

FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. de M.; DAMIN, V.; TEIXEIRA, P. C.; MACEDO, G. M. & LINHARES, L. F. Agronomic Efficiency of Granulated Organomineral Fertilizers Based on Poultry Litter and Phosphates. International Science Centre of Fertilizers (CIEC) – 16th World Fertilizer Congresso of CIEC. **Technological Innovation for a Sustainable Tropical Agriculture**. p. 259-261. 2014.

FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. de M.; PIEROBON, V. M.; RIBEIRO, J. V. S. & LAVRES, J. A Poultry Litter - Derived Organomineral Phosphate Fertilizer has Higher Agronomic Effectiveness than Conventional Phosphate Fertilizer Applied to Field - Grown Maize. **Sustainability**. v. 13. 2021.

GOUJON, A. 8 Billion and Then What? In The World at 8 Billion. **Population Council**. New York. p. 16 – 17. 2022.

GROHSKOPF, M. A.; CORRÊA, J. C.; FERNANDES, D. M.; BENITES, V. de M.; TEIXEIRA, P. C. & CRUZ, C. V. Phosphate Fertilization with Organomineral Fertilizer on Corn Crops on a Rhodic Khandiudox with a high Phosphorus Content. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasilia - DF. v. 54. 2019.

GUPTA, A. K. & JAIN, N. K. Sulfur Fertilization in a Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) – Indian Mustard (*Brassica juncea*) Cropping System. Taylor & Francis. **Archives of Agronomy and Soil Science**. n. 5, v. 54. 2008.

HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Oxidação do Enxofre Elementar em Solos Tropicais. **Ciência Rural**, v. 36, p. 822-828, 2006.

JANZEN, H. H. & BETTANY, J. R. Measurement of Sulfur Oxidation in Soils. **Soil Science**. v.143, n. 6, p. 444 – 452. 1987.

JAZAERI, M.; AKHGAR, A.; SARCHESHMEHPOUR, M. & MOHAMMADI, A. H. Bioresource Efficacy of Phosphate Rock, Sulfur, and Thiobacillus Inoculum in Improving Soil Phosphorus Availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 11, p. 1441-1450. 2016.

LARA, L. O. F.; MACÍAS, J. M.; LABRADA, F. P.; MARTINEZ, E. N. R.; ENCISO, E. L. G.; MORALES, S. G.; MALDONADO, A. J.; SÁNCHEZ, F. R. & MENDOZA, A. B. From Elemental Sulfur to Hydrogen Sulfide in Agricultural Soils and Plants. MDPI. **Journal Molecules**. v. 24, n. 2282. 2019. doi:10.3390/molecules24122282.

LIU, L.; GAO, Z.; YANG, Y.; GAO, Y.; MAHMOOD, M.; JIAO, H.; WANG, Z. & LIU, J. Long – term high – P Fertilizer Input Shifts Soils P Cycles Genes and

Microorganism communities in Dryland Wheat Production Systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 342. 2023.

MACKAY, J. E., MACDONALD, L. M., SMERNIK, R. J., & CAVAGNARO, T. R. Organic Amendments as Phosphorus Fertilisers: Chemical Analyses, Biological Processes and Plant P uptake. **Soil Biology & Biochemistry**. 107, p. 50 – 59. 2017

MAIA e SÁ, J.; JANTALIA, C. P.; TEIXEIRA, P. C.; POLIDORO, J. C.; BENITES, V de M. & ARAÚJO, A. P. Agronomic and P Recovery Efficiency of Organomineral Phosphate Fertilizer from Poultry Litter in Sandy and Clayey Soils. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasilia - DF. n. 9, v. 52, p. 786 - 793. 2017.

MALIK, K. M.; KHAN, K. S.; BILLAH, M.; AKHTAR, M. S.; RUKH, S.; ALAM, A.; MUNIR, A.; AULAKH, A. M.; RAHIM, M.; QAISRANI, M. M. & KHAN, N. Organic Amendments and Elemental Sulfur Stimulate Microbial Biomass and Sulfur Oxidation in Alkaline Subtropical Soils. **Agronomy**, 11, 2514. 2021.

MANZOOR, S.; RASHEED, M.; JILANI, G.; ULLAH, M. A.; HUSSAIN, S. S. & ASADULLAH, M. Integration of Phosphate Solubilising Bacteria, Sulfur Oxidizing Bacteria with on Maize (*Zea mays*). **Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences**. n. 1, v. 64, p. 43 - 48. 2021.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. 2020.

MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; MARRIEL, I. E.; SANTOS, F. C. dos; BATISTA, A. M.; GOMES, E. A.; TEIXEIRA, P. C. & BENITES, V. de M. **EMBRAPA. Sobrevivência de Microrganismos Solubilizadores de Fosfato em Fertilizantes Organominerais Granulados**. Circular Técnico. Rio de Janeiro. 2017.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Ed. UFLA. ed. 2, p. 19, 56, 368 - 388, 518. 2006.

MUMBACH, G. L.; GATIBONI, L. C.; BONA, F. D. de; SCHMITT, D. E.; ORSOLETTA, D. J. D.; GABRIEL, C. A. & BONFADA, E. B. Organic, Mineral and Organomineral Fertilizer in the Growth of Wheat and Chemical Changes of the Soil. **Rev. Bras. Cienc. Agrar**. Recife. v. 14, n. 1. 2019.

NASCIMENTO, A. O. MATTOS, B. B.; MOLIN, S. J. D.; FIALHO, R. L.; CABRAL-ALBUQUERQUE, E. C. M. & BENITES, V. M. Phosphorus Diffusion and Agronomic Efficiency of Chicken Litter Organomineral Fertilizers Improved with Binder Materials. **Waste and Biomass Valorization**. v. 12, p. 3765 – 3772. 2020.

NAKAYAMA, F. T.; PINHEIRO, G. A. S. & ZERBINI, E. F. Eficiência do Fertilizante Organomineral na Produtividade do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Sistema de Semeadura Direta. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. Expansão e Produção Rural x Sustentabilidade**. v. 9, n. 7, p. 122-138. 2013.

OLIVEIRA, R. J. **Oxidação de Enxofre Elementar e Absorção Pelo Milho em Função de Diferentes Fertilizantes e Doses**. (dissertação mestrado). Universidade Estadual de Goiás. 2018.

OLIVEIRA, R. J.; SILVA, R. C. D. da; SILVA JUNIOR, G. S.; MUNIZ, P. H. P. C. & PELÁ, A. Oxidação de Enxofre Elementar em Diferentes Fontes e Doses de Fertilizantes. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 5, p.27735-27745, may. 2020.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B.; SANTOS, I.R. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo minetal. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.2, p.199-205, 2008.

PISON, G. Huit Milliards d’humans Aujourd’hui, Combien Demain? **Dans Populatio & Sociétés**. Éditions – Ined Éditions. n. 604, p. 1 – 4. 2022.

POSPISILOVA, L.; FORMANEK, P.; KUCERIK, J.; LIPTAJ, T.; LOSAK, T. & MARTENSSON, A. Land use Effects on Carbon Quality and Soil Biological Properties in Eutric Cambisol. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science**. v. 61, p. 661 – 669. 2011

PRAJAPATI, V.; PATEL, S.; PATEL, R. & MEHTA, V. Isolation and Identification of Sulfur-Oxidizing Bacteria. In: Practical Handbook on Agricultural Microbiology. **Springer - Humana Press**. p. 197 – 202. 2022.

RAHMANI, H. A.; KHAVAZI, K.; ABADI, V. A. J. M.; RAMEZANPOUR, M. R.; MIRZAPOUR, M. H. & MIRZASHAHI, K. Effect of Thiobacillus, Sulfur and Phosphorus on the Yield and Nutrient Uptake of Canola and the Chemical Properties of Calcareous Soils in Iran. **Communication in Soil Science Plant Analysis**. V. 49, Issue 14. p. 1671-1683. 2018.

RATKE, R. F.; BERTECHINI, M. C.; FIGUEIREDO, C. C. de; ARAUCO, A. M. de S.; DIAS, B. de O. & OLIVEIRA, J. C. de. Soil Organic Matter Fractions and Enzymes Activities under No-tillage System: Effects of Organomineral and Mineral Fertilizer with Humic Substances. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 53, ed. 3. 2022.

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. R.; SANTOS, J. P.; ANDRADE, M. J. B. de & ALCANTARA, H. P. de. Enxofre Aplicado na Cultura da Soja (*Glycine max* (L) Merrill). **Ciênc. Agrotec. Lavras**. v. 33, n.5, p. 1255-1259. 2009.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. de M.; GODINHO, T. de O. & FILHO, L. F. da S. S. Nutrição e Fertilização com Enxofre e Uso de Gesso em Plantações de Eucalipto. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n. 208, p. 01-14. 2015.

SAHU, A.; BHATTACHARJYA, S.; MANDAL, A.; THAKUR, J. K.; ATOLIYA, N., & SAHU, N. Microbes: A Sustainable Approach for Enhancing Nutrient Availability in Agricultural Soils. In: V. S. Meena (ed.), *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*. **Springer Nature Singapore**. p. 47 - 75. 2018.

SAKURADA, R. L.; BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; MUNIZ, A. S. & PAGLIARI, P. H. Organomineral Phosphate Fertilizers: Agronomic Efficiency and Residual Effect on Initial Corn Development. *Soil Fertility & Crop Nutrition*. **Agronomy Journal**. n. 5, v. 108, p. 2050-2059. 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos, OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; FILHO, J. C. de A.; OLIVEIRA, J. B. de & CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. **EMBRAPA**. 5 ed., ver. e ampl. Brasília – DF. 2018.

SENAR – **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**. Fertilidade e Adubação do Solo. Goiânia. 2020.

SILVA, F. C. da. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Embrapa. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p 627. 2009.

SILVA, N. de; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. de A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. Blucher, 5 ed, p. 84 – 106, 2018.

SILVA, L. I. da; PERREIRA, M. C.; CARVALHO, A. M. X. de; BUTTRÓS, V. H.; PASQUAL, M. & DÓRIA, J. Phosphorus – Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. **Agriculture**, 13, 462. 2023.

TABATABAI, M.A. Sulfur Oxidation and Reduction in Soils. In: JACKSON, S. *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. **Madison: SSSA Book Series**, chapter 5. p. 1067 – 1078. 1993.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. Soil fertility and fertilizers. 5. ed. New York : MacMillan, p.266-303, p. 634. Cap.8: **Soil and fertilizer sulfur, calcium and magnesium**. 1993.

TORTORA, G. J.; CASE, C. L.; FUNKE, B. R. **Microbiologia** – 12^a ed. Artmed Editora, 2016.

TUPY, M. L. Global Population Hits 8 Billion and We Need to Keep Growing. Here's Why. **Cato Institute**. United States of America. 2022.

VIANA, J. H. M. & NETO, M. M. G. Características Físicas e Fertilidade dos Solos dos Ensaio do Projeto Safrinha em Rio Verde – GO. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas – MG. 2016.

VIÇOSA. Metodologia de Análise Foliar. **Universidade Federal de Viçosa – Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Fitotecnia**. 1997.

VIÇOSA. Manual do Laboratorista. **Universidade Federal de Viçosa – Laboratório de Análises Químicas de Fertilidade do Solo. Departamento de Solos**. 2005.

WATKINSON, J. H. Measurement of the Oxidation Rate of Elemental Sulfur in Soil. **Australian Journal of Soil Research**. v.27, p. 365 – 375. 1989.

WITHERS, P. J. A., RODRIGUES, M., SOLTANGHEISI, A., CARVALHO, T. S., GUILHERME, L. R. G., BENITES, V. M., GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; JUNIOR, A. de O.; COUTINHO, E. L. M. & PAVINATO, P. S. Transitions to Sustainable Management of Phosphorus in Brazilian Agriculture. **Nature Sci. Rep.** v. 8. 2018..

ZHAO, C.; DEGRYSE, F.; GUPTA, V. & MCLAUGHLIN, M. J. Elemental sulfur oxidation in Australian Cropping Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 79, p. 89–96. 2015.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factor Controlling Humification and Mineralization of Soil Organic Matter in the Tropics. **Geoderma**, 79:117-161, 1997.

CONCLUSÃO GERAL

A oxidação do enxofre é um processo de importância incontestável para o reino vegetal acidificando o meio pela ação de microrganismos influenciando nas propriedades do solo, disposição de nutrientes, principalmente sulfato para absorção das plantas.

O *Bacillus cereus* demonstraram capacidade de oxidação do enxofre e disponibilização de P. Contudo, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos inoculados e não inoculados.

O rendimento do cultivar em todos os parâmetros avaliados em casa de vegetação não apresentou diferença entre os tratamentos estatisticamente.

A liberação lenta dos nutrientes no organomineral mostra-se indicativo de rendimento no cultivo, sendo favorável a disposição de nutrientes com eficácia agrônômica com sua aplicação no cultivar de milho.

A necessidade por redução na dependência de fertilizantes químicos, maior produtividade e agricultura sustentável, dispõe para os pesquisadores a possibilidade de inovação de técnicas para reciclagem de subprodutos que até então eram descartados sem preocupação com os impactos ambientais.