

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Athos Rodrigues Soares Viana

Produção de grão-de-bico adubado com fertilizantes organominerais de lodo de esgoto

Montes Claros
2022

Athos Rodrigues Soares Viana

Produção de grão-de-bico adubado com fertilizantes organominerais de lodo de esgoto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Rodinei Facco Pegoraro

Coorientador: Dr. Luiz Arnaldo Fernandes

Montes Claros
Setembro de 2022

Viana, Athos Rodrigues Soares.

V614p
2022

Produção de grão-de-bico adubado com fertilizantes organominerais de lodo de esgoto [manuscrito] / Athos Rodrigues Soares Viana. Montes Claros, 2022.

76 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Rodinei Facco Pegoraro.

Banca examinadora: Sidnei Tavares dos Reis, Cândido Alves da Costa, Luiz Arnaldo Fernandes.

Inclui referências: f. 63-76.

1. Grão-de-bico. 2. Lodo de esgoto. 3. Adubos e fertilizantes. I. Pegoraro, Rodinei Facco. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 29 dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e dois, às 8:30 horas, sob a Presidência do Professor Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Sidnei Tavares dos Reis, D. Sc. (UFMG/ICA), Cândido Alves da Costa, D. Sc. (UFMG/ICA) e Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (UFMG/ICA), reuniu-se, presencialmente, a Banca de Defesa de Dissertação de **ATHOS RODRIGUES SOARES VIANA**, aluno do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Após avaliação da defesa de Dissertação do referido aluno, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa de Dissertação intitulada:

“Produção de grãos de- bico ocubado com fertilizantes orgânicos de lodo de esgoto.”

sendo o aluno considerado (aprovado/reprovado) Aprovado. E, para constar, eu, Professor Rodinei Facco Pegoraro, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 65 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 29 de setembro de 2022.



Rodinei Facco Pegoraro
Orientador



Sidnei Tavares dos Reis
Membro



Cândido Alves da Costa
Membro



Luiz Arnaldo Fernandes
Membro

Aos meus pais, Arnaldo e Maria Auxiliadora, e ao meu irmão, Adhônis, pelo apoio incondicional e por ser toda a fortaleza que me mantém firme; por serem os pilares que me sustentam no propósito de realizar os meus sonhos, sempre de cabeça erguida, seja na alegria ou na tristeza, sem jamais desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre me proporcionar saúde e força para conduzir as minhas escolhas.

À minha família, especialmente aos meus pais e ao meu irmão, por me apoiarem e serem alicerce, pilar e estrutura na minha formação e conduta moral.

Ao meu orientador, Professor Rodinei, pelas orientações, sábias palavras e conselhos que levarei comigo para a minha vida pessoal e profissional. Agradeço por depositar confiança e liberdade para a realização do projeto – o qual foi, de fato, essencial para minha maturidade acadêmica e tomada de decisão –, pelo encorajamento e todo o apoio dado nas etapas de condução experimental.

Ao laboratorista Márcio, do Laboratório de Análise de Resíduos e Aproveitamento Agrícola (LARAA) por dispor de seu tempo para me ensinar sobre a linha de pesquisa desenvolvida no seu ambiente de trabalho, pelo qual mostrei interesse.

Aos amigos do GENURA (Grupo de Estudos de Nutrição de Plantas e Uso de Resíduos na Agricultura), Verônica, Lucas, Jéssica, Karla e Aline, pela amizade construída, boa vontade em passar conhecimento e pelas valiosas colaborações.

À CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq, por fomentarem e propiciarem a execução do projeto de pesquisa de que esta dissertação é resultado.

Ao Professor Luís Arnaldo, meu coorientador, por se mostrar receptivo e sempre de prontidão para me atender em alguma necessidade, sempre atencioso e de sábias palavras.

À doutoranda Carolina, do LARAA, pelas contribuições de Física dos Solos, pela amizade com que me acolheu no ambiente novo, e ao Professor Reginaldo, por ser solícito e prestativo.

Ao laboratorista Ismael, do Laboratório de Controle de Poluição do Solo, pelo apoio e orientação na minha chegada a Montes Claros em busca de uma república estudantil, pela amizade construída, pelos momentos de descontração e especialmente por ter cedido o espaço do laboratório (ambiente de trabalho) para determinação de dados da pós-colheita.

À Professora Leidivan, desde quando era coordenadora até o momento atual, sempre receptiva.

Aos amigos, cujas importantes colaborações eu não poderia deixar de mencionar, desde a etapa da coleta de solos até a colheita, e a outros que conheci há pouco tempo, que de algum modo tiveram participação no processo: Alex, Élcio, Maria Laura, Richardson e Gustavo.

À família do amigo Célio, de essencial importância nesta página da minha vida, pela receptividade no lar, por me nortear e me propiciarem conhecer um pouco da cidade de Montes Claros – MG.

Ao meu amigo, doutorando José Mendes, sempre de bom ânimo, positivo, proativo e de boa índole. Ao amigo Gustavo Rabelo, por quem tenho profundo respeito, pela amizade que construímos e pelas boas conversas.

Aquilo que se faz por amor está sempre além do Bem e do Mal.

Friedrich Nietzsche

Produção de grão-de-bico adubado com fertilizantes organominerais de lodo de esgoto

RESUMO

A produção e a utilização de fertilizantes organominerais provenientes de lodo de esgoto podem contribuir para o crescimento e a produção de grão-de-bico, além de propiciar destinação adequada para esse resíduo urbano. O presente estudo teve o objetivo de produzir fertilizantes organominerais (FOM) à base de lodo e avaliar a produção de grão-de-bico submetida à adubação com FOM. A etapa inicial do estudo consistiu da produção de fertilizantes organominerais no formato pó ou granulado, utilizando-se duas fontes orgânicas de lodo (lodo compostado e biocarvão de lodo) e fontes simples de fertilizantes minerais contendo N, P e K (ureia, MAP e cloreto de potássio). A segunda etapa consistiu da utilização desses fertilizantes no cultivo de grão-de-bico da variedade BRS Aleppo. O experimento foi delineado em blocos casualizados, com cinco repetições, num esquema de análise 2x2+2, consistindo de duas fontes orgânicas para produção de fertilizante organomineral (lodo compostado – LC ou biocarvão de lodo – BL), duas formas de fertilizante (granulado ou pó) e duas testemunhas adicionais (adubação mineral com NPK na proporção 04:15:04 e testemunha – T). Para montagem do estudo em casa de vegetação, foram utilizados 30 vasos contendo o volume de 4 dm³ de um Cambissolo, misturado com areia na proporção 1:1 (solo: areia). Duas plantas por vaso foram cultivadas durante 122 dias, sendo que, no decorrer da instalação experimental, foram realizadas adubações de cobertura e tratos culturais (água deionizada, remoção manual de plantas daninhas e insetos-praga). A colheita das plantas foi realizada por meio da coleta da planta inteira (raiz, parte aérea, grãos, palha) e as partes das plantas foram secas em estufa com ventilação forçada (60-65°C) até obtenção de peso constante. Também foram coletadas amostras e solo para caracterização dos atributos químicos. A adubação organomineral com lodo compostado e biocarvão de lodo, na forma pó ou granulado, favoreceu a variável fisiológica índice de clorofila total e incrementou as características de produção (matéria seca de raiz, grãos, parte aérea, total, resíduos vegetais) em comparação ao tratamento sem adubação (T), e propiciou médias semelhantes àsquelas encontradas no solo adubado com fertilizante mineral NPK. A aplicação de fertilizante granulado ou pó não diferiram entre si para a maioria das variáveis estudadas. Os resultados obtidos possibilitam inferir que a utilização de fertilizante organomineral à base de lodo apresenta potencial de produção de grão-de-bico semelhante ao obtido nos manejos que receberam somente adubação mineral. Assim sendo, a utilização de lodo pode ser considerada alternativa de manejo para formulação de fertilizantes organominerais e recomendação técnica nos cultivos agrícolas.

Palavras-chave: *Cicer arietinum* L. Bio sólido. Biochar. Pulses.

Chickpea production fertilized with organomineral fertilizers from sewage sludge

ABSTRACT

The production and use of organomineral fertilizers coming from sewage sludge can contribute to the growth and production of chickpeas, in addition to providing adequate disposal for this urban waste. The study aimed to produce organomineral fertilizers (FOM) based on sludge and to evaluate the production of chickpeas submitted to fertilization with FOM. The initial stage of the study consisted of producing organomineral fertilizers in powder or granular form using two organic sources of sludge (composted sludge and sludge biochar) and simple sources of mineral fertilizers containing N, P and K (urea, MAP and chloride of potassium). The second stage consisted of using these fertilizers in the cultivation of chickpeas of the BRS Aleppo variety. The experiment was designed in randomized blocks, with five replications, in a 2x2+2 analysis scheme, consisting of two organic sources for the production of organomineral fertilizer (composted sludge - LC or sludge biochar - BL), two forms of fertilizer (granulated or powder) and two additional controls (mineral fertilization with NPK in the proportion 04:15:04 and T-control). To set up the study in a greenhouse were used 30 pots containing 4 dm³ of a Cambisoil, mixed with sand in a 1:1 ratio (soil:sand). Two plants per pot were grown for 122 days. Being that, during the experimental installation were carried out cover fertilization and cultural practices (deionized water, manual removal of weeds and insect pests). Plants harvested were carried out by collecting the entire plant (roots, shoots, grains, straw) and the plant parts were dried in an oven with forced ventilation (60-65°C) until constant weight was obtained. They were also collected samples and soil for the characterization of chemical attributes. The organomineral fertilization with composted sludge and sludge biochar, in powder or granular form, favored the physiological variable total chlorophyll index and incremented the production characteristics (root dry matter, grains, shoots, total, plant residues) compared to the treatment without fertilization (T), and provided averages similar to those found in the soil fertilized with NPK mineral fertilizer. The application of granulated or powdered fertilizer did not differ between them for most of the studied variables. The results obtained make it possible to infer that the use of organomineral fertilizer based on sludge presents a production potential for chickpea similar to that obtained in the managements that received only mineral fertilization, therefore, the use of sludge can be considered an alternative of management for formulation of organomineral fertilizers and technical recommendations on agricultural crops.

Keywords: *Cicer arietinum* L. Biosolid. Biochar. Pulses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Escala Fenológica do grão-de-bico (<i>Cicer arietinum</i> L.) tipo kabuli, Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. 2020.....	19
Figura 02 – Etapas de síntese do fertilizante especial e, como resultado final, o biocarvão.....	26
Figura 03 – Esquema da produção do fertilizante organomineral.....	33
Figura 04 – Temperatura máxima e mínima e umidade relativa durante o cultivo do grão-de-bico no ano de 2021, com base nas informações do INMET	34
Figura 05 – A produção do biocarvão de lodo em etapas: A) Confinamento do lodo compostado na caixa de ferro inox e, posteriormente, pesagem. B) Lodo compostado submetido à temperatura de 450 °C na mufla, para confecção do biocarvão. C) Biochar (biocarvão) de lodo na condição carbonizada e saída de um material betuminoso	36
Figura 06 – Almofariz para reduzir os tipos de fertilizantes a pó	37
Figura 07 – Peneiramento dos tipos de fertilizantes em pó	37
Figura 08 – Imagem da ventilação forçada em estufa a T→ 65°C.....	39
Figura 09 – A) Granulação de biocarvão de lodo, B) biocarvão de lodo em pó	39
Figura 10 – A) Granulação de lodo de esgoto, B) lodo de esgoto em pó.....	39
Figura 11 – Granulação do biocarvão de lodo (BL) e lodo compostado (LC) após a secagem	40
Figura 12 – Confecção do fertilizante mineral a partir de fontes conhecidas de NPK. As letras representam: a) UREIA; b) MAP; c) KCl, d) NPK.....	40
Figura 13 – Imagens ilustrativas no manejo da adubação no sulco de semeadura (imagem à esquerda) e procedimento de semeadura de quatro sementes por vaso (imagem à direita) de grão-de-bico.....	42
Figura 14 – Imagem ilustrativa do clorofilômetro portátil (SPAD) utilizado para estimar o índice de clorofila nas plantas de grão-de-bico (SPAD: Soil plant analysis development). Marca comercial: FALKER. ClorofiLOG (CFL 1030)	43
Figura 16 – As variáveis índice de clorofila a, b, total e relação a/b, altura da planta, número de vagens (NV) com um (NV1) ou dois grãos (NV2), número de grãos por planta e peso de 100 grãos (P100), após a adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulado ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral).....	49
Figura 17 – As variáveis matéria seca de raízes (MSR), grãos (MSG), parte aérea (MSPA), palhada (MSPALHA), total (MST), relação raízes/parte aérea (R/P), índice de colheita (IC) e incremento relativo (IR) no grão-de-bico, após manejos da adubação organomineral (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral; BP: biochar + NPK pó; LG: lodo de esgoto + NPK granulado; LP: lodo de esgoto + NPK em pó e BG: biochar + NPK granulado).....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Exposição das fases fenológicas do grão-de-bico (<i>Cicer arietinum</i> L.) tipo_kabuli. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. 2020.....	19
Tabela 02 – Os fertilizantes minerais, de acordo com a sua natureza física (I) sólida ou (II) fluida: especificações de natureza física e garantia granulométrica.....	31
Tabela 03 – Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no experimento.....	35
Tabela 04 – Especificação das doses dos fertilizantes aplicados para suprir a demanda NPK dos tratamentos utilizados na semeadura do grão-de-bico.....	37
Tabela 05 – Programa elaborado para tempo e velocidade de agitação para obtenção dos fertilizantes organominerais.....	38
Tabela 06 – Separação granulométrica dos fertilizantes utilizados no estudo	41
Tabela 07 – Caracterização química do solo misturado com areia utilizado na montagem do estudo.....	42
Tabela 08 – Resumo da análise de variância (ANOVA) submetido ao teste (F) significativo ($p \leq 0,05$) e com 5% de significância, e ao teste de Dunnett (comparado aos tratamentos adicionais) para as variáveis: índice de clorofila (CLOA), (CLOB), (CLOT) e relação (CLOA/B), altura (ALT), número de vagens (NV), número de vagens com um (NV1) ou dois (NV2) grãos, no grão-de-bico, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA e PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral).....	48
Tabela 09 – Resumo da análise de variância (ANOVA) submetido ao teste (F) significativo ($p \leq 0,05$) e 5% de significância, e ao teste de Dunnett (comparado aos tratamentos adicionais) para os atributos: pH, P, K, Ca e Mg, Al, H+Al, SB, t, T, m, V,CO e MO do solo, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral).....	54
Tabela 10 – Atributos químicos pH, P, K, Ca e Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, CO do solo, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação e adubação com NPK na forma mineral).....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABISOLO	–	Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal
ANDA	–	Associação Nacional para de Difusão de Adubos
BL	–	Biocarvão de Lodo
CEC	–	Capacidade de Troca Catiônica
CONAMA	–	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Corg	–	Carbono Orgânico
CFSEMG	–	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVIS	–	Environmental Information System
EPI	–	Equipamento de Proteção Individual
ETc	–	Evapotranspiração de cultivo
ETEs	–	Estações de Tratamento de Esgotos
EUROSTAT	–	Estatísticas Europeias
FAO	–	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FAOSTAT	–	Statistics Division Food and Agriculture Organization
GEE	–	Gases do Efeito Estufa
IAC	–	Instituto Agronômico de Campinas
ICA	–	Instituto de Ciências Agrárias
ICAR	–	Indian Council of Agricultural Research
ICRISAT	–	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
LC	–	Lodo Compostado
LE	–	Lodo de Esgoto
MAPA	–	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MO	–	Matéria Orgânica
N total	–	Nitrogênio Total
SB	–	Soma de Bases
SDA	–	Secretaria de Defesa Agropecuária
SPAD	–	Desenvolvimento de Análise de Planta e Solo
TFSA	–	Terra Fina Seca ao Ar
UE	–	União Europeia
UFMG	–	Universidade Federal de Minas Gerais
USDA	–	United States Department of Agriculture
USEPA	–	United States Environmental Protection Agency

LISTA DE NOTAÇÕES OU SIMBOLOS

°C	Temperatura
cm	Diâmetro
cmolc dm ⁻³	Soma de Base, Capacidade de Troca Catiônica
dag kg ⁻¹	Carbono e Matéria Orgânica do Solo
dm ³	Volume
g	Massa
g ha ⁻¹	Dose de adubo via foliar
kg ha ⁻¹	Produtividade, Dose de fertilizante (NPK)
h	Tempo
ha	Área
kg	Peso
L	Volume
mL	Volume
m	Comprimento, largura, altitude
m ²	Área
mesh	Abertura da malha (peneira)
minuto	Tempo
mm	Diâmetro, precipitação
mmol kg ⁻¹	Soma de Base, Capacidade de Troca Catiônica por unidade de massa
Mt ano ⁻¹	Produção por ano
nm	Comprimento de onda
η	Rendimento do lodo de esgoto
Ø	Diâmetro da malha
rpm	Velocidade de rotação
t	Produção
U _{bm}	Umidade em base de massa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Importância do Cultivo do Grão-de-Bico	17
3.1.1	Fenologia do Grão-de-Bico.....	18
3.2	Manejo da Adubação Mineral e Organomineral	21
3.2.1	Adubação Mineral e Organomineral em Cultivos Agrícolas	22
3.2.2	Produção de Biocarvão e Adubo Compostado.....	24
3.3	Adubação com Fertilizantes Organominerais	26
3.4	Importância do Lodo como Fertilizante	27
3.4.1	Legislação para Produção e Principais Tipos de Fertilizantes (Pó, Granulado, Farelado).....	29
3.4.2	Principais Matérias-Primas e Tecnologias para Produção de Fertilizante Organomineral Granulado.....	32
4	MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1	Instalação Experimental	34
4.1.1	Estudo 1. Produção de Fertilizantes Organominerais Provenientes de Lodo de Esgoto	34
4.1.2	Estudo 2. Delineamento e Tratamentos: Produção de Grão-de-Bico Adubado com Fertilizantes Organominerais de Lodo Compostado e Biocarvão.....	41
4.2	Análise Fisiológica.....	43
4.3	Colheita das Plantas.....	43
4.4	Coleta de Solo.....	44
4.5	Análise Estatística	44
5	RESULTADOS	45
5.1	Componentes de Produção do Grão-de-Bico.....	45
5.2	Atributos Químicos do Solo	52
6	DISCUSSÃO	58
7	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O grão-de-bico é classificado como uma leguminosa e se adequa na seguinte sistemática: família *Fabaceae* (*Leguminosae*); subfamília *Faboideae* (*Papilionaceae*); tribo *Cicereae*; gênero *Cicer* (USDA, 2021). Dentre as 44 espécies identificadas do Gênero *Cicer*, apenas o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é cultivado em quase todas as partes do mundo, abrangendo Ásia, África, Europa, Austrália, América do Norte e América do Sul (SINGH *et al.*, 2014). O grão-de-bico é a segunda leguminosa mais importante, em alimentação, depois do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) em termos de produção anual. Em 2019, a produção global de grão-de-bico foi de 14,25 milhões de toneladas (t), o correspondente a uma área de 13,72 milhões de hectares (ha), dando um rendimento médio de 1038 kg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2019).

No Brasil, a produção é deficiente, levando o país a importar da Argentina e do México a maioria dos grãos consumidos (NASCIMENTO *et al.*, 2016). A região de transição do Cerrado brasileiro é indicada para cultivo dessa leguminosa (ARTIAGA *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2016), pois foram verificadas produtividades de 797 kg ha⁻¹ em sequeiro (ARTIAGA *et al.*, 2015), acima de 2.700 kg ha⁻¹ em sistemas irrigados (HOSKEM *et al.*, 2017; AVELAR *et al.*, 2018; PEGORARO *et al.*, 2018; FONSECA *et al.*, 2020; ALMEIDA NETA *et al.*, 2020), o que indica boas respostas produtivas. A reciclagem, reutilização, conversão e recuperação de nutrientes ou até mesmo energia foram identificadas como componentes de manejo de biossólidos (SHADDEL *et al.*, 2019). No entanto, a reciclagem de lodo de esgoto pode estar sujeita a regulamentações legislativas, técnicas e problemas sociais. Alguns países europeus estabeleceram exigências quanto ao teor de metais pesados, substâncias orgânicas e a condição sanitária do lodo de esgoto (KOMINKO *et al.*, 2021).

A Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) restringe o uso de tal fertilizante por ser de origem contaminante (BRASIL, 2006). No entanto, o lodo de esgoto tem características que melhoram as condições dos solos, fornecendo matéria orgânica de qualidade, além dos nutrientes essenciais (MESQUITA *et al.*, 2017). O lodo de esgoto é assistido como um passivo ambiental e deve ser disposto de forma segura. No cenário global, as alternativas mais triviais quanto à disposição estão: incineração, destino aos aterros sanitários, aplicação no solo (com finalidade agrícola ou recuperação de áreas degradadas, principalmente) somadas a outras utilidades – por exemplo, na construção civil ou como adsorvente (COLLIVIGNARELLI *et al.*, 2019).

O lodo estabilizado por processos de compostagem ou pirólise (biochar) pode ser utilizado para formulação de fertilizantes organominerais. Nesse contexto, todo fertilizante organomineral deve conter uma parcela mínima de matéria orgânica proveniente de diferentes fontes categorizadas conforme suas procedências. A matéria-prima que tem maior potencial de aproveitamento econômico, em função da eficiência do setor agrícola brasileiro para o setor de organominerais, é proveniente de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria nos quais não sejam empregados metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos com potencialidade tóxica, resultando, desta forma, em um produto de utilização segura na agricultura (CRUZ *et al.*, 2017).

Uma alternativa que tem sido explorada é a utilização de lodo de esgoto como matriz orgânica para a produção de adubos organominerais, geralmente na forma de grânulos ou pellets, adicionando-se fontes minerais como ureia, nitrato ou sulfato de amônio, fosfato monoamônico ou diamônico, cloreto de

potássio, entre outros. Essa prática tem sido adotada por países europeus e pelos Estados Unidos, por facilitar o manejo do lodo nas áreas agrícolas devido às menores taxas de aplicação e reduzir a dependência de fertilizantes minerais (KOMINKO *et al*, 2017).

Abordar fertilizantes organominerais de lodo de esgoto como objeto de estudo neste trabalho justifica-se com base na prerrogativa abordada no parágrafo anterior: na agricultura, a estratégia de adotar resíduo orgânico para o manejo de fertilizante organomineral com valor sustentável, baixo custo, rentabilidade e viabilidade significativas tem sido uma alternativa para contornar a menor dependência da matriz de exportação, isto é, de insumos minerais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a produção de grão-de-bico adubado com fertilizantes organominerais produzidos a partir de lodo de esgoto.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir fertilizante organomineral nas formas de pó e de granulado de compostos de lodo de esgoto;
- Caracterizar atributos químicos do solo após a aplicação de fertilizantes organominerais de compostos de lodo de esgoto;
- Produzir grão-de-bico submetido à adubação com fertilizante organomineral na forma de pó e de granulado, em substituição parcial à adubação mineral.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância do Cultivo do Grão-de-Bico

O grão-de-bico é uma das três mais importantes leguminosas na alimentação, juntamente com o feijão e a ervilha, e supera a produção de 8,40 milhões de toneladas por ano no mundo (IMTIAZ *et al.*, 2015). É uma fonte rica e barata de proteínas, gorduras e carboidratos em países em desenvolvimento e usado como adubo verde e forragem para animais em todo o mundo (AHMAD *et al.*, 2016).

O grão-de-bico é cultivado em todo o mundo em cerca de 57 países sob condições ambientais variadas, particularmente em regiões como Península da Índia, Mediterrâneo, Austrália, África, Américas do Sul e do Norte, Balcãs, Eslováquia, Paquistão, Síria e Tunísia (MERGA *et al.*, 2019; IQBAL *et al.*, 2006; VIVEROS *et al.*, 2001).

Dentro do grupo das “pulses”, relativo às sementes secas comestíveis de leguminosas, atendido também como “leguminosa grão” ou “leguminosa seca”, o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) destaca-se por ocupar a posição de terceiro em produção e a segunda leguminosa mais cultivada em área (MERGA; HAJI, 2019; SWAMY; RAJA; WESLEY, 2020). Os pulses, de fato, podem ser cruciais na redução da desnutrição e na erradicação da fome, cumprindo um papel importante na segurança alimentar da população mundial (Ahmad *et al.*, 2020; Considine; Siddique; Foyer, 2017; Erb *et al.*, 2016), bem como na alimentação da crescente população vegetariana e vegana (BAR-EL DADON; ABBO; REIFEN, 2017).

A cultura do grão-de-bico tem se expandido no mundo e, conseqüentemente, esse fato impacta a demanda de sementes de alta qualidade. Assim sendo, estudos relacionados com a produção e o processamento de sementes são importantes para colocar sementes de alta qualidade à disposição do mercado (TRANCOSO *et al.*, 2021). A diminuição do retorno econômico do grão-de-bico pode ser atribuída à deficiência de umidade e solos deficientes em nutrientes (KHAN *et al.*, 2019).

A pesquisa de melhoramento de grão-de-bico do ICRISAT tem destaque importante na África Oriental e Austral (ESA), assim como no Sul e Sudeste da Ásia. Regiões na África e Ásia contribuem com 73% e 93% da produção total de grão-de-bico, respectivamente. A pesquisa de melhoria do grão-de-bico nessas regiões é principalmente realizada por organizações do setor público. As variedades de grão-de-bico desenvolvidas por meio de colaborações do Conselho Indiano de Pesquisas Agrícolas (ICAR) e do Instituto Internacional de Pesquisa de Cultivos para os Trópicos Semiáridos (ICRISAT) atualmente representam cerca de 65% da demanda total de sementes de grão-de-bico no centro e no sul da Índia. Entre os anos de 1981 a 2018, a produção de grão-de-bico aumentou 6 vezes (de 1,29 milhão de toneladas para 8,25 milhões de toneladas) no centro e sul da Índia, devido a um aumento de área em três vezes (2,43 milhões de ha para 7,8 milhões de ha) e à duplicação da produtividade (530 kg ha⁻¹ a 1058 kg ha⁻¹). O centro e o sul da Índia são agora uma das principais regiões produtoras de grão-de-bico do mundo e, em 2018, contribuíram com 48% da produção global dessa leguminosa e 73% da produção de grão-de-bico na Índia (ICRISAT, 2022).

Já no Brasil, a ampliação de cultivares mais produtivas e adaptadas tem permitido o aumento da produção de grão-de-bico. Mas áreas do Cerrado e áreas próximas ao semiárido brasileiro apresentam potencial de obter rendimentos de grãos superiores a 1.000 kg ha⁻¹ (PEGORARO *et al.*, 2018; AVELAR *et al.*, 2018; ARTIAGA *et al.*, 2015).

Nascimento *et al.* (2016) relatam que há uma forte demanda pelo grão em ascensão, no Brasil. De acordo com Embrapa Hortaliças (2018), o segmento da população que não consome carne, os

celíacos (pessoas que possuem intolerância ou reação exagerada do sistema imunológico ao glúten) e os adeptos da alimentação saudável podem contribuir para o aumento do consumo dessa leguminosa no país.

Conforme Avelar *et al.* (2018), até o ano de 2010, não havia registro de áreas com produção do grão-de-bico no Brasil, ou seja, a área cultivada era inexpressiva, levando o país a importá-lo. Portanto, ele não está presente nos bancos de dados estatísticos sobre produção agrícola (MERGA; HAJI, 2019; FAOSTAT, 2020). Em 2011, o Brasil importou 4 mil toneladas. Em 2013, esse volume passou de 7 mil toneladas do grão, com valor de aproximadamente 6,8 milhões de dólares. O grão-de-bico foi importado da Argentina e do México (ARTIAGA *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2016).

A germinação desse grão é do tipo hipógea. Sua raiz primária é comprida e ramificada. Seus ramos são classificados em primários, secundários e terciários. Seu crescimento tem cinco tipos, baseados na inclinação das hastes: ereto, semiereto, semi-inclinado, inclinado e prostrado. Os portes eretos e semieretos são adaptados para a colheita mecanizada. A leguminosa possui ainda tricomas glandulares e não glandulares (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Suas folhas podem ser alternadas, imparipinadas, compostas por 9 a 19 folíolos sésseis, ovalados ou oblongos. As flores permitem diferenciar dois tipos de grão-de-bico: a flor com cor púrpura é característica do grupo desi e a flor de cor branca, do grupo kabuli. As vagens podem conter uma ou duas sementes. Os formatos da semente são angular, cilíndrico e arredondado, com superfície enrugada ou áspera (desi) ou lisa (kabuli). O peso de cem sementes varia de 8 a 75 g (VAN DER MAESEN, 1987; NASCIMENTO *et al.*, 2016).

3.1.1 Fenologia do Grão-de-Bico

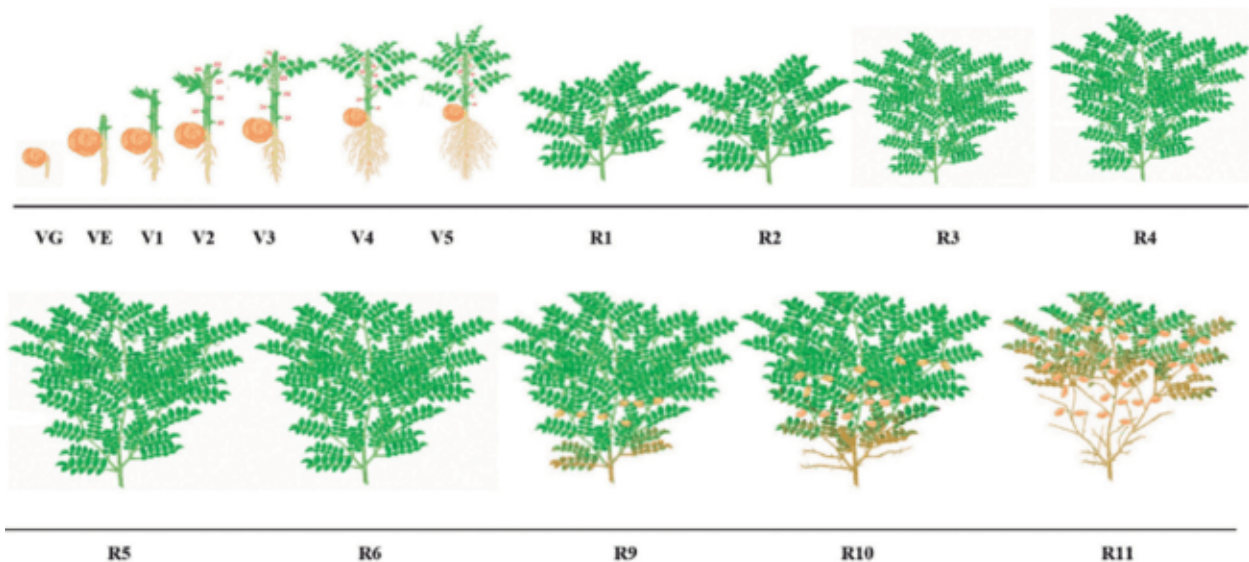
De acordo Carvalho *et al.* (2021), a escala fenológica padronizada para a cultura do grão-de-bico do tipo kabuli faz abordagem da cultivar BRS Kalifa (TABELA 01, FIGURA 01) constando de dezenove estádios fenológicos e foi subdividida em oito fases vegetativas (VG, VE, V1, V2, V3, V4, V5, Vn) e onze fases reprodutivas (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11).

Tabela 01 – Exposição das fases fenológicas do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) tipo kabuli. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. 2020.

ESTÁDIO FENOLÓGICO DO GRÃO-DE-BICO	
FASE VEGETATIVA (V)	FASE REPRODUTIVA (R)
VG – Germinação das sementes	R1 – Início da floração (uma flor aberta na planta)
VE – Emergência de plântulas	R2 – Abertura dos botões (pétalas se estendem)
V1 – a primeira folha (1ª folha) se desdobra do caule	R3 – Plena floração (a maioria das flores estão abertas)
V2 – a segunda folha (2ª folha) se desdobra do caule	R4 – Murchamento das flores
V3 – a terceira folha (3ª folha) se desdobra do caule	R5 – Início da frutificação
V4 – a quarta folha (2ª ramo) se desdobra do caule – 2º nó do ramo principal ou primário	R6 – Plena frutificação
V5 – a quinta folha (3ª ramo) se desdobra do caule – 1º nó do ramo principal ou primário	R9 – Início da maturação
Vn – a enésima folha (n ramo) se desdobra do caule	R10 – 50% das vagens maduras
	R11 – 90% das vagens maduras

Fonte: adaptado de Carvalho *et al.* (2021)

Figura 01 – Escala Fenológica do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) tipo kabuli, Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. 2020



Fonte: Reyes (2021)

A temperatura, salinidade, seca (estresse abiótico) ou até mesmo o manejo inadequado das culturas pode reduzir o rendimento dos cultivos em até 80% (BOYER, 1982; ANJUM *et al.*, 2011). Devido aos recentes impactos nas condições climáticas globais, o estresse térmico (alta temperatura) vem tornando-se mais frequente durante a fase reprodutiva, afetando drasticamente a produtividade de

grãos (GAUR *et al.* 2019).

Sita *et al.* (2017) e Wang *et al.* (2006) apontam que o estresse térmico limita o crescimento e o vigor do grão-de-bico em todos os estádios fenológicos. No entanto, a fase reprodutiva foi considerada mais sensível aos extremos de temperatura, se comparada à fase vegetativa. A produção de leguminosas está cada vez mais ameaçada por vários estresses ambientais (VYAS, 2014). No mundo, muitas regiões estão passando por mudanças climáticas, acarretando longos períodos de altas temperaturas e deficiência hídrica. Além da degradação do solo e do estresse térmico, a seca é o componente abiótico que mais impacta na produção das leguminosas (DARYANTO *et al.*, 2015). Para espécies olerícolas, a exemplo do tomate, a correlação existente entre medidas indiretas – mensuradas por métodos não destrutivos, como SPAD – e níveis determinados diretamente por métodos destrutivos – como a aferição via extração – foi significativa e positiva (NOGUEIRA *et al.*, 2018).

O índice SPAD (Solo Plant Analysis Development) é uma das fundamentais técnicas não destrutivos sendo, portanto, utilizados como ferramenta suporte para a definição de procedimentos de gestão e quantificação de pigmentos em comprimentos de onda nas faixas de 650 e 940 nm (COELHO *et al.*, 2018; NOGUEIRA *et al.*, 2018; PÔRTO *et al.*, 2011; VIDIGAL *et al.*, 2018).

A molécula de clorofila é responsável pela fotossíntese das plantas, caracterizada por duas formas (a e b); a clorofila (b) expande a faixa de luz usada pela fotossíntese e transfere energia para clorofila (a), uma molécula que a utiliza em fotossíntese (TAIZ *et al.*, 2017). A clorofila quantificada no decorrer da evolução da planta contribui para o manejo da colheita, com o propósito de potencializar o rendimento (JIANG *et al.*, 2017; NOGUEIRA *et al.*, 2018). De acordo Li *et al.* (2019), isso é um parâmetro quantitativo crucial no manejo nutricional, como avaliar o estado de nitrogênio das plantas.

Dentre as medições de fluorescência, como o fluorímetro que estabelece quantificação da intensidade e a distribuição do comprimento de onda dado por um espectro de luz, o parâmetro de fluorescência que pode ser levado em consideração é a clorofila (a) – de fato, o primeiro pigmento que inicia a fotoquímica e um dos indicadores de estado do aparelho fotossintético –, mostrando mudanças na sua funcionalidade e na rota da fotossíntese, ao mesmo tempo que permite localizar os danos mais importantes da região de atividade fotossintética (MURCHIE e LAWSON, 2014).

Lichtenthaler *et al.* (1986) mostraram que as plantas (dependendo da espécie) perderam até 10% da energia luminosa absorvida na forma de fluorescência da clorofila. A fluorescência pode ser usada com sucesso no estudo sobre efeitos de estresses ambientais, como déficit hídrico, baixa temperatura ou metais pesados (KALAJI *et al.* 2016). Em condições de déficit hídrico, os incrementos foram observados nos níveis de clorofila (b), a fim de melhorar a eficiência fotossintética (FRANÇA *et al.*, 2017).

No momento de déficit hídrico ameno, correspondente a 70% da ET_c (Evapotranspiração de Cultivo), o índice SPAD, de fato, foi correlacionado com os teores de clorofila (b) (WENNECK *et al.*, 2021). Tanto o conteúdo de clorofila (b) quanto a clorofila total são influenciados principalmente por fatores externos (ambientais), enquanto a clorofila (a) está particularmente associada ao manejo de culturas (MOURA NETO *et al.*, 2021).

O componente de produção, índice de colheita, foi relatado como parâmetro de eficiência agrônômica, pois expressa a proporção do rendimento de sementes (grãos) totais pelo rendimento biológico total ou biomassa total (IQBAL *et al.*, 2020). O índice de colheita como parâmetro de

rendimento, diante do trabalho de Ragonezi *et al.*(2022), ao avaliar o uso de lodo de esgoto como uma matriz de matéria orgânica, mostrou-se fundamental para a regeneração de solos com erodibilidade, proporcionando a melhoria da produção agrícola, e obteve resultados que mostraram como a aplicação do lodo de esgoto para o cultivo de batata doce melhorou o desempenho agrônômico para os parâmetros de biomassa, produtividade e biomassa da parte aérea, mas teve o efeito oposto sobre o índice de colheita.

3.2 Manejo da Adubação Mineral e Organomineral

A maior parte dos fertilizantes utilizados mundialmente é de origem mineral solúvel e de fontes não renováveis. Os benefícios obtidos com o seu uso são a pronta disponibilidade do nutriente fornecido pelo fertilizante, permitindo assim a incorporação de áreas antes deficientes em nutrientes. Porém, a obtenção desses fertilizantes se dá com gasto energético elevado e com possíveis problemas ambientais associados à sua pronta disponibilidade, como, por exemplo, a sua mobilidade, que possibilita perdas e contaminações, tanto por metais pesados como pela eutrofização dos recursos hídricos. No Brasil, o cenário não é diferente, podendo-se adicionar também a grande dependência externa de fertilizantes, já que se importa 88% do N, 63% do P_2O_5 e 97% do K_2O utilizados na agricultura (ANDA, 2018).

Os fertilizantes comerciais alavancaram para o topo da lista de prioridades no ramo científico o desenvolvimento de novas práticas agrícolas sustentáveis, com o objetivo de atender à demanda mundial de alimentos, levando-se em conta a segurança alimentar. A produção agrícola anual global extrapola 3 bilhões de toneladas, exigindo 187 milhões de toneladas de fertilizantes, o que é colossal, e estima-se que a necessidade ultrapasse 200 milhões de toneladas em 2022. Além disso, aproximadamente 815 milhões de pessoas estão desnutridas e com previsão de 2 bilhões de pessoas para estar neste grupo até 2050, o que revela, nitidamente, que fertilizantes comerciais sendo usado de forma indiscriminada não é a solução definitiva para atender à produção agrícola necessária, bem como à nutrição para as pessoas (FAO, 2019; USMAN *et al.*,2020).

Quantidades expressivas de nitrogênio aplicado (N), fósforo (P) e potássio (K) na forma: NH_3 , P_2O_5 e K_2O são perdas, respectivamente, em 40%-70%, 80%-90% e 50%-90% por lixiviação, fotodegradação, hidrólise química e a indicação de decomposição microbiana corresponde mais de 50% de perda de NPK aplicada (GIROTO *et al.*, 2017; TARAFDER *et al.*, 2020; XIN *et al.*, 2020). Menos fertilizantes minerais ajudaria os agricultores, reduzindo o custo da agricultura com insumos para, assim, obter um melhor rendimento da produção agrícola (KOTSCHI, 2013).

Nos países de clima tropical, o empobrecimento químico do solo em virtude dos fatores e processos de formação do solo acarretam grandes prejuízos na introdução de algumas culturas. Com isso, surge a necessidade de incorporação de fertilizantes que possam corrigir a necessidade nutricional do solo para que haja, portanto, um bom desenvolvimento de culturas. Relata-se que insumos químicos, além de serem altamente solúveis e perdidos rapidamente pelo processo de lixiviação, são importados e onerosos aos produtores, devido ao fato de, em sua maioria, serem advindos dos Estados Unidos, da Rússia e do Canadá, principais produtores de minerais utilizados para a formulação do NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio (ASSIS *et al.*,2013).

No Brasil, a oferta de fertilizantes, sobretudo de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), é atendida predominantemente pela importação de insumos. Entretanto, é possível mitigar a dependência dessas importações com pesquisas e novas tecnologias de fertilizantes de fontes alternativas de nutrientes e ainda promover a destinação ambientalmente mais adequada de resíduos agroindustriais com a produção de fertilizantes orgânicos e organominerais (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

Os fertilizantes organominerais são provenientes de restos vegetais e animais. Através da compostagem, existe a possibilidade de reciclar os resíduos de origem urbana e agrícola tornando-os uma fonte de fertilizante orgânico que fornece macronutrientes como nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), enxofre (S) e fósforo (P), além dos micronutrientes cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn) e o elemento benéfico, o sódio (Na). No entanto, deve-se atentar aos elementos contaminantes presentes na fonte, como cromo (Cr), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e chumbo (Pb) em concentrações elevadas. Os fertilizantes organominerais são produzidos a partir de uma mistura física de resíduos orgânicos, como dejetos de aves, grama ou lodo de esgoto, com pelo menos uma fonte inorgânica. Conforme a legislação, os fertilizantes devem atender a critérios específicos para pertencer a essa classe (NICOLODELLI *et al.*, 2016). Depois de uma análise física dos grânulos de fertilizantes organominerais para avaliar sua aplicabilidade, determinou-se a possibilidade de aplicá-los com o equipamento comumente usados para fertilizantes minerais (ANTILLE *et al.*, 2013).

3.2.1 Adubação Mineral e Organomineral em Cultivos Agrícolas

O fertilizante ou adubo é definido como uma substância natural ou artificial que, na sua composição química, contém elementos como Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), os quais melhoram o crescimento e a produtividade das plantas. Existem os fertilizantes minerais essencialmente fabricados ou extraídos por processos químicos (industriais), em oposição ao material orgânico, que contém carbono. Dessa forma, são chamados de fertilizantes químicos os fertilizantes artificiais ou fertilizantes inorgânicos. Quanto às classes de fertilizantes, são divididos em: minerais simples, minerais complexos, minerais-orgânicos (EUROSTAT, 2019).

O Decreto nº 8.384 da legislação vigente enfatiza que os fertilizantes organominerais são resultados de natureza essencialmente orgânica, garantidos por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado. A obtenção do FOM é através de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, nas quais são adicionadas fontes de nutrientes minerais, contribuindo para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, assim como do fornecimento de nutrientes para as plantas (BRASIL, 2014).

A produção de fertilizantes orgânicos e organominerais (FOMs) demanda o uso de resíduos com alta concentração de nutrientes, como os esterco oriundos de sistemas intensivos de produção animal, lodo de esgoto, casca de café, composto de lixo, etc., e, portanto, requer resíduos mais concentrados em nutrientes. A síntese de FOMs envolve rotas variadas, com o uso de matérias-primas oriundas de plantas de compostagem, subprodutos de processos industriais de fermentação, lodo de biodigestores e, mais recentemente, biocarvão gerado em reatores de pirólise (ABISOLO, 2020).

A utilização de organominerais produzidos a partir de resíduos orgânicos pode incorporar estes nutrientes ao processo produtivo, favorecendo a ciclagem de nutrientes, além de promover também a melhoria nas características físicas do solo., o que pode levar a uma diminuição da dependência externa

desses fertilizantes e, assim, minimizar o impacto ambiental (ZONTA *et al.*, 2016).

O fertilizante organomineral pode ser estabelecido como um fertilizante obtido por mistura, reação química, granulação ou dissolução em água de fertilizantes inorgânicos com um teor declarável de um ou mais nutrientes primários com fertilizantes ou melhoradores de solo (RAMOS *et al.*, 2017). Antille *et al.* (2014), estudando os efeitos de fertilizantes organominerais derivados de biossólidos, biossólidos granulados e ureia, estabeleceu que os solos com azevém (*Lolium perenne* L.), nos quais que se aplicaram organomineral e biossólido orgânico, apresentaram aumento dos níveis de P durante 3 anos consecutivos. Autores apontaram que, com a aplicação desse fertilizante organomineral, houve uma liberação lenta de P, que pode funcionar por vários anos a partir de então.

No trabalho de Coelho *et al.* (2011), avaliou-se a substituição da adubação mineral pelo lodo de esgoto e o efeito no desempenho agrônômico da bananeira cv. IAC 2001, comparado à necessidade de nitrogênio da cultura. Observou-se que os elementos N, P, K, Mg, S, B, Fe, Zn, quando avaliados os teores de nutrientes das folhas de bananeiras, apresentaram valores semelhantes aos da adubação mineral, sendo então uma possibilidade a aplicação do lodo de esgoto como fertilizante para a cultura. Trabalho semelhante foi realizado em tangerineiras 'Ponkan' enxertadas em citrumeleiro 'Swingle'. Observou-se que as folhas das plantas adubadas com lodo de esgoto apresentaram maiores teores de N, P, Ca e S que plantas adubadas com fertilizantes minerais (SANTOS *et al.* 2011). Inúmeros relatos afirmam que a adubação orgânica aumenta a produtividade de raízes e da parte aérea da mandioca, pois melhoram as características físicas, químicas e biológicas do solo (EMBRAPA, 2016). Oliveira *et al.* (2016) avaliaram que os biofertilizantes formulados à base de lodo de esgoto sanitizado, turfa ou torta de filtro têm a capacidade de substituir a adubação mineral para produção de sorgo, com redução da dose aplicada equivalente a 50% em relação ao fertilizante mineral (NPK) correspondente a 450 kg ha⁻¹, recomendado para a cultura.

Prado *et al.* (2016) relatam que o fertilizante de natureza organomineral melhorou o crescimento, o desenvolvimento, a nutrição mineral e o rendimento de soja, visto que a aplicação via foliar do fertilizante para as doses entre 45 e 56 g ha⁻¹ influenciou positivamente os componentes de rendimento. Almeida *et al.* (2021) apontam que o fertilizante organomineral contribuiu significativamente para o desenvolvimento da cultura do feijão, atribuindo maior eficiência de absorção dos macronutrientes como N e K, aumento do peso de 100 grãos, número de grãos por vagem, número de vagens por planta e produtividade de grãos, quando se compara à ausência de adubação, adicionando-se doses de nitrogênio, respectivamente, de 90 e 150 kg ha⁻¹. Orlando Júnior *et al.* (2016) relataram que as plantas tiveram maior crescimento após aplicação do fertilizante organomineral (esterco de frango + NPK) em relação ao fertilizante mineral (NPK), quanto ao número de vagens por planta e ao número de vagens com dois ou três grãos em plantas de soja.

Na composição de fertilizantes organominerais podem ser utilizados diversos tipos de material orgânico, como cama de frango, esterco de suínos, torta de filtro e lodo de esgoto (RAMOS *et al.*, 2017). Essa última fonte se destaca como promissora na ciclagem de nutrientes de resíduos urbanos (ANTILLE *et al.*, 2013, 2017). O preparo do lodo de esgoto como matéria prima requer a separação mecânica da fase sólida contida na pasta e o tratamento químico com cal virgem e solarização (ALVES FILHO *et al.*, 2016). Assim, esse subproduto torna-se livre de contaminação química e biológica. A partir desse tratamento de higienização, o lodo de esgoto denomina-se biossólido, estando viável para uso na

agricultura como FOM.

Cardoso *et al.* (2017) não observaram diferenças entre fertilizantes organominerais e inorgânicos para uma safra de batata de inverno (*Solanum tuberosum* L.). Porém, para a safra chuvosa, as plantas de batata fertilizadas com o organomineral apresentaram maior produção. Embora alguns resultados satisfatórios tenham sido obtidos, uma análise intrínseca dos fertilizantes é importante. As descrições morfológicas e moleculares dos fertilizantes já foram abordadas, destacando a existência de algumas diferenças entre os fertilizantes orgânicos, inorgânicos e organominerais (MAZEIKA *et al.*, 2016b).

Primeiramente, os fertilizantes organominerais parecem ter potencial semelhante ou até superior para promover o desenvolvimento das plantas em relação aos fertilizantes inorgânicos, mas essa diferença não persiste ao longo do tempo (SAKURADA L. *et al.*, 2016; SÁ *et al.*, 2017).

3.2.2 Produção de Biocarvão e Adubo Compostado

O biochar é o produto da pirólise de diversas matérias-primas, sejam de origem animal ou vegetal. Seu uso tem sido indicado, entre muitas finalidades, como condicionador do solo e fonte nutricional para plantas, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE, 2012; SHENBAGAVALLI; MAHIMAIRAJA, 2012).

A pirólise é um dos processos mais eficazes e eficientes para obtenção de energia na forma de carvão em função da biomassa. Além da pirólise de carvão, também produzem-se diferentes bio-óleos e outros produtos de valor agregado (TRIPATHI *et al.*, 2015; MUBARAK *et al.*, 2013). O biochar, produto que consiste na degradação térmica de materiais orgânicos na presença limitada de oxigênio (pirólise), além de ser utilizado como condicionador do solo, também é capaz de elevar a sua fertilidade, melhorar a sua estrutura e beneficiar diversas espécies benéficas de microrganismos do solo, o que se reflete na sua sustentabilidade (PARTEY *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2018).

A pirólise diminui o volume de resíduos e muda as propriedades das matérias-primas padrão, reduzindo a acidez e salinidade dos biossólidos (DAI *et al.*, 2017), destruindo os contaminantes e patógenos (YUAN *et al.*, 2015) e reduzindo a mobilidade e biodisponibilidade dos metais pesados (JIN *et al.*, 2016). Alguns dos nutrientes, inserindo o fósforo contido na matéria-prima, podem ser concentrados no biochar (XU *et al.*, 2016). O biocarvão estabilizado adicionado ao solo continua sendo um tópico controverso. A pesquisa apresenta ele que chega a variar largamente de alguns anos a milhares de anos (LEHMANN, 2007). Em vista disso, o processo de produção para a estabilidade do biochar contempla tipos de matéria-prima e condições de pirólise, condições climáticas, estrutura e tipo de solo, além de outros fatores ambientais (PANDIT *et al.*, 2018). O manejo do biochar pode não afetar uniformemente a estabilidade do carbono e a fertilidade do solo em diferentes regiões; isto é, engloba uma gama de heterogeneidade de fontes entre os experimentos, caracterizando meta-análise quantitativa. Muitos dos trabalhos, inserindo estudos de laboratório, concluíram efeitos positivos da aplicação de biochar na produtividade da cultura (JEFFERY *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2012; BIEDERMAN; STANLEY, 2013; SHAREEF; ZHAO, 2017).

Numerosas abordagens tradicionais, como descarte térmico (Li *et al.*, 2018a), compostagem aeróbia (Awasthi *et al.*, 2016), e digestão anaeróbia (Xu *et al.*, 2014) foram aplicadas com sucesso no tratamento de biossólidos. A compostagem é um conjunto de técnicas adequado em termos de utilização

do ciclo de recursos, o que pode reduzir tanto a carga econômica como ambiental de biossólidos, ao converter resíduos orgânicos em fertilizantes valiosos e também reduzir a poluição da descarga de biossólidos (WONG *et al.*, 2009).

A compostagem é caracterizada por um acréscimo da temperatura da pilha superior a 55 °C, causando a eliminação de patógenos sensíveis a altas temperaturas (MORETTI *et al.*, 2015). Nessa condição, há uma intensa atividade da microbiota, que provoca a decomposição e humificação de matéria orgânica (NIKAEEN *et al.*, 2015), reduzindo o volume inicial do resíduo.

O biochar produzido a partir de lodo de esgoto só recebeu atenção nos últimos anos. Pesquisadores mostraram sua capacidade benéfica na agricultura para o condicionamento do solo, visando à melhoria da qualidade do solo (PAZ-FERREIRO *et al.*, 2012) e à redução da absorção de metais pesados pelos cultivos agrícolas (KHANMOHAMMADI *et al.*, 2017). Além disso, o biochar de lodo de esgoto pode ser utilizado como um componente de meio de cultivo na horticultura (MÉNDEZ *et al.*, 2017). Yu *et al.* (2015) no estudo com adsorção de fósforo, concluíram que o biochar produzido a partir de lodos de esgotos apresentam forte afinidade adsorvente para fósforo, mantendo assim sua disponibilidade ao longo do tempo e reduzindo possíveis perdas por erosão.

Entre as diversas matérias-primas utilizadas para a produção de biochar, o lodo de esgoto apresenta grande potencial, cujo biochar possui características físicas, químicas e biológicas desejáveis para aumentar a produtividade de culturas agrícolas de forma sustentável, com ganhos ambientais e sociais (SPOKAS *et al.*, 2012; SHENBAGAVALLI; MAHIMAIRAJA, 2012).

Biochar é rico em carbono estável (C) (70–80%), produzido através da pirólise de resíduos agroindustriais entre 100 °C e 700 °C (RANGABHASHIYAM; BALASUBRAMANIAN, 2019). A aplicação de biocarvão em sistemas agrícolas pode melhorar os atributos do solo, estimulando a conversão bioquímica (DING *et al.* 2016; HE *et al.* 2017) e favorecendo a retenção de água e nutrientes (LIMA *et al.* 2018). Entre as diversas propriedades, o biochar apresenta potencial para elevar a produtividade das culturas (JEFFERY *et al.*, 2011; SOUSA; FIGUEIREDO, 2016), diminuir a lixiviação e fornecer nutrientes como nitrogênio e fósforo (LAIRD *et al.*, 2010), melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promover a remediação de solos contaminados (BESLEEY *et al.*, 2011), reduzir a biodisponibilidade de compostos tóxicos e aumentar a retenção de elementos minerais (YANG *et al.*, 2010; BEESLEY *et al.*, 2010), além de amenizar a emissão de gases de efeito estufa (WU *et al.*, 2013), fixando carbono por longos períodos, potencialmente por centenas de anos (LEHMANN *et al.*, 2011) e reduzindo a emissão de N₂O por processos biológicos (HARTER *et al.*, 2014).

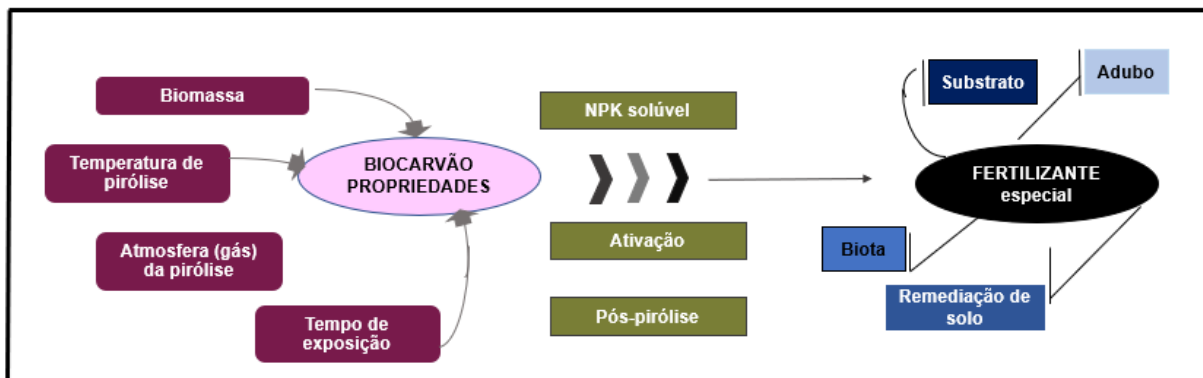
A manutenção desse composto carbono (C), com base na condição orgânica do solo, também influencia as mudanças climáticas, ao aumentar o sequestro de C, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa (GEE), a acidez do solo e a densidade aparente (WEBER; QUICKER, 2018).

Outros resultados também indicam aumento na produção agrícola devido ao aumento da matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P) (TIAN *et al.* 2014), e a correção da acidez do solo (ZIELINSK *et al.* 2015) aumentam a capacidade de troca catiônica do solo (CEC), por meio da ativação de grupos funcionais na superfície do biochar durante a pirólise (BUTNAN *et al.* 2015), da redução de perdas de nutrientes por lixiviação (LAIRD *et al.* 2010) e do sequestro de carbono do solo como resultado da alta do estabilidade química do biochar de lodo de esgoto (LEHMANN 2007; LAIRD *et al.* 2010).

O uso do lodo de esgoto é limitado pela presença de metais pesados e também por microrganismos patogênicos, que podem ser eliminados por processamento térmico desses resíduos por pirólise em condições anóxicas. Esse processo elimina agentes causadores de doenças e produz um produto chamado biochar, que é adequado e seguro para aplicar como corretivo do solo, capaz de promover a ciclagem de nutrientes e o sequestro de carbono (DEVI; SAROHA, 2013; SONG *et al.* 2014).

O biocarvão tem sido utilizado com sucesso para imobilização de poluentes orgânicos e inorgânicos em solos poluídos (MAO *et al.*, 2012; KUMAR *et al.*, 2011; BEESLEY *et al.*, 2011). Em soluções aquosas, a capacidade de remediação do biocarvão tem sido avaliada através de testes de lixiviação ou sorções em laboratório (BEESLEY *et al.*, 2011; BERNARDOA *et al.*, 2012; MOHAN, *et al.*, 2011). As múltiplas funções em uma única matriz, representando um conceito de novas rotas de etapas de síntese dos fertilizantes especiais, isto é, adubos com formulações diferenciadas e desenvolvidas para atender às necessidades específicas da produção de uma determinada cultura, com o propósito de melhorar a fertilidade e a produtividade do solo e da planta. Além disso, tomou-se como ativador de síntese dos fertilizantes – pirólise, e o seu produto final, o biocarvão (FIGURA 02).

Figura 02 – Etapas de síntese do fertilizante especial e, como resultado final, o biocarvão



Fonte: adaptado de Yuan *et al.*, 2019.

3.3 Adubação com Fertilizantes Organominerais

Os fertilizantes organominerais (FOMs) são uma mistura formada por fertilizantes de fração orgânica e mineral, tendo em vista que o manejo nos solos é inerente de determinações próprias e seguranças mínimas. Os FOMs sólidos deverão apresentar um mínimo de: 8% de carbono orgânico; CTC mínima de 80 mmolc kg⁻¹; 10% de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em mistura (NK, NP, PK, NPK); 5% de macronutrientes secundários; 1% de micronutrientes e 30% de umidade máxima (BRASIL, 2009).

Os FOMs passam por processo físico-químico-mecânico de digestão que elimina os microrganismos patogênicos, tornando-os isentos de patógenos e sementes viáveis de ervas daninhas. O processo demanda temperaturas de aproximadamente 70 °C e pressão para formar os pellets. Assim, há um aumento da segurança em seu uso na agricultura (OLIVEIRA, 2014). Para o aproveitamento dos benefícios que o uso de organominerais pode representar para a adubação mesmo nas grandes culturas agrícolas, é preciso resolver gargalos tecnológicos associados à conversão da matéria orgânica e ao aproveitamento dos nutrientes disponíveis. Ainda restam dúvidas e questões relativas ao entendimento

dos fenômenos ligados à biotransformação das frações minerais orgânicas (LAFORET, 2013).

Branco (2012) explica alguns "benefícios sustentáveis dos fertilizantes organominerais", dentre os quais a capacidade de recuperação da flora microbiana, a redução da acidificação do solo e a liberação gradativa de nutrientes. Tais benefícios acarretam melhor desenvolvimento do sistema radicular; menor fixação de fósforo aos colóides do solo e maior absorção de água. Para Sousa (2014), o custo operacional da lavoura terá redução, por diminuir operações de calagem e pela aplicação conjunta de fertilizantes mineral e orgânico ao longo dos cultivos.

3.4 Importância do Lodo como Fertilizante

O lodo de esgoto pode ser definido como o resíduo oriundo do processo de tratamento de esgotos sanitários, composto por uma infinidade de microrganismos, compostos orgânicos e inorgânicos (BOURIOUG *et al.*, 2015). O lodo de esgoto (LE) é um resíduo sólido pastoso resultante das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), em que se adota a etapa de tratamento de águas residuárias antes que se libere para o meio ambiente, além de microrganismos vivos ou mortos, matéria orgânica, e também como constituinte, minerais sedimentados e acumulados (ZHANG *et al.*, 2017). Toneladas desse produto são produzidos em estações de tratamento de esgoto (MAPA, 2009; Resende Júnior *et al.*, 2016), para o qual é preciso dar um destino correto, principalmente do ponto de vista ambiental. A utilização do lodo de esgoto na agricultura se sobressai como prática viável do ponto de vista ambiental, social, agrônômico e econômico (DEEKS *et al.*, 2013).

O tratamento de efluentes gerou cerca de oito milhões de toneladas de biossólidos na União Europeia (UE) em 2016 (COMISSÃO EUROPEIA, 2020). O uso agrícola e a incineração são os principais métodos de manejo de biossólidos (KACPRZAK *et al.*, 2017). Um estudo, por exemplo, na Polônia, mostrou que a maturação da compostagem de biossólidos impacta nas concentrações de carbono orgânico, nutrientes e metais pesados, em decorrência da redução da temperatura, marcando a transformação de matéria orgânica em húmus. No entanto, isso não afeta a porcentagem de nutrientes minerais móveis ou elementos metálicos biodisponíveis, sendo um método de estabilização (BOŻYM; SIEMIĄTKOWSKI, 2018).

Países como Polônia e Itália estão fazendo grandes avanços de implementação que visem a melhores práticas de gestão de biossólidos (MININNI *et al.*, 2019). A maioria das nações, englobando Reino Unido, Índia, Austrália e África do Sul, apresenta gestão de biossólidos que são devolvidos à terra (SINGH; SARKAR, 2015). Além da aplicação terrestre, também são destinados para recuperação de energia. Próximo de 17,8 Mt (milhões de toneladas) de sólido seco por ano de biossólidos são produzidos nos Estados Unidos – equivalente a 55% da taxa de utilização (SHARMA *et al.* 2017). Na Índia, atualmente, há cerca de 72.368 bilhões de toneladas de volume de lodo de esgoto gerado por dia (ENVIS, 2021).

Em linhas gerais, os lodos de esgotos possuem teores de N com variação de 1,0 a 8,0%, P de 0,5 a 4,0%, K de 0,1 a 0,6% e teores de matéria orgânica de 30 a 60% (COSCIONE *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2015; KOMINKO *et al.*, 2017). O biossólido é considerado atraente, especialmente na agricultura, pela presença de nutrientes, como o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), além de elevado teor de matéria orgânica, que cumprem o papel de condicionadores do solo. Dessa forma, o uso do biossólido pode substituir parcialmente a utilização de adubos químicos (FREDDI, 2019).

Os biossólidos são uma próspera viabilidade composta por macronutrientes e micronutrientes para o crescimento das plantas e podem ser aplicados como corretivo do solo e fertilizante. Eles cumprem um papel vital na fertilização dos parques e jardins, pois elevam o crescimento das plantas e recuperam os locais de mineração. Quando o biossólido é usado nas culturas, os nutrientes são liberados gradativamente ao longo do período de crescimento, o que facilita que ela possa absorver esses nutrientes para o seu desenvolvimento, evitando dessa forma a poluição das águas subterrâneas e a perda de nitrogênio por volatilização, desnitrificação ou lixiviação (ALI *et al.*, 2021).

A fim de evitar toxicidade em solo, plantas e animais, a administração de lodo de esgoto deve ser realizada com cautela, estando em acordo com as proposições estabelecidas pela legislação, principalmente aquele gerado em regiões metropolitanas altamente industrializadas, que apresenta elevadas concentrações de metais pesados, que restringem seu uso na agricultura. No Brasil, os sistemas de tratamento biológico mais usual do lodo são as lagoas de estabilização. No entanto, em função da problemática do volume de lodo produzido pelas lagoas, não têm sido visto com relevância. Semelhantemente, pouca importância também tem sido atribuída à disposição desse resíduo. Dentre as opções disponíveis estão a incineração, a deposição oceânica e a florestal e a utilização agrícola como fertilizante, sendo esta última considerada promissora (SAMPAIO *et al.*, 2012).

O descarte de biossólidos foi observado como um fator significativo que afeta a viabilidade da estação de tratamento, com a gestão representando uma grande parcela (25-65%) dos custos operacionais (ARIAS *et al.*, 2021; MU'AZU *et al.*, 2019). Para tanto, uma possibilidade de seu uso seguro consiste na formulação de fertilizantes organominerais, aproveitando o comum excesso de micronutrientes para suprir as deficiências naturais dos solos tropicais, sendo uma interessante combinação para aumentar a eficiência agrônômica dos elementos minerais, reduzindo suas perdas no solo (BRASIL, 2006; MARIA *et al.*, 2007; KIEHL, 2008). Entre as vantagens desses produtos, comparando-se o uso de adubos organominerais e o de fertilizantes minerais, nota-se que os primeiros apresentam liberação lenta e contínua dos nutrientes às plantas. Em contraste, os adubos químicos podem ser facilmente lixiviados para áreas mais profundas das zonas das raízes, impedindo seu uso integral pelas culturas, podendo contaminar recursos hídricos (KIEHL, 2010; OLIVEIRA, 2016; KOMINKO *et al.*, 2017).

Tecnologias mais simples são baseadas na mistura de lodo de esgoto, geralmente caracterizado por teor de água não inferior a 70%, com alguns subprodutos como gesso – que é amplamente utilizado como substância corretiva (TOFT *et al.*, 2015) –, pó de forno de cimento, cal pó de forno, cal hidratada (NICHOLSON *et al.*, 1995), cinzas voláteis de caldeiras a carvão (KUBICA *et al.*, 2002) e resíduos de carvão (KALEMBASA *et al.*, 1997). Quando o lodo de esgoto é convertido em fertilizantes, geralmente tem que diminuir o teor de nutrientes. Para otimizar a relação N: P: K de amônia líquida, fosfato e potássio podem ser adicionados (JOYCE *et al.*, 2008). Os biossólidos possuem várias formas, como líquido, bolo biológico (biomassa de matéria orgânica) e pellet (USEPA, 2011; LU *et al.* 2012).

Nascimento (2016) observou, ao analisar lodos de esgotos gerados em 19 ETEs da região sudeste do Brasil, no estado de São Paulo, avaliou que esse material possui potencial para uso na agricultura, sendo fonte de nitrogênio (N), cálcio (Ca), enxofre (S), fósforo (P), magnésio (Mg) e potássio (K). Porém, é necessário seu tratamento prévio, uma vez que a maioria das amostras excederam valores máximos de cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e níquel (Ni) estabelecidos pela legislação. A

quantidade de metais pesados presentes no biossólido pode variar de acordo com o tipo de esgoto que a estação de tratamento recebe. Desse modo, o esgoto industrial, em comparação ao esgoto domiciliar, possui acúmulo de metais pesados mais elevado (TYTLA *et al.*, 2016).

O lodo de esgoto pode conter contaminantes como elementos potencialmente tóxicos (Nascimento *et al.*, 2020), compostos orgânicos tóxicos (Alvarenga *et al.*, 2017) e organismos patogênicos (Murray *et al.*, 2019), o que pode inviabilizar seu uso na agricultura. Em vista disso, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de acordo com a Resolução Nº 498, estabelece critérios e procedimentos para o uso de lodo de esgoto e métodos de tratamento para reduzir os contaminantes desse subproduto (BRASIL, 2020a).

O lodo de esgoto, juntamente com uma adubação mineral, tem a capacidade de melhorar os atributos químicos dos solos. Ao realizar esse tipo de adubação, pode-se constatar o aumento de P, K, Ca e MO nas camadas de 0 a 40 cm de profundidade, aumentando também a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015).

Os fertilizantes orgânicos são os mais antigos empregados na agricultura e frequentemente são denominados adubos naturais, em razão de sua origem animal ou vegetal. A definição de fertilizante orgânico compreende em sua composição a presença de carbono degradável, seja proveniente de resíduos de origem urbana, industrial ou agrícola (RAIJ, 2011). Fertilizantes orgânicos de diferentes tipos (simples, misto, composto e organominerais), entre os quais o lodo de esgoto e húmus de minhoca, compõem o pilar essencial que garante, de fato, que a produtividade agrícola seja aumentada, com o objetivo de suprir as necessidades nutricionais da população em crescimento (ADUBASUL, 2021; ALI *et al.*, 2019).

Muitos pesquisadores relataram efeitos positivos do uso de lodo de esgoto na agricultura (SELEIMAN *et al.*, 2010; SOHAILI *et al.*, 2012). A aplicação de lodo de esgoto no solo melhora suas propriedades físico-químicas e biológicas, o que provoca melhor crescimento das plantas. O conteúdo de matéria orgânica no lodo de esgoto municipal é geralmente superior a 50% da matéria seca. A aplicação de matéria orgânica na forma de lodo de esgoto no solo, além da formação e estabilidade de agregados, melhora a infiltração de água e aumenta a porosidade total do solo (USMAN *et al.*, 2012).

3.4.1 Legislação para Produção e Principais Tipos de Fertilizantes (Pó, Granulado, Farelado)

A legislação brasileira para produção e registro de fertilizantes organominerais (BRASIL, 2020) determina normas às quais esses devem atender, a saber: o carbono orgânico considerar o padrão mínimo de 8% para produto de natureza sólido e 3% de natureza fluído; a umidade atender no máximo de 20% para produto sólido; a CTC (capacidade de troca catiônica), também exigida na legislação, adotar no mínimo de 80 mmol_c kg⁻¹ para produto sólido.

Conforme a instrução normativa da legislação brasileira para macronutrientes primários, secundários e micronutrientes, quando garantidos ou declarados isoladamente ou em misturas do produto, de acordo SDA Nº 61, o teor mínimo (%) determinado para produto sólido ou produto fluído é o seguinte: Nitrogênio (N) – 1%, Fósforo (P₂O₅) – 1%, Potássio (K₂O) – 1%, Cálcio (Ca) – 1%, Magnésio (Mg) – 1%, Enxofre (S) – 1%, Boro (B) – 0,01%, Cloro (Cl) – 0,1%, Cobalto (Co) – 0,005%, Cobre (Cu)

– 0,02%, Ferro (Fe) – 0,02%, Manganês (Mn) – 0,02%, Molibdênio (Mo) – 0,005%, Níquel (Ni) – 0,005%, Selênio (Se) – 0,003%, Silício (Si) – 0,05%, Zinco (Zn) – 0,1%.

Enquanto isso, a soma de macronutrientes primários, macronutrientes secundários e de micronutrientes, quando registrados mais de um nutriente, pode ser visto abaixo:

- a)** Macronutrientes primários (N, P ou K) isolados, com tolerância de 10%; já a soma da mistura granulada de (NP, NK, PK ou NPK) é de 5%;
- b)** Soma dos macronutrientes secundários (Ca, Mg ou S) => (Ca+Mg+S, Ca+S, Ca+Mg, Mg+S) é de 3%;
- c)** Misturas exclusivas de micronutrientes: o somatório mínimo de dois ou mais micronutrientes é de 3%;
- d)** Misturas exclusivas de macronutrientes secundários com micronutrientes: o somatório mínimo dos nutrientes é de 5%;
- e)** Produtos que têm a composição de apenas um macronutriente primário somados com macronutrientes secundários, micronutrientes ou ambos têm que atender o somatório mínimo de todos os nutrientes equivalente a 5%.

Conforme a Tabela 02, relativa aos tópicos (I e II) abaixo:

- I.** Produtos sólidos granulados: mistura de grânulos, microgranulados, pó, farelados e pastilhas;
- II.** Produtos fluidos: solução, suspensão e suspensão concentrada.

Tendo em vista as exigências regulamentadas, os produtos sólidos para a aplicação no solo deverão conter:

- A.** Carbono orgânico: mínimo de 8%;
- B.** Umidade máxima: 30%;
- C.** CTC mínimo: 80 mmolc kg⁻¹.

Em relação à determinação dos teores dos nutrientes contidos nos diferentes produtos, o procedimento adotado requer métodos, os quais também são indicados por lei (Instrução Normativa nº 37, de 13 de outubro de 2017) – métodos oficiais para realização de ensaios em amostras e que constam no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (BRASIL, 2017).

Quanto à forma física, os fertilizantes podem ser classificados em:

- a)** Pó: fertilizantes simples ou mistos, sendo moídos na forma de pó.
- b)** Farelado: fertilizantes com grânulos desuniformes.
- c)** Granulado: fertilizantes na forma de grânulos.
- d)** Líquido: fertilizantes na forma líquida.

Tabela 02 – Os fertilizantes minerais, de acordo com a sua natureza física (I) sólida ou (II) fluida: especificações de natureza física e garantia granulométrica.

NATUREZA FÍSICA	ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
		PENEIRA	PARTÍCULAS PASSANTES
SÓLIDOS	Granulado e Mistura de Grânulos	4,80 mm (ABNT 4)	95 % mínimo
		2 mm (ABNT 10)	40 % máximo
		1 mm (ABNT 18)	5 % máximo
	Microgranulado	2,8 mm (ABNT 7)	90 % mínimo
		1 mm (ABNT 18)	10 % máximo
	Pó	2 mm (ABNT 10)	100 %
		0,84 mm (ABNT 20)	70 % mínimo
		0,3 mm (ABNT 50)	50 % mínimo
	Farelado	4,80 mm (ABNT 4)	90 % mínimo
		2,8 mm (ABNT 7)	80 % mínimo
		0,5 mm (ABNT 35)	30 % máximo
	Pastilhas	Frações moldadas de formato e tamanho variável	

Fonte: Adaptado de BRASIL (2020).

Conforme a instrução normativa SDA/MAPA 35/2006 e SDA/MAPA 25/2009, fazem a descrição das seguintes classes de fertilizantes organominerais quanto à origem da matéria orgânica:

- Fertilizantes denominados **CLASSE A** são aqueles cuja produção utiliza como fonte recursos de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, desde que não sejam utilizados no processo o sódio (Na⁺), metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos que possuem capacidade de toxicidade, culminando em insumo de aplicação segura na agricultura. Produto indicado para plantio de hortaliças, pomares, plantas ornamentais, flores e jardins, não havendo a necessidade de uso de luvas e máscaras na aplicação.
- Fertilizantes denominados **CLASSE B** são aqueles cuja produção utiliza como fonte recursos provenientes de atividade industrial de etapa processada ou da agroindústria, em que o sódio (Na⁺), os metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos de capacidade de toxicidade são usados no processo, gerando insumo de aplicação segura na agricultura. Produtos proibidos para uso em hortaliças e pomares, devendo-se utilizar Equipamento de Proteção Individual – EPI (luvas, avental, óculos, chapéu e máscaras) na sua aplicação.
- Fertilizantes denominados **CLASSE C** são aqueles cuja produção utiliza como fonte, em qualquer quantidade, lixo domiciliar, tendo como desfecho aplicação de insumo seguro na agricultura. Proibido para uso em hortaliças e pomares, devendo-se utilizar Equipamento de Proteção Individual – EPI (luvas, avental, óculos, chapéu e máscaras) na sua aplicação. Os produtos desta classe só poderão ser comercializados para consumidores finais, mediante recomendação técnica firmada por engenheiro agrônomo ou florestal.

- Fertilizantes, denominados **CLASSE D** são aqueles cuja produção utiliza como fonte, em qualquer quantidade, resultado do tratamento de despejos sanitários, resultando em insumo de aplicação segura na agricultura. Aplicação apenas com auxílio de equipamentos mecanizados (aplicação de calcário e gesso em profundidade). No ato do manuseio e aplicação, deverão ser utilizados Equipamentos de Proteção individual – EPI. Uso proibido em pastagens e cultivo de olerícolas (hortaliças), tubérculos, raízes e culturas inundadas (arroz), bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. Os produtos dessa classe só poderão ser comercializados para consumidores finais, mediante recomendação técnica firmada por engenheiro agrônomo ou florestal.
- Fertilizantes denominados **CLASSE E** são aqueles que utilizam, em sua produção, primordialmente matéria-prima de origem mineral ou sintética, proporcionando em produto de utilização segura na agricultura.
- Fertilizantes, denominados da **CLASSE F** são aqueles que utilizam, em sua produção, em qualquer proporção, a mistura de matérias-primas oriundas dos produtos das Classes "A" e "E", respectivamente.

3.4.2 Principais Matérias-Primas e Tecnologias para Produção de Fertilizante Organomineral Granulado

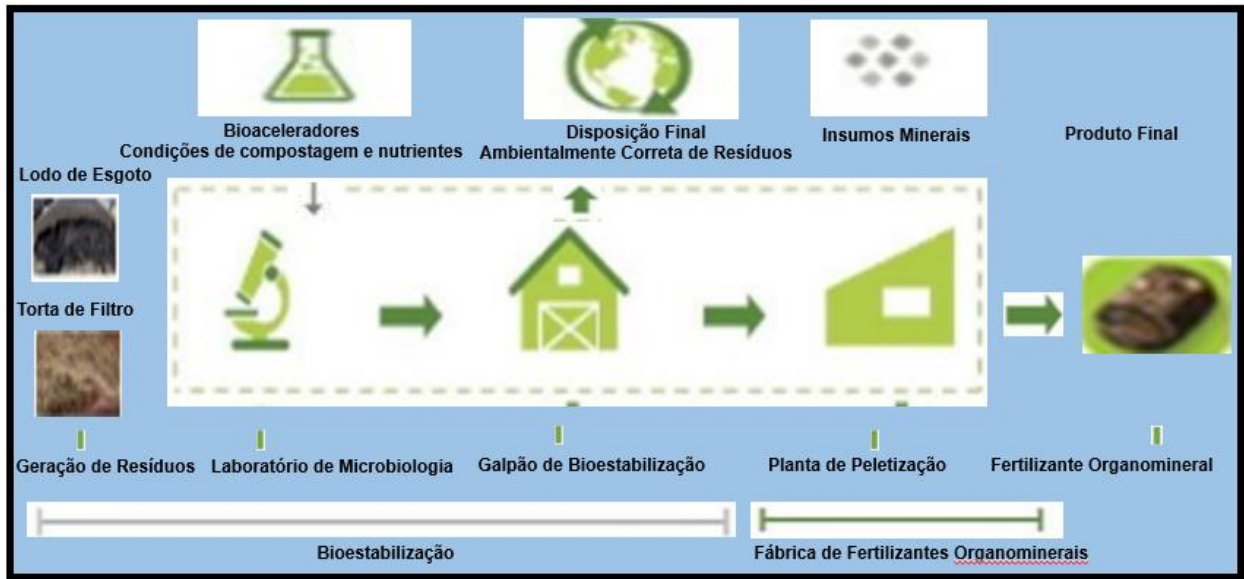
Os resíduos gerados pelo rebanho brasileiro (suinocultura, avicultura e bovinocultura) na forma de fezes, urina e camas, resíduos de curtumes, farinhas de ossos e sangue e resíduos de abatedouro somados contêm cerca de 680.000 toneladas (t) de N, 660.000 t de P_2O_5 e 440.000 t de K_2O , o que representa aproximadamente 27%, 21% e 12% do total anual consumido de N, P e K pela agricultura brasileira, respectivamente (BENITES *et al.*, 2010).

A maior aceitação dos organominerais pelo mercado produtor de grãos, que é o maior consumidor de fertilizantes no Brasil, está baseada na superação de três desafios: a peletização do composto orgânico juntamente com a parte mineral; o desenvolvimento de formulações com maior concentração de NPK e a padronização dos produtos acabados (OLIVEIRA, 2014).

A escolha de qual tipo de fórmula (farelada, mistura granulada ou mistura de grânulos) dependerá de fatores como preço da matéria-prima, maneira de aplicação (sulco, área total, ou cova) e equipamento de aplicação (TRANI *et al.*, 2011).

A produção de fertilizante organomineral peletizado (FIGURA 03) pode utilizar fontes orgânicas como o lodo de esgoto e a torta de filtro, ou qualquer outro resíduo orgânico proveniente de atividades industriais e agrícolas, que não apresentem limitações químicas ou microbiológicas para esta finalidade.

Figura 03 – Esquema da produção do fertilizante organomineral



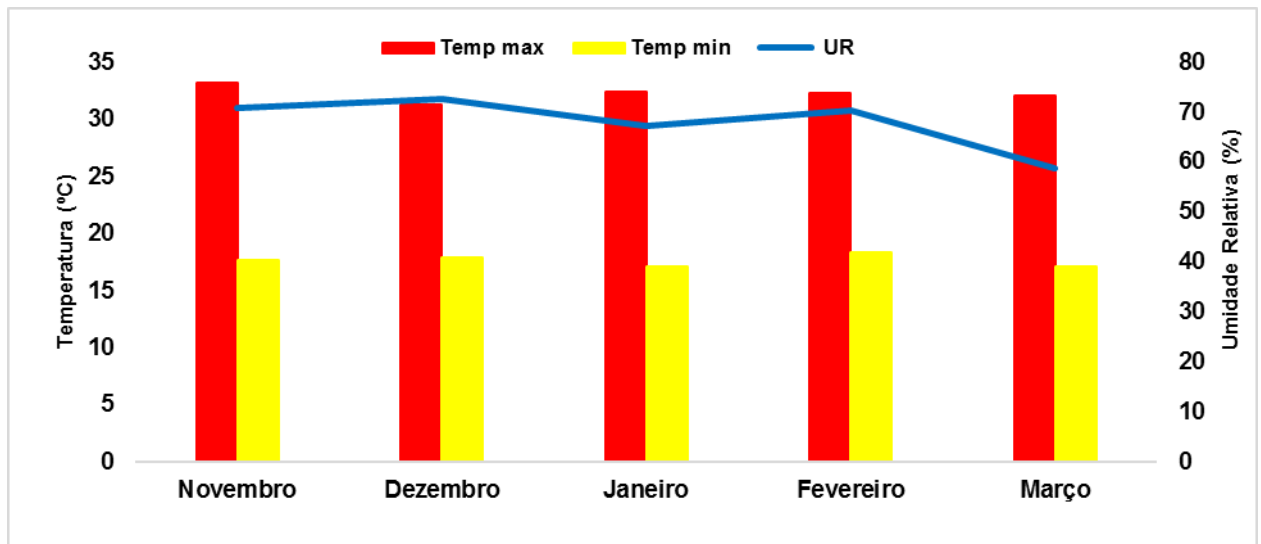
Fonte: Adaptado de GEOCICLO (2018).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Instalação Experimental

O experimento foi implantado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG), no município de Montes Claros, Estado de Minas Gerais, Brasil, latitude 16°40'53.31" S e longitude 43°50'24.24" W, a 634 m de altitude, próximo ao Laboratório de Hidráulica, de coordenadas 16°40'55" S, 43°50'24" W, 630 m. O cultivo de grão-de-bico, variedade BRS Aleppo, ocorreu de novembro de 2021 a março de 2022. O lodo de esgoto compostado de resíduos de *Pennisetum purpureum* ou *Urochloa brizantha* cv. Marandu oriundo de outros trabalhos experimentais foi coletado em junho de 2021, na casa de depósito de campo. Conforme a classificação de Koppen, o clima da região é Aw – savana tropical, com verão chuvoso e inverno seco (ALVARES *et al.*, 2013). As condições climáticas no período de condução do experimento estão apresentadas a seguir (FIGURA 04).

Figura 04 – Temperatura máxima e mínima e umidade relativa durante o cultivo do grão-de-bico no ano de 2021, com base nas informações do INMET



Fonte: INMET (2022).

Os estudos foram realizados a partir de coleta a campo de resíduos vegetais de gramínea e lodo de esgoto. A primeira etapa foi resultado da compostagem desses materiais, obtenção de biocarvão por meio de processo de pirólise e mistura do biocarvão de lodo de esgoto e fertilizantes minerais (Estudo 01). A segunda etapa consistiu da aplicação dos fertilizantes organominerais obtidos no processo anterior no cultivo de grão-de-bico (Estudo 02).

4.1.1 Estudo 1. Produção de Fertilizantes Organominerais Provenientes de Lodo de Esgoto

A primeira etapa desse estudo consistiu da elaboração de adubos organominerais de composto de lodo de esgoto com resíduos de gramíneas, de forma a se obter uma relação C:N de 30:1 e biocarvão de lodo. Para a compostagem, foram misturados resíduos vegetais de *U. brizantha* cv. Marandu e

biocarvão de lodo.

Parte do lodo compostado foi utilizado na obtenção de biocarvão. O biossólido (lodo de esgoto proveniente da ETEs) foi encaminhado em 25 de junho de 2021 para pesagem e preparo do biocarvão, por meio da pirólise, em forno mufla, à temperatura de 450 °C, com o tempo de residência de 06:00 horas. Em seguida, o material foi retirado da mufla, após a contagem de 30 minutos, para a eliminação total de fumaça (FIGURA 05). Posteriormente, foi determinada a U_{bm} (%) umidade em base de massa correspondente a 6,1688% ou 6,1688 g de lodo seco na estufa g^{-1} de lodo seco e o η (%) rendimento do lodo foi de 67,3630 % ou 67,3630 kg de lodo carbonizado kg^{-1} de lodo seco total.

Os materiais orgânicos de lodo foram amostrados para a caracterização (TABELA 03) dos teores totais de N, P, K, S, Na, carbono orgânico e a capacidade de troca de cátions (CTC), de acordo com as metodologias propostas por ALCARDE (2009). Também foram caracterizados os teores dos seguintes elementos metais: Pb, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn, Al, de acordo com a metodologia EPA-3051.

Tabela 03 – Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no experimento

Atributo	Resultado	Atributo	Resultado
pH H ₂ O	6,03	Mg (g kg ⁻¹)	1,6
C org (g kg ⁻¹)	322,81	Fe (mg kg ⁻¹)	3,075
N total (g kg ⁻¹)	32,24	Na (mg kg ⁻¹)	618,0
C/N	10,01	Zn (mg kg ⁻¹)	283,0
CTC (mmol _c kg ⁻¹)	916,01	Mn (mg kg ⁻¹)	120,0
MO (g kg ⁻¹)	572,3	Ni (mg kg ⁻¹)	23,0
P (g kg ⁻¹)	7,8	Pb (mg kg ⁻¹)	31,0
K (g kg ⁻¹)	4,0	Cu (mg kg ⁻¹)	112,0
Ca (g kg ⁻¹)	10,3		

Fonte: UFMG (2022).

Os cálculos da umidade do lodo após a secagem de 60 °C e rendimento de lodo de esgoto (biochar) após o processo de pirólise a 450 °C são mostradas abaixo:

$$\text{Peso (frasco + lodo)} = 60,2 \text{ g} \quad (1)$$

$$\text{Peso (frasco + lodo)} - \text{Peso (frasco vazio)} = 60,2 - 31,3 = 28,9 \text{ g do lodo seco (60}^\circ\text{C)} \quad (2)$$

$$U (\%) = \frac{(\text{Peso lodo seco} - \text{Peso lodo seco estufa(60}^\circ\text{C)}) \times 100}{\text{Peso lodo seco}} \quad (3)$$

$$U (\%) = \frac{(30,8 - 28,9) \times 100}{30,8} = 6,1688 \%$$

$$\text{Peso lodo úmido} = (\text{Peso da caixa de ferro inox + lodo}) - \text{Peso da caixa vazia} \quad (4)$$

$$\text{Peso do lodo úmido} = 10,20 - 4,9 = 5,3 \text{ kg do lodo úmido}$$

$$\text{Peso do lodo úmido total} = \frac{\text{Peso lodo seco total}}{1 - U} \quad (5)$$

$$\text{Peso lodo seco total} = 5,3 \times (1 - 0,061688) = 4,97305 \text{ kg}$$

$$\eta (\%) = \frac{\text{Peso do lodo carbonizado}(450^{\circ}\text{C})}{\text{Peso do lodo seco total}} \times 100 \quad (6)$$

$$\eta = \frac{3,35 * 100}{4,97305} = 67,3630 \%$$

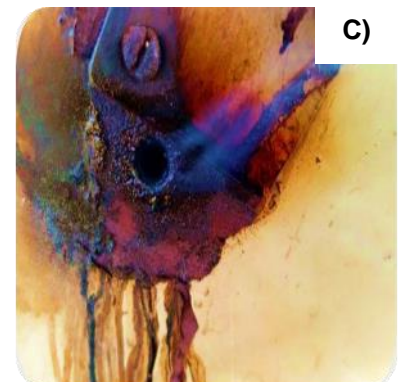
Figura 05 – A produção do biocarvão de lodo em etapas: A) Confinamento do lodo compostado na caixa de ferro inox e, posteriormente, pesagem. B) Lodo compostado submetido à temperatura de 450 °C na mufla, para confecção do biocarvão. C) Biochar (biocarvão) de lodo na condição carbonizada e saída de um material betuminoso



Fonte: Do autor (2021).



Fonte: Do autor (2021).



Fonte: Do autor (2021).

Após a obtenção dos compostos orgânicos, foram coletadas amostras para a caracterização dos teores totais de N, P, K, S, Na, carbono orgânico e a capacidade de troca de cátions (CTC) do composto orgânico, de acordo com as metodologias propostas por Alcarde (2009). Também foram caracterizados os teores dos seguintes metais pesados: Pb, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn, Al, de acordo com a metodologia EPA-3051.

Após caracterização, os materiais orgânicos de lodo compostado e biocarvão de lodo receberam fertilizantes minerais contendo N, P e K, com a finalidade de produzir quatro fertilizantes organominerais na proporção NPK 04-15-04 (TABELA 04).

Tabela 04 – Especificação das doses de fertilizantes aplicados para suprir a demanda NPK dos tratamentos utilizados na semeadura do grão-de-bico

Tratamentos	Dose de NPK			Formulação organomineral			Organomineral ou mineral	Nome	
	N	P	K	Mineral		Orgânico			
	-----kg ha ⁻¹ -----			Ureia	MAP	KCl	---%---		g vaso ⁻¹
Biochar pó	40	150	40	8,70	31,25	6,90	53,15	10,00	BP
Biochar granulado	40	150	40	8,70	31,25	6,90	53,15	10,00	BG
Lodo pó	40	150	40	8,70	31,25	6,90	53,15	10,00	LP
Lodo granulado	40	150	40	8,70	31,25	6,90	53,15	10,00	LG
Fertilização mineral	40	150	40	18,56	66,71	14,72	0	4,68	NPK
Sem fertilização	0	0	0	0	0	0	0	0	Test

Fonte: CFSEMG (1999).

Para o cálculo do nível de adubação de 100% do NPK, foi considerada a recomendação proposta pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Ureia: 46% de N; MAP: 48% de P₂O₅ e 10% de N; KCl: 58% de K₂O.

Na fase de produção dos fertilizantes, procedeu-se a maceração das amostras de compostos orgânicos em almofariz e pilão de material de porcelana de diâmetro ($\varnothing = 14$ cm), com a finalidade de reduzir grânulos a pó. As amostras foram padronizadas utilizando-se a peneira de malha (28 mesh equivalente uma abertura de $\varnothing = 0,6$ mm), sendo caracterizado pó quando 100% passou pela peneira (FIGURAS 06 e 07).

Figura 06 – Almofariz para reduzir os tipos de fertilizantes a pó



Fonte: Do autor (2021).

Figura 07 – Peneiramento dos tipos de fertilizantes em pó



Fonte: Do autor (2021).

Os fertilizantes organominerais foram produzidos na proporção NPK equivalente a 4% de N, 15% de P₂O₅ e 4% de K₂O, respectivamente, devido à necessidade de recomendação (ureia, fosfato de monoamônio e cloreto de potássio) dessas fontes para o cultivo de grão-de-bico. Conforme citado, nessa fase optou-se pela utilização das seguintes fontes e proporções de fertilizantes minerais: 8,70% de ureia (N), 31,25% de MAP (P₂O₅) e 6,90% de KCl (K₂O) no formato pó, além de 53,15% de composto orgânico (TABELA 04). A mistura dos compostos orgânicos e fertilizantes minerais ocorreu em mesa de agitação (SOLAB® - Mesa Agitadora Orbital SL – 184/240) e o processo de granulação foi realizado com a adição de água destilada. Para tanto, foram realizados testes de laboratório, com o intuito de recomendar proporções adequadas de solução líquida para formulação de material granulado.

A granulação dos fertilizantes foi obtida com o ajuste de volume aplicado de 45 mL para 42 mL de solução em 150 g de fertilizante organomineral, sob agitação variável (TABELA 05) durante 11 min de biocarvão de lodo (BL) e 14 min de lodo compostado (LC), ambos granulados na mesa horizontal.

Tabela 05 – Programa elaborado para tempo e velocidade de agitação para obtenção dos fertilizantes organominerais

Biocarvão		Lodo	
Tempo (minutos)	Rotação (rpm)	Tempo (minutos)	Rotação (rpm)
1.207 min	224,00 rpm	577 min	324,90 rpm
1.210 min	224,00 rpm	595 min	320,40 rpm
1.212 min	248,40 rpm	607 min	160,40 rpm
1.218 min	282,70 rpm	659 min	141,40 rpm
1.227 min	320,10 rpm	660 min	321,20 rpm
1.242 min	150,00 rpm	669 min	109,40 rpm
1.265 min	320,00 rpm	757 min	324,80 rpm
1.272 min	320,00 rpm	934 min	235,30 rpm
1.292 min	320,00 rpm	961 min	242,50 rpm
1.303 min	320,00 rpm	1.362 min	214,27 rpm
		1.370 min	320,70 rpm
		1.380 min	320,70 rpm
		1.382 min	334,50 rpm

Fonte: Do autor (2021-2022).

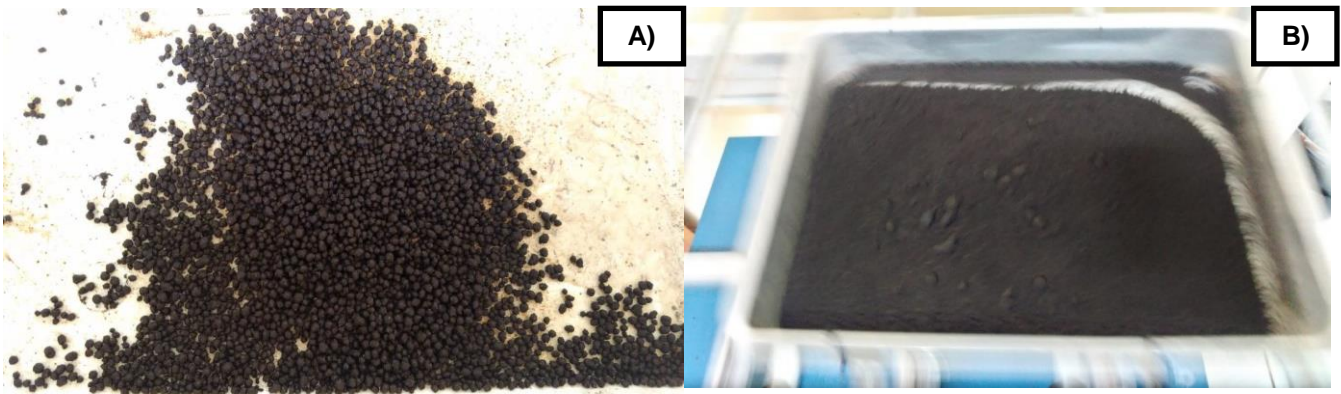
Após granulação, os fertilizantes organominerais foram secos em estufa de circulação forçada e renovação de ar monitorada a uma T: 65±1°C, até massa constante, por 24 h, durante 6-7 dias, cuja secagem dos grânulos de biocarvão e lodo decorreu a partir do dia 23 até 30 de agosto de 2021. Confirmam-se FIGURAS 08, 09, 10 a seguir:

Figura 08 – Imagem da ventilação forçada em estufa a $T \rightarrow 65^{\circ}\text{C}$



Fonte: Do autor (2021).

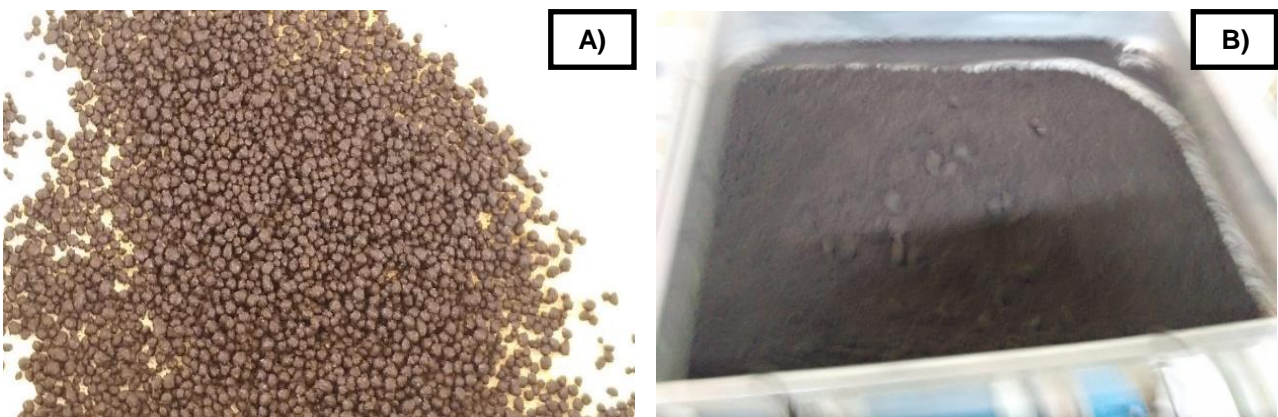
Figura 09 – A) Granulação de biocarvão de lodo, B) biocarvão de lodo em pó



Fonte: Do autor (2021).

Fonte: Do autor (2021).

Figura 10 – A) Granulação de lodo de esgoto, B) lodo de esgoto em pó

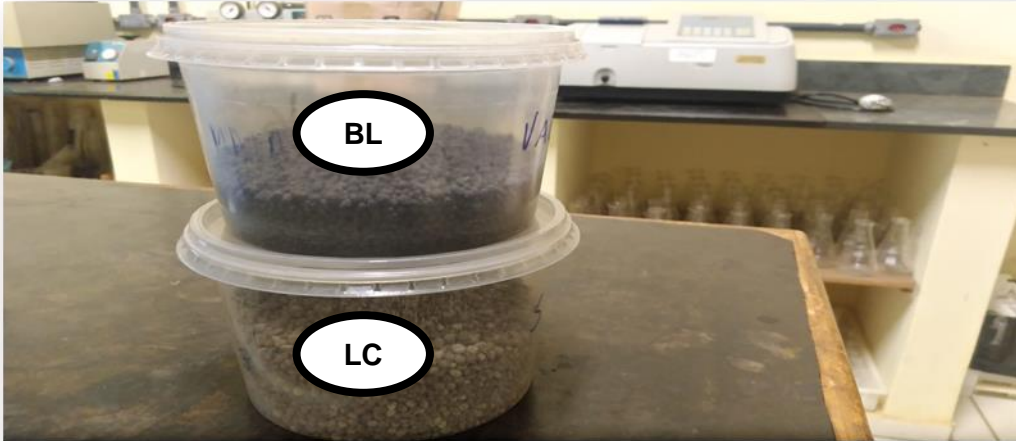


Fonte: Do autor (2021).

Fonte: Do autor (2021).

Ao final do processo, foram produzidos quatro misturas de fertilizantes contendo NPK: fertilizante organomineral à base de biocarvão granulado, fertilizante organomineral à base de biocarvão em pó, fertilizante organomineral à base de lodo compostado granulado, fertilizante organomineral à base de lodo compostado em pó e fertilizante mineral NPK (FIGURAS 11 e 12).

Figura 11 – Granulação do biocarvão de lodo (BL) e lodo compostado (LC) após a secagem



Fonte: Do autor (2021).

Figura 12 – Confeção do fertilizante mineral a partir de fontes conhecidas de NPK. As letras representam: a) UREIA; b) MAP; c) KCl, d) NPK



Fonte: Do autor (2021).

Fonte: Do autor (2021).

A granulometria dos fertilizantes também foi caracterizada pela passagem em peneiras empilhadas com distintas malhas (TABELA 06).

Tabela 06 – Separação granulométrica dos fertilizantes utilizados no estudo

Fertilizante	Material retido na peneira (%)			
	>4,75 mm	2,00-4,75 mm	1,00-2,00 mm	<1,00 mm
Biocarvão granulado	2,08	88,43	6,24	3,25
Biocarvão pó*	0,00	0,00	0,00	0,00
Lodo granulado	4,00	93,37	2,06	0,43
Lodo pó*	0,00	0,00	0,00	0,00
NPK mineral*	0,00	0,00	0,00	0,00

* Material 100% passante na peneira com 0,25 mm de malha.

Fonte: Do autor (2022).

4.1.2 Estudo 2. Delineamento e Tratamentos: Produção de Grão-de-Bico Adubada com Fertilizantes Organominerais de Lodo Compostado e Biocarvão

A etapa dois foi conduzida em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizada no município de Montes Claros-MG, latitude 16°51'38"S, longitude 44°55'00" W e altitude de 630 m. As condições climáticas, de acordo com Koppen e Geiger, tem um clima tropical, cuja classificação do clima é Aw. Em Montes Claros, a temperatura média é 22.7°C e o valor da pluviosidade média anual é de 1029 mm.

O experimento foi disposto em blocos ao acaso com cinco repetições, valendo-se de um esquema de análise 2x2+2. Os fatores foram: dois tipos de fertilizantes organominerais na formulação NPK 04-15-04 (lodo de esgoto compostado e biocarvão de lodo esgoto compostado), duas formas de aplicação do fertilizante (pó e granulado) e dois tratamentos adicionais (testemunha, sem adubação e adubação mineral NPK com 40, 150 e 40 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente).

A dose NPK (04-15-04) recomendada para os tratamentos com fertilização mineral e organomineral corresponderam à aplicação de 40, 150 e 40 kg ha⁻¹ de N, P e K na semeadura e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura na forma de ureia, conforme Pegoraro *et al.* (2018) e Almeida Neta (2021). Para formulação dos fertilizantes, foram utilizadas fontes simples dos seguintes fertilizantes: ureia, fosfato monoamônico e cloreto de potássio. As proporções de fertilizantes e tratamentos utilizados foram descritos (TABELA 04).

Para montagem do estudo em vaso, coletaram-se aproximadamente 100 dm³ de Cambissolo Háplico de área cultivada do setor de pesquisa do ICA/UFMG. Esse solo foi misturado com areia fina de construção na proporção 1:1. A mistura de solo-areia, com vistas a promover maior permeabilidade (maior facilidade à passagem de água) foi homogeneizada em leiras e mantida por um período de incubação de 10 ciclos de umedecimentos e secagem subsequentes entre os dias 13 até 22 de outubro de 2021, seguido de revolvimento do solo a cada ciclo e umedecimento até atingir 70% da capacidade de campo. Esse processo foi realizado com o intuito de garantir a obtenção de material agregado, promovendo a interação entre os constituintes minerais e evitando a segregação de areia e solo (MALUF *et al.*, 2015). Após esse processo, o solo foi submetido à análise granulométrica (TABELA 07) pelo

método da pipeta proposto pelo IAC, usando, como agente dispersante, solução de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio (CAMARGO *et al.*, 2009).

A caracterização dos atributos químicos foi realizada conforme Embrapa (1997) (TABELA 07). A análise de pH foi realizada em H₂O (1:2,5). As determinações de teor de argila e de fósforo remanescente (P-rem) são características que se relacionam com o poder tampão do solo e a interpretação de fósforo (P) disponível. Fez-se a extração de fósforo e potássio trocável pelo Mehlich 1. O cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos por KCl (1 mol L⁻¹). A acidez potencial (H+Al) foi determinada pelo método indireto em solução tampão SMP. O teor de carbono orgânico do solo (CO) foi analisado pelo método de Walkley & Black. Obteve-se a CTC potencial (T) pela soma das bases trocáveis e acidez potencial.

Tabela 07 – Caracterização química do solo misturado com areia utilizado na montagem do estudo.

pH	P rem	P	K	Ca	Mg	H+Al	CO
H ₂ O	mg L ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----			dag kg ⁻¹
6,1	40,6	52,9	88,6	3,34	0,91	0,74	0,89
SB	t	T	V	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----%-----		-----dag kg ⁻¹ -----			
4,48	4,48	5,22	85,70	73,10	0,90	12,00	14,00

Fonte: UFMG (2021).

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos (com dimensões de 0,21 x 0,20 x 0,12 m) contendo 4 dm³ de solo peneirado e homogeneizado (malha de 2,00 mm). A implantação do estudo ocorreu no dia 19 de novembro de 2021, com a semeadura de quatro sementes por vaso da variedade de grão-de-bico BRS Aleppo. Os vasos (30 vasos) foram distribuídos em bancada de madeira com dimensão de 2,20 x 1,50 m e localizada no interior de casa de vegetação. A adubação de semeadura foi realizada no sulco de semeadura e abaixo da semente, numa profundidade de 8 cm (FIGURA 13).

Figura 13 – Imagens ilustrativas no manejo da adubação no sulco de semeadura (imagem à esquerda) e procedimento de semeadura de quatro sementes por vaso (imagem à direita) de grão-de-bico



Fonte: PEGORARO (2022).



Fonte: PEGORARO (2022).

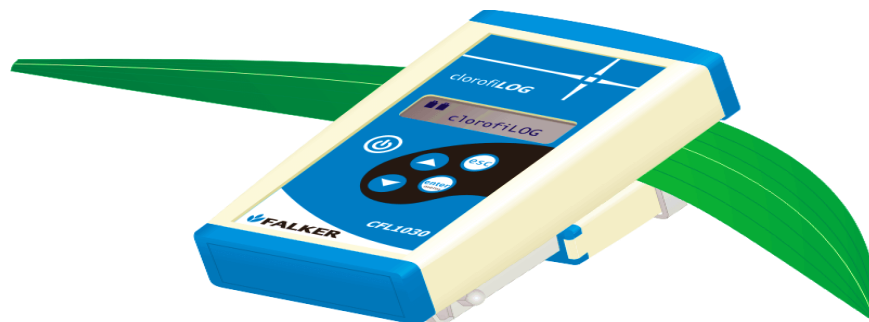
O desbaste das plantas foi realizado aos 10 dias após a germinação das sementes, deixando-se duas plantas por vaso. A adubação de cobertura foi realizada aos 20 dias após a germinação, com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (1,3 g por vaso, dissolvida em 10 mL de água destilada).

No decorrer do ciclo de cultivo do grão-de-bico, procedeu-se a remoção manual de lagartas e plantas daninhas das unidades experimentais. As plantas foram irrigadas diariamente com água destilada e, no início do florescimento, procedeu-se a caracterização do índice de clorofila.

4.2 Análise Fisiológica

O experimento contou com análise fisiológica realizada no início do florescimento das plantas, por meio da caracterização índice de clorofila (SPAD) no equipamento Clorofilog (FIGURA 14). O índice SPAD foi estimado para clorofila a (CLOA), clorofila b (CLOB), clorofila total (CLOT) e relação entre clorofila a e b (CLOA/B).

Figura 14 – Imagem ilustrativa do clorofilômetro portátil (SPAD) utilizado para estimar o índice de clorofila nas plantas de grão-de-bico (SPAD: Soil plant analysis development). Marca comercial: FALKER. ClorofiLOG (CFL 1030)



Fonte: FALKER ([2008]).

4.3 Colheita das Plantas

Aos 122 dias após a germinação das plantas (21 de março de 2022), procedeu-se a colheita e a separação do material vegetal (raízes, parte aérea, vagens e grãos) para secagem (65 °C) em estufa de ventilação forçada e caracterização dos seguintes componentes de produção: altura (ALT), número de vagens (NV), número de vagens com (NV1) e (NV2) grãos, número de grãos (NG), matéria seca de grãos (MSG), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da palha (MSPALHA) – que expressa a matéria seca da parte aérea, descontando-se a matéria seca de grãos –, matéria seca total (MST), relação de raízes/parte aérea (R/P), índice de colheita (IC) – que expressa a relação do peso de grãos pelo somatório do peso das partes vegetais – e eficiência técnica (ET) – que estabelece a relação da capacidade do potencial produtivo por insumo.

4.4 Coleta de Solo

Após a colheita das plantas, foi realizada a amostragem do solo na camada de 0-10 cm de profundidade e no sulco central de semeadura (5 cm de largura) (FIGURA 15). Após a coleta, as amostras de solo foram secas (TFSA) e peneiradas (peneira com malha de 2 mm) para caracterização dos atributos químicos, conforme EMBRAPA (1997).

Figura 15 – Imagens ilustrativas na amostragem de solo nas unidades experimentais, na colheita das plantas de grão-de-bico



Fonte: PEGORARO (2022).



Fonte: PEGORARO (2022).

4.4 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste F. Para a comparação com os tratamentos adicionais, foi empregado o teste de Dunnett. Para ambos os testes com ($p \leq 0,05$), foi 5% de significância, e teve como auxílio o pacote estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

5 RESULTADOS

5.1 Componentes de Produção do Grão-de-Bico

Os componentes de produção e índices de clorofila do grão-de-bico foram influenciados ($p < 0,05$) pelos fatores em estudo (TABELA 08). A aplicação de fertilizantes organominerais à base de lodo de esgoto ou biochar, na forma pó ou granulado (caracterizados como Tipo e Forma), diferiram dos tratamentos adicionais (sem adubação e com adubação mineral) para a maioria das variáveis de grão-de-bico avaliadas. No entanto, esses (os tratamentos adicionais) também diferiram entre si para produção de matéria seca, grãos e índice de colheita.

Tabela 08 – Resumo da análise de variância (ANOVA) submetido ao teste (F) significativo ($p \leq 0,05$) e com 5% de significância, e ao teste de Dunnett (comparado aos tratamentos adicionais) para as variáveis: índice de clorofila (CLOA), (CLOB), (CLOT), (CLOA/B) e relação (CLOA/B), altura (ALT), número de vagens (NV), número de vagens com um (NV1) ou dois (NV2) grãos, no grão-de-bico, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA e PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral).

FV	GL	CLOA	CLOB	CLOT	CLOA/B	ALT	NV	NV1	NV2	(Continuação)
Bloco	4	113,4 ^{ns}	12,607*	112,604 ^{ns}	11,562*	87,471 ^{ns}	43,070 ^{ns}	6,804 ^{ns}	8,083 ^{ns}	
Tipo (T)	1	1,152 ^{ns}	3,160 ^{ns}	8,128 ^{ns}	0,072 ^{ns}	80,000 ^{ns}	112,812 ^{ns}	2,112 ^{ns}	2,450 ^{ns}	
Forma (F)	1	63,65 ^{ns}	0,001 ^{ns}	63,617 ^{ns}	1,142 ^{ns}	88,200 ^{ns}	19,012 ^{ns}	1,512 ^{ns}	2,450 ^{ns}	
T x F	1	92,62 ^{ns}	0,616 ^{ns}	78,052 ^{ns}	6,475 ^{ns}	57,800 ^{ns}	108,112 ^{ns}	19,012 ^{ns}	2,450 ^{ns}	
Adicion (A)	1	129,3 ^{ns}	1,772 ^{ns}	85,907 ^{ns}	4,998 ^{ns}	36,100 ^{ns}	592,900 ^{**}	469,225 ^{**}	122,500 ^{**}	
A x TF	1	145,7 ^{ns}	38,256 ^{**}	356,776 ^{**}	3,860 ^{ns}	355,266*	266,704*	24,704 ^{ns}	50,416 ^{**}	
Resíduo	20	37,776	3,277	42,0413	3,170	56,786	38,095	6,084	8,503	
CV (%)		23,255	25,692	19,416	41,703	15,842	41,657	25,873	54,675	

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV-coeficiente de variação; ns, *, ** - não significativo e significativo a 5 e 1 %, respectivamente; Tipo de fertilizante (T): fator A; Forma de fertilizante (F): fator B; Adicion (A): Tratamentos adicionais; TF: Tratamentos comuns (fator A e B).

Tabela 08 – Resumo da análise de variância (ANOVA) submetido ao teste (F) significativo ($p \leq 0,05$) e com 5% de significância, e ao teste de Dunnett (comparado aos tratamentos adicionais) para as variáveis: número de grãos (NG), peso de 100 grãos (P100), matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de grãos (MSG), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da palha (MSPALHA), matéria seca total (MST), relação raiz por parte aérea (R/P), índice de colheita (IC) e a eficiência técnica (ET) no grão-de-bico, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA e PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral)

	GL	NG	P100	MSR	MSG	MSPA	MSPALHA	MST	R/P	IC	(Conclusão)
Bloco	4	44,362 ^{ns}	24,051 ^{ns}	0,348 ^{ns}	2,787 ^{ns}	0,846 ^{ns}	2,374 ^{ns}	2,165 ^{ns}	0,001 ^{ns}	74,605 ^{ns}	
Tipo (T)	1	40,612 ^{ns}	9,357 ^{ns}	0,121 ^{ns}	0,259 ^{ns}	0,305 ^{ns}	1,147 ^{ns}	0,832 ^{ns}	0,001 ^{ns}	26,657 ^{ns}	
Forma (F)	1	7,812 ^{ns}	0,640 ^{ns}	0,648 ^{ns}	0,420 ^{ns}	1,596 ^{ns}	0,372 ^{ns}	0,208 ^{ns}	0,003 ^{ns}	14,433 ^{ns}	
T x F	1	148,51 [*]	1,764 ^{ns}	2,035 ^{ns}	3,561 ^{ns}	5,821 ^{ns}	0,280 ^{ns}	14,757 ^{ns}	0,003 ^{ns}	14,365 ^{ns}	
Adicion (A)	1	1918,2 ^{**}	9,741 ^{ns}	2,143 ^{ns}	72,253 ^{**}	424,973 ^{**}	146,306 ^{**}	486,785 ^{**}	0,169 ^{**}	1487,180 ^{**}	
A x TF	1	478,83 ^{**}	2,790 ^{ns}	8,847 ^{**}	25,793 ^{**}	365,708 [*]	196,964 ^{**}	487,806 ^{**}	0,055 ^{**}	183,155 [*]	
Resíduo	20	28,412	26,122	0,679	1,619	2,649	1,462	4,211	0,003	36,280	
CV (%)		25,504	23,498	38,330	29,678	11,682	12,540	12,760	30,757	24,964	

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV-coeficiente de variação; ns, *, ** - não significativo e significativo a 5 e 1 %, respectivamente; Tipo de fertilizante (T): fator A; Forma de fertilizante (F): fator B; Adicion (A): Tratamentos adicionais; TF: Tratamentos comuns (fator A e B).

A adubação com lodo nos distintos tipos e formas (lodo compostado, biochar de lodo, pó ou granulado) aumentaram o índice de clorofila a e o total nas folhas de grão-de-bico, em comparação ao tratamento sem adubação, e não diferiram das médias encontradas no tratamento com adubação mineral (FIGURA 16). No entanto, para clorofila b obteve-se maior índice nas folhas de grão-de-bico adubadas com lodo em comparação a fertilização mineral.

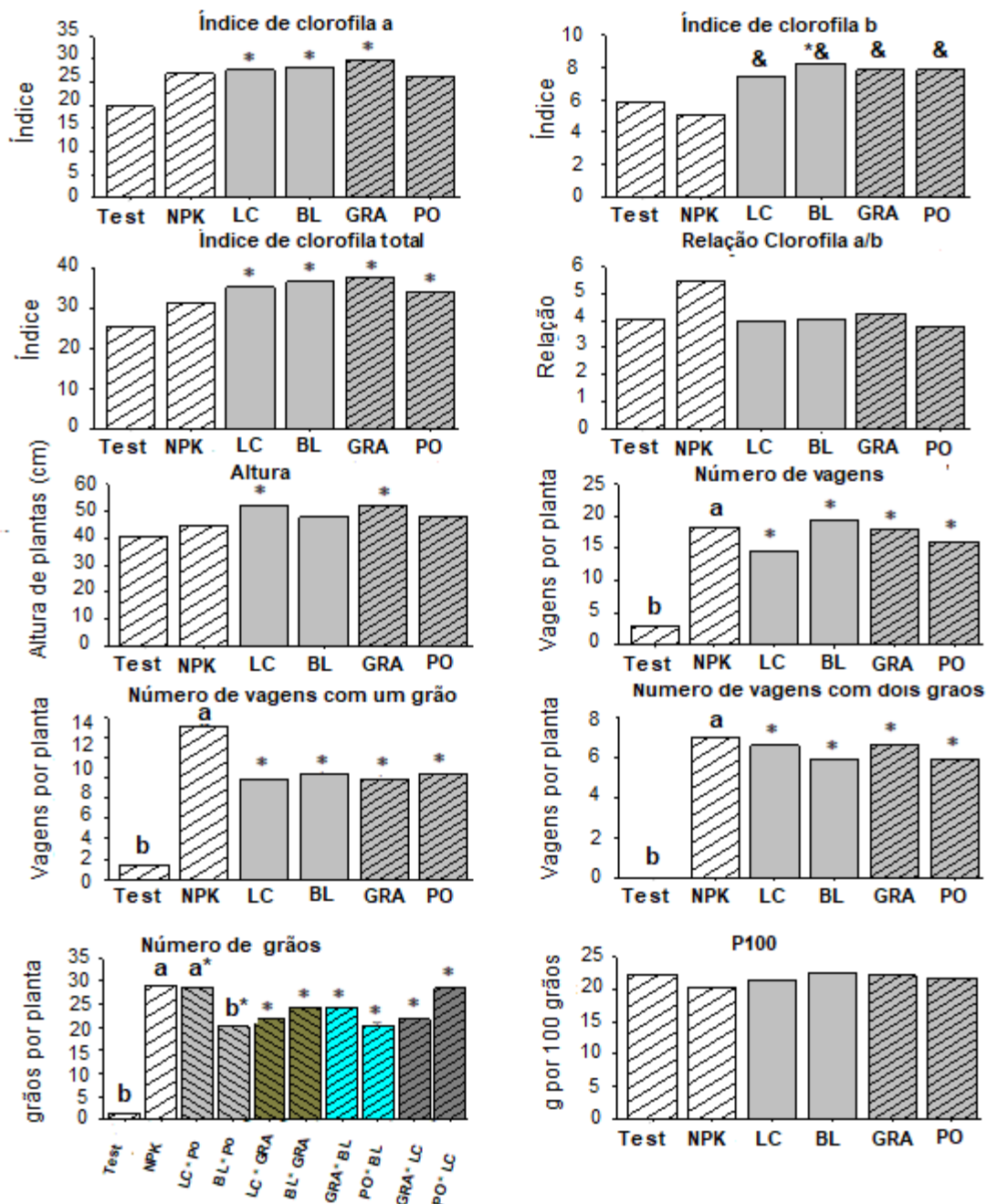
As relações médias entre índice de clorofila a e b (a/b) não diferiram entre tratamentos e variaram entre 3,8 e 5,7 (FIGURA 16).

A aplicação de lodo compostado e lodo na forma granulada propiciou maior altura de plantas, com 52,0 e 52,1 cm, em comparação à ausência de adubação (40,8 cm), e não diferiu das plantas que receberam fertilização mineral (44,6 cm) (FIGURA 16). Os demais tratamentos (biochar e pó) não diferiram das plantas que não receberam adubação ou receberam fertilização mineral.

A adubação mineral e orgânica com lodo, nos distintos tipos e formas, também aumentou o número de grãos e vagens por planta, além do número de vagens com um ou dois grãos, em comparação ao tratamento adicional sem adubação, com médias variando de 15 a 19 vagens por planta, e a maioria sendo composta por vagens com um grão (10 a 15 vagens), No tratamento sem adubação, obteve-se apenas 3 vagens por planta, Para número de grãos por planta, obteve-se interação significativa entre os fatores tipo e forma de fertilizantes, e a aplicação de pó de lodo propiciou maior número de grãos por planta (29 grãos) em comparação ao tratamento com biochar de pó de lodo (20 grãos).

Os tratamentos avaliados nesse estudo não interferiram no peso de 100 grãos e as médias obtidas variaram de 20,3 a 22,7 g após a adubação com fertilizante mineral e biochar de lodo, respectivamente.

Figura 16 – As variáveis índice de clorofila a, b, total e relação a/b, altura da planta, número de vagens (NV) com um (NV1) ou dois grãos (NV2), número de grãos por planta e peso de 100 grãos (P100), após a adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral)



Médias seguidas de mesma letra minúscula não se diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de significância, * indica diferença significativa entre o fator A (Biochar e Lodo) ou fator B (granulado ou pó) da testemunha, & indica diferença significativa entre o fator A (Biochar e Lodo) ou fator B (granulado ou pó) da adubação mineral NPK.

Fonte: Do autor (2022)

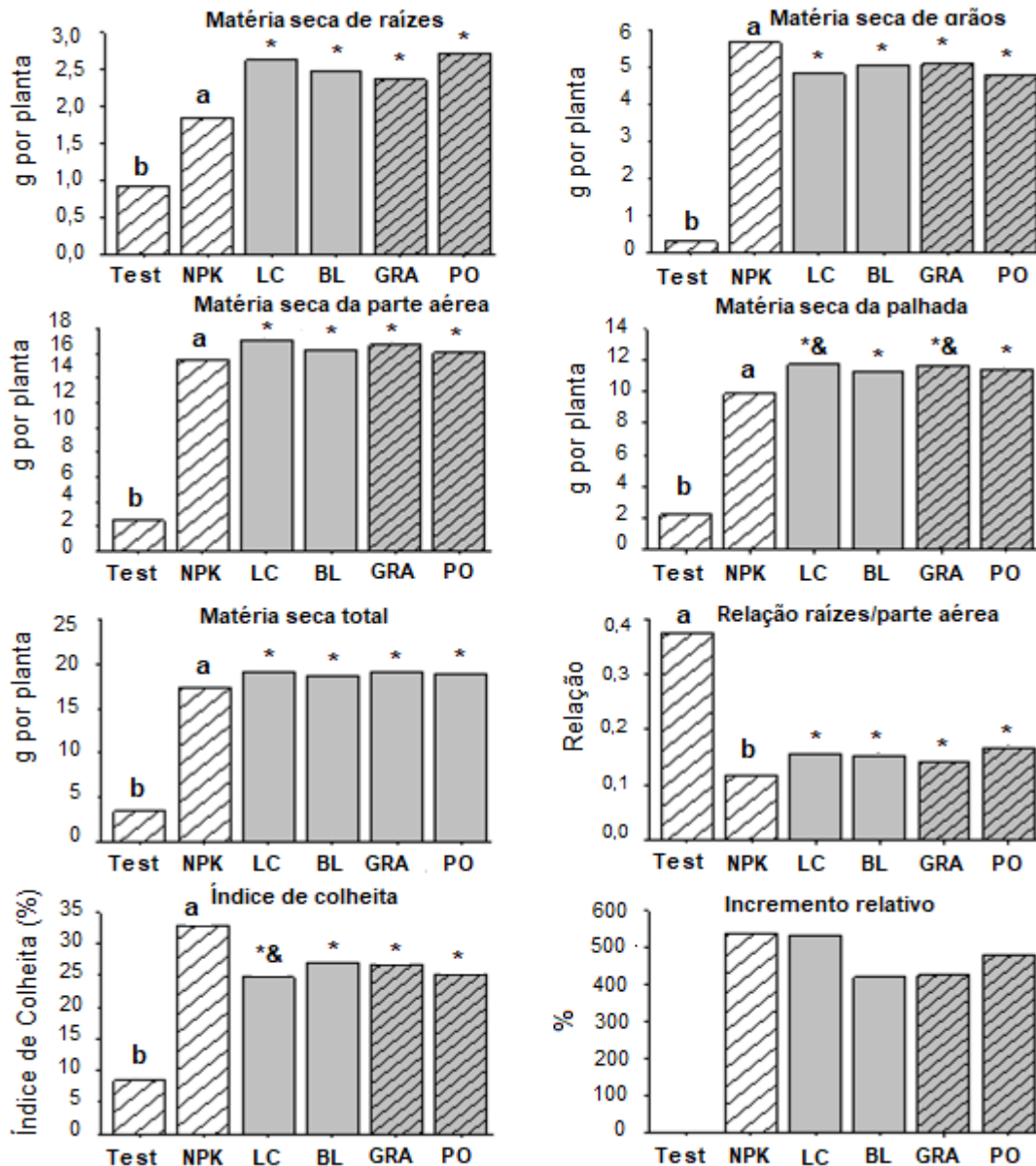
A aplicação de lodo compostado e biochar na forma pó ou granulado aumentaram o peso de matéria seca de raízes, grãos, parte aérea e total, em comparação a ausência de adubação (FIGURA 17); no entanto, não diferiram entre si e em relação ao tratamento com adubação mineral. Nas parcelas que receberam adubação, a matéria seca de grãos e total variaram, respectivamente de 4,8 a 5,7 e 17,4 a 19,1 g por planta, enquanto no tratamento sem adubação as médias corresponderam a 0,30 e 3,4 g por planta.

Esses resultados propiciaram o incremento relativo de grãos (IR) superior a 400% nas plantas que receberam adubação orgânica ou mineral e implicaram a redução da relação raízes/parte aérea, em comparação à testemunha (FIGURA 17). Com isso, houve maior proporção de fotoassimilados utilizada pela planta para produção de matéria seca da parte aérea, assim como menor necessidade de expansão radicular do grão-de-bico.

O índice de colheita (IC) também foi incrementado nas plantas que receberam adubação orgânica ou mineral, com médias variando de 25 a 33%, enquanto no tratamento adicional testemunha, o IC correspondeu a 8%.

Considerando-se somente os resíduos vegetais que permaneceram na área de cultivo (matéria seca da palhada), observou-se maior capacidade de deposição de resíduos nas áreas que receberam adubação com lodo compostado e lodo na forma granulada, em comparação àquelas com adubação mineral e testemunha (FIGURA 17), não diferindo do manejo com biochar de lodo e lodo granulado. A utilização de lodo compostado e granulado aumentou em 19% a produção de resíduos vegetais de grão-de-bico, em comparação a adubação mineral.

Figura 17 – As variáveis matéria seca de raízes (MSR), grãos (MSG), parte aérea (MSPA), palhada (MSPALHA), total (MST), relação raízes/parte aérea (R/P), índice de colheita (IC) e incremento relativo (IR) no grão-de-bico, após manejos da adubação organomineral (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral; BP: biochar + NPK pó; LG: lodo de esgoto + NPK granulado; LP: lodo de esgoto + NPK em pó e BG: biochar + NPK granulado)



Médias seguidas de mesma letra minúscula não se diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de significância, * indica diferença significativa entre o fator A (Biochar e Lodo) ou fator B (granulado ou pó) da testemunha, & indica diferença significativa entre o fator A (Biochar e Lodo) ou fator B (granulado ou pó) da adubação mineral NPK.

Fonte: Do autor (2022).

5.2 Atributos Químicos do Solo

A aplicação de fertilizantes organominerais à base de lodo diferiu ($p \leq 0,05$) dos tratamentos adicionais para os atributos químicos pH, fósforo (P), potássio (K), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica total (T), porcentagem de saturação por bases (V) e carbono orgânico (CO) (TABELA 09). Obteve-se interação significativa entre tipo e fonte de fertilizante organomineral somente para o atributo pH do solo e observou-se efeito isolado do fator tipo de fertilizante para pH, H+Al, T e V. Os tratamentos adicionais testemunha e adução NPK (mineral) diferiram para os atributos pH, P, cálcio (Ca), magnésio (Mg), H+Al, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e V.

Tabela 09 – Resumo da análise de variância (ANOVA) submetido ao teste (F) significativo ($p \leq 0,05$) e 5% de significância, e ao teste de Dunnett (comparado aos tratamentos adicionais) para os atributos: pH, P, K, Ca e Mg, Al, H+Al, SB, t, T, m, V, CO e MO do solo, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação; NPK: adubação com NPK na forma mineral).

FV	GL	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
Bloco	4	0,002 ^{ns}	1573,268 ^{ns}	452,853 ^{ns}	0,200 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,098 ^{ns}
Tipo (T)	1	0,132 ^{**}	879,138 ^{ns}	430,592 ^{ns}	0,114 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,006 ^{ns}	1,326 ^{**}
Forma (F)	1	0,017 ^{ns}	3210,578 ^{ns}	250,632 ^{ns}	0,214 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,004 ^{ns}
T x F	1	0,126 ^{**}	390,728 ^{ns}	430,592 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,276 ^{ns}
Adicion (A)	1	2,391 ^{**}	54449,641 ^{**}	588,289 ^{ns}	1,428 ^{**}	0,082 ^{**}	0,009 ^{ns}	3,147 ^{**}
A x TF	1	2,899 ^{**}	64379,952 ^{**}	1104,246 ^{**}	0,327 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,018 ^{ns}	7,011 ^{**}
Resíduo	20	0,013	2180,062	253,886	0,170	0,010	0,007	0,108
CV (%)		2,135	29,014	17,994	12,510	22,539	129,697	14,282

FV	GL	SB	t	T	m	V	CO	MO
Bloco	4	0,159 ^{ns}	0,212 ^{ns}	0,317 ^{ns}	3,445 ^{ns}	13,188 ^{ns}	0,033 ^{ns}	0,097 ^{ns}
Tipo (T)	1	0,049 ^{ns}	0,020 ^{ns}	1,878 [*]	3,280 ^{ns}	95,048 [*]	0,016 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Forma (F)	1	0,085 ^{ns}	0,162 ^{ns}	0,126 ^{ns}	5,940 ^{ns}	2,812 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,001 ^{ns}
T x F	1	0,325 ^{ns}	0,250 ^{ns}	1,205 ^{ns}	2,244 ^{ns}	3,477 ^{ns}	0,038 ^{ns}	0,112 ^{ns}
Adicion (A)	1	2,034 ^{**}	1,772 ^{**}	0,127 ^{ns}	6,561 ^{ns}	840,522 ^{**}	0,017 ^{ns}	0,044 ^{ns}
A x TF	1	0,298 ^{ns}	0,168 ^{ns}	4,455 ^{**}	9,361 ^{ns}	996,174 ^{**}	0,128 ^{**}	0,371 ^{**}
Resíduo	20	0,198	0,204	0,341	3,700	14,142	0,011	0,038
CV (%)		11,177	11,154	9,286	120,230	5,888	14,012	14,662

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação, **, * - significativo a 5 e 1 % respectivamente; ns: não significativo; pH: em água; P: fósforo extraído pelo método Mehlich 1; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio, H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; t: capacidade efetiva de troca de cátions; T: capacidade de troca de cátions a pH = 7,0; m: saturação por alumínio, V: saturação por base, CO: carbono orgânico, MO: matéria orgânica, Tipo de fertilizante: fator A, Forma de fertilizante: Fator B, Adicion: Tratamentos adicionais, TF: Tratamentos comuns (fator A e B).

A aplicação dos diferentes tipos e formas de fertilizantes organominerais, de modo geral, aumentou a fertilidade do solo, caracterizada por meio dos seus atributos químicos (TABELA 09). O uso de lodo reduziu o pH do solo de modo diferenciado entre os tipos e formas de fertilizantes, A aplicação de fertilizante organomineral na forma pó de lodo compostado (LCPO) implicou no menor pH do solo com média igual a 5,15, enquanto que no solo testemunha e adubação mineral NPK obtiveram-se médias correspondentes respectivamente a 6,43 e 5,45, Esse tratamento (LCPO) também diferiu daquele com pó de biochar (BLPO), que obteve maior pH do solo, igual a 5,47, Entre os tratamentos com biochar também foram observadas distinções e a sua utilização na forma de grânulos (BLGRA) possibilitou maior redução do pH (5,26) em comparação ao solo com BLPO.

No comparativo entre os tratamentos adicionais, notou-se que a adubação mineral com NPK causou redução em 0,98 unidade de pH, em comparação ao solo que não recebeu adubação (TABELA 10), possivelmente como resposta dos constituintes minerais dos fertilizantes utilizados, capazes de liberar íons H^+ e acidificar o solo.

A adubação organomineral com lodo compostado ou biochar na forma granulada ou pó aumentou os teores de P, H+Al, SB e V no solo, em comparação aos vasos (parcelas) que não receberam fertilização (TABELA 10). A aplicação de LC e fertilizantes organominerais granulados também aumentaram os teores de K no solo e a aplicação de LC e fertilizantes organominerais pó ou granulados aumentaram a capacidade de troca catiônica (T) do solo.

Tabela 10 – Atributos químicos pH, P, K, Ca e Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, CO do solo, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação e adubação com NPK na forma mineral).

(Continuação)

Trat	pH H ₂ O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	CO
		-----mg dm ⁻³ -----					-----cmol _c dm ⁻³ -----				---%---	dag kg ⁻¹
BL	-	187,05*	88,20a	3,16*	0,48a	0,10a	2,39b*	3,87*	3,97*	6,26b	61,97a*	0,86a [‡]
LC	-	200,31*	97,48*	3,31a	0,41*	0,07a	2,90a [‡]	3,96*	4,03a	6,88* [‡]	57,61b* [‡]	0,80a [‡]
Pó	-	206,35*	89,30a	3,33a	0,41*	0,11a	2,66a [‡]	3,90*	4,09a	6,65* [‡]	60,16a*	0,85a [‡]
Granulado	-	181,01*	96,38*	3,13*	0,48a	0,06a	2,63a [‡]	3,85*	3,91*	6,49*	59,41a*	0,80a [‡]
Forma												
Tratamentos adicionais												
Test	6,43a	21,62b	72,30a	3,83a	0,56a	0,00a	1,06b	4,58a	4,58a	5,64a	81,18a	0,73a
NPK	5,45b	169,20a	87,64a	3,07b	0,38b	0,06a	2,18a	3,68b	3,74b	5,86a	62,84b	0,65a
CV (%)	2,14	29,01	17,99	12,51	22,54	129,9	14,28	11,17	11,15	9,29	5,89	14,01

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de significância, * Fator difere do tratamento adicional testemunha (Test); Test); [‡]Fator difere do tratamento adicional (Test); [‡]Fator difere do tratamento adicional (NPK adubação com NPK na forma mineral).

Tabela 10 – Atributos químicos pH, P, K, Ca e Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, CO do solo, após manejos da adubação com biochar ou lodo de esgoto (BL e LC), na forma granulada ou pó (GRA ou PÓ) e tratamentos adicionais (Test: sem adubação e adubação com NPK na forma mineral).

							(Conclusão)
BLGRA	5,26a ^{&}	-	-	-	-	-	-
LCGRA	5,25a ^{&}	-	-	-	-	-	-
Desdobramento de composto dentro do nível forma: GRA							
BLGRA	5,26a ^{*&}	-	-	-	-	-	-
LCGRA	5,25a ^{*&}	-	-	-	-	-	-
Desdobramento de composto dentro do nível forma: GRA							
BLPO	5,47a [*]	-	-	-	-	-	-
LCPO	5,15b ^{*&}	-	-	-	-	-	-
Desdobramento de composto dentro do nível forma: PÓ							
BLGRA	5,26b ^{*&}	-	-	-	-	-	-
BLPO	5,47a [*]	-	-	-	-	-	-
Desdobramento de forma dentro do nível de compostos: BL							
LCGRA	5,25a ^{*&}	-	-	-	-	-	-
LCPO	5,15a ^{*&}	-	-	-	-	-	-
CV (%)	2,14						

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de significância, * Fator difere do tratamento adicional testemunha (Test); Test); [&]Fator difere do tratamento adicional (Test); [&]Fator difere do tratamento adicional (NPK adubação com NPK na forma mineral).

O uso de fertilizantes organominerais (todos) à base de lodo diferenciou-se da aplicação de fertilizantes minerais, por favorecer os teores de CO e a H+Al do solo (TABELA 10), além de aumentar a capacidade de troca catiônica (T), reduzir a saturação por bases (V) do solo que recebeu LC e aumentar a T no tratamento com fertilizantes organominerais na forma pó.

A aplicação de fertilizantes no grão-de-bico causou redução nos teores de alguns nutrientes no solo: a utilização de NPK (mineral) reduziu os teores de Ca, Mg, SB e t em comparação ao solo da testemunha (TABELA 10); e o uso de adubação organomineral com BL ou fertilizantes granulados, LC ou fertilizantes em pó reduziram, respectivamente, os teores de Ca e Mg do solo.

6 DISCUSSÃO

A adubação com fertilizantes organominerais à base de lodo nos distintos tipos e formas estudados aumentaram a produção de matéria seca da parte aérea do grão-de-bico, em comparação à ausência de adubação, e contribuíram para maior retorno de resíduos vegetais (palhada) ao solo, em comparação àquele com adubação mineral (FIGURA 17). Tais resultados foram atribuídos à resposta positiva da matéria orgânica e dos nutrientes minerais (NPK) adicionados via fertilizantes organominerais de lodo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. De acordo com Chagas *et al.* (2021) e Pegoraro *et al.* (2020), a presença de nutrientes e compostos orgânicos no lodo favorece a atividade biológica do solo e a taxa mineralização de nutrientes para as plantas, implicando maior potencial produtivo nos cultivos agrícolas.

Os principais nutrientes presentes no lodo são o N, P, K, S e micronutrientes (ELALAMI *et al.*, 2020; ALVES *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2021; CARDOSO *et al.*, 2022). Esses nutrientes estão presentes no lodo principalmente sob formas orgânicas, mas mineralizáveis ao longo do tempo, por meio de processos de estabilização no solo ou pela compostagem. Os processos de estabilização por meio de compostagem ou pirólise do lodo contribuem na disponibilização de nutrientes para as plantas. Neste estudo, a utilização de material estabilizado por processos de compostagem ou pirólise na elaboração de fertilizantes organominerais, no formato granulado ou pó, foi eficiente na produção de grão-de-bico, por propiciar incrementos semelhantes ou superiores àqueles obtidos com o manejo convencional da adubação (somente com fertilizantes minerais).

A adubação organomineral propiciou maiores índices de clorofila nas plantas de grão-de-bico, em especial de clorofila b (FIGURA 16). Adequados teores de clorofila nas plantas são considerados indicadores de bom estado nutricional das plantas e são fundamentais para captação de energia e produção de fotoassimilados pelas plantas. O incremento no teor de clorofila b, após adubação com fertilizantes organominerais no grão-de-bico, é fundamental para aumento da capacidade de captação de energia de outros comprimentos de onda que podem ser transferidos para a clorofila a e utilizados nas reações fotoquímicas da fotossíntese. Estudo realizado por Elalami *et al.* (2020) reportam aumentos de 84% no teor de clorofila a e 87% na produção de matéria seca de tomateiro, após a adubação com lodo de esgoto, em decorrência da elevada disponibilidade de nutrientes, em especial de nitrogênio e fósforo.

Apesar do aumento no índice de clorofila b, não foram observadas alterações nas relações entre clorofila a/b após a aplicação dos tratamentos com fertilizantes organominerais ou minerais (FIGURA 16). A proporção dessas clorofilas variou entre 3,8 e 5,7 e foram consideradas adequadas para o cultivo de grão-de-bico. Redução no teor e na relação entre clorofilas a/b das plantas podem indicar estresse pela presença de metais (LOPAREVA-POHU *et al.*, 2011; GARG; BHARTI, 2018; SHARMA; SINGH, 2019). Nesse contexto, não foram observados possíveis efeitos negativos da adição de compostos de lodo nos pigmentos do grão-de-bico, uma vez que os teores médios de metais presentes nos fertilizantes (TABELA 03) foram considerados baixos.

A adubação com fertilizantes organominerais de lodo compostado e biochar na forma pó ou granulado aumentou a produção de grãos por planta e o número de vagens com um ou dois grãos (FIGURAS 16 e 17), obtendo-se índice de colheita entre 25 e 33% e o incremento relativo (IR) de grãos superior a 400%, em comparação às plantas que não receberam adubação.

Dentre os fertilizantes organominerais avaliados, a aplicação de pó de lodo propiciou maior número de grãos por planta (29 grãos), em comparação ao tratamento com biochar de pó de lodo (20 grãos). Embora não tenham ocorrido diferenças no peso médio de grãos por planta entre esses dois tratamentos, acreditasse na maior capacidade do pó de lodo em disponibilizar nutrientes para as plantas de grão-de-bico, em comparação ao biochar, uma vez que o processo de obtenção do pó de lodo ocorreu por meio de compostagem, enquanto o biochar passou pela pirólise, etapa que leva à produção de novos compostos orgânicos recalcitrantes e à perda de nutrientes voláteis. De acordo com Figueiredo *et al.* (2019), a pirólise realizada com temperaturas superiores a 400 °C leva a perdas de matéria orgânica e N, diminuição da relação H/C (indicando maior recalcitrância dos compostos) e aumento de pH, relação C/N, volume de poros, e área superficial específica, o que altera a capacidade de liberação de nutrientes para as plantas. Alves *et al.* (2021) observaram aumento nos teores de C, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Zn e Cu no solo após a aplicação de 5% de biochar de lodo, mas relataram que a produção de beterraba foi significativamente menor do que no tratamento que recebeu somente adubação mineral com calcário, em decorrência da menor taxa de disponibilização de nutrientes presentes no biochar.

O aumento da recalcitrância de compostos orgânicos presentes em fertilizantes à base de biochar de lodo pode ser uma alternativa de manejo em cultivos de ciclo longo (perene), por retardar o processo de liberação de nutrientes para as plantas e prolongar a dinâmica de absorção de nutrientes. No entanto, sugere-se, neste estudo, que o uso de biocarvão de lodo como constituinte de fertilizante organomineral formulado no cultivo de grão-de-bico (planta de ciclo curto) apresentou resultados promissores devido à obtenção de produção de grãos semelhantes àquelas encontradas em solos adubados somente com fertilizantes minerais (NPK) e organominerais a base de lodo compostado. Outro estudo, comparando o uso de biochar com a adubação NPK observou que a fertilização com 30 t ha⁻¹ de biochar de lodo de esgoto (15 t ha⁻¹ no primeiro ciclo de cultivo e 15 t ha⁻¹ no segundo ciclo) foi capaz de substituir o NPK para o rendimento de milho, com produtividade de 11,2 t ha⁻¹ no segundo ciclo de cultivo (CHAGAS *et al.*, 2021).

Estudos utilizando o lodo de esgoto como fonte de fertilizante orgânico ou organomineral com resultados positivos na produção de culturas agrícolas são descritos em literatura. Resende Junior (2015) observaram que a aplicação de lodo de esgoto com fertilizantes minerais (NPK) aumentou em 12 vezes a produção de matéria fresca de *U. brizantha* em relação ao controle sem adubação e não diferiu da adubação mineral. A aplicação de fertilizante organomineral aumentou o acúmulo de P na soja, especialmente em solo argiloso, favorecido pela mineralização do reservatório orgânico de P presente no lodo de esgoto (LYNCH, 2015), e/ou competição de moléculas orgânicas dissolvidas pelos mesmos locais de sorção (YU *et al.*, 2013), e/ou liberação mais lenta de P, favorecendo sua absorção pelas plantas (MACKAY *et al.*, 2017).

A adubação com compostos de lodo em diferentes doses (0, 10, 20, 30 g e 40 g de lodo kg⁻¹ de solo) aumentou o crescimento das plantas *Corchorus olitorius* e melhorou a fertilidade do solo (EID *et al.*, 2020). Melhorias no crescimento de plantas pelo uso de fertilizantes à base de lodo ocorreram especialmente devido ao seu alto teor de matéria orgânica e micronutrientes (LOGAN; HARRISON, 1995; SINGH; AGRAWAL 2009; EID *et al.*, 2019). No cultivo de *Helianthus annuus*, a adição de lodo aumentou os teores de matéria orgânica, N total, P disponível, Na, K e Ca trocáveis, resultando em aumento do comprimento da raiz e da parte aérea, número de folhas e biomassa, além das atividades

antioxidantes de plantas de girassol (BELHAJ *et al.*, 2016). Melhorias na fertilidade do solo e produção de plantas após adubação com lodo também foram obtidas no cultivo de espinafre (EID *et al.*, 2017a), pepino (EID *et al.*, 2017b), fava (EID *et al.*, 2018), trigo (EID *et al.*, 2019) e sorgo (ARAÚJO-NETO *et al.*, 2014).

A utilização de fertilizante organomineral constituído de lodo compostado ou na forma granulada aumentou em 19% e 5,7 vezes a produção de resíduos vegetais, caracterizados neste estudo como matéria seca de palhada (FIGURA 17), em comparação ao uso de adubação mineral e testemunha (sem adubação), respectivamente. Esse incremento na produção de resíduos vegetais é importante para a sustentabilidade dos cultivos agrícolas, pois são considerados fonte de carbono e nutrientes para o solo e cultivos subsequentes. Tais resultados também demonstram o elevado potencial de utilização de fertilizantes granulados a base de lodo na agricultura, em comparação a outras formas de fertilizantes (pó, farelado), pois apresentaram algumas vantagens práticas de manejo, a saber: maior facilidade de transporte, armazenagem e aplicação; menor risco de contaminação de operadores devido à ausência de poeira; maior facilidade de aplicação via implementos agrícolas; menor taxa de perda do produto nas etapas de aplicação devido à presença de vento, entre outras.

A aplicação de fertilizante organomineral granulado a base de lodo de esgoto na Polônia aumentou a produção de biomassa de *Sinapis alba* e os teores foliares de N e P, respectivamente em 289,6% e 145,1%, em comparação à testemunha (sem adubação) e 98,2 e 300%, em comparação ao uso de fertilizante comercial. Com base nesses resultados, os mesmos autores afirmaram que o fertilizante granulado de lodo é altamente competitivo com outros produtos comerciais (GŁODNIOK *et al.*, 2021) e Melo *et al.* (2018), após 10 anos consecutivos aplicando lodo de esgoto em Latossolo com textura argilosa, observaram que esse fertilizante foi eficiente em suprir a demanda fosfatada e de micronutrientes, além de substituir parcialmente a adubação nitrogenada, sem reduzir a produtividade do milho.

O uso de fertilizantes à base de lodo de esgoto reduziu o pH do solo (TABELA 10), sendo os maiores decréscimos observados naquele que recebeu o pó de lodo compostado (pH=5,15), em comparação ao o pó de biochar (pH=5,47), a adubação química (5,45) e a testemunha (pH=6,43). Os constituintes minerais e a liberação de íons H^+ dos fertilizantes organominerais foram os principais causadores da acidificação do solo. A maior redução no pH do solo adubado com pó de lodo compostado foi relacionada à maior presença de íons H^+ no fertilizante. Isso ocorre no processo de compostagem, pois a nitrificação acidifica o substrato, devido à conversão de NH_4^+ em NO_3^- , liberando íons H^+ para a solução, aumentando a concentração de sais e a dissociação dos íons H^+ , responsável pela redução do pH (HAYNES; ZHOU, 2016; CARDOSO *et al.*, 2022). Outros fatores inerentes ao uso de fertilizantes contendo lodo e formas minerais podem ter contribuído para redução do pH do solo, a saber: a decomposição da matéria orgânica do lodo após sua aplicação no solo, pois contribui para a liberação de ácido carbônico e óxidos não metálicos, como SO_4^{2-} e NO_3 , que podem formar ácidos com a água (OCIEPA *et al.*, 2017); a mistura de fertilizantes à base de ureia, fosfato monoamônico e cloreto de potássio, pois a adubação com ureia e fosfato monoamônico aumentam o teor de NH_4^+ no solo e intensificam o processo de nitrificação, liberando 2-4 mol de H^+ para cada mol de NH_4^+ na solução do solo, causando redução no pH do solo (TONG; XU, 2012; LATIFAH *et al.*, 2018; MOTA *et al.*, 2021).

Em contrapartida, o maior pH do solo em tratamentos com pó de biochar de lodo, em comparação

ao com lodo compostado, pode ser atribuído à presença de cinzas no material pirolisado (TABELA 10). O produto de cinzas da pirólise contém óxido e hidróxido de metais alcalinos que se dissolvem facilmente em água e são capazes de aumentar o pH do solo (SILVA *et al.*, 2017). A pirólise não somente elimina patógenos no lodo, mas também estimula ciclagem de nutrientes (K, P, Ca, Mg, etc) e pode contribuir para a redução da acidez de solos intemperizados (LIU *et al.*, 2012).

A adubação organomineral com lodo compostado ou biochar, na forma granulada ou pó, aumentou a fertilidade do solo, por incrementar os teores de P, K, H+Al, SB, V e a sua capacidade de troca catiônica (T) (TABELA 10). Estudos científicos já relataram efeito positivo do uso de fertilizantes à base de lodo na fertilidade do solo, por aumentar a matéria orgânica e melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, reduzindo a sorção de fósforo mineral, diminuindo a transformação de P em formas biodisponíveis, diminuindo a densidade aparente e aumentando a porosidade total (KOMINKO *et al.*, 2017; KOMINKO *et al.*, 2019; ALVES *et al.*, 2021). O uso de lodo de esgoto como componente de fertilizantes organominerais apresenta capacidade de reciclar anualmente de 82 a 140 toneladas de fósforo (como P_2O_5) e 42 a 73 toneladas de nitrogênio, em países como a Polônia (KOMINKO *et al.*, 2019).

A aplicação de doses de biochar de lodo de esgoto em Latossolo com textura argilosa aumentou o teor de nutrientes e os indicadores de fertilidade: soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva e total, além da saturação por bases (SOUSA; FIGUEIREDO, 2015). Yue *et al.* (2017), estudando a aplicação de proporções de biochar em solo argiloso (proporções de solo e biochar, variando de 1 a 50%) na China, obtiveram aumento nos teores de carbono orgânico e N total de 1,8 a 45 vezes e 1,5 a 62 vezes, respectivamente, enquanto que os teores de P e K disponíveis aumentaram de 5,6 a 38 vezes e 0,4 a 7 vezes, respectivamente, em comparação ao tratamento sem adubação com biochar.

Melhorias nas propriedades de solos adubados com lodo de esgoto notoriamente estão relacionados a aumentos na disponibilidade de compostos orgânicos lábeis e estáveis (CHAGAS *et al.*, 2021; PEGORARO *et al.*, 2020). Neste estudo, a presença de carbono orgânico nos fertilizantes organominerais aumentou a matéria orgânica no solo (TABELA 10). Esse resultado favorece a atividade biológica do solo, responsável pelos processos de mineralização, solubilização e complexação de nutrientes, além de aumentar a capacidade de troca catiônica de solos tropicais intemperizados. De acordo com Hechmi *et al.* (2022) a aplicação de compostos de lodo com elevada superfície específica aumenta a capacidade de troca catiônica dos solos e contribui para maior adsorção de nutrientes, favorecendo a fertilidade do solo ao longo do tempo de cultivo agrícola.

A adoção de práticas de manejo sustentáveis pelo uso de fertilizantes à base de lodo de esgoto se alinha à maior eficiência de aproveitamento de nutrientes pelas plantas e à possibilidade de substituição de fontes minerais finitas de nutrientes por fontes recicláveis presentes em resíduos da atividade humana. Nesse sentido, Antonkiewicz *et al.* (2021), após seis anos de experimento de campo avaliando o uso isolado de lodo de esgoto e em misturas com cinzas de biomassa ou material betuminoso como fonte de fertilizantes, concluíram que a aplicação isolada ou misturas desses resíduos contribuem para a sustentabilidade, por melhorar a produtividade das plantas, aumentar a reciclagem de macronutrientes, diminuir o descarte inadequado de resíduos e reduzir a dependência da agricultura por fertilizantes minerais.

7 CONCLUSÕES

O fertilizante organomineral proveniente de biocarvão de lodo e lodo de esgoto compostado, na forma granulada ou pó, aumenta o número de grãos, especialmente, na interação lodo compostado e pó; matéria seca da palhada (lodo compostado e granulada) e influencia positivamente na atuação da clorofila b e no índice de colheita (em função, do incremento relativo), comparando-se ao tratamento adicional NPK.

O cultivo do grão-de-bico aos 122 dias de ciclo foi responsivo aos atributos químicos como acidez potencial, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e carbono orgânico para tipos, formas de fertilizantes, além da interação com os tratamentos adicionais, dos quais foi significativa para pH, fósforo e potássio, a interação dos tratamentos (tipos, formas e adicionais). Por outro lado, o fator tipo de fertilizante, isolado, favoreceu o aumento da saturação por bases e a acidez potencial e não influenciou a resposta de cálcio e magnésio nas folhas na interação dos fatores e tratamentos adicionais.

Os fertilizantes organominerais melhoraram as variáveis do solo, qualidade e produtividade da planta de grão-de-bico. O fertilizante organomineral teve uma eficiência agrônômica superior ou equivalente à de fertilizante mineral (NPK).

REFERÊNCIAS

ABISOLO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE TECNOLOGIA EM NUTRIÇÃO VEGETAL. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**, n.6. p.73. 2020.

ADUBASUL FERTILIZANTES – **Indústria de Fertilizantes Orgânicos e Organominerais**. 2021. link: Tipos de fertilizantes orgânicos e suas funções – Adubasul.

AHMAD, B.; AZEEM, F.; ALI, M.A.; NAWAZ, M.A.; NADEEM, H.; ABBAS, A.; BATOOL, R.; ATIF, R.M.; IJAZ, U.; NIEVES-CORDONES, M.; CHUNG, G. Genome-wide identification and expression analysis of two component system genes in *Cicer arietinum*. **Genomics**, v. 112, n. 2, p. 1371-1383, 2020.

ALCARDE, J.C. **Handbook of fertilizers analysis**. (In Portuguese.) Piracicaba: FEALQ, 2009. 259p.

ALI, M.; AHMED, T.; AL-GHOUTI, M.A. Potential Benefits and Risk Assessments of Using Sewage Sludge on Soil and Plants: A Review. **International Journal of Environmental Waste Management**. v.23, p.352–369, 2019.

ALI, M.; AHMED, T.; ABU-DIEYEH, M.; AL-GHOUTI, M. Environmental Impacts of Using Municipal Biosolids on Soil, Plant and Groundwater Qualities. **Sustainability**, v.13, n.15, p.1-25. 2021.

ALMEIDA, V.; CARNEIRO, G.; TEIXEIRA, I.R.; VIEIRA, J.; MOZENA, W.; ALMEIDA, R.R. Use of Organomineral at Fertilization of Beans in the Midwest Region of Brazil. **Research Square**, p.1-20, 2021.

ALMEIDA NETA, M.N.; PEGORARO, R.F.; SAMPAIO, R.A.; COSTA, C.A.; FERNANDES, L.A.; FERREIRA, J.M. Does inoculation with *Rhizobium tropici* and nitrogen fertilization increase chickpea production? **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, n. 24, p. 1-13, 2020.

ALMEIDA NETA, M.N. **Inoculação com rizobactérias e adubação nitrogenada no crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico**. 2021. 109 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros. 2021.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.113, p.407-427, 2013.

ALVES, B.S.Q.; ZELAYA, K.P.S.; COLEN, F.; FRAZAO, L.A.; NAPOLI, A.; PARIKH, S.J., FERNANDES, L.A. Effect of sewage sludge and sugarcane bagasse biochar on soil properties and sugar beet production. **Pedosphere**, v. 31, n. 4, p. 572-582, 2021.

ALVES FILHO, A.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q.; MORAES, M. R. B.; MALDONADO, A.C.D.; ATARASI, R.T. Treatment of sewage sludge with the use of solarization and sanitizing products for agricultural purposes. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v. 11, n. 3, p.184-191, 2016.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Setor de Fertilizantes. **Anuário Estatístico**: balanço de fertilizantes em nutrientes. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2018.

ANJUM, S.A.; WANG, L.C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L.L.; ZOU, C.M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.197. p.177-185. 2011.

ANTILLE, D.L.; SAKRABANI, R.; GODWIN, R.J. Field-scale evaluation of biosolids-derived organo-mineral fertilizers applied to ryegrass (*Lolium perenne* L.) in England. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, p. 1-10, 2013.

ANTILLE, D.L.; SAKRABANI, R.; GODWIN, R.J. Effects of biosolids-derived organomineral fertilizers, urea, and biosolids granules on crop and soil established with ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 12, p. 1605-1621, 2014.

- ANTILLE, D.L.; GODWIN, R.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, n. 2, p. 654-674, 2017.
- ANTONKIEWICZ, J.; POPLAWSKA, A.; KOŁODZIEJ, B.; CIARKOWSKA, K.; GAMBUŚ, F.; BRYK, M.; BABULA, J. Application of ash and municipal sewage sludge as macronutrient sources in sustainable plant biomass production. **Journal of Environmental Management**, v. 264, p. 1-9, 2020.
- ARAÚJO-NETO, R.A.; ARAÚJO-FILHO, J.T.; SILVA, F.J.; ROCHA, A.E.Q.; FARIAS, J.J.A. Forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) development submitted to different types and levels of organic fertilizer. **Ciência Agrícola**, v. 12, p. 31-40, 2014.
- ARIAS, A.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M.T. Benchmarking environmental and economic indicators of sludge management alternatives aimed at enhanced energy efficiency and nutrient recovery. **Journal of Environmental Management**, v. 279, n.1. p.1-10. 2019.
- ARTIAGA, O.P.; SPEHAR, C.R.; BOITEUX, L.S.; NASCIMENTO, W.M. Avaliação de genótipos de grão-de-bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p. 102-109, 2015.
- ASSIS, B.P. **Efeito de biofertilizante na produção de feijoeiro inoculado com rizóbio e nas propriedades químicas e físicas de um argissolo**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2013.
- AVELAR, R.I.S.; COSTA, C.A.; BRANDÃO JÚNIOR, D.S.; PARAÍSO, H.A.; NASCIMENTO, W.M. Production and quality of chickpea seeds in different sowing and harvest periods. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 2, p.155-164, 2018.
- AWASTHI, M.K.; WANG, Q.; HUANG, H.; REN, X.; LAHORI, A.H.; MAHAR, A.; ALI, A.; SHEN, F.; Influence of zeolite and lime as additives on greenhouse gas emissions and maturity evolution during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 216, p. 172-181, 2016.
- BAR-EL DADON, S.; ABBO, S.; REIFEN, R. Leveraging traditional crops for better nutrition and health - The case of chickpea. **Trends in Food Science and Technology**, v. 64, p. 39-47, 2017.
- BEESELEY, L.; MORENO-JIMÉNEZ, E.; GOMEZ-EYLES, J. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 2282-2287, 2010.
- BEESELEY, L.; DICKINSON, N. Carbon and trace element fluxes in the pore water of an urban soil following greenwaste compost, woody and biochar amendments, inoculated with the earthworm *Lumbricus terrestris*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 188-196, 2011.
- BELHAJ, D.; ELLOUMI, N.; JERBI, B.; ZOUARI, M.; ABDALLAH, F.B.; AYADI, H.; KALLEL, M. Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). **Environmental Science and Pollution Resource**, v. 23, p. 20168-20177, 2016.
- BENITES, V.M.; CORREA, J.C.; MENEZES, J.F.S.; POLIDORO, J.C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. *In*: FERTBIO, 2010, Guarapari. **Anais [...]**. Guarapari: SBCS, 2010. CD-ROM.
- BERNARDO, M.; LAPA, N.; GOLÇALVES, M.; PINTO, F.; FONSECA, I.; LOPES, H. Physico-chemical properties of chars obtained in the co-pyrolysis of waste mixtures. **Journal of Hazardous Materials**, v. 219/220, p.196-202, 2012.
- BIEDERMAN, L.A.; STANLEY HARPOLE, W. Biochar and its Effects on Plant Productivity and Nutrient Cycling: A Meta-Analysis. **GCB Bioenergy**, v.5, p.202-214, 2013.
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19,

n. 4, p. 388-393, 2015.

BOURIOUG, M.; GIMBERT, F.; ALAOUI-SEHMER, L.; BENBRAHIM, M.; ALEYA, L.; SOSSÉ, B.A. Sewage sludge application in a plantation: Effects on trace metal transfer in soil – plant – snail continuum. **Science of The Total Environment**, v. 503, p. 309-314, 2015.

BOYER, J.S. Plant Productivity and Environment. **Science**, v.218, p.443-448,1982.

BOŻYM, M.; SIEMIĄTKOWSKI, G. Characterization of composted sewage sludge during the maturation process: a pilot scale study. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.34332-34342, 2018.

BRANCO, G. Benefícios sustentáveis dos fertilizantes organominerais. Força e união da indústria de tecnologia e nutrição. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **ABISOLO**, São Paulo, Agroanalysis, p.1-10, 2012. Publicado o texto de artigo em 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Legislação para os sistemas orgânicos de produção animal e vegetal**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 15 jul. 2020. Seção 1. p. 5, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – CONAMA. Resolução no 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n.167, p.141-146, 2006.

BUTNAN, S.; DEENIK, J.L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M.J.; VITYAKON, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v. 237-238, p.105-116, 2015.

CAMARGO, O.A. MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. (Boletim Técnico, 106).

CARDOSO, A.F.; LANA, R.M.Q.; SOARES, W.; PEIXOTO, J.V.M.; LUZ, J.M.Q. Performance of organomineral fertilizer in winter and rainy potato crop. **Bioscience Journal**, v. 33, p. 861-870, 2017.

CARDOSO, P.H.S.; GONÇALVES, P.W.B.; DE OLIVEIRA ALVES, G.; PEGORARO, R.F.; FERNANDES, L.A.; FRAZÃO, L.A.; SAMPAIO, R.A. Improving the quality of organic compost of sewage sludge using grass cultivation followed by composting. **Journal of Environmental Management**, v. 314, 2022.

CARVALHO, C.S.; RIBEIRINHO, V.S.; ANDRADE, C.A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A.M.M. Composição Química da Matéria Orgânica de Lodos de Esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 413-419, 2015.

CARVALHO, S.I.C.; BIANCHETTI, L.B.; SILVA, P.P.; NASCIMENTO, W.M. **Fenologia do grão-de-bico tipo Kabuli**. Comunicado técnico – Folheto, v.133, n.1, p [1-26], Brasília: Embrapa Hortaliças, 2021.

CHAGAS, J.K.M.; DE FIGUEIREDO, C.C.; PAZ-FERREIRO, J. Sewage sludge biochars effects on corn response and nutrition and on soil properties in a 5-yr field experiment. **Geoderma**, v. 401, p.1-10, 2021.

CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação / Antônio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Vitor Hugo Alvarez V, (Eds.) Viçosa, MG: 1999,**

359p.

COELHO, H.A.; GRASSI FILHO, H.; ROMIERO, J.C.T.; POMPERMAYER, G.V.; BARBOSA, R.D.; LOBO, T.F. Desempenho agrônomo do lodo de esgoto como fonte de nitrogênio em bananeiras. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 13, p. 172-181, 2011.

COELHO, A.P.; FARIA, R. T.; DARLI, A. B.; PALARETTI, L. F.; ZANINI, J. R. Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia branca. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2542-2553, 2018.

COLLIVIGNARELLI, M.C.; CANATO, M.; ABBÀ, A.; CARNEVALE MIINO, M. Biosolids: what are the different types of reuse? **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117-844, 2019.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº. 375 de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2006. 32p.

CONSIDINE, M.J.; SIDDIQUE, K.H.M.; FOYER, C.H. Nature's pulse power: Legumes, food security and climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 8, p. 1815-1818, 2017.

CRUZ, A.C.; PEREIRA, F.S.; FIGUEIREDO, V.S. Fertilizantes Organominerais de Resíduos do Agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **Indústria Química**, p.137-187, 2017. (BNDES Setorial, n. 45).

DAI, L.; REN, J.; TAO, L.; LI, H. Risk assessment and speciation of Zn, Cu, Ni and Cr in sewage sludge amended with attapulgite. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 26, p. 2066-2075, 2017.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P.A. Global synthesis of drought effects on food legume production, **PLoS ONE**: San Francisco, v.10, n.6, p.1-16, 2015.

DEEKS, L. K.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; SAKRABANI, R.; GEDARA, S.; LE, M. S.; TYRREL, S.; PAWLETT, M.; READ, R.; SMITH, G. H. A new sludge-derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers. **Agronomy for Sustainable Development**, v.33, n. 3, p. 539-549, 2013.

DEVI, P.; SAROHA, A.K. Effect of temperature on biochar properties during paper mill sludge pyrolysis. **International Journal ChemTech Research**, v. 5, p. 682-687, 2013.

DHARANGUTTIKAR, V.M.; BHARUD, R.W.; BORKAR, V.H. Physiological responses of chickpea genotypes for drought tolerance under induced moisture stress. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 5, n. 9, p. 1-11, 2015.

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHOU, L.; ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 36, p. 1-19, 2016.

EID, E.M.; EL-BEBANY, A.F.; ALRUMMAN, S.A.; ABD EL-LATIF, H.; TAHER, M.A.; FAWY, K.F. Effects of different sewage sludge applications on heavy metal accumulation, growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). **International Journal Phytoremediation**, v.19, p. 340–347, 2017a.

EID, E.M.; ALRUMMAN, S.A.; EL-BEBANY, A.F.; HESHAM, A.; TAHER, M.A.; FAWY, K.F. The effects of different sewage sludge amendment rates on the heavy metal bioaccumulation, growth and biomass of cucumbers (*Cucumis sativus* L.). **Environmental Science and Pollution Resource** v.24, p.16371-16382, 2017b.

EID, E.M.; ALRUMMAN S.A.; EL-BEBANY, A.F.; FAWY, K.F.; TAHER, M.A.; HESHAM, A.; EL-SHABOURY, G.A.; AHMED, M.T. The evaluation of sewage sludge application as a fertilizer for broad bean (*Faba sativa* Bernh.) crops. **Food Energy Security**, v. 7, n. 3, 2018.

EID, E.M.; ALRUMMAN, S.A.; EL-BEBANY, A.F.; FAWY, K.F.; TAHER, M.A.; HESHAM, A.; EL-SHABOURY, G.A.; AHMED, M.T. Evaluation of the potential of sewage sludge as a valuable fertilizer for wheat (*Triticum aestivum* L.) crops. **Environmental Science and Pollution Resource**, v. 26, p. 392-401,

2019.

EID, E.M.; HUSSAIN, A.A.; TAHER, M.A.; GALAL, T.M.; SHALTOU, K.H.; SEWELAM, N. Sewage sludge application enhances the growth of corchorus olitorius plants and provides a sustainable practice for nutrient recirculation in agricultural soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 149-159, 2020.

ELALAMI, D.; MONLAU, F.; CARRERE, H.; ABDELOUAHDI, K.; OUKARROUM, A., ZEROUAL, Y.; BARAKAT, A. Effect of coupling alkaline pretreatment and sewage sludge co-digestion on methane production and fertilizer potential of digestate. **Science of The Total Environment**, v. 743, 2020.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solo. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: [s.n], 1997. 212p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Cultura da Mandioca**: Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria, Distrito Federal: Embrapa, 2016, 36p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo de grão-de-bico é testado no sistema orgânico e ampliado no MT. *In*: EMBRAPA. **Notícias**, 2018. Disponível em: <https://ruralpecuaria.com.br/noticia/mato-grosso-cultivo-de-grao-de-bico-e-testado-no-sistema-organico> e <https://www.embrapa.br/agrobiologia/busca-de-noticias?> Acesso em: 15 set. 2022.

ENVIS – ENVIRONMENTAL INFORMATION SYSTEM. **Centre on Hygiene, Sanitation, Sewage Treatment Systems and Technology**, 2021. Disponível em: http://www.sulabhenvic.in/database/stst_wastewater_2090.aspx. Acesso em: 26 nov.2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Circular Economy-Implementation of the Circular Economy Action Plan**. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling_en, 2020. Acesso em: 22 nov 2022.

EUROSTAT. **Statistics Explained**, 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Fertiliser>. Acesso em: 19 nov. 2022.

ERB, K.H.; LAUK, C.; KASTNER, T.; MAYER, A; THEURL, M.C.; Haberl, H. Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. **Nature communications**, v.7, p. 11382, 2016.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, [2008]. 33p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2019. **World Fertilizer Outlook and Trends To 2022**. <http://www.fao.org/publications/card/en/c/CA6746EN/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostaifew/#c1auv'QC>, 2019. Acesso em: 19 out. 2022.

FAOSTAT. **Production. Crops**. 2020. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site>. Acesso em: 10 jul. 2021.

FIGUEIREDO, C.C.D.; COSER, T.R.; MOREIRA, T.N.; LEÃO, T.P.; VALE, A.T.D.; PAZ-FERREIRO, J. Carbon mineralization in a soil amended with sewage sludge-derived biochar. **Applied Sciences**, v. 9, n. 21, 2019.

FONSECA, J.H.S.; ALMEIDA NETA, M.N.; PEGORARO, R.F.; ALMEIDA, G.F.; COSTA, C.A. Chickpea production in response to fertilization with zinc and doses of phosphorus. **Comunicata Scientiae**, v.11, p.3106-3106, 2020.

FRANÇA, P.H.T.; SILVA, E.C.A.; SILVA, T.C.; BRASIL, N.A; NOGUEIRA, R.J.M.C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess) submetidas ao déficit hídrico, **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v.13, n.4, p.264-269, 2017.

FREDDI, L.A. Riscos associados à aplicação do lodo de esgoto na agricultura. **Revista científica ANAP**

Brasil, v.12, n.24, p.1-11, 2019.

GARG, N.; BHARTI, A. Salicylic acid improves arbuscular mycorrhizal symbiosis, and chickpea growth and yield by modulating carbohydrate metabolism under salt stress. **Mycorrhiza**, v.28, n.8, p.727-746, 2018.

GAUR, P.M.; SAMINENI, S.; THUDI, M.; TRIPATHI, S.; SAJJA, S.B.; JAY- ALAKSHRNI, V.; MANNUR, D.M.; VIJAYALUMAR, A.G.; GANGA, RAO, N.V.P.R.; OJIEWO, C.; FIKRE, A.; KIMURTO, P.; KILEO, R.O.; GIRMA, N.; CHATURVEFII, S.K.; VARSHNEY, R.K.; DIXIT, G.P. Lutegrated breeding approaches for improving drought and heat adaptation in chickpea (*Cicer arietinum* L.), **Plant Breeding**, v.138, p.389-400, 2019.

GEOCICLO. **Empresa – Inovação**, 2018. Disponível em: <http://www.geociclo.com.br/index.php/empresa/inovacao/#>. Acesso em: 10 jul. 2021.

GIROTO, A.S.; GUIMARÃES, G.G.F.; FOSCHINI, M.; RIBEIRO, C. Role of slow-release nanocomposite fertilizers on nitrogen and phosphate availability in soil. **Scientific Reports**, v.7, 2016.

GŁODNIOK, M.; DESKA, M.; KASZYCKI, P. Impact of the Stabilized Sewage Sludge-Based Granulated Fertilizer on *Sinapis alba* Growth and Biomass Chemical Characteristics. **Biology Life Science and Forum**, v. 3, n.1, p.35, 2021.

HARTER, J.; KRAUSE, H.M.; SCHUETTLER, S.; RUSER, R.; FROMME, M.; SCHOLTEN, T.; KAPPLER, A.; BEHRENS, S. Linking N₂O emissions from biochar amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community. **Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology**, v. 8, p. 660-674, 2014.

HAYNES, R.J.; ZHOU, Y.F. Comparison of the chemical, physical and microbial properties of composts produced by conventional composting or vermicomposting using the same feedstocks. **Environmental Science & Pollution Research**, v.23, p.10736-10772, 2016.

HE, L.L.; ZHONG, Z.K.; YANG, H.M. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. **Journal of Integrative Agriculture**, v.16, p.704-712, 2017.

HECHMI, S.; HAMDY, H.; MOKNI, S.; ZOGHLAMI, I.; KHELIL, M.; BENZARTI, S.; HASSEN, A.; JEDIDI, N. Carbon mineralization, biological indicators, and phytotoxicity to assess the impact of urban sewage sludge on two lighttextured soils in a microcosm. **Journal of Environmental Quality**, v. 49, p. 460-471, 2020.

HOSKEM, B.C.S.; COSTA, C.A.C.; NASCIMENTO, W.M.; SANTOS, L.D.T.; MENDES, R.B.; MENEZES, J.B.C. Productivity and quality of chickpea seeds in Northern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2017.

IMTIAZ, M.; MALHOTRA, R.S.; SINGH, M.; ARSLAN, S. Identifying high yielding, stable chickpea genotypes for spring sowing: specific adaptation, to location and sowing seasons in the mediterranean region. **Crop Science**, v. 53, p. 1472-1480, 2015.

IQBAL, A.; ATEEQ, N.; KHALIL, I.A.; PERVEEN, S.; SALEEMULLAH, S. Physicochemical characteristics and amino acid profile of chickpea cultivars grown in Pakistan, **Journal of Foodservice**, v. 17, p. 94-101, 2006.

IQBAL, M.A.; RAZA, R.Z.; ZAFAR, M.; ALI, O.M.; AHMED, R.; RAHIM, J.; IJAZ, R.; AHMAD, Z.; BETHUNE, B.J. Integrated Fertilizers Synergistically Bolster Temperate Soybean Growth, Yield, and Oil Content. **Sustainability**, v.14, p.24-33, 2022.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**. 2012. Disponível em: for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf . Acesso em: 10 jul. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados meteorológicos de estações automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 4 jul. 2022.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS – ICRISAT. **Chickpea**, 2022. Disponível em: <https://www.icrisat.org/10-new-chickpea-varieties-released-in-2020-in-collaboration-with-nars/>. Acesso em: 16 out. 2022.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F.G.A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A.C.A. Quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, p.175-187, 2011.

JIANG, C.; JOHKAN, M.; HOHJO, M.; TSUKAGOSHI, S.; MARUO, T. A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. **Horticulture Research**, n.71, p.37-42, 2017.

JIN, J.; LI, Y.; ZHANG, J.; WU, S.; CAO, Y.; LIANG, P.; ZHANG, J.; WONG, M.H.; WANG, M.; SHAN, S.; CHRISTIE, P. Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy metals in biochars derived from municipal sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 320, p. 417-426, 2016.

JOYCE, J.V. **Sewage-sludge-derived fertilizer and method of making**. Publication Number. WO 2008/067524 A2, 2008.

KACPRZAK, M.; NECZAJA, E.; FIJAŁKOWSKIA, K.; GROBELAKA, A.; GROSSERA, A.; WORWAG, M.; RORAT, A.; BRATTEBO, H.; ALMÁS, A.; SINGH, B.R. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. **Environmental Research**, n.156, p. 39-46, 2017.

KALAJI, H.M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I.A.; CETNER, M.D.; ŁUKASIK, I.; GOLTSEV, V.; LADLE, R.J. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.38, n.102, p.[1-11], 2016.

KALEMBASA, S.: **The method of sewage sludge utilization**. Polish Language (PL) 178719, 1997.

KHAN, N.; BANO, A.; RAHMAN, M. A.; RATHINASABAPATHI, B.; BABAR, M. A. UPLC-HRMS-based untargeted metabolic profiling reveals changes in chickpea (*Cicer arietinum*) metabolome following long-term drought stress. **Plant Cell and Environment**, v. 42, p. 115-132, 2019.

KHANMOHAMMADI, Z.; AFYUNI, M.; MOSADDEGHI, M.R. Effect of sewage sludge and its biochar on chemical properties of two calcareous soils and maize shoot yield. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v.63, p.198-212, 2017.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes Organominerais**. Piracicaba: Editora Degaspari, 2008,148p.

KIEHL, E.J. **New organic fertilizers**. 1st ed. (In Portuguese.) Editora Degaspari:Piracicaba, 2010.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. **Waste and biomass valorization**, v.8, n.5, p.1781-1791, 2017.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z.; WOJTAS, K. Sustainable management of sewage sludge for the production of organo-mineral fertilizers, **Waste and biomass valorization**, v.9, n.10, p.1817-1826, 2019.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. Formulation and evaluation of organo-mineral fertilizers based on sewage sludge optimized for maize and sunflower crops, **Waste Management**, v.136, p.57-66, 2021.

KOTSCHI, J.A. Soiled Reputation: Adverse Impacts of minerals fertilizers in tropical agriculture. **WWF Germany. Heinrich Boll Stiftung**, p.1-60, 2013.

KUBICA, K.; KUBICA, S.; ROBAK, J.; ŚCIAŻKO, M.; TOPA, F.; TRAMER, A.: **The method of organo-mineral fertilizers production**. Polish Language (PL) 194103, 2002.

KUMAR, S.; LOGANATHAN, V.A.; PTA, R.B.; BARNETT; M.O. An Assessment of U(VI) removal from groundwater using biochar produced from hydrothermal carbonization. **Journal of Environmental**

Management, v.92, p.2504-2512, 2011.

LAFORET, M.R. **A transferência de tecnologia de processos de produção de fertilizantes organominerais: pesquisa-ação sobre uma parceria público-privada**. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento) – Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Rio de Janeiro, 2013, 194 p.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v.158, p.436-442, 2010.

LATIFAH, O.; AHMED, O.H.; MAJID, N.M.A. Soil pH buffering capacity and nitrogen availability following compost application in a tropical acid soil. **Compost Science & Utilization**, v. 26, n. 1, p. 1-15, 2018.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, p. 381–387, 2007.

LEHMANN, J.; RILLIG, M.C.; THIES, J.; MASIELLO, C.A.; HOCKADAY, W.C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p.1812–1836, 2011.

LI, R.; WANG, J.J.; GASTON, L.A.; ZHOU, B., LI, M.; XIAO, R.; WANG, Q.; ZHANG, Z.; HUANG, H.; LIANG, W.; HUANG, H.; ZHANG, X. An overview of carbothermal synthesis of metal - biochar composites for the removal of oxyanion contaminants from aqueous solution. **Carbon**, v.129, p. 674-687, 2018.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes, **Methods in Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.

LIMA, J.R.S.; SILVA, W.M.; DUDA, G.P.; CORRÊA, M.M.; MARTINS FILHO, A.P.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, v. 319, p. 14-23, 2018.

LIU, P.; LIU, W.J.; JIANG, H.; CHEN, J.J.; LI, W.W.; YU, H.Q. Modification of biochar derived from fast pyrolysis of biomass and its application in removal of tetracycline from aqueous solution. **Bioresource technology**, v.121, p. 235-240, 2012.

LYNCH, D.H. Nutrient cycling and soil health in organic cropping systems - importance of management strategies and soil resilience. **Sustainability Agriculture Resource**, 2015

LOGAN, T.J.; HARRISON, B.J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-vitro soil) and their effects on soil properties. **Journal of Environmental Quality**, v.24, p.153-164, 1995.

LOPAREVA-POHU, A.; VERDIN, A.; GARÇON, G.; SAHRAOUI, A.L.H.; POURRUT, B.; DEBIANE, D.; WATERLOT, C.; LARUELLE, F.; BIDAR, G.; DOUAY, F.; SHIRALI, P. Influence of fly ash aided phytostabilisation of Pb, Cd and Zn highly contaminated soils on *Lolium perenne* and *Trifolium repens* metal transfer and physiological stress. **Environmental Pollution**, v.159, n.6, p.1721-1729, 2011.

LU, Q.; ZHENLI, L.; HE, P.; STOFFELLA, J. **Land Application of Biosolids in the USA: A Review**, v.2012, p. 1-10, 2012.

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**, v. 107, p. 50-59, 2017.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. F. O. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1690-1702, 2015.

MAO, J.D.; JOHNSON, R.L.; LEHMANN, J.; OLK, D.C., NEVES, E.G.; THOMPSON, M.L.; SCHIMIDT-RHOR, K. Abundant and Stable Char Residues in Soils: Implications for Soil Fertility and Carbon Sequestration. **Environmental Science Technology**, v. 46, p. 9571-9576, 2012.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Secretaria de defesa agropecuária**. Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, 17p.

MARIA, I.C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, n.2, p. 291-298, 2007.

MAZEIKA, R.; STAUGAITIS, G.; BALTRUSAITIS, J.: Engineered pelletized organo-mineral fertilizers (OMF) from poultry manure, diammonium phosphate and potassium chloride. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v.4, p. 2279-2285, 2016.

MELO, W.; DELARICA, D.; GUEDES, A.; LAVEZZO, L.; DONHA, R.; DE ARAÚJO, A.; MELO, G.; MACEDO, F. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality. **Science of The Total Environment**, v.643, p.1493-1501, 2018.

MÉNDEZ, A.; CÁRDENAS-AGUIAR, E.; PAZ-FERREIRO, J.; PLAZA, C.; GASCÓ, G. The effect of sewage sludge biochar on peat based growing media. **Biology Agriculture & Horticulture**, v.33, p.40-51, 2017.

MERGA, B.; HAJI, J. Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. **Cogent Food & Agriculture**, v. 5, n. 1, 2019.

MESQUITA; G.R.A.; RANDOW, J.R.V.; OLIVEIRA, R.L.; GONÇALVES, M.V.V.A. Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura. **Exatas & Engenharia**, v.7, n.17, 2017.

MININNI, G.; MAURO, E.; PICCIOLI, B.; COLARULLO, G.; BRANDOLINI, F.; GIACOMELLI, P. Production and characteristics of sewage sludge in Italy. **Water Science and Technology**, v.79, n.4, p.619-626, 2019.

MOHAN, D.; RAJPUTA, S.; SINGHA, V.K.; STEELEB, P.H.; PITTMAN, C.U. Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost biochar, a green adsorbent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 111, p. 319-333, 2011.

MORETTI, S.M.L., BERTONCINI, E.I., ABREU-JUNIOR, C.H. Composting sewage sludge green waste from tree pruning. **Scientia Agricola**, v.72, p.432-439, 2015.

MOTA, M.F.C.; PEGORARO, R.F.; MAIA, V. M., SAMPAIO, R.A., KONDO, M.K.; SANTOS, S.R. Can sewage sludge increase soil fertility and replace inorganic fertilizers for pineapple production? **Research Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1-14, 2021.

MOURA NETO, A.; MOURA, B.S.; SILVA, L, L, S.; PORTELA, W.N.; LIMA, E.A.; GONÇALVES JUNIOR, A.S.; RODRIGUES, L.S.; ROCHA, J.G.J.H. Teores de clorofila da rúcula em função de diferentes ambientes e doses de esterco caprino, **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n.1, p. 6502-6512, 2021.

MU'AZU, N.D.; ESSA, M.H.; AGA, O.; JARRAH, N. Life cycle assessment approach to sustainable sewage sludge management for water pollution control, **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1349, p. 1-8, 2019.

MUBARAK, N.M.; ALICIA, R.F.; ABDULLAH, E.C.; SAHU, J.N.; HASLIJA, A.B.A.; TAN, J. Statistical optimization and kinetic studies on removal of Zn²⁺ using functionalized carbono nanotubes and magnetic biochar, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.1, n.3, p. 486-495, 2013,

MURCHIE E.H., LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications, **Journal of Experimental Botany**, v. 64, p. 3983-3998, 2014,

MURRAY, R.; TIEN, Y.C.; SCOTT, A.; TOPP, E. The impact of municipal sewage sludge stabilization processes on the abundance, field persistence, and transmission of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes to vegetables at harvest. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1680-1687, 2019.

NASCIMENTO, A.L. **Caracterização microbiológica, química e presença de poluentes orgânicos**

em amostras de lodo de esgoto de São Paulo. 2016. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2016.

NASCIMENTO, A.L., SOUZA, A.J., OLIVEIRA, F.C., COSCIONE, A.R., VIANA, D.G., REGITANO, J.B. Chemical attributes of sewage sludges: relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 58, p. 120-746, 2020.

NASCIMENTO, W. M.; CARDOSO, A.I.I.; SUINAGA, F.A.; BOITEUX, L.S.; LANA, M.M.; PEIXOTO, N.; ARTIAGA, O.P.; SILVA, P.P.; FREITAS, R.A.; LIMA, R.C.; VIEIRA, R.F. Grão-de-bico. **Hortalças Leguminosas**, Brasília, p. 89-118, 2016.

NICHOLSON, J.P.; BURNHAM, J.C. **Method of treating waste water sludge.** United State Patent. U.S. Patent – European Patent (EP), 1992.

NICOLODELLI, G.; SENESI, G.S.; PERAZZOLI, I.L.O.; MARANGONI, B.S.; BENITES, V.M.; MILORI, D.M.B.P. Double pulse laser induced breakdown spectroscopy: A potential tool for the analysis of contaminants and macro/micronutrients in organic mineral fertilizers. **Science of The Total Environment**, v. 565, p. 1116-1123, 2016.

NIKAEEN, M.; NAFEZ, A.H.; BINA, B.; NABAVI, B.F., HASSANZADEH, A. 2015. Respiration and enzymatic activities as indicators of stabilization of sewage sludge composting. **Waste Management**, v. 39, p. 104-110, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.028>. Acesso em: 4 mar. 2022.

NOGUEIRA, B.B.; IGLESIAS, L.; MESQUITA, J.V.; NAKATANI, M.C.; PUTTI, F.F. Índice SPAD em plantas de tomateiro cultivado em fibra de coco e submetido a pulsos de fertirrigação, **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.2, n.1, p.1-6, 2018.

OCIEPA, E.; MROWIEC, M.; LACH, J. Influence of fertilization with sewage sludge-derived preparation on selected soil properties and prairie cordgrass yield. **Environmental Research**, v. 156, p.775-780, 2017.

OLIVEIRA, G.R. **Validação do processo de digestão e de peletização de cama de aviário para a produção de fertilizante organomineral.** 2014. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, J.P.B.; LOPES, J.C.; ALEXANDRE, R.S.; JASPER, A.P.S.; SANTOS, L.N.S.; OLIVEIRA, D.M.S.; PAUSTIAN, K.; DAVIES, C.A.; CHERUBIN, M.R., FRANCO, A.L.C., CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon changes in areas undergoing expansion of sugarcane into pastures in south–central Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.228, p.38-48, 2016.

OLIVEIRA, D.P. **Fontes de matéria orgânica para a formulação de fertilizantes organominerais peletizados no desenvolvimento da cultura do sorgo.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.

ORLANDO JÚNIOR, A.; SEIDEL, E.P.; RAMPIM, L.; NETO, A.J.A.; COPPO, J.C. Componentes de producción y'del cultivo de soja con fertilización mineral, orgánica y organomineral. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.9, n.2, 2016.

PANDIT, N.R.; MULDER, J.; HALE, S.E.; ZIMMERMAN, A.R.; PANDIT, B.H.; CORNELISSEN, G. Multi-year Double Cropping Biochar Field Trials in Nepal: Finding the Optimal Biochar Dose through Agronomic Trials and Cost Benefit Analysis. **Science of the Total Environment**, v.637, p.1333-1341, 2018.

PARTEY, S.T.; SAITO, K.; PREZIOSI, R.F.; ROBSON, G.D. Biochar use in a legume–rice rotation system: effects on soil fertility and crop performance, **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.62, n. 2, p.199-215, 2015.

PAZ-FERREIRO, J.; GASCÓ, G.; GUTIÉRREZ, B.; MÉNDEZ, A. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. **Biology Fertility Soils**, v. 48, p. 511-517, 2012.

PEGORARO, R.F.; ALMEIDA NETA, M.N.; COSTA, C.A.; SAMPAIO, R.A.; FERNANDES, L.A.; RODRIGUES, M.N. Chickpea production and soil chemical attributes after phosphorus and molybdenum fertilization. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 5, p. 474-483, 2018.

PEGORARO, R.F.; SOUZA, A.R.; SAMPAIO, R.A.; FRAZÃO, L.A.; RODRIGUES, M.N.; MAIA, V.M. Carbon and Nitrogen Balance in an Oxisol Influenced by Sewage Sludge and Mineral Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 19, p. 2441-2451, 2020.

PIRES, A.M.M.; ANDRADE, C.A.; SOUZA, N.A.P.; CARMO, J.B.; COSCIONE, A.R.; CARVALHO, C.S. Disponibilidade e Mineralização do Nitrogênio Após Aplicações Sucessivas de Lodo de Esgoto no Solo, Estimadas por Meio de Incubação Anaeróbica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 4, p. 333-342, 2015.

PÔRTO, M.L.; PUIATTI, M.; FONTES, P.C.R.; CECON, P. R.; ALVES, J.C.; ARRUDA, J.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p. 311-315, 2011.

PRADO, M.R.V.S.; WEBER, O.L.; MORAES, M.F.; SANTOS, C.L.R.; TUNES, M.S. Fertilizante organomineral líquido contendo substâncias húmicas em soja cultivada sob estresse hídrico], **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.5, p.408-414, 2016.

RAGONEZI, C.; NUNES, N.; OLIVEIRA, M.C.O.; FREITAS, J.G.R.; GANANÇA, J.F.T.; CARVALHO, M.A.A.P. Sewage Sludge Fertilization—A Case Study of Sweet Potato Yield and Heavy Metal Accumulation. **Agronomy**, v.12, n.1902, p.1-18, 2022.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Campinas: IAC; IPNI, 2011. 288p.

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

RANGABHASHIYAM, S.; BALASUBRAMANIAN, P. Characteristics, performances, equilibrium and kinetic modeling aspects of heavy metal removal using algae. **Bioresource Technology Reports**, [s. l.], v. 5, p. 261-279, 2019.

RESENDE JÚNIOR, J.C. **Biossólido na nutrição de *Urochloa brizantha* cv. Marandu**. Dissertação- (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

RESENDE JÚNIOR, J.C.; CAMARGO, R.; LANA, R.M.Q.; ALVES FILHO, A.; MATOS, A.L.A. The effects of sewage sludge, mineral and organic fertilizers on initial growth of *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Hochst. ex A. Rich.) R. D Webster. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n. 36, p. 3460-3470, 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM: **A language and environment for statistical computing**.R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2014. Acesso em: 15 mai. 2022.

REYES, V. [**Fenologia do Grão-de-Bico**]. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2021. Foto.

SÁ, J.M.; JANTALIA, C.P.; TEIXEIRA, P.C.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V.M.; ARAÚJO, A.P. Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 786-793, 2017.

SAMPAIO, T.F.; GUERRINI, I.A.; BACKES, C. HELIODORO, J.C.A.; RONCHI, H.S.; TANGANELLI, K.M.; OLIVEIRA, F.C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1637-1645, 2019.

SANTOS, C.H.; GRASSI FILHO, H.; SANTOS, J.C.; PENTEADO, B.B. Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras 'Ponkan' manejados com resíduos sólidos e adubação química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 75-83, 2011.

SAKURADA LIMA, R.; BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; MUNIZ, A.S.; PAGLIARI, P.H. Organomineral

phosphate fertilizers: Agronomic efficiency and residual effect on initial corn development. **Agronomy Journal**, v.108, p. 2050-2059, 2016.

SELEIMAN, M.; SANTANEN, A.; MANNINEN-EGILMEZ, P.; STODDARD, F.; MÄKELÄ, P. Sewage sludge as nutrient source for bioenergy crops. **Maataloustieteen Päivät**, n. 26, p. 1-5, 2010.

SHADDEL, S.; BAKHTIARY-DAVIJANY, H.; KABBE, C.; DADGAR, F.; ØSTERHUS, S.W. Sustainable Sewage Sludge Management: From Current Practices to Emerging Nutrient Recovery Technologies. **Sustainability**, v. 2, n. 12, p. 1-13, 2019.

SHAREEF, T.M.E.; ZHAO, B. Review Paper: The Fundamentals of Biochar as a Soil Amendment Tool and Management in Agriculture Scope: An Overview for Farmers and Gardeners. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment**, v.6, p.38-61, 2017.

SHARMA, B.; SINGH, R.P. Physiological, biochemical, growth, and yield responses of radish (*Raphanus sativus* L.) plants grown on different sewage sludge–fly ash mixture (SLASH) ratios. *In: Waste valorization and recycling*, Singapore, v. 2, p. 539-552, 2019.

SHENBAGAVALLI, S.; MAHIMAIRAJA, S. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. **International Journal of Advanced Biological Research**, v. 2, p. 249-255, 2012.

SILVA, I.C.B.; BASILO, J.J.N.; FERNANDES, L.A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R.A.; FRAZÃO, L.A. Biochip from different residues on soil properties and common bean production. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 5, p. 378-382, 2017.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Use of sewage sludge as fertilizer supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: physiological, biochemical and growth responses. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 3, p. 91-106, 2009.

SINGH, S.; SINGH, I.; KAPOOR, K.; GAUR, P.M.; CHATURVEDI, S.K.; SINGH, N.P.; SANDHU, J. S. Chickpea. *In: SINGH, M.; BISHT, I.S.; DUTTA, M. (ed.). Broadening the genetic base of grain legumes*. New Delhi: Springer, 2014. p. 51-74.

SITA, K.; SEHGAL, A.; KUMAR, J.; KUMAR, S.; SINGH, S.; SIDDIQUE, K.H.M. Identification of high-temperature tolerant lentil (*Lens culinaris* medik.) genotypes through leaf and pollen traits, **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.744, 2017.

SOHAILI, J.; ZAIDI, N.S.; LOON, S.C. Nutrients content of sewage sludge and its utilization towards horticulture plants. **JETEAS**, v.3, n.1, p.81-85, 2012.

SONG, X.D.; XUE, X.Y.; CHEN, D.Z.; HE, P.J.; DAI, X.H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. **Chemosphere**, v.109, p.231-320, 2014.

SOUSA, A.A.T.C.; FIGUEIREDO, C.C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. **Biological Agriculture & Horticulture**, v.32, n. 2, p. 127-138, 2015.

SOUSA, A.A.T.C.; FIGUEIREDO, C.C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. **Biological Agriculture & Horticulture**, v.32, n. 2, p. 127-138, 2016.

SOUSA, R.T.X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. Uberlândia – MG / Brasil. 2014. 87 f. (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia; 2014.

SPOKAS, K.A.; CANTRELL, K.B.; NOVAK, J.M.; ARCHER, D.W.; I, J. A.; COLLINS, H.P.; BOATENG, A.A.; LIMA, I.M.; LAMB, M.C.; MCALOON, A.J.; LENTZ, R.D.; NICHOLS, K.A. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. **Journal of Environmental Quality**, nesp., p. 973-989, 2012.

SWAMY, S.G.; RAJA, D.S.; WESLEY, B.J. Susceptibility of stored chickpeas to bruchid infestation as influenced by physico-chemical traits of the grains. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, p. 101-583, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MÖLLER, I.M.; MURPHY, A. Estresse abiótico, em: **Fisiologia e desenvolvimento Vegetal**, 6 ed, Porto Alegre: Artmed, 2017.

TARAFDER, C.; DAIZY, M.; ALAM, M.M.; ALI, M.R.; ISLAM, M.J.; ISLAM, R.; AHOMMED, M.S.; ALY SAAD ALY, M.; KHAN, M.Z.H. Formulation of a hybrid nanofertilizer for slow and sustainable release of micronutrientes. **ACS Omega**, v.5, n.37, p.23960-23966, 2020.

TIAN, K.; LIU, W.J.; QIAN, T.T.; JIANG, H.; YU, H.Q. Investigation on the evolution of N-containing organic compounds during pyrolysis of sewage sludge. **Environmental Science & Technology**, v. 48, p. 10888-10896, 2014.

TOFT, S.R.; WILLIAMS, L.L.; MILLER, C.O.; BLANCHET, M.K. **Fertilizer production**. US Patent 8,968,440 B1 (2015).

TONG, D.; XU, R. Effects of urea and (NH₄)₂SO₄ on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China. **Journal of Environmental Sciences**, v.24, n.4, p.682-689, 2012.

TRANCOSO, A.C.R.; DIAS, D.C.F.S.; PICOLI, E.A.T.; SILVA JÚNIOR, R.A.; SILVA, L.J.; NASCIMENTO, W.M. Anatomical, histochemical and physiological changes during maturation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 52, n. 4, 2021.

TRANI, P.E.; TRANI, A.L. **Fertilizantes: cálculo de fórmulas comerciais**. Campinas: IAC, 2011, 37p. (Boletim Técnico IAC, 208).

TRIPATHI, M.; SAHU, J.N.; GANESAN, P.; MONASH, P.; DEY, T.K. Effect of microwave frequency on dielectric properties of oil palm shell (OPS) and OPS char synthesized by microwave pyrolysis of OPS, **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.112, p. 306-312, 2015.

TYTŁA, M.; WIDZIEWICZ, K.; ZIELEWICZ, E. Heavy metals and its chemical speciation in sewage sludge at different stages of processing, **Environmental Technology**, v.37, n.7, p.899–908, 2016.

UFMG, Instituto de Ciências Agrárias, **Laboratório de Análise Química dos Solos**, Montes Claros: ICA, 2021.

UFMG, Instituto de Ciências Agrárias, **Laboratório de Química Instrumental**, Montes Claros: ICA, 2022.

USDA. **USDA Plants Database**, 2021. Disponível em: <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=CIAR5>. Acesso em: 25 fev. 2022.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2011. Growing gardens in urban soils. EPA/542/F-10/011. Disponível em: <http://www.clu-in.org/ecotools/urbangardens.cfm>. Acesso em: 24 nov. 2022.

USMAN, K.; KHAN, S.; GHULAM, S.; KHAN, M.U.; KHAN, N.; KHAN, M.A.; KHALIL, S.K. Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, p. 1708–1721, 2012.

USMAN, M.; FAROOQ, M.; WAKEEL, A.; NAWAZ, A.; CHEEMA, S.A.; REHMAN, H.U.; ASHRAF, I.; SANAUULLAH, M. Nanotechnology in agriculture: current status, challenges and future opportunities. **Science of The Total Environment**, v. 721, p.137-778, 2020.

VAN DER MAESEN, L.J.G. Origin, history and taxonomy of chickpea. *In*: **The chickpea**, p.11-34, 1987.

VIDIGAL, S.M.; LOPES, I.P.C.; PUIATTI, M.; RIBEIRO, M.R.F.; SEDIYAMA, M.A.N. SPAD index in the diagnosis of nitrogen status in cauliflower as a function of nitrogen fertilization. **Científica**, Jaboticabal, v.46, n.3, p.307-314, 2018.

VIVEROS, A.; BRENES, A.; ELICE, R.; ARIJA, I.; CANALES, R. Nutritional value of raw and autoclaved kabuli and desi chickpeas (*Cicer arietinum*, L) for growing chickens, **British Poultry Science**. v. 42, p.

242-251, 2001.

VYAS, S.P. Impact and strategies for yield improvement of arid legumes under drought, **International Journal of Life Science and Engineering**, v.1, p.12-19, 2014.

WANG, J.; GAN, Y.T.; CLARKE, F.; MCDONALD, C.L. Response of chickpea yield to high temperature stress during reproductive development, **Crop Science**. v. 46, p. 2171-2178, 2006.

WEBER, K.; QUICKER, P. Properties of biochar. **Fuel**, v. 217, p. 240-261, 2018.

WENNECK, G.S.; SAATH, R.; REZENDE, R.; SILVA, L.H.M. SPAD index and leaf pigments in cauliflower in different water conditions and silicon fertilization. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 29, p. 204-210, 2021b.

WONG, J.W.C.; FUNG, S.O.; SELVAM, A. Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 3324-3331, 2009.

WU, F.; JIA, Z.; WANG, S.; CHANG, S.X.; STARTSEV, A. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 555-565, 2013.

XIN, X.; JUDY, J.D.; SUMERLIN, B.B.; HE, Z. Nano-enabled agriculture: from nanoparticles to smart nanodelivery systems. **Environmental Chemistry**, v.17, n. 6, p. 413-425, 2020.

XU, G.; SUN, J.; SHAO, H.; CHANG, S.X. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. **Ecological Engineering**, v. 62, p. 54-60, 2014.

XU, G.; ZHANG, Y.; SUN, J.; SHAO, H. Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. **Science of The Total Environment**, v. 568, p. 910-915, 2016.

YANG, X.B.; YING, G.G.; PENG, P.A.; WANG, LI.; ZHAO, J.L.; ZHANG, L.J.; YUAN, P.; HE, H.P. Influence of biochars on plant uptake and dissipation of two pesticides in an agricultural soil. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, v.58, p.7915-7921, 2010.

YUAN, H.; LU, T.; HUANG, H.; ZHAO, D.; KOBAYASHI, N.; CHEN, Y. Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 112, p. 284-289, 2015.

YUAN, P.; WANG, J.; PAN, Y.; XEN, B.; WU, J. Review of biochar for the management of contaminated soil: preparation, application and prospect. **Science of The Total Environment**, v. 659, p.473-490, 2019.

YUE, Y.; CUI, L.; LIN, Q.; LI, G.; ZHAO, X. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. **Chemosphere**, v.173, p. 551-556, 2017.

ZHANG, A.; BIAN, R.; PAN, G.; CUI, L.; HUSSAIN, Q., LI, L.; ZHENG, J.; HAN, X. Effects of Biochar Amendment on Soil Quality, Crop Yield and Greenhouse Gas Emission in a Chinese rice Paddy: A Field Study of 2 Consecutive rice Growing Cycles. **Field Crops Research**, v.127, p.153-160, 2012.

ZHANG, Q.; HU, J.; LEE, D.J.; CHANG, Y.; LEE, Y.J. Sludge treatment: Current research trends. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 1159-1172, 2017.

ZIELINSK, A.; OLESZCZUK, P.; CHARMAS, B.; SKUBISZEWSL-ZIEBA, J.; PASIECZNA-PATROWSKA, S. Effect of sewage sludge properties on the biochar characteristic. **Journal of Analytical and Applied Pyrolyses**, v. 112, p. 201-213, 2015.

ZONTA, E.; PRATES, F.S.P.; FREITAS, F.C; GENUNCIO, D.C.; PRESOTTO, R.A.; STAFFANATO, J.B. Uso de tortas de oleaginosas na agricultura. *In*: Moura Brasil, N.A.S.; Chagas, C.I.; Zonta, E. (org.) **Impactos Ambientais Provenientes da Produção Agrícola: Experiências Argentinas e Brasileiras**. 1. ed. Rio de Janeiro: FAPERJ, v. 1. p. 561-588, 2016.