

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS

LEIDYANNE GODINHO SILVA

**Torta de filtro e lodo de esgoto na composição de fertilizantes  
organominerais para a cultura da soja**

**Uberlândia  
2017**

Leidyanne Godinho Silva

**Torta de filtro e lodo de esgoto na composição de fertilizantes  
organominerais para a cultura da soja**

Dissertação apresentada ao Instituto de Química, para o Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Biocombustíveis da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Biocombustíveis.

Área de concentração: Ambiente e Sustentabilidade

Orientador: Dr. Reginaldo de Camargo

Coorientadora: Dra. Regina Maria Quintão Lana

**Uberlândia**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S586t  
2017

Silva, Leidyane Godinho, 1991-  
Torta de filtro e lodo de esgoto na composição de fertilizantes organominerais para a cultura da soja / Leidyane Godinho Silva. - 2017. 73 f. : il.

Orientador: Reginaldo de Camargo.  
Coorientadora: Regina Maria Quintão Lana.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.59>  
Inclui bibliografia.

1. Biocombustíveis - Teses. 2. Soja - Adubos e fertilizantes - Teses. 3. Lodo de esgoto - Teses. I. Camargo, Reginaldo de. II. Lana, Regina Maria Quintão. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis. IV. Título.

---

CDU: 662.756



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



INSTITUTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS

Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis, do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO, NÚMERO 013/PPBIC.

DATA: 27/10/2017

DISCENTE: Leidyanne Godinho da Silva

MATRÍCULA: 11522PGB002

TÍTULO DO TRABALHO: "Torta de filtro e lodo de esgoto na composição de fertilizantes organominerais para a cultura de soja".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Biocombustíveis

LINHA DE PESQUISA: Ambiente e Sustentabilidade

PROJETO DE PESQUISA DE VINCULAÇÃO:

Às nove horas e trinta minutos do dia vinte e sete de outubro de dois mil e desessete, no(a) Auditório Prof. Dr. Manuel Gonzalo Hernández-Terrones, piso superior do Bloco 51 no Campus Santa Mônica, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores Vanessa Júnia Machado, da(o) Universidade de Patos de Minas, Milla Alves Baffi, da(o) Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia, e Reginaldo de Camargo, professor(a) orientador(a) e presidente da mesa. Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou o(a) candidato(a) e a Banca Examinadora, agradeceu a presença do público e discorreu sobre as normas e critérios para a realização desta sessão, baseadas no Regulamento do Programa PPBIC. Em seguida, o(a) presidente da mesa concedeu a palavra ao(a) candidato(a) para a exposição do seu trabalho e, em sequência, aos examinadores, em ordem sucessiva, para arguir o(a) apresentador(a). A duração da apresentação e o tempo de arguição e resposta deram-se conforme as normas do Programa. Ultimada a arguição, desenvolvida dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais e A provou o(a) candidato(a). Por sugestão da Banca Examinadora, o título do trabalho será

TORTA DE FILTRO E LODO DE ESGOTO NA COMPOSIÇÃO DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS PARA A CULTURA DA SOJA.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento do estabelecido nas normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU. As correções observadas pelos examinadores deverão ser realizadas no prazo máximo de 30 dias. Nada mais havendo a tratar, deu-se por encerrada a sessão às 12:00 horas e 00 minutos e lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pela Banca Examinadora.

Prof(a). Dr(a). Vanessa Júnia Machado

Prof(a). Dr(a). Milla Alves Baffi

Prof(a). Dr(a). Reginaldo de Camargo

## **Dedicatória**

Aos meus queridos pais Neusa e Wilson, à minha irmã Lillian, ao meu afilhado João Vitor e meu esposo Wemerson, pela dedicação e incentivos durante toda minha trajetória acadêmica.

## **Agradecimentos**

Agradeço:

A Deus, por estar presente em todo o momento da minha vida, mostrando que mesmo nas dificuldades encontrei coragem para continuar, transformando dificuldades em aprendizados;

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade e infra-estrutura disponibilizada para realização da pós graduação;

Ao Prof. Dr. Reginaldo Camargo pela atenção e orientação em todas as fases da pesquisa. A sua confiança e seus ensinamentos foram essenciais para minha formação;

A co-orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr. Maria Regina Quintão Lana pelo apoio e prontidão em me receber com valiosas sugestões.

Ao co-orientador e amigo Prof. Dr. Evandro Binotto Fagan pela compreensão, paciência e ensinamentos proporcionados durante todos esses anos de orientação.

A Prof<sup>a</sup>. Dr. Vanessa Júnia Machado pela prontidão em me receber na implantação do experimento, além de importantes ensinamentos na vida acadêmica.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Daniel Pasquini e Prof<sup>a</sup> Milla Alves Baffi pelas sugestões para conclusão do trabalho e ensinamento durante as disciplinas ministradas.

Aos meus pais Neusa Godinho e Wilson Amorim, minha irmã Lillian Godinho e ao meu querido afilhado João Vitor por todo amor, incentivo e carinho a mim dedicados.

A meu marido Wemerson Gonçalves, pelo amor, apoio, motivação e inúmeras ajudas na condução do experimento. Sua presença foi de grande importância para conclusão dessa trajetória.

Aos estagiários e amigos do Laboratório NUFEP (Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas) de Patos de Minas, Isabella Sabrina, Jérssica Soares, Louranny Tavares, Marina Rodrigues Reis, Ellen Cabral, Layane Machado, Leandra Santos, Nathália, Camila Gurgel, Rafael Gonçalves, Victor Barros, Gustavo Cearence, Aurélio Carneiro, José Gabriel Aniceto, Felipe Vieira, Gustavo e Saulo Andrade que me acompanharam e auxiliaram durante as avaliações dos experimentos;

Ao Prof. Dr. Luís Henrique Soares pela amizade e auxílio em diversos momentos durante a revisão do trabalho.

A Prof<sup>a</sup>. Dr. Walquíria Fernanda Teixeira pela amizade, companheirismo e ensinamentos ao longo de todos esses anos, além do auxílio na execução das análises estatísticas.

Aos companheiros de pós graduação, pela parceria e amizade durante todo o trajeto.

A amiga Mônica Diene Rodrigues de Oliveira, pelas horas de estudo, auxílio em diversas disciplinas, revisão do trabalho e pelo carinho a mim dedicado.

Aos amigos Weverton Cambraia, Eduardo Amorim, Cecília Costa, Márcia Cristina, Patrícia Gonçalves, Yara Mateus, Vinícius Rocha, agradeço pelos momentos de compreensão, incentivo, amizade, apoio e por entenderem minha ausência em diversos momentos.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, por toda estrutura disponibilizada para condução do experimento.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## **Epígrafe**

*“Quando as coisas ficam ruins, é sinal de que as coisas boas estão por perto...”*  
**Cora Coralina**

*“No mesmo instante em que recebemos pedras em nosso caminho, flores estão sendo  
plantadas mais longe. Quem desiste não as vê”.*  
**William Shakespeare**



## SUMÁRIO

RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	12
LISTA DE FIGURAS .....	14
LISTA DE TABELAS .....	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	16
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA .....	20
2.2 EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS E NUTRICIONAIS DA SOJA .....	21
2.3 UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA .....	22
2.4 UTILIZAÇÃO DE TORTA DE FILTRO NA AGRICULTURA .....	25
2.5 FERTILIZANTE ORGANOMINERAL .....	26
2.6 ESTRESSE OXIDATIVO EM PLANTAS .....	28
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
4.1 LOCALIZAÇÃO .....	33
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	33
4.3 AVALIAÇÕES .....	37
4.3.1 <i>Análises fenométricas</i> .....	37
4.3.2 <i>Determinações bioquímicas</i> .....	37
4.3.2.1 Teor de proteína total solúvel em folhas .....	38
4.3.2.2 Urease .....	38
4.3.2.3 Superóxido dismutase (SOD) .....	39
4.3.2.4 Catalase (CAT) .....	40
4.3.2.5 Peroxidase (POD) .....	40
4.3.2.6 Peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) .....	40
4.3.2.7 Peroxidação lipídica .....	41
4.3.2.8 Prolina .....	41
4.3.3 <i>Análise estatística</i> .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1 VARIÁVEIS FENOMÉTRICAS .....	43
4.1.1 <i>Massa seca de raízes (MSR)</i> .....	43
4.1.2 <i>Massa seca de caules (MSC)</i> .....	45
4.1.3 <i>Massa seca de folhas (MSF)</i> .....	49
4.1.4 <i>Massa seca de vagens (MSV)</i> .....	53

4.2 DETERMINAÇÕES BIOQUÍMICAS .....	56
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## RESUMO

SILVA, Leidyane Godinho. **Torta de filtro e lodo de esgoto na composição de fertilizantes organominerais para a cultura da soja.** 73f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis/Ambiente e Sustentabilidade) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.<sup>1</sup>

A cultura da soja é altamente influenciada por condições ambientais e nutricionais em seu ciclo de cultivo. A utilização de fertilizantes organominerais apresenta-se como uma alternativa viável para alcançar altas produtividades em diferentes regiões do país. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de fertilizantes organominerais formulados a partir de lodo de esgoto higienizado e torta de filtro na cultura da soja, através de avaliações fenométricas e bioquímicas. O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 10 L, em casa de vegetação localizada no Centro Universitário de Patos de Minas, no Município de Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial  $2 \times 4 + 2$ , representado por duas fontes de matéria orgânica para composição de fertilizante organomineral peletizado (lodo de esgoto e torta de filtro) na formulação 3-17-10, com Boro (0,2 %), Zinco (0,3%) e Manganês (0,3%), quatro níveis de adubação 50, 75, 100 e 125% em relação a dose de pentóxido de difósforo ( $P_2O_5$ ) recomendada para a cultura, além de dois tratamentos adicionais, representados pela adubação mineral na dose recomendada e pela testemunha (sem adubação). Foi utilizada a cultivar NA 5909 RG da Nidera<sup>®</sup>, a qual foi inoculada com CoMo Platinum<sup>®</sup> (1,5 mL kg<sup>-1</sup>) + Standak Top<sup>®</sup> (2 mL kg<sup>-1</sup>) antes do plantio. Foram avaliados o acúmulo de massa seca de raiz, caule, folha e vagem aos 30, 60 e 80 dias após semeadura. As análises do metabolismo antioxidante: enzimas catalase, superóxido dismutase e peroxidase, teor de peróxido de hidrogênio, prolina, peroxidação lipídica foram realizadas aos 45 dias após semeadura. A aplicação de fertilizante organomineral formulado com lodo de esgoto 75 proporcionou acréscimo de massa seca de caule em relação à adubação mineral, em todas as datas analisadas. Para massa seca de folha, aos 80 dias após semeadura, todos os tratamentos com adubação organomineral foram superiores ao tratamento sem adubação e com adubação mineral. Em relação à massa seca de vagem, apenas a aplicação de fertilizante organomineral com torta de filtro 75 foi superior à aplicação de fertilizante mineral. O uso de fertilizantes organominerais promoveu incremento da atividade da enzima catalase. A adubação com fertilizante organomineral na formulação de

---

<sup>1</sup> Orientador: Reginaldo de Camargo – UFU; Coorientadora: Regina Maria Quintão Lana – UFU.

125% de torta de filtro proporcionou incremento no teor de peroxidação lipídica em plantas de soja. Com base nos dados obtidos nesse trabalho foi possível verificar que o uso de torta de filtro e lodo de esgoto higienizado na formulação de fertilizantes organominerais substitui de forma satisfatória a utilização de fertilizantes minerais para a cultura da soja.

Palavras-chave: Nutrição Vegetal. Enzimas Antioxidantes. *Glycine max*.

## ABSTRACT

SILVA, Leidyanne Godinho. **Filter cake and sewage sludge in the composition of organomineral fertilizers for the soybean crop.** 73f. Dissertation (Master in Biofuels / Environment and Sustainability) - Institute of Chemistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2017.

Soybean cultivation is significantly affected by environmental and nutritional changes during its growing cycle. The use of organic mineral fertilizers is a viable alternative to achieve high yields in different regions of the country. The aim of this study was to assess the efficiency of organic mineral fertilizers formulated from sanitized sewage sludge and filter cake in soybean cultivation, using phenometric and biochemical assessments. The experiment was conducted in 10L plastic pots, in a greenhouse located at the Patos de Minas University Center, in the municipality of Patos de Minas, Minas Gerais state, Brazil. A randomized block design was used with a 2 x 4 factorial scheme, represented by two sources of organic matter to form the organic mineral fertilizer (sewage sludge and filter cake), for doses of 50, 75, 100 and 125% in relation to the 120 kg ha<sup>-1</sup> dose of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recommended for the field. The NA 5909 RG cultivar (Nidera®) was used and inoculated with CoMo Platinum® (1.5 mL kg<sup>-1</sup>) + Standak Top® (2 mL kg<sup>-1</sup>) before planting. Accumulated root, stem, leaf and pod dry mass were measured at 30, 60 and 80 days after planting. Analyses of the antioxidant metabolism of catalase enzymes, superoxide and peroxidase dismutase, hydrogen peroxide content, proline, and lipid peroxidation were conducted at 45 days after planting, in addition to production at the end of the cycle. The results obtained were submitted to the test of normality and homogeneity of variances. Tukey's test, at 5% significance, was used to compare doses and the Dunnett test to compare all treatments with the treatment without fertilizer and mineral fertilizer. Applying 75% sewage sludge organic mineral fertilizer caused an increase in stem dry matter compared to mineral fertilizer, on all the dates analyzed. For leaf dry mass at 80 days after planting, all the treatments with organic mineral fertilizer were superior to those without fertilizer and with mineral fertilizer. With respect to pod dry mass, only 75% filter cake organic mineral fertilizer was superior to mineral fertilizer. The use of organomineral fertilizers promoted increased activity of the enzyme catalase. The fertilization with organomineral fertilizer in the formulation of 125% of filter cake provided an increase in the content of lipid peroxidation in soybean plants. Based on the data obtained in the present study, it was possible to verify that the use of filter cake and sanitary sewage sludge in the

formulation of organomineral fertilizers satisfactorily replaces the use of mineral fertilizers for the soybean crop.

Key words: Vegetable Nutrition. Antioxidant Enzymes. *Glycine max*.

## Lista de Figuras

Figura 1: Mecanismos indutores da síntese, percepção e controle de espécies reativas de oxigênio (EROs) em células vegetais. ....	29
Figura 2: Resposta celular a diferentes níveis de estresse. Em que: nível I corresponde ao início do estresse; nível II estresse mediano de estresse e nível III, estresse severo. ....	30
Figura 3: Localização celular de enzimas antioxidantes e espécies reativas de oxigênio (EROs). As vias GPX e PRX são indicadas em linhas tracejadas e pontilhadas no citosol e estroma. Asc ascorbato; AOX, oxidase alternativa; APX: ascorbato peroxidase; CuZnSOD, cobre-zinco superóxido dismutase; DHA, dehidroascrobate; Dhar, DHA reductase; Fd, ferredoxina; FeSOD; superóxido dismutase ferro; FNR, ferredoxina reductase NADPH; GLR, glutarredoxina ; GPX, glutathione peroxidase; GR, glutathione reductase; GSH, glutathione reduzida; GSSG, a glutathione oxidada; MDA reductase; PSI, fotossistema I; PSII, fotossistema II; tAPX: tilacóides APX; Trx, thioredoxin. ....	31
Figura 4: Vista geral da casa de vegetação utilizada no experimento, Patos de Minas - MG, 2017. ....	34
Figura 5: Delineamento experimental realizado em blocos casualizados, dispostos dentro da casa de vegetação, Patos de Minas - MG, 2017. ....	35
Figura 6 - Acúmulo de massa seca de caule de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 30 DAS. ....	47
Figura 7 – Média do acúmulo de massa seca de caule de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 60 DAS. ....	48
Figura 8 - Acúmulo de massa seca de caule de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto aos 80 DAS. ....	48
Figura 9 - Acúmulo de massa seca de folha de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de torta de filtro aos 30 DAS. ....	52
Figura 10 - Acúmulo de massa seca de folha de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 80 DAS. ....	53
Figura 11- Acúmulo de massa seca de vagem de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro. ....	56

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores médios de parâmetros químicos de interesse agrônomo calculado a partir dos resultados de análises químicas de lodos de esgoto.....	24
Tabela 2 - Valores médios de parâmetros químicos de interesse agrônomo calculado a partir dos resultados de análises químicas de torta de filtro.....	26
Tabela 3 - Caracterização química da amostra do solo coletado na Escola Agrotécnica Afonso de Queiroz, Patos de Minas – MG, 2017.....	33
Tabela 4 - Fontes e doses de fertilizantes utilizados no experimento, Patos de Minas, 2017..	36
Tabela 5 - Características químicas do biofertilizante composto por lodo de esgoto e torta de filtro utilizados no experimento “Aplicação de fertilizante organomineral proveniente de Lodo de Esgoto e Torta filtro para produção de soja”, Patos de Minas – MG, 2017.....	36
Tabela 6 – Peso de massa seca de raiz (MSR) em plantas de soja aos 30 DAS, utilizando os tratamentos com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017.....	43
Tabela 7 Massa seca de caule (MSC) em plantas de soja aos 30, 60 e 80 DAS, utilizando os tratamentos com fertilizante organomineral com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017. ....	46
Tabela 8 - Massa seca de folha (MSF) em plantas de soja aos 30, 60 e 80 dias após a semeadura, utilizando tratamentos com fertilizantes organominerais com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017. ....	49
Tabela 9 – Valores médios de massa seca de folha (MSF) de plantas de soja aos 30, 60 e 80 DAS, em função de doses e fontes de matéria orgânica na composição de fertilizantes organominerais. ....	50
Tabela 10 – Acúmulo de massa seca de vagem de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 80 DAS. ....	54
Tabela 11 – Quantificação do teor de proteína total solúvel ( $\text{mg g}^{-1}$ [MF]), atividade das enzimas urease ( $\mu\text{mol} [\text{NH}_4] \text{g}^{-1}$ [MF] $\text{h}^{-1}$ ), superóxido dismutase ( $\text{U } \mu\text{g}^{-1}$ [proteína]), catalase ( $\mu\text{mol min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ [proteína]), peroxidase ( $\mu\text{mol min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ [proteína]), além do teor de peróxido de hidrogênio ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ [MF]), peroxidação lipídica ( $\text{nmol} [\text{TBARS}] \text{g}^{-1}$ [MF]) e teor de prolina ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ [MF]), em plantas de soja após aplicação dos tratamentos com fertilizantes organominerais com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017.	60



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAVA	Análise de variância
CAT	Catalase
CFSEMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Centimol por decímetro cúbico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca catiônica
CV	Coefficiente de variação
$\text{dag kg}^{-1}$	Decagrama por quilo
DAS	Dias após semeadura
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
DMS	Diferença mínima significativa
EROs	Espécies Reativas a Oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
GL	Grau de liberdade
$\text{H}_2\text{O}_2$	Peróxido de hidrogênio
LE	Lodo de esgoto
m%	Saturação por alumínio
M.O.	Matéria orgânica
MDA	Molondialdeído
MF	Massa foliar
$\text{mg dm}^{-3}$	Miligramma por decímetro cúbico
$\text{mg L}^{-1}$	Miligramma por litro
MSC	Matéria seca de caule
MSF	Matéria seca de folha
MSR	Matéria seca de raiz
MSV	Matéria seca de vagem
NBT	Nitroblue tetrazolium
$\text{O}_2^-$	Radical superóxido
PL	Peroxidação lipídica

POD	Peroxidase
P-REM	Fósforo remanescente
PTS	Proteína total solúvel
Sb	Soma das bases
SOD	Superóxido dismutase
TBA	Ácido tiobarbitúrico
TBARS	Substâncias Reativas ao Ácido tiobarbitúrico
TCA	Ácido tricloroacético
TF	Torta de filtro
U	Urease
V%	Saturação por base

## 1 Introdução

A produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) no Brasil vem crescendo ao longo dos anos, sendo que atualmente o país é o segundo maior produtor do grão no mundo, seguindo atrás apenas dos Estados Unidos (CONAB, 2017).

A alta produção dessa leguminosa é atribuída aos diversos usos deste produto, sendo que o complexo da soja agrega alto valor econômico desde a utilização do grão *in natura*, ou dos seus subprodutos, como exemplo o óleo vegetal, o farelo de soja até a utilização do grão como matéria prima para produção de biodiesel (MISSÃO, 2006).

O crescimento e desenvolvimento da cultura da soja sofrem grande influência das condições ambientais e nutricionais no período de cultivo. Buscando alcançar altos patamares de produtividade, a utilização de fontes de fertilizantes organominerais para suprir as necessidades nutricionais da planta apresenta-se como uma alternativa viável em função das vantagens deste tipo de fertilizante em relação ao fertilizante mineral (MAGELA et al., 2016; MIRANDA et al., 2016; RESENDE JUNIOR, et al., 2016).

O lodo de esgoto apresenta características químicas, físicas e biológicas favoráveis como alternativa de matéria prima para formulação de fertilizantes organominerais, visto que estudos comprovam que a utilização do lodo de esgoto na agricultura propicia o aumento da disponibilização de macro e micronutrientes, melhoria da capacidade de troca catiônica e a disponibilização de microorganismos benéficos que agem no controle de patógenos (METZ, 2013). Além disso, a adição de adubo orgânico como o lodo de esgoto no solo é fundamentada no aumento do conteúdo de substâncias húmicas, que influenciarão diretamente em atributos físicos do solo, como melhoria da estabilidade de agregados, da densidade do solo e aumento da porosidade (PAGLIAI et al., 1981; MARINARI et al., 2000).

Outro composto que pode ser utilizado na composição de fertilizantes organominerais é a torta de filtro, resíduo oriundo da indústria sulcroalcooleira. Esta matéria prima apresenta funções consideráveis para o solo, pois aumenta a capacidade de retenção de água formando agregados capazes de reduzir a erosão e aumentar a capacidade de absorção do solo, além de aumentar a capacidade de troca catiônica e favorecer a atividade microbiológica, ocasionando a diversificação da microbiota (FAÇANHA et al., 2002). Todas essas funções reagindo no solo formam como produto final o húmus, que proporciona excelente ambiente radicular, assegurando efeitos positivos aos atributos do solo, os quais

exercem efeito direto sobre a fisiologia e crescimento das plantas (ULUKAM, 2008; RIMA et al., 2011).

É importante ressaltar, que há a necessidade de verificar as doses adequadas para aplicação dos fertilizantes organominerais em plantas, uma vez que, em excesso, a aplicação pode induzir o aumento do estresse oxidativo em plantas (APEL; HIRT, 2004). A quantificação das atividades de enzimas antioxidantes como a catalase, peroxidase e superóxido dismutase, além da peroxidação lipídica e teor de peróxido de hidrogênio pode auxiliar na busca pela melhor dose de aplicação dos fertilizantes organominerais, evitando que haja danos às células das plantas, consequentemente maior produtividade (FAGAN et al. 2016).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de fertilizantes organominerais formulados a partir de lodo de esgoto higienizado e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais para a cultura da soja, através de avaliações fenométricas e bioquímicas.

## **2 Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Importância econômica da cultura da soja**

Atualmente o Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial de soja. Dados do United States Department of Agriculture (USDA, 2017) mostram que na safra 2015/16 foram colhidas nos Estados Unidos 117,2 milhões de toneladas do grão, enquanto que no Brasil foram colhidas 95,4 milhões de toneladas. Para a safra 2016/17, a expectativa da Companhia Nacional de Abastecimento é que sejam colhidas no Brasil 113,9 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

O aumento da demanda pelo grão de soja, que consequentemente estimula o aumento da produção, se dá principalmente devido à variedade de produtos derivados dessa cultura, sendo os principais a produção de óleos de cozinha, farelo de soja, carne de soja, produtos farmacêuticos e produção de biocombustíveis (SILVA, 2006).

Observando dados fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, verifica-se a facilidade de disseminação dos grãos de soja devido ao aumento do preço de exportação do produto. Um fator altamente influenciável na cotação mundial do grão está relacionado à produtividade das safras do Brasil, Estados Unidos e Argentina, além da expansão ou retratação da criação dos rebanhos bovinos, suínos e aves nos Estados Unidos, Japão e União Europeia (EMBRAPA 2016).

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, (ABIOVE 2015), o complexo soja subentendido entre o grão, óleo e o farelo constitui uma das mais importantes “commodities” nacionais, sendo responsável pela exportação no ano de 2016 de um valor de 25,32 bilhões de dólares contabilizados até o mês de agosto do mesmo ano.

Lopes et al. (2010), estudaram dados relacionados à produção de biodiesel através do grão da soja e demonstraram que esta oleaginosa apresenta baixos teores de óleos, sendo retirado do grão apenas 18 a 20%. Outras oleaginosas apresentam melhor eficiência, como é o caso do dendê que fornece 22% de óleo, o girassol com 44% e a mamona com 48% de óleo. Contudo, quando é realizado o comparativo entre a produção destas culturas, a soja se destaca devido ao grão possuir as mais diversas finalidades além do sistema produtivo ser mais desenvolvido tecnologicamente (EMBRAPA, 2006).

Outro motivo que fortalece o mercado produtor de soja diz respeito à produção do grão pertencer a um grupo pequeno de países exportadores. A soja é um componente fundamental para a produção de rações, sendo crescente a lista de países com interesse comercial em importar este produto (CÂMARA, 2015).

A produção da soja quando comparado a outras fontes de matéria prima, demonstra superioridade em relação às técnicas de plantio. Pesquisas na área de melhoramento de produção são bem difundidas, auxiliando nos expansivos números produzidos anualmente por essa oleaginosa. Com um ciclo relativamente rápido, a soja apresenta retorno financeiro entre 4 a 5 meses após plantio (MELLO, 2015).

## **2.2 Exigências ambientais e nutricionais da soja**

A soja apresenta alta plasticidade, demonstrando capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais e de manejo, por meio de modificações na morfologia da planta e nos componentes do rendimento. Essas modificações podem estar relacionadas a fatores como altitude, latitude, textura do solo, fertilidade do solo, época de semeadura, população de plantas e espaçamentos entrelinhas, sendo imprescindível a compreensão das interações entre todos estes, para associar as melhores práticas que apresentariam respostas favoráveis à produtividade (KOMATSU et al., 2010).

Durante todo o ciclo, a soja necessita de 450 a 800 mm de chuva para atender a sua demanda hídrica (EMBRAPA, 2006). O período mais crítico em relação à necessidade de água integra primeiramente as fases de germinação/emergência e, posteriormente, florescimento/enchimento de grãos. Carvalho et al. (2013) afirmam que a disponibilidade hídrica para a cultura da soja, afeta diretamente seu rendimento final. A ocorrência de estresse desempenha diferentes respostas produtivas, em relação à época de semeadura e intensidade do déficit hídrico, pode também interferir nos processos de síntese proteica, redução no vigor e altura de plantas, redução na fertilidade do pólen e problemas no sincronismo do florescimento (BERGAMASCHI et al., 2004).

A soja é cultivada em ambientes bastante diversos, que englobam latitudes altas e baixas. Entre 20 a 30°C, a cultura da soja apresenta a melhor adaptação para alcançar boas produtividades. Entretanto, em temperaturas inferiores a 10°C apresenta crescimento vegetativo aquém do esperado. Temperaturas acima de 40 °C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção de

vagens. Para iniciar a floração, necessita de temperaturas superiores a 13 °C. Quando há a floração precoce da cultura, as altas temperaturas podem ser a causa principal, podendo influenciar na altura das plantas (EMBRAPA, 2003).

Além de fatores ambientais, a cultura da soja também requer a disponibilidade e equilíbrio de todos os elementos essenciais. A insuficiência ou o desequilíbrio entre os nutrientes pode resultar em uma absorção deficiente de alguns e excessiva de outros (SFREDO, 2008).

A recomendação de adubação na cultura da soja gira em torno da fertilidade atual do solo, também pelo grau de disponibilidade do solo liberar os nutrientes e da expectativa de produtividade da cultura. A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais (RODRIGUES et al., 2007).

De acordo com Oliveira (2007) a etapa de maior exigência nutricional inicia-se por volta dos 30 dias e se mantém elevada até o início do enchimento dos grãos, quando a fixação de nitrogênio (N) e a atividade fotossintética são elevadas e produzem um desenvolvimento mais acelerado. A cultura da soja realiza a extração de 83 g kg<sup>-1</sup> de nitrogênio, 15,4 g kg<sup>-1</sup> de fósforo e 38 g kg<sup>-1</sup> de potássio (EMBRAPA, 2013).

Após esse período, intensa redistribuição de nutrientes, acumulados nas partes vegetativas, ocorre à medida que o enchimento de grãos evolui, diminuindo a demanda por nutrientes do solo. Posteriormente, as atividades fisiológicas apresentam redução, encerrando, com a maturação da planta, a absorção e o processo fotossintético (CARMELLO; OLIVEIRA et al., 2006).

Grande parte dos nutrientes extraídos pela soja extração de macronutrientes pela cultura da soja nitrogênio (N) 83 g kg<sup>-1</sup>, K > P = S > Ca > Mg, sendo importante para quantificar a adubação e a reposição de nutrientes ao solo, considerando a eficiência de cada fertilizante, para a manutenção da fertilidade e garantia do potencial produtivo da cultura.

### **2.3 Utilização de lodo de esgoto na agricultura**

O aumento da população mundial traz preocupações no que diz respeito ao destino final do esgoto sanitário, devido aos problemas que o descarte inadequado do mesmo pode ocasionar ao meio ambiente e à saúde humana. A principal preocupação se deve ao fato

da possibilidade de contaminação do solo e dos corpos hídricos, os quais são o destino principal do esgoto sanitário (ARAÚJO et al. 2015).

O tratamento de esgoto sanitário começou a ser desenvolvido no Brasil por volta da década de 30. Atualmente, 42,67% de todo esgoto do país já é tratado (SNIS, 2015). No entanto, sabe-se que existe um percentual significativamente grande de municípios que lançam o esgoto produzido pela população em corpos hídricos sem nenhuma forma de tratamento (DANTAS et al., 2012).

A Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2005), afirma que as águas contaminadas com esgoto sanitário para serem lançadas em corpos receptores de água doce, devem simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento de efluente e não ultrapassar as condições e padrões da qualidade da água, estabelecidas para as respectivas classes, nas condições de vazão de referência da legislação já citada.

Porém, o tratamento do esgoto não descarta todos os problemas. Após o esgoto passar pelos processos químicos, físicos e biológicos para despoluição, ao final do processo persiste um tipo de resíduo chamado de lodo de esgoto (LE).

São várias as alternativas para destinação final destes resíduos, dentre elas as principais são a disposição em aterro sanitário, descarga oceânica, incineração, disposição no solo de maneira irregular, recuperação de áreas degradadas e reciclagem agrícola (DEBIASI, 2011).

De acordo com Lourenço (1999), a utilização de lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário (ETE) e efluentes industriais como fertilizante tem se mostrado uma solução adequada em termos técnico, econômico e ambiental. No entanto, se faz necessário tomar certos cuidados quanto à qualidade do resíduo, bem como quanto à espécie vegetal utilizada e o manejo realizado na cultura em questão.

Outra vantagem de se utilizar o lodo de esgoto (LE) em propriedades rurais refere-se à ciclagem de nutrientes, pois o resíduo é transformado em insumo agrícola, o qual fornece matéria orgânica e nutrientes ao solo. Esta prática proporciona menor dependência dos fertilizantes minerais, além de melhorar as condições para o balanço do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) pelo incremento da matéria orgânica no solo. A fração orgânica do lodo confere melhor estruturação aos agregados do solo, tornando-o mais resistente à erosão (SOUZA, 2009).

O uso do LE na agricultura vem sendo objeto de estudo de vários pesquisadores (BARBOSA et al., 2007; PRADO; CUNHA, 2011; BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015).



Oliveira (1995) afirma que a aplicação do LE no solo pode promover aumento no teor de matéria orgânica, melhorando o nível de fertilidade e aumento do pH (altamente dependente do tipo de desinfecção utilizado). Além disso, a presença da matéria orgânica melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade, aumenta a aeração (BERNARDES, 1982), a capacidade de retenção de água (BARRETO, 1995), aumenta a saturação de bases e capacidade de troca de cátions (CTC) e ocasiona o aumento gradual na disponibilidade de nutrientes como cálcio, magnésio e enxofre (MELO et al., 1994).

A composição físico-química do LE apresenta variações de acordo com o processo utilizado na estação de tratamento, origem, época do ano e tipologia: industrial ou residencial (MELO; MARQUES 2000). No geral, os esgotos domésticos apresentam 99,9% de água e 0,1% apresenta-se em estado sólido. Dessa parte sólida, 70% representam os sólidos orgânicos constituídos por proteínas, carboidratos, gorduras, entre outros, e os 30% restante são os sólidos inorgânicos como areia, sais e metais pesados (FERNANDES et al., 2000).

A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros químicos presentes no LE, que possuem grande interesse agrônômico.

**Tabela 1** - Valores médios de parâmetros químicos de interesse agrônômico calculado a partir dos resultados de análises químicas de lodos de esgoto.

Parâmetros	Unidade	Média ± Desvio Padrão
pH	g kg <sup>-1</sup>	9,1 ± 2,3
C-Orgânico	g kg <sup>-1</sup>	189 ± 70
N-Total	g kg <sup>-1</sup>	21,5 ± 7
C/N	g kg <sup>-1</sup>	9 ± 3
P-Total	g kg <sup>-1</sup>	10,8 ± 6,1
K-Total	g kg <sup>-1</sup>	1,4 ± 0,5
Ca-Total	g kg <sup>-1</sup>	102,8 ± 75,5
Mg-Total	g kg <sup>-1</sup>	4,0 ± 2,3
S-Total	g kg <sup>-1</sup>	10,1 ± 4,4

Fonte: Adaptado de Barreto (1995), Bertoncini (1997), Oliveira (2000) e Romeiro (2007).

A utilização do lodo de esgoto na agricultura é embasada na Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 29/08/2006, a qual limita as quantidades máximas de substâncias inorgânicas e orgânicas presentes no lodo de esgoto (CONAMA, 2007).

Boeira (2004), afirma que a utilização do LE na agricultura, deve considerar alguns aspectos, como a quantidade de metais pesados, presença de compostos orgânicos

tóxicos e/ou persistentes e de patógenos. Tais fatores podem superar largamente as possíveis vantagens como fertilizante, colocando em risco a qualidade do solo.

Além da preocupação com a presença de micro-organismos patogênicos e metais pesados, também deve atentar-se ao risco de poluição ambiental por nitrato. Segundo Boeira (2004), o nitrogênio (N) encontra-se no lodo de esgoto principalmente em formas proteicas. Uma vez aplicado ao solo, os micro-organismos transformam esse nitrogênio orgânico contido no lodo em minerais, entre eles o nitrato. O grande problema gira em torno da quantidade de nitrato transformado ser maior do que a capacidade de absorção pelas raízes das plantas, além de ser pouco retido nas partículas do solo. Assim, movimentam-se com facilidade em direção aos corpos d'água ocasionando contaminação do recurso hídrico (BOEIRA, 2004).

## **2.4 Utilização de torta de filtro na agricultura**

A torta de filtro é um composto orgânico obtido através da agroindústria canavieira, sendo um subproduto originado dos filtros rotativos após a obtenção da sacarose residual da borra (OLIVEIRA, 2016). Durante o processo de fabricação do açúcar, a cada tonelada de cana processada, são gerados em média 30 kg do resíduo conhecido como torta de filtro (VEIGA et al., 2006).

A torta de filtro (TF) é um composto essencialmente orgânico que apresenta composição química variável. Exemplos mais representativos diz respeito a tipologia de solo, variedade e maturação da cana, processo de clarificação do caldo entre outros (ALMEIDA JUNIOR et al., 2011). Normalmente, a TF contém altos teores de matéria orgânica (Tabela 2), fósforo, nitrogênio e cálcio (NUNES JUNIOR, 2005). O fósforo que predomina na torta é o orgânico, o que juntamente com o nitrogênio por intermédio da mineralização e ataque de microrganismos do solo, tornam a liberação lenta, com alto aproveitamento pelas plantas (NUNES JÚNIOR, 2008).

A Tabela 2 apresenta a composição média da torta de filtro, agregando alguns valores de interesse agronômicos.

**Tabela 2** - Valores médios de parâmetros químicos de interesse agrônômico calculado a partir dos resultados de análises químicas de torta de filtro.

Parâmetros**	Unidade	Média
Nitrogênio (N)	g kg <sup>-1</sup>	1,45
Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g kg <sup>-1</sup>	1,18
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	g kg <sup>-1</sup>	0,7
Óxido de cálcio (CaO)	g kg <sup>-1</sup>	5,25
Óxido de magnésio (MgO)	g kg <sup>-1</sup>	0,52
Enxofre (S)	g kg <sup>-1</sup>	1,44
Cinzas	g kg <sup>-1</sup>	18,37
Matéria Orgânica	g kg <sup>-1</sup>	81,7

\*\* Teor na matéria seca a 80°C

Fonte: Adaptado de Vitti; Oliveira; Quintino (2006).

A torta de filtro pode ser usada no plantio, fazendo-se uma complementação com adubos minerais. Assim, para realizar posteriormente a complementação, se faz necessário a análise de solo, além de determinar a quantidade de torta economicamente aplicável por hectare (FERNANDES, 1990).

Penatti e Boni (1989) afirmam que a aplicação da torta de filtro apresenta como benefício principal o fornecimento de matéria orgânica e nutrientes, o que acarreta o aumento na capacidade de retenção de água, estimulando a atividade biológica, melhorando ainda as condições físico-químicas do solo e proporcionando o desenvolvimento ideal das plantas.

Pereira et al. (2005) também constataram a capacidade da torta de filtro de melhorar a estrutura do solo, elevando a fertilidade e a capacidade produtiva. Além disso, esse resíduo deixa de ser acumulado no pátio da agroindústria, evitando contaminações nas áreas vizinhas (OLIVEIRA, 2016).

## 2.5 Fertilizante Organomineral

O fertilizante organomineral é definido como produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (MOTA, 2015).

No capítulo III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009, SEÇÃO V, Art. 8, §1º, são descritas as especificações, características, composição mínima e garantias dos fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo. Estes

devem apresentar: carbono orgânico: 8%; CTC: 80 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK): 10%; macronutrientes secundários: 5% e umidade máxima de 30%.

Souza e Prezotti (1997) afirmaram que a utilização de composto orgânico tem sido a alternativa de adubação do solo e nutrição de plantas em substituição aos adubos minerais convencionais, pois os adubos orgânicos, quando utilizados isolados ou associados a adubos minerais, apresentam benefícios ao solo enriquecendo-o com nutrientes, aumentando a retenção de umidade, auxiliando na textura e estrutura do mesmo, além de aumentar a capacidade de troca catiônica e, ainda, melhorar as propriedades biológicas, pois estimula a proliferação de microrganismos benéficos, que agem no controle de fitopatógenos (MATOS et al., 1998; FEBRER, 2002; MAGALHÃES et al., 2006).

Além disso, a utilização de adubação organomineral facilita a absorção de N pela planta, isso ocorre devido à lenta liberação do adubo orgânico para a solução do solo, reduzindo drasticamente as perdas deste nutriente por volatilização e lixiviação (SALCEDO, 2004).

A utilização de fertilizantes organominerais também apresenta grande eficiência agrônômica na interação da planta com o mineral, através da redução de adsorção de fósforo (P) no sistema coloidal do solo (CHAABANE, 1994; PARENT et al., 2003). Sanli et al. (2013) concluíram em trabalhos desenvolvidos que os fertilizantes organominerais reduzem a adsorção de fósforo pelo solo, melhorando a disponibilidade do mesmo para o crescimento de plantas.

Fernandes (2001) constatou maior produtividade na cultura do melão quando utilizou aplicação de adubo organomineral. No entanto, a aplicação de fontes organominerais de nutrientes promoveu alongamento do ciclo da cultura quando comparado aos tratamentos que receberam fontes minerais de nutrientes.

Em trabalhos realizados com aplicação de organominerais em tomate, observou-se que doses de fertilizante organomineral promoveram o maior controle de nematóides em plantas, consequentemente ocasionando incremento na produção final (FERREIRA, 2012; ESFAHANI; HELALAT; OLIYA, 2014).

Além das vantagens citadas, destaca-se a metodologia de produção dos fertilizantes organominerais. A produção deste tipo de fertilizante utiliza como matéria prima, compostos orgânicos presentes em passivos ambientais gerados pelas mais diversas atividades, contribuindo ambientalmente com a preservação dos recursos naturais, devido à

reciclagem dos compostos orgânicos, que antes não possuíam valor agregado e na maioria das vezes teriam destinação final de maneira inadequada no meio ambiente. Os exemplos mais claros em relação à matéria prima são resíduos de suinocultura, bovinocultura, turfa, lodo de esgoto, indústria sucroalcooleira, entre outros (ABISOLO, 2010).

No entanto, a aplicação de adubos orgânicos apresenta uma desvantagem em relação às quantidades dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (K). A quantidade disponibilizada é aquém da necessidade nutricional da maioria das culturas. Por isso se faz necessário agregar fertilizante mineral ao orgânico, complementando assim a necessidade nutricional da planta. A adição do fertilizante orgânico propicia efeitos positivos às plantas, devido à liberação lenta dos nutrientes, garantindo nutrição à planta durante todos os estágios de crescimento e desenvolvimento (BISSANI et al., 2004).

Um cuidado para a utilização de fertilizantes organominerais na agricultura, está relacionado à origem dos resíduos utilizados na formulação do fertilizante. Essas matérias primas, antes de sofrerem o processo de desinfecção, podem conter altos teores de microrganismos patogênicos e metais pesados, em caso de utilização inadequada pode ocorrer contaminação do solo (OLIVEIRA; JUCÁ, 2004; FAGUNDES, 2009).

Vale destacar que quando o preparo do fertilizante organomineral é realizado corretamente ocorre a eliminação de patógenos, sendo uma alternativa sanitariamente eficiente (COSTA et al., 2009; ALVES FILHO, 2014). Isto torna a utilização do fertilizante organomineral uma alternativa viável, além de promover o controle da poluição ambiental, minimizar problemas de saúde pública, contribuir para a proteção e preservação dos recursos naturais e geração de empregos diretos e indiretos (BÜTTENBENDER, 2004).

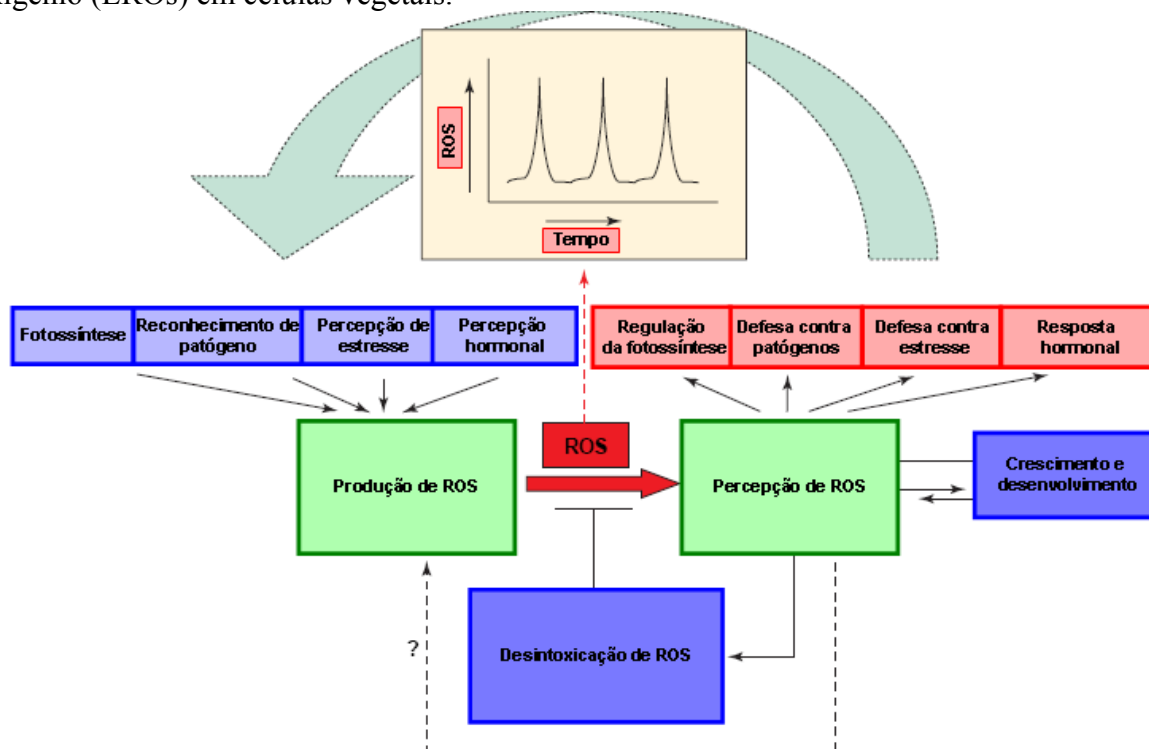
O uso de fertilizantes organominerais na agricultura está em ascensão no mundo, pois, como já exemplificado, proporciona efeitos benéficos para os solos e para o meio ambiente. Como as reservas de fosfatos conhecidas são finitas, qualquer estratégia que prolongue a vida útil destas irá contribuir para a sustentabilidade do planeta (QUEVEDO; PAGANINI, 2011).

## **2.6 Estresse oxidativo em plantas**

As plantas estão constantemente expostas a uma grande variedade de estresses bióticos e abióticos que alteram seu metabolismo e desenvolvimento. Uma das alterações metabólicas importantes que ocasiona estresse para as plantas é o aumento da produção de

Espécies Reativas a Oxigênio (ERO) (CHAGAS, 2007). As ERO's, embora sejam importantes para o correto funcionamento das células, em alta concentração causam danos irreversíveis no metabolismo celular. Todas as formas de vida aeróbica estão constantemente sujeitas ao efeito oxidante das espécies reativas a oxigênio, uma vez que estas espécies são produzidas durante o metabolismo aeróbico (WARNER, 1994).

**Figura 1:** Mecanismos indutores da síntese, percepção e controle de espécies reativas de oxigênio (EROs) em células vegetais.



Fonte: Mittler et al. (2004).

Quanto ao potencial de reatividade das ERO no meio biológico, o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) é o mais reativo e em teoria, pode oxidar qualquer molécula biológica. Assim, é provável que o radical reaja nas proximidades dos sítios onde foi gerado (HALLIWELL; GUTERIDGE, 1990). O oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ) pode reagir com lipídios de membranas, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, carboidratos e tióis (RYTER; TYRREL, 1998).

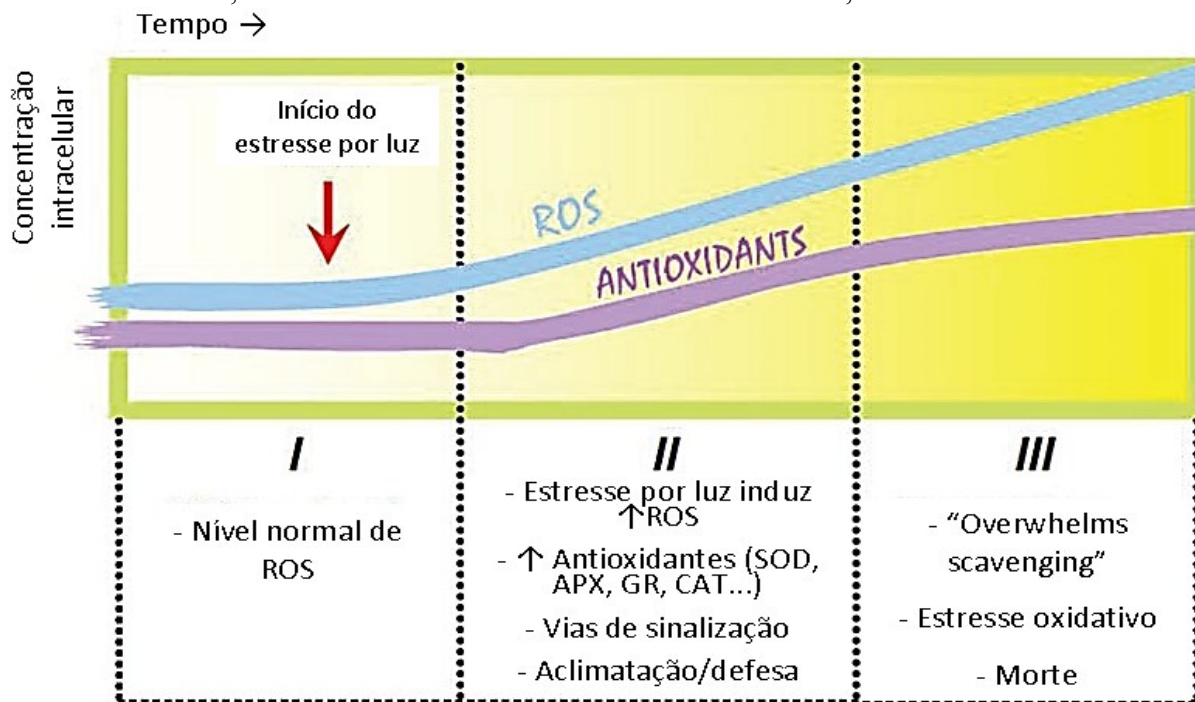
Outra ERO produzida pelas plantas é o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). A síntese  $\text{H}_2\text{O}_2$  é induzida por vários tipos de estresse e por isso, possui papel central nos mecanismos de sobrevivência de plantas. Em resposta a muitos estresses, a formação de  $\text{H}_2\text{O}_2$  é incrementada. O  $\text{H}_2\text{O}_2$  é mais estável que o radical  $\text{OH}^\cdot$  e pode permear membranas, sendo que esta propriedade possibilita a ocorrência de reações com alvos biológicos em

compartimentos distantes do seu local de formação, ocasionando danos em lipídeos de membrana, ácidos nucleicos e outras biomoléculas (HANCOCK; DESIKAN; NEIL, 2001).

A produção de ERO está ligada a alguns estresses ocasionados, tendo como exemplo o excesso de luminosidade, estresses hídrico, térmico, salino e pela contaminação de metais pesados (cádmio, chumbo e alumínio). No entanto, as plantas desenvolveram um mecanismo eficiente para diminuir a concentração de ERO nas células, às quais pela atuação das enzimas antioxidantes ou mecanismos não enzimáticos, ocasionam a redução destes danos, evitando assim a morte celular (FAGAN et al., 2016).

A produção de ERO's funciona da seguinte forma: no início do estresse as concentrações intracelulares de ERO's e enzimas antioxidantes são mantidas em níveis baixos. Com o passar do tempo, a produção de ERO's aumenta como reflexo da inativação de rotas de oxirredução que ocorre nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos. Concomitante a este processo, inicia-se o aumento da atividade de enzimas antioxidantes como resposta inicial de defesa. Porém, quando esse estresse é muito prolongado ou extenso, ocorre uma “explosão oxidativa” (aumento da ERO's) que não é acompanhada na mesma proporção pelo incremento da atividade de enzimas antioxidantes, culminando assim na morte celular (CARVALHO, 2008).

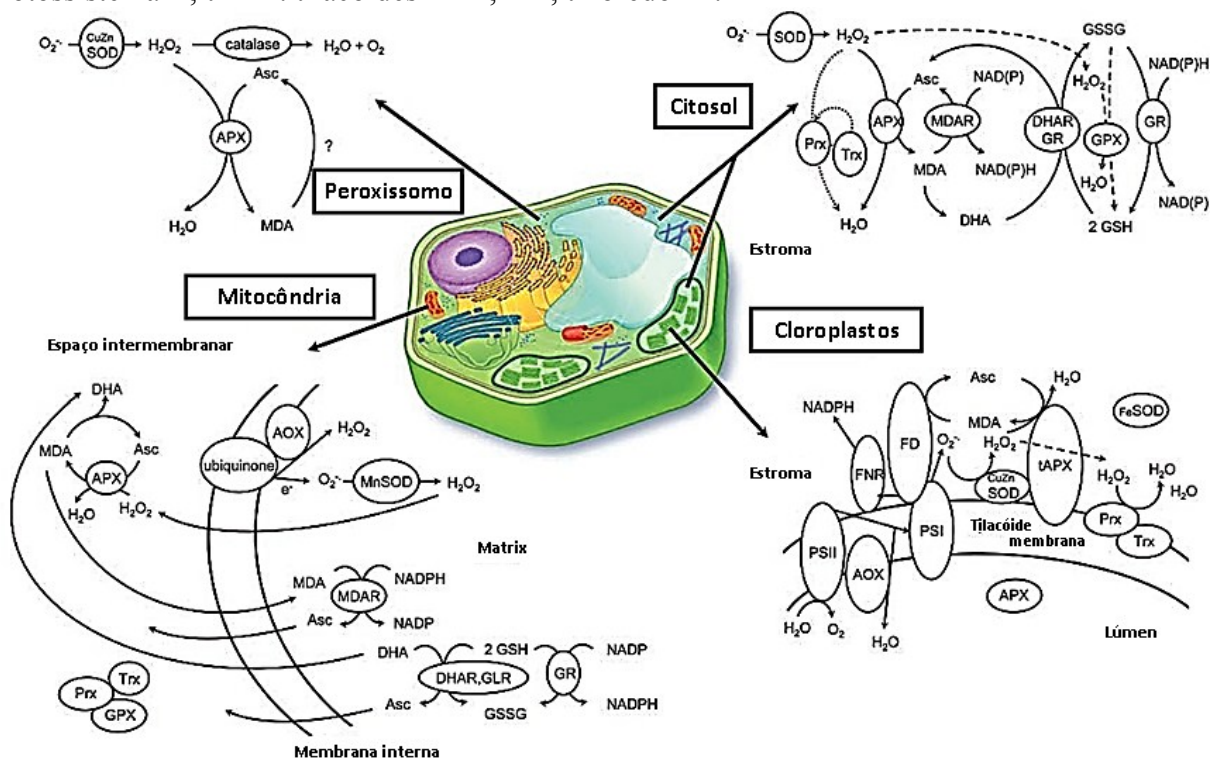
**Figura 2:** Resposta celular a diferentes níveis de estresse. Em que: nível I corresponde ao início do estresse; nível II estresse mediano de estresse e nível III, estresse severo.



Fonte: Carvalho (2008).

Importante enzima antioxidante, a superóxido dismutase (SOD) constitui a primeira linha de defesa contra o radical livre  $O_2^-$  que é produzido em praticamente todas as cadeias de transporte de elétrons. A atividade dessa enzima induz a produção de dois constituintes da reação de Haber-Weiss que proporciona a formação do radical hidroxila (BEAUCHAMP, FRIDOVICH 1971).

**Figura 3:** Localização celular de enzimas antioxidantes e espécies reativas de oxigênio (EROs). As vias GPX e PRX são indicadas em linhas tracejadas e pontilhadas no citosol e estroma. Asc ascorbato; AOX, oxidase alternativa; APX: ascorbato peroxidase; CuZnSOD, cobre-zinco superóxido dismutase; DHA, dehidroascorbato; Dhar, DHA reductase; Fd, ferredoxina; FeSOD; superóxido dismutase ferro; FNR, ferredoxina reductase NADPH; GLR, glutarredoxina; GPX, glutathione peroxidase; GR, glutathione reductase; GSH, glutathione reduzida; GSSG, a glutathione oxidada; MDA reductase; PSI, fotossistema I; PSII, fotossistema II; tAPX: tilacóides APX; Trx, thioredoxin.



Fonte: Adaptado de Mittler et al., (2004).

Amplamente distribuída em plantas superiores e envolvida em vários processos de estresse, a peroxidase (POD) é considerada uma enzima de alto peso molecular capaz de eliminar  $H_2O_2$  produzido durante a dismutação enzimática e não enzimática no citosol e cloroplastos. O aumento da atividade das peroxidases é uma resposta metabólica relacionada a diferentes tipos de estresses (ANDERSON; PRASAD; STEWART, 1995; JIMÉNEZ et al., 1998 e MORAES et al., 2002). Dessa forma, essa enzima tem sido utilizada frequentemente como um parâmetro metabólico durante alterações de crescimento e condições de estresse ambiental (FAGAN, 2016).



A catalase (CAT) é uma enzima que catalisa a dismutação do  $\text{H}_2\text{O}_2$  em água e oxigênio sendo indispensável para a desintoxicação de ERO's em condições de estresse. Essa enzima é encontrada em todos os organismos aeróbicos eucarióticos, sendo um importante removedor de  $\text{H}_2\text{O}_2$  gerado em peroxissomos, através de oxidases envolvidas na  $\beta$ -oxidação de ácidos graxos, ciclo do glioxilato e catabolismo da purina. A catalase tem sido uma das primeiras enzimas isoladas em seu estado altamente purificado (GARG; MANCHANDA, 2009).

O estresse oxidativo resultante do aumento de ERO's pode ainda ocasionar danos às proteínas e peroxidação lipídica. A elevada taxa de peroxidação lipídica pode induzir efeitos deletérios para as células vegetais. Isso porque quando ocorrem elevadas concentrações de ERO em células, muitas estruturas celulares como os ácidos graxos de membrana são degradadas, induzindo a perda de rigidez, integridade e permeabilidade. Esses danos podem induzir a morte celular ou causar a destruição de moléculas e estruturas celulares (SMIRNOFF, 1993).

Além das enzimas antioxidantes, temos também exemplos de aminoácidos utilizados como protetores de estresse, sendo um dos mais conhecidos para essa finalidade, a prolina. Dentre suas inúmeras funções destacam-se: (i) chaperonas moleculares capazes de proteger a integridade de proteínas. Essa função inclui a prevenção da agregação e estabilização da M4 lactato desidrogenase durante temperaturas extremas (WELTMEIER et al., 2006), proteção da nitrato redutase em situações de estresses por metais pesados e osmótico (SHARMA; DUBEY, 2005), além da estabilização de ribonucleases e proteases em elevadas exposições de arsênio (MISHRA; DUBEY, 2006); (ii) vários estudos tem atribuído à prolina a atividade antioxidante, sugerindo assim um potente agente com atividade "scavenging" (desintoxicante) (SMIRNOFF; CUMBES, 1989; MATYSIK et al., 2002).

Dessa forma, é necessário realizar a quantificação dessas enzimas antioxidantes, sendo estas, ferramenta importante para diagnosticar os níveis de estresse pelo qual a planta está sendo submetida, utilizando estes dados com o intuito de minimizar os efeitos de estresses ambientais que repercutem diretamente na produtividade dos cultivos.

### 3 Material e Métodos

#### 4.1 Localização

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro Universitário de Patos de Minas - MG no município de Patos de Minas, Brasil. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 18°57'28" S (latitude Sul), 46°51'31" W (longitude Oeste) e 815 m de altitude. Patos de Minas, segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm (SOUZA et al., 2005), conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG).

#### 4.2 Caracterização do experimento

A casa de vegetação utilizada apresentava área de 18 m<sup>2</sup>, sendo 6 m de comprimento, 3 m de largura e pé direito de 3 m e cobertura com filme de polietileno de baixa densidade (Figura 4). O experimento foi instalado em vasos plásticos com capacidade de 10 L. Para reduzir o erro experimental, foi realizado o rodízio dos vasos semanalmente. Utilizou-se como substrato, solo coletado na Escola Agrotécnica Afonso Queiroz, Campus II do UNIPAM (Centro Universitário de Patos de Minas), município de Patos de Minas (MG) (18°34' de latitude Sul, 46°31' de longitude Oeste e 815 m de altitude). Antes da implantação do ensaio, realizou-se uma análise química de solo, a qual está apresentada na Tabela 3. O solo foi classificado como latossolo vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013).

**Tabela 3** - Caracterização química da amostra do solo coletado na Escola Agrotécnica Afonso de Queiroz, Patos de Minas – MG, 2017.

pH H <sub>2</sub> O	P-rem	M.O.	COT	P	K	Zn	Ca	Mg	Al	H+Al	Sb	CTC (t)	CTC (T)	m	V
	-mg L <sup>-1</sup> -	----g kg <sup>-1</sup> ----		-----mg dm <sup>-3</sup> -----					-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-----%-----	
5,45	12	39,9	23,1	10,14	189	9,7	2,13	1,15	0,06	3,62	3,76	3,82	7,38	1,57	50,99

\*P-rem: fósforo remanescente; M.O: matéria orgânica; COT: carbono orgânico total; Sb: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; m%: saturação do alumínio; V%: saturação por bases.

**Figura 4:** Vista geral da casa de vegetação utilizada no experimento, Patos de Minas - MG, 2017.



Fonte: A autora.

O ensaio foi conduzido utilizando soja (*Glycine max* L. Merrill), variedade cultivada NA 5909 RG, grupo de maturação 6.7, pertencente a Nidera<sup>®</sup>. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com fungicida + inseticida (Standak Top<sup>®</sup> - Fipronil (250 g L<sup>-1</sup>) + Tiofanato metílico (225 g L<sup>-1</sup>) + Piraclostrobina (25 g L<sup>-1</sup>)) na dose de 2 mL kg<sup>-1</sup> de sementes + molibdênio + cobalto (CoMo Platinum<sup>®</sup> - Molibdênio (235,5 g L<sup>-1</sup>) + Cobalto (23,55 g L<sup>-1</sup>) + Fósforo (43,96 g L<sup>-1</sup>)), na dose de 1,5 mL kg<sup>-1</sup> de sementes. Realizou-se a inoculação das sementes com inóculo de bactérias fixadoras de N da espécie *Azospirillum*, usando o produto Azofix (4 mL kg<sup>-1</sup>). A semeadura foi realizada dia 16 de janeiro de 2017, sendo semeadas 10 sementes por vaso em uma profundidade de 3 cm. O desbaste foi realizado 10 dias após a emergência, restando 7 plantas por vaso.

Os fertilizantes organominerais utilizados no experimento tiveram a formulação N-P-K, 3-17-10, com Boro (B 0,2 %), Zinco (Zn 0,3%) e Manganês (Mn 0,3%), sendo incorporado ao solo em forma de *pellet*. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 + 2, representado por duas fontes de matéria orgânica para a composição do fertilizante organomineral (lodo de esgoto higienizado e torta

de filtro) e quatro níveis de adubação (Figura 5). A dose do fertilizante organomineral foi calculada com base no pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), necessário para o desenvolvimento da planta no solo. Foram estabelecidos os percentuais de (50, 75, 100 e 125%) em relação à dose recomendada para campo de 100% ou 120 kg ha<sup>-1</sup> segundo a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

**Figura 5:** Delineamento experimental realizado em blocos casualizados, dispostos dentro da casa de vegetação, Patos de Minas - MG, 2017.



Fonte: A autora.

A dose do fertilizante mineral foi calculada de acordo com a necessidade nutricional da soja em relação N, P e K, observando a análise de solo bem como a quantidade de solo por vaso. Os tratamentos utilizados estão apresentados na Tabela 4. Para realizar a aplicação dos fertilizantes, utilizou-se uma espátula para abrir um sulco no solo ao lado (5 cm) das sementes, a 6 cm de profundidade com 2 cm de largura.

**Tabela 4** - Fontes e doses de fertilizantes utilizados no experimento, Patos de Minas, 2017.

Tratamento	Fertilizante (%)	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )
Sem adubação	0	0
Fertilizante Organomineral (LE)	50	60
Fertilizante Organomineral (LE)	75	90
Fertilizante Organomineral (LE)	100	120
Fertilizante Organomineral (LE)	125	150
Fertilizante Organomineral (TF)	50	60
Fertilizante Organomineral (TF)	75	90
Fertilizante Organomineral (TF)	100	120
Fertilizante Organomineral (TF)	125	150
Fertilizante (Mineral)	100	120

Fonte: A autora.

O fertilizante organomineral composto por lodo de esgoto higienizado utilizado na pesquisa foi proveniente da estação de tratamento de efluentes do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), localizada no município de Uberlândia, MG. Realizou-se a higienização do resíduo, visando à eliminação dos patógenos e a redução da umidade. O lodo de esgoto foi tratado com 30% de cal hidratada na base seca (ALVES FILHO, 2014). A torta de filtro utilizada na composição do fertilizante foi proveniente da Usina Vale do Tijucu, localizada no Município de Uberaba, MG.

As características químicas do biossólido composto por lodo de esgoto e da torta de filtro foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos (LABAS-UFU) e estão apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5** - Características químicas do biossólido composto por lodo de esgoto e torta de filtro utilizados no experimento “Aplicação de fertilizante organomineral proveniente de Lodo de Esgoto e Torta filtro para produção de soja”, Patos de Minas – MG, 2017.

	pH	M.O.	N total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Relação C/N
	----- % -----					
Lodo de esgoto	7,6	19,80	0,79	2,23	0,24	28/1
Torta de filtro	6,81	23,49	0,61	0,95	0,30	13,72/1

\*K<sub>2</sub>O: óxido de potássio

Durante a condução do experimento, os vasos foram irrigados diariamente de acordo com a necessidade hídrica (400 mL por vaso), até o final da fase de enchimento de vagens.

### **4.3 Avaliações**

#### **4.3.1 Análises fenométricas**

As determinações de massa seca de raiz (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folha (MSF) e massa seca de vagem (MSV) foram realizadas aos 30, 60 e 80 dias após a semeadura (DAS). Para as análises aos 30, 60 e 80 DAS foram utilizadas duas plantas por unidade experimental. Após a coleta, foi realizada a separação da planta em raiz, caule, folha e vagem, que foram posteriormente, acondicionados em sacos de papel individualizados, identificados e levados, para secagem utilizando o método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 65°C, até massa constante.

#### **4.3.2 Determinações bioquímicas**

As coletas para as determinações bioquímicas foram realizadas quando as plantas se encontravam com 45 dias após a semeadura e aplicação dos tratamentos. Foram coletadas as 9:00 h, folhas, completamente expandidas do terço médio das plantas, as quais foram transportadas em caixas de isopor contendo gelo. O material foi utilizado para quantificação do teor de proteína total solúvel (PTS), determinação da atividade da urease (U), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), além da quantificação de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), peroxidação lipídica (PL) e prolina (PROL).

Após a coleta, as amostras de folhas foram colocadas em sacos plásticos e envolvidas em papel alumínio. Em seguida, foram congeladas em nitrogênio líquido, a fim de paralisar as reações e levadas para laboratório onde foram armazenadas em freezer a - 20 °C.

Para a extração do material vegetal, utilizado para determinação de proteína total, catalase, peroxidase e superóxido dismutase utilizou-se a maceração com nitrogênio líquido.

Posteriormente, 200 mg de material vegetal foram macerados com 4 mL de tampão de fosfato de potássio 0,1 mol L<sup>-1</sup> pH 6,8. As amostras foram então, transferidas para microtubos e centrifugadas a 10.000 rpm por 30 min a 4 °C. Ao final, as amostras foram armazenadas a -20 °C (KAR; MISHRA, 1976).

#### **4.3.2.1 Teor de proteína total solúvel em folhas**

A determinação do teor de proteína total solúvel na folha foi realizada conforme metodologia descrita por Bradford (1976). A reação foi obtida com 20 µL de extrato, adicionando-se 1 mL de reagente de Bradford, e a leitura realizada em espectrofotômetro a 595 nm. Para obtenção do teor de proteína total solúvel, primeiramente foi preparada a curva padrão com caseína. Os dados finais foram expressos em mg g<sup>-1</sup> de matéria fresca, os quais foram utilizados para os cálculos da atividade da catalase, peroxidase e superóxido dismutase.

#### **4.3.2.2 Urease**

A extração do material para a determinação da atividade da urease foi realizada em cerca de 200 mg de folhas previamente trituradas com auxílio de nitrogênio líquido. Em seguida, esse material foi colocado em tubo de ensaio contendo 4 mL de tampão de fosfato com uréia pH 7,4 (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,20 M, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,50 M, n-propanol 0,66 M e uréia 0,21 M). A utilização do n-propanol visa o aumento da permeabilidade dos tecidos, além de evitar a formação de amônia por meio de contaminantes microbianos. Após esse procedimento, os tubos de ensaio foram colocados em banho-maria a 30 °C, durante 2 h, agitando-se de 5 em 5 min.

A determinação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi realizada segundo a metodologia proposta por McCullough (1967). Esse método é baseado na produção de indofenol (corante de coloração azulada). Esse composto é produzido por meio da reação de fenol com compostos nitrogenados (especialmente a amônia), em meio alcalino. Portanto, após o período de incubação das amostras, foi retirada uma alíquota de 0,1 mL do extrato e, a amônia retida nos tecidos foliares foi extraída pela adição de 1 mL do reagente I (Fenol 0,1 M + Nitroprussiato de sódio 170 µM). Nessa parte do procedimento, o Nitroprussiato de sódio funciona como um agente catalisador da reação. Posteriormente, foi adicionado 1 mL do reagente II (NaOH

0,125 M + Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O 0,15 M + NaCl - 3% Cl<sub>2</sub>). Estes compostos tornam o meio de reação alcalino, favorecendo a reação do fenol com a amônia. Por fim, os tubos foram vedados, para evitar a evaporação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, e levados para banho maria à 37 °C por 35 min, para o desenvolvimento da cor. Após esse período, foi realizada leitura colorimétrica da reação em espectrofotômetro a 625 nm. A atividade da enzima foi determinada pela quantidade de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> produzida, e os valores obtidos foram comparados com uma curva padrão de cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) e os resultados obtidos foram expressos em  $\mu\text{mol} [\text{NH}_4^+] \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} [\text{MF}]$ .

#### 4.3.2.3 Superóxido dismutase (SOD)

Esta enzima foi avaliada segundo a metodologia de Beauchamp e Fridovich (1971). Esse método é baseado na formação de formazina. Para isso, é utilizada a riboflavina, também conhecida como vitamina B<sub>2</sub>. Esse material, quando exposto a luz, reage com aminoácidos (metionina), liberando elétrons. Esses elétrons livres se ligam ao O<sub>2</sub>, formando o radical livre O<sub>2</sub><sup>-</sup>. Esse radical tem a capacidade de se ligar ao NBT (Nitro Blue Tetrazolium), formando um segundo composto, denominado formazina (que possui coloração arroxeada). Portanto, quando a atividade da SOD é intensa o O<sub>2</sub><sup>-</sup> é degradado e não ocorre o consumo de NBT, formando uma solução amarela. Se a atividade da SOD for baixa, haverá O<sub>2</sub><sup>-</sup> livre, que juntamente com o NBT formará formazina, resultando em uma solução roxa.

Para o preparo dos reagentes, todos os recipientes foram envolvidos com papel alumínio para evitar reação com a luz. Foram adicionados a um tubo de ensaio 2000  $\mu\text{L}$  de tampão de fosfato de sódio 50 mmol L<sup>-1</sup> pH 7,8, 30  $\mu\text{L}$  de extrato enzimático, 450  $\mu\text{L}$  de solução de Nitro blue Tetrazolium (NBT) + EDTA (5:4) e 500  $\mu\text{L}$  de solução de Metionina + Riboflavina (1:1). Todas as amostras foram preparadas em duplicata, sendo que, após o preparo do sistema de reação, uma das amostras foi exposta a luz durante 10 min, sem o papel alumínio, e a outra permaneceu com o papel alumínio. Após esse período, foram realizadas leituras de absorbância em espectrofotômetro a 560 nm. A atividade da enzima foi expressa em U de SOD mg<sup>-1</sup> proteína, onde U corresponde à quantidade de enzima necessária para causar 50% de inibição da redução do NBT.



#### **4.3.2.4 Catalase (CAT)**

Para a determinação da atividade da CAT, foram colocados em um tubo de ensaio 950  $\mu\text{L}$  de tampão de fosfato de sódio 50  $\text{mmol L}^{-1}$  pH 7,0 +  $\text{H}_2\text{O}_2$  12,5  $\text{mmol L}^{-1}$  e 50  $\mu\text{L}$  de extrato enzimático, resultando em um volume final de 1 mL. As leituras de absorbância foram realizadas a 240 nm, durante 60 segundos, para que pudesse ocorrer a estabilização da leitura. As leituras foram realizadas em luz ultravioleta e com a luz visível apagada. Além disso, foram utilizadas cubetas de quartzo (material que permite leituras de absorbância na luz ultravioleta). Para os cálculos da atividade da enzima foi utilizado o coeficiente de extinção molar do  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 39,4  $\text{mmol L}^{-1} \text{cm}^{-1}$ . A atividade da CAT foi expressa em  $\text{nmol de H}_2\text{O}_2 \text{ consumido min}^{-1} \text{mg}^{-1} [\text{proteína}]$  (PEIXOTO et al., 1999).

#### **4.3.2.5 Peroxidase (POD)**

A atividade da POD foi determinada de acordo com as condições citadas no trabalho de Teisseire; Guy (2000). Para isto, foram adicionados a um tubo de ensaio 500  $\mu\text{L}$  de tampão fosfato de potássio 50  $\text{mmol L}^{-1}$  pH 6,5, 30  $\mu\text{L}$  de extrato enzimático, 250  $\mu\text{L}$  de pirogalol (1,2,3-benzenotriol) 20  $\text{mmol L}^{-1}$  e 220  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  5  $\text{mmol L}^{-1}$ , totalizando um volume de 1 mL. Os tubos de ensaio foram deixados em temperatura ambiente por 5 min. Após esse período, a formação de purpurogalina, que apresenta coloração amarela, foi medida em espectrofotômetro UV-visível a 430 nm. Para o cálculo da atividade da enzima foi utilizado o coeficiente de extinção molar da purpurogalina de 2,5  $\text{mmol L}^{-1} \text{cm}^{-1}$ , sendo a atividade expressa em  $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} [\text{proteína}]$ .

#### **4.3.2.6 Peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

O teor de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi determinado por meio da reação com iodeto de potássio (KI), segundo Alexieva et al. (2001). Para esta determinação, foi realizada a extração do material vegetal, em que 200 mg de folhas foram maceradas com 1 mL de TCA 0,1%. Após homogeneização, as amostras foram transferidas para tubos e centrifugadas a 9700 rpm por 15 min à 4 °C. Do sobrenadante foram retirados 200  $\mu\text{L}$  aos quais foram adicionados 200  $\mu\text{L}$  de

tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 800  $\mu$ L de solução 1 M de KI. O branco consistiu na mesma mistura descrita acima, porém, ao invés do sobrenadante da amostra, colocou-se 200  $\mu$ L de ácido tricloroacético (TCA) 0,1%. Os tubos com a reação foram colocados em gelo e permaneceram no escuro durante 1 h. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm. A quantidade de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi expressa em  $\mu\text{mol g}^{-1}$  [MF].

#### **4.3.2.7 Peroxidação lipídica**

Esta análise foi determinada de acordo com a técnica de Heath e Packer (1968). Nesta técnica, é quantificada a formação de molondialdeído (MDA). Este composto é formado após o processo de peroxidação lipídica. Para esta determinação, foram pesados 200 mg do material vegetal moído, que foi homogeneizado em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e TCA 10%. Em seguida, o conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com rosca e papel filme e incubado em banho maria à 90 °C por 1 h. Após resfriamento, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm por 15 min a temperatura ambiente e, em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetido a leituras de absorbância em espectrofotômetro UV-visível a 532 e 600 nm. Para o cálculo da peroxidação lipídica foi utilizado o coeficiente de extinção molar do molondialdeído ( $155 \text{ mmol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). Os resultados foram expressos em nmol de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)  $\text{g}^{-1}$  [MF].

#### **4.3.2.8 Prolina**

Este aminoácido foi determinado de acordo com o método proposto por Bates et al., (1973). Para esta determinação, foram utilizados 200 mg de folha fresca, e adicionado 5 mL de ácido sulfossalicílico 3%, sendo a mistura deixada em agitação constante por 1 h à temperatura ambiente (25 °C). Posteriormente, foi realizada a centrifugação das amostras a 3.000 rpm por 10 min, à temperatura ambiente. Em tubos rosqueáveis, adicionou-se 1 mL de extrato, 1 mL de ninhidrina ácida (solução que contém 1,25g de ninhidrina, em 30 mL de ácido acético glacial, e 20 mL de ácido fosfórico 6 M) e 1 mL de ácido acético glacial, deixando-se a mistura em banho-maria (100 °C) por 1h, para o desenvolvimento da reação. Em seguida, os tubos de ensaio foram dispostos em banho de gelo por 10 min para cessar a reação. Para finalizar, adicionou-se 2 mL de

tolueno, que tem por finalidade separar a porção orgânica da reação, onde estará contida a prolina. Após alguns minutos, houve a formação da mistura bifásica, a qual apenas a fase superior foi retirada para a quantificação dos níveis de prolina livre, através de medidas de absorbância a 520 nm. Utilizou-se como branco apenas o tolueno. O teor de prolina foi calculado com base em curva padrão de prolina e os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol g}^{-1}$  [MF].

#### **4.3.3 Análise estatística**

Os dados obtidos nos experimentos foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias (teste de Levene). Posteriormente, foi realizado o teste de Tukey, a 5% de significância para comparar os tratamentos, utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008).

Além disso, foi realizado o teste de Dunnett a fim de comparar os tratamentos com doses de organominerais, com a adubação mineral e sem adubação. O estudo das doses de fertilizantes organominerais foi realizado por regressão para obtenção de modelo estatístico.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Variáveis fenométricas

#### 4.1.1 Massa seca de raízes (MSR)

Na Tabela 6, é apresentado o resultado do teste de Dunnett, o qual comparou as médias dos tratamentos com fertilizantes organominerais, juntamente com os tratamentos sem adubação e com adubação mineral. A análise de regressão para essa variável, não se adequou a modelos estatísticos.

**Tabela 6** – Peso de massa seca de raiz (MSR) em plantas de soja aos 30 DAS, utilizando os tratamentos com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017.

Tratamento	30 DAS (g planta <sup>-1</sup> )
Sem adubação	2,87*
Fertilizante Organomineral LE 50	3,43
Fertilizante Organomineral LE 75	3,51
Fertilizante Organomineral LE 100	4,10*°
Fertilizante Organomineral LE 125	4,95*°
Fertilizante Organomineral TF 50	3,76*
Fertilizante Organomineral TF 75	5,00*°
Fertilizante Organomineral TF 100	2,62
Fertilizante Organomineral TF 125	2,58
Fertilizante mineral	3,03°
CV (%)	12,93

\* Difere estatisticamente do tratamento sem adubação por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

° Difere estatisticamente do tratamento com adubação mineral por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

Aos 30 DAS, o tratamento com LE na dose de 125% (em relação à dose recomendada) promoveu incremento de 72% e 63%, respectivamente, em relação aos tratamentos sem adubação e com adubação mineral. Contudo, quando se avaliou o uso do fertilizante organomineral a base de TF, o maior acréscimo na massa seca de raiz ocorreu com

a dose de 75% (em relação à dose recomendada), ocasionando incremento de 74% e 65%, respectivamente, em relação aos tratamentos sem adubação e com adubação mineral (Tabela 6).

Dados sobre a influência de fertilizantes organominerais no crescimento radicular são amplamente discutidos na literatura. Barbosa (2011), desenvolvendo trabalhos com rabanete observou aumento do diâmetro da raiz, da produtividade comercial e do peso médio quando utilizado fertilizante organomineral a base de cama de frango. Bruno et al. (2007) e Oliveira et al. (2007) verificaram que a aplicação de fertilizantes organominerais, aliada à adubação orgânica, apresenta melhora da produtividade e dos parâmetros morfológicos, como comprimento e diâmetro de raízes. Já Pedrosa et al. (2007) afirmaram que a aplicação de fertilizantes organominerais propiciou a maior concentração de nutrientes nas raízes.

O aumento no crescimento radicular em plantas submetidas à aplicação de fertilizantes organominerais pode estar relacionado a substâncias orgânicas encontradas nos mesmos, entre elas destacam-se aminoácidos e substâncias húmicas (SILVA; MENDONÇA, 2007). Algumas pesquisas sugeriram que as substâncias húmicas podem estimular o crescimento da planta em termos de aumento da estatura e do acúmulo de matéria seca, sendo que esses efeitos são alterados de acordo com a fonte e a concentração das substâncias húmicas utilizadas (MORAIS; MAIA, 2013; BALDOTTO; BALDOTTO, 2013; CANELLAS; OLIVARES, 2014). Dentre os aminoácidos pode ser encontrado o triptofano, o qual é precursor da auxina, enquanto que, em substâncias húmicas podem existir moléculas de auxina e/ou moléculas com ação auxínica (*like auxin*). Trevisan (2010) relata a influência de substâncias húmicas sobre o desenvolvimento de raízes laterais, principalmente através de sua atividade auxínica, reforçando os resultados obtidos.

Aos 60 e 80 DAS, não foi realizada a avaliação para massa seca de raiz, uma vez que ao coletar as plantas observou-se limitação do crescimento das raízes provavelmente ocasionada pelo tamanho do vaso. De acordo com Cope e Evans (1985) esses resultados podem mascarar os efeitos de tratamentos utilizados em ensaios conduzidos em casa de vegetação quando realizados em vasos. Além disso, a extrapolação de dados de produção obtidos em casa de vegetação é arriscada, em função das diferenças no grau de exploração das raízes das plantas confinadas no vaso e da cultura no campo (COPE; EVANS, 1985). Esta hipótese foi observada por Fagan et al. (2016) em plantas de soja cultivadas em casa de vegetação.

#### 4.1.2 Massa seca de caules (MSC)

De acordo com a Tabela 7, aos 30 DAS quase todos os tratamentos com fertilizantes organominerais apresentaram superioridade para variável de massa seca de caule em relação ao tratamento sem adubação ou com fertilizante mineral. As únicas exceções foram para o fertilizante organomineral LE nas doses de 50 e 125%.

Aos 30 dias após a semeadura, a dose de LE 75% ocasionou aumento de massa seca de caule de 36 e 34%, respectivamente, em relação ao tratamento sem adubação e com adubação mineral.

Mota (2015), desenvolvendo trabalho com soja (*Glycine max* (L.) Merrill), encontrou bons resultados avaliando diâmetro de caule e altura de plantas, submetidas à adubação com a mesma formulação. A adubação com 75% da dose recomendada destacou-se nas análises citadas aos 30 e 90 dias após semeadura, utilizando o fertilizante organomineral composto por lodo de esgoto.

Ainda na Tabela 7, para o fertilizante organomineral TF, o crescimento de caule apresentou tendência similar ao verificado para raiz aos 30 DAS, em que a dose de 75% esteve entre as mais efetivas. Nessa avaliação, a aplicação de fertilizante organomineral na dose de 75% proporcionou aumento de 54 e 51% em relação ao tratamento sem adubação e com adubação mineral, respectivamente. Nas demais avaliações houve uma alternância de comportamentos.

**Tabela 7** Massa seca de caule (MSC) em plantas de soja aos 30, 60 e 80 DAS, utilizando os tratamentos com fertilizante organomineral com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017.

Tratamento	30 DAS	60 DAS	80 DAS
	(g planta <sup>-1</sup> )		
Sem adubação	4,14*	11,40*	11,00*
Fertilizante Organomineral LE 50	4,26	12,45	14,21°
Fertilizante Organomineral LE 75	5,66*°	13,09*	17,38°
Fertilizante Organomineral LE 100	5,56*°	12,24	14,71°
Fertilizante Organomineral LE 125	4,33	11,18	11,80°
Fertilizante Organomineral TF 50	5,43*°	13,32*	11,77°
Fertilizante Organomineral TF 75	6,40*°	8,95*°	12,15°
Fertilizante Organomineral TF 100	5,76*°	13,11*	12,45°
Fertilizante Organomineral TF 125	5,59*°	12,79	12,54°
Fertilizante Mineral	4,22°	12,35°	8,58°
CV (%)	9,71	6,48	10,18

\* Difere estatisticamente do tratamento sem adubação por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

° Difere estatisticamente do tratamento com adubação mineral por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

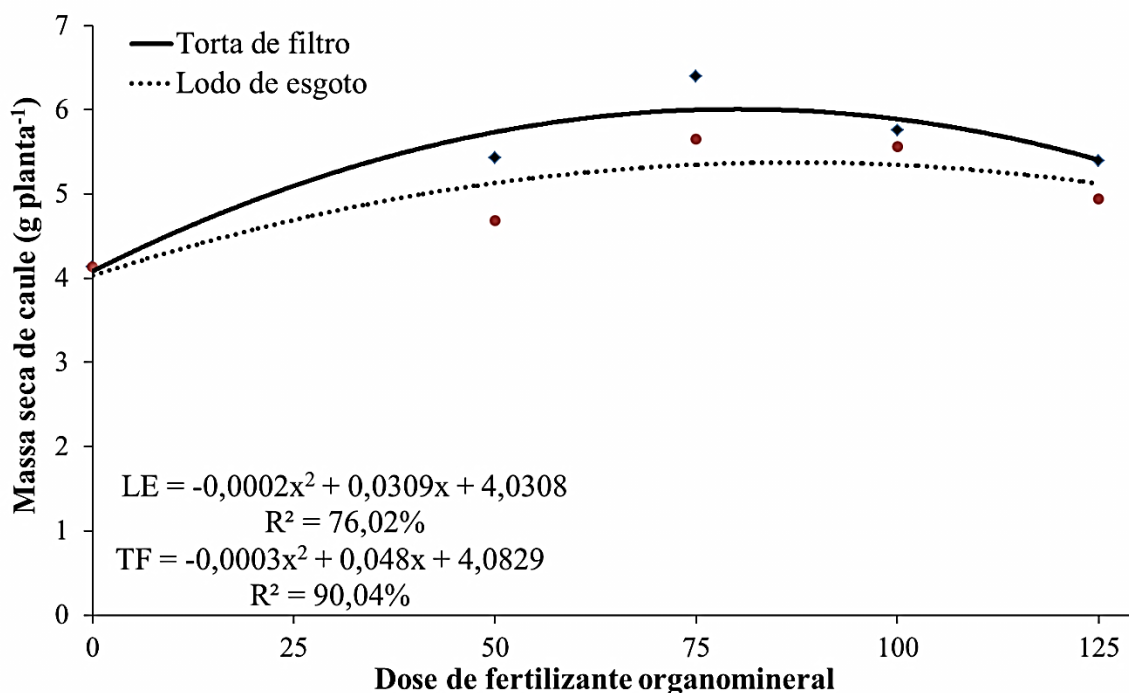
Normalmente, o crescimento de estruturas de parte aérea está relacionado ao vigor radicular. Esse comportamento foi evidenciado até os 30 DAS, quando grande parte dos tratamentos que proporcionaram um acréscimo no crescimento de raízes foram aqueles que proporcionaram maior acúmulo de massa de caule. Essa relação é justificada por alguns fatores como o aumento do número de raízes que possibilita maior área efetiva de exploração do solo para absorção de água e nutrientes. Além disso, as raízes são o órgão que sintetiza o hormônio citocinina, que promove o desenvolvimento da parte aérea (FAGAN et al., 2016).

Quando se compara os resultados encontrados com outras literaturas, é possível verificar similaridades. Um dos exemplos é o trabalho desenvolvido Cândido et al. (2013) com a cultura do cafeeiro (*Coffea* sp). Nesse trabalho, os autores ressaltaram que o uso do fertilizante organomineral granulado induziu aumento no diâmetro de caule, número de ramos plagiotrópicos, área foliar e matéria seca total. A explicação adotada pelos pesquisadores esteve ligada ao incremento no aporte de nutrientes às plantas, favorecido pelo conteúdo de matéria orgânica do fertilizante, o que consequentemente proporcionou maiores valores dessas variáveis.

Houve ajuste significativo utilizando modelos polinomiais de segundo grau. Aos 30 DAS (

Figura 6), observou-se que as doses de 77,25 e 80%, respectivamente, para lodo de esgoto e torta de filtro, apresentaram melhores incrementos de MSC. Nota-se que a torta de filtro favorece maior acúmulo de massa seca de caule ao longo de todos os níveis de adubação estudados, provavelmente como reflexo de outras propriedades desta fonte de matéria orgânica. Não obstante, a torta de filtro é atualmente reconhecida e amplamente utilizada na produção de fertilizantes organominerais.

**Figura 6** - Acúmulo de massa seca de caule de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 30 DAS.

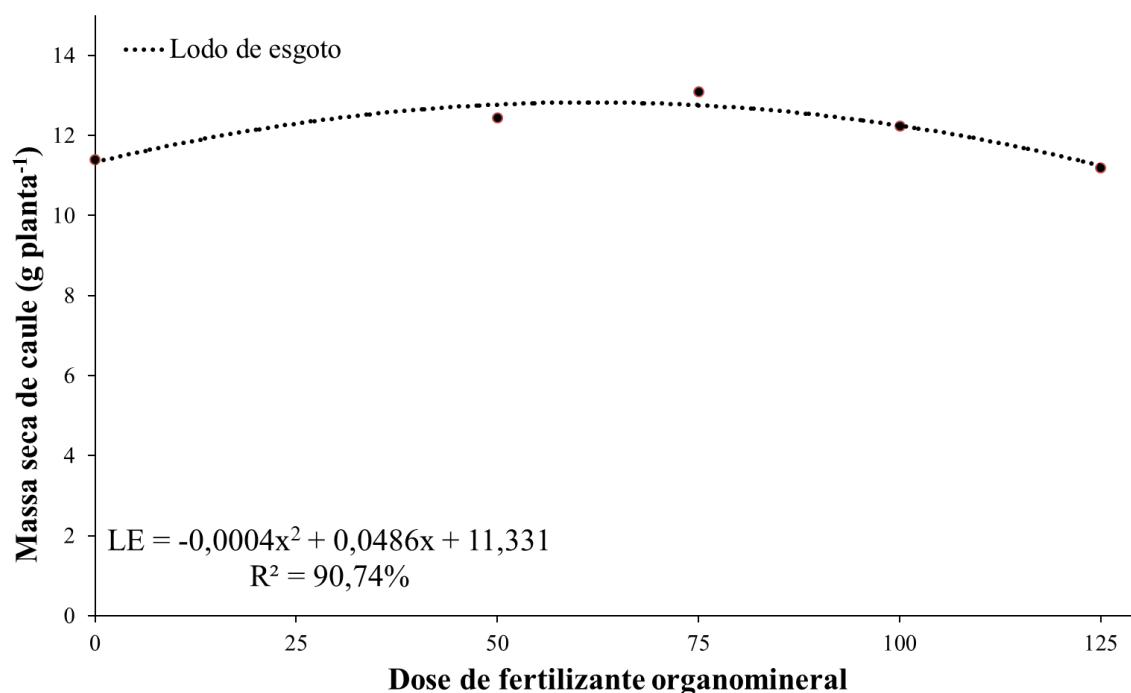


Fonte: A autora.

A Figura 7 apresenta a regressão das médias da análise de variância (ANAVA) em relação às doses tanto para o fertilizante organomineral composto por lodo de esgoto como para torta de filtro. Já a Figura 8 apresenta a análise de regressão com ajuste de curva apenas para a fonte de LE aos 80 DAS. Aos 60 e 80 DAS, ocorreu o incremento positivo quando utilizado diferentes doses de fertilizante organomineral LE, sendo que as doses de maior incremento de parte aérea foram 60,75 e 70%, para as respectivas datas.

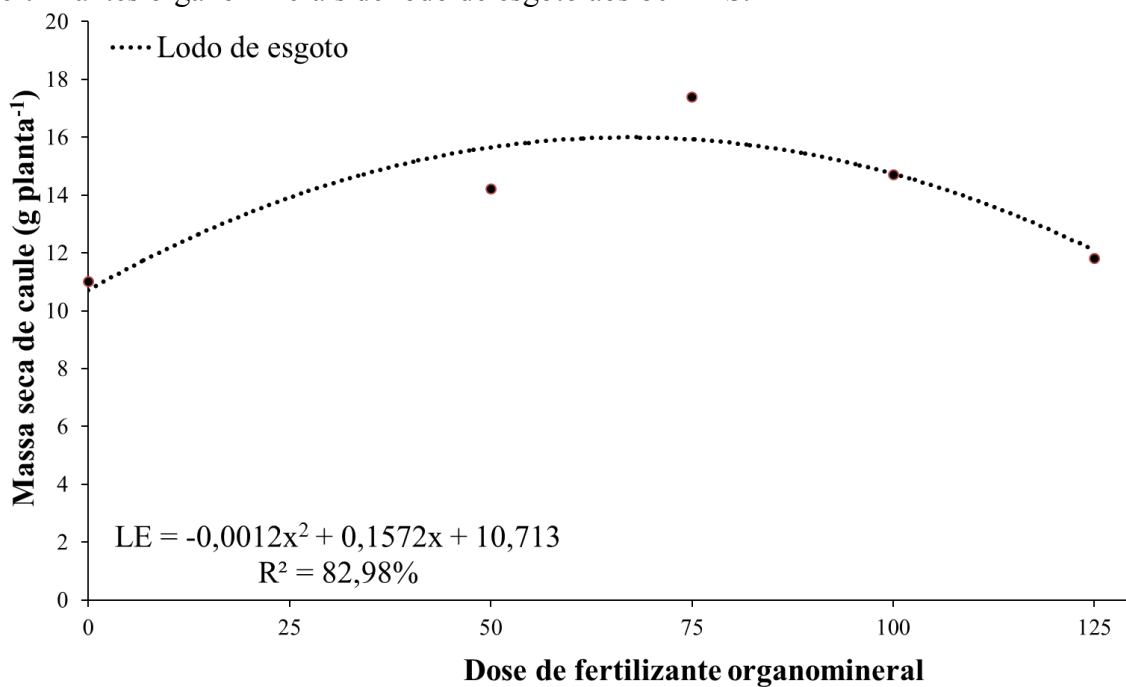


**Figura 7** – Média do acúmulo de massa seca de caule de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 60 DAS.



Fonte: A autora.

**Figura 8** - Acúmulo de massa seca de caule de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto aos 80 DAS.



Fonte: A autora.

#### 4.1.3 Massa seca de folhas (MSF)

Na avaliação realizada aos 30 DAS apenas a adubação com fertilizante formulado com torta de filtro na dose de 75 % (TF 75) conseguiu ser superior ao fertilizante mineral, enquanto os tratamentos LE 50 e LE 75 superaram apenas o tratamento sem adubação (Tabela 8). Percebe-se claramente que os efeitos das adubações organominerais em relação à adubação mineral foram gradualmente mais expressivos até os 80 dias, quando da avaliação final, tanto que aos 80 DAS todos os tratamentos com fertilizantes organominerais diferenciaram-se significativamente em função de fontes de matéria orgânica e doses de fertilizante organomineral em relação ao tratamento sem adubação e da adubação mineral (Tabela 8).

**Tabela 8** - Massa seca de folha (MSF) em plantas de soja aos 30, 60 e 80 dias após a semeadura, utilizando tratamentos com fertilizantes organominerais com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017.

Tratamento	30 DAS	60 DAS	80 DAS
	(g planta <sup>-1</sup> )		
Sem adubação	4,56*	8,97*	7,36*
Fertilizante Organomineral 50	4,68	10,13	10,67*°
Fertilizante Organomineral LE 75	5,47*	11,34*°	11,94*°
Fertilizante Organomineral LE 100	4,75	9,52	11,27*°
Fertilizante Organomineral LE 125	4,33	8,84°	10,26*°
Fertilizante Organomineral TF 50	5,47*	11,16*	10,48*°
Fertilizante Organomineral TF 75	5,86*°	8,30*°	11,79*°
Fertilizante Organomineral TF 100	5,38	10,82*	12,88*°
Fertilizante Organomineral TF 125	5,11	9,80	12,02*°
Fertilizante mineral	4,60°	10,11°	7,47°
CV (%)	9,95	5,96	9,52

\* Difere estatisticamente do tratamento sem adubação por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

° Difere estatisticamente do tratamento com adubação mineral por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

Vieira et al. (2005) desenvolvendo trabalhos com fertilizante organomineral a base de lodo de esgoto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) verificaram maior massa seca de folha em relação à adubação mineral, considerando a mesma dose de nutrientes. Silva e Mota (2003) observaram que a melhor resposta em produção de massa seca de folha na

cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foi utilizando a dose de fertilizante organomineral com 50% de lodo de esgoto, em relação à dose recomendada para a cultura.

A utilização de fertilizantes organominerais apresentaram resultados positivos quando aplicados nas culturas de soja (SOUSA et al., 2007), milho (*Zea mays*) (LEMAINSKI; SILVA, 2006; TIRITAN et al., 2010), arroz (*Oryza sativa*) (BETTIOL et al., 1983) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (CHIBA, 2005 e SOUZA et al., 2016), proporcionando crescimento significativo de parte aérea em todas as culturas citadas acima.

Bissani et al. (2008) e Alley e Vanlauwe, (2009) defenderam que o crescimento da parte aérea de uma planta está intimamente relacionado ao desenvolvimento das raízes e ambos estão associados à fertilidade do solo.

**Tabela 9** – Valores médios de massa seca de folha (MSF) de plantas de soja aos 30, 60 e 80 DAS, em função de doses e fontes de matéria orgânica na composição de fertilizantes organominerais.

Organominerais.			Fonte de organomineral					
Doses (% recomendada)	TF	LE	Média	TF	LE	TF	LE	
	30 DAS			60 DAS		80 DAS		
0		4,56		8,97		7,36		
50	5,47 A	4,68 A	5,07	11,16 A	10,13 B	10,48 A	10,67 A	
75	5,86 A	5,47 A	5,66	8,30 B	11,34 A	11,79 A	11,94 A	
100	5,38 A	4,75 A	5,06	10,82 A	9,52 B	12,88A	11,27 B	
125	5,11 A	4,33 A	4,72	9,80 A	8,84 B	12,02 A	10,26 B	
Média	5,27	4,76		9,81	9,76	10,91	10,30	
DMS <sub>Fonte (F)</sub>		0,26		0,75		0,96		
Interação <sub>(F x D)</sub>		0,284 ns		0,000		0,005		
CV (%)		9,09		5,96		7,07		

\* Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns – não significativo.

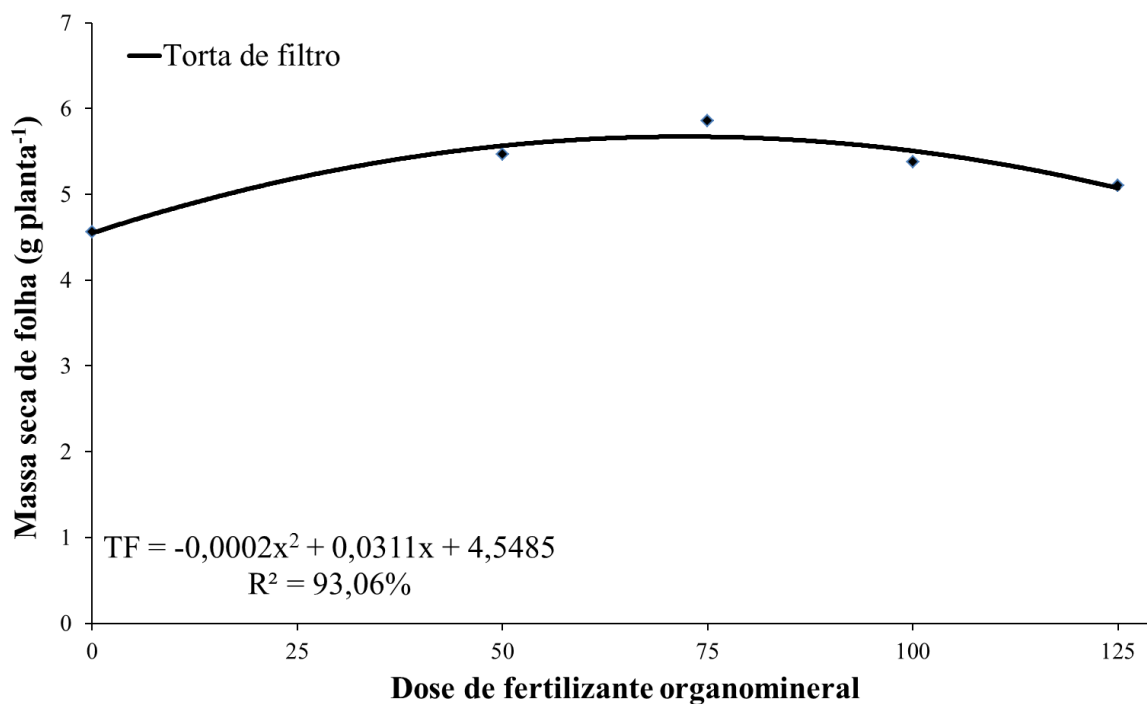
Analisando a Tabela 9, aos 30 DAS as médias de fontes encontradas não apresentaram diferença significativa. No entanto, quando realizada a análise de regressão (Figura 9) houve ajuste de curva para doses do fertilizante organomineral composto por torta de filtro, sendo a dose de 80% a que proporcionou maior incremento de MSF. Entretanto, observa-se que aos 60 e 80 dias o fertilizante organomineral a base de torta de filtro foi superior em relação ao com lodo de esgoto nas doses de 100 e 120% em relação à recomendação para a cultura.

Resultados semelhantes foram encontrados em trabalho desenvolvido por Oliveira (2016), onde todas as fontes de fertilizante organominerais apresentaram incremento de massa seca da parte aérea. Além disso, o fertilizante organomineral composto por torta de filtro atingiu resultado superior dentre as fontes utilizadas.

Ainda em relação à Tabela 9, aos 60 e 80 DAS, as médias de fertilizante organomineral TF nas doses de 100 e 125% promoveram maiores médias de acúmulo de parte aérea na cultura da soja. De acordo com a análise de regressão das doses, observou-se ajuste das equações apenas para os 80 DAS (

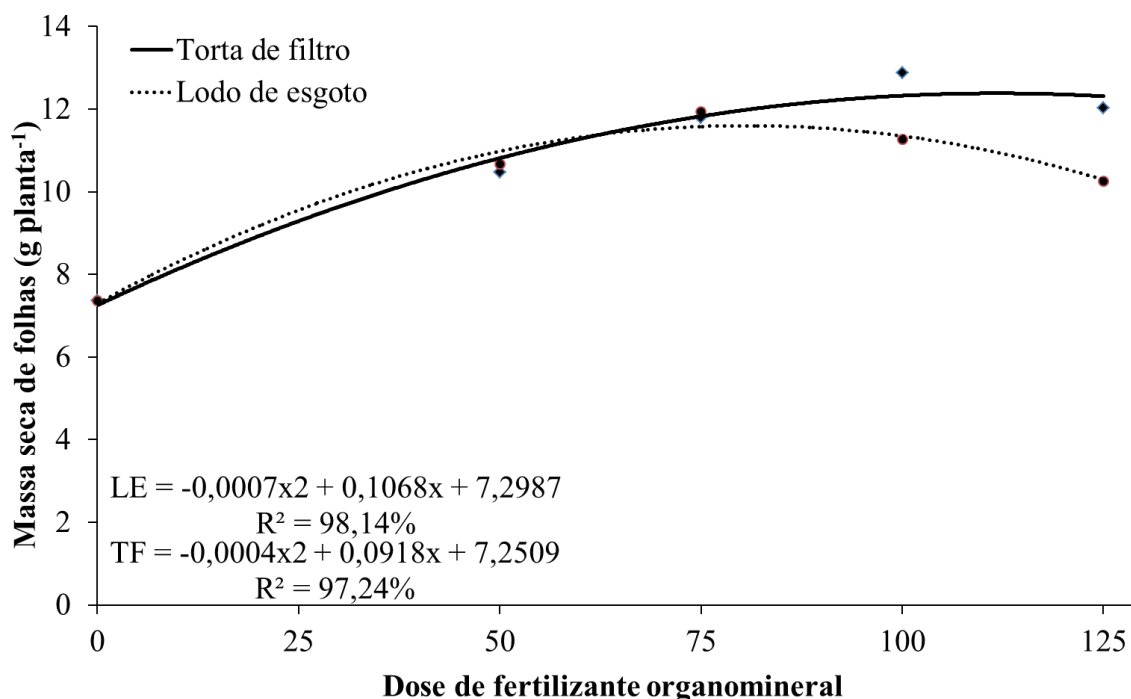
Figura 10). A aplicação dos fertilizantes organominerais proporcionou acúmulo positivo de MSF até as doses de 76,28 e 114,75%, para as fontes de lodo de esgoto e torta de filtro, respectivamente.

**Figura 9** - Acúmulo de massa seca de folha de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de torta de filtro aos 30 DAS.



Fonte: A autora.

**Figura 10** - Acúmulo de massa seca de folha de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 80 DAS.



Fonte: A autora.

#### 4.1.4 Massa seca de vagens (MSV)

As aplicações de fertilizante organomineral LE em todas as doses ocasionaram acréscimo na massa seca de vagens de soja para quase todos os tratamentos em relação ao controle sem adubação. Contudo, a dose de LE 100% destacou-se ocasionando um incremento significativo de 141%. O número e massa de vagens são componentes de produtividade de soja. Portanto, o aumento na massa de vagens é um indicativo de incremento de produtividade (Tabela 10).

Barbosa et al. (2007) identificaram em trabalhos desenvolvidos com milho, que a maior disponibilidade de nutrientes no solo, proporcionada pela aplicação do lodo de esgoto, contribui para o acréscimo de matéria seca de vagens proporcionando consequentemente aumento da produtividade. De acordo com Tamanini et al. (2005), a aplicação da dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante organomineral a base de lodo de esgoto na cultura do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) promoveu o máximo patamar de produção, observando uma tendência a estabilização da produção ao se elevar as doses de biossólido.

Quando utilizado o fertilizante organomineral a base de TF, a dose de 75% destacou-se proporcionando acréscimos de 153 e 50% na produção de grãos, respectivamente em relação ao tratamento sem adubação e com adubação mineral (Tabela 10). Algumas pesquisas têm demonstrado efeitos positivos de torta de filtro em produtividade de plantas cultivadas. Ciancio (2010) observou nas culturas de feijão, milho, sorgo e aveia preta (*Avena strigosa*), que a produtividade foi duas vezes superior no tratamento com adubo orgânico quando comparado aos tratamentos que não receberam complementação.

**Tabela 10** – Acúmulo de massa seca de vagem de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro aos 80 DAS.

Tratamento	MSV (g planta <sup>-1</sup> )
Sem adubação	0,99*
Fertilizante Organomineral LE 50	2,23*
Fertilizante Organomineral LE 75	2,00*
Fertilizante Organomineral LE 100	2,39*
Fertilizante Organomineral LE 125	1,89*
Fertilizante Organomineral TF 50	1,77
Fertilizante Organomineral TF 75	2,51*°
Fertilizante Organomineral TF 100	2,01*
Fertilizante Organomineral TF 125	1,63
Fertilizante mineral	1,67°
CV (%)	24,17

\* Difere estatisticamente do tratamento sem adubação por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

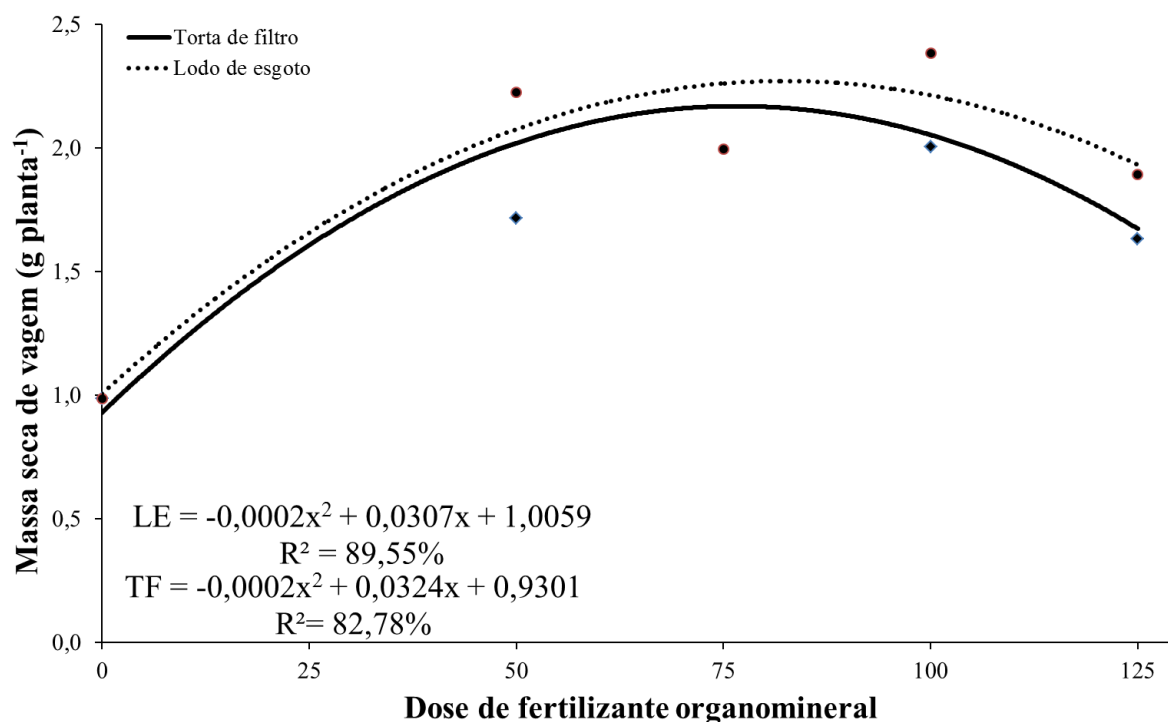
° Difere estatisticamente do tratamento com adubação mineral por meio do teste de Dunnett a 5% de significância.

Para análise de regressão, houve ajuste de modelo para as duas fontes utilizadas (

**Figura 11).** As doses que apresentaram melhores valores de incremento de massa seca de vagem foram 76,45 e 81%, respetivamente para LE e TF.



**Figura 11-** Acúmulo de massa seca de vagem de plantas de soja, em função de doses de fertilizantes organominerais de lodo de esgoto e torta de filtro.



Fonte: A autora.

## 4.2 Determinações bioquímicas

As análises bioquímicas foram submetidas ao teste estatístico de Dunnett, no entanto, os valores encontrados sofrem constante alteração devido à ação enzimática ocorrer na maioria das vezes de forma instantânea, por isso os resultados serão discutidos tanto estatisticamente como numericamente.

A quantificação da atividade das enzimas antioxidantes vem sendo utilizadas largamente com o intuito de analisar o estresse oxidativo em plantas, causado devido a vários fatores bióticos e abióticos. Vasconcelos et al. (2009), aplicando bioestimulantes em cultivares de soja, encontraram incremento na atividade da enzima SOD, CAT e POD. Balakhnina e Borkowska (2013) afirmam que plantas susceptíveis a estresses ambientais apresentaram maiores atividades enzimáticas de SOD, CAT e POD como resposta a elevação de radicais livres no interior das células.

Quanto às atividades das enzimas antioxidantes foram observados comportamentos distintos em relação à aplicação dos tratamentos. Para atividade da SOD, não

foi constatado efeito em relação aos tratamentos, embora numericamente verificou-se incremento até a dose de 75% para o fertilizante organomineral composto por torta de filtro (Tabela 11).

As SODs desempenham papel chave no sistema de defesa antioxidante através da dismutação de  $O_2^-$  em  $H_2O_2 + O_2$ , para que posteriormente as enzimas catalase e peroxidase possam transformar o  $H_2O_2$  em  $H_2O$ . Normalmente, a enzima SOD apresenta aumento de atividade, sempre que as plantas são submetidas a um ambiente estressante, como salinidade, altas temperaturas, estresse hídrico, alta intensidade luminosa, ataque fitopatogênico e ou insetos, entre outros (BROETTO et al, 2002).

De acordo com Fridovich (1986), as SODs são metaloenzimas que ocorrem em três diferentes formas moleculares, contendo os metais Mn, Fe ou Cu/Zn, os quais são utilizados como co-fatores. A aplicação dos tratamentos utilizando como fonte de fertilizante organomineral o lodo de esgoto proporcionou incremento na atividade da enzima até a dose de 100%. Esse aumento pode estar relacionado ao alto teor dos nutrientes Mn, Fe, Cu e Zn encontrados no fertilizante organomineral composto por lodo de esgoto, uma vez que, a enzima se liga a esses metais para realizar a dismutação do radical superóxido.

Em relação à POD, também não foi constatado diferença significativa para as duas fontes utilizadas, exceto o tratamento TF 125, que apresentou redução de 78 e 135% em relação ao tratamento sem adubação e ao fertilizante mineral, respectivamente (Tabela 11). Garcia et al. (2012), utilizando fertilizante organomineral na cultura do arroz, observaram que houve maior atividade de POD resultando em uma redução do teor de  $H_2O_2$  e maior conservação da permeabilidade da membrana, efeito não condizente com o encontrado neste trabalho.

O tratamento TF 125 também apresentou a menor atividade da CAT, no entanto somente diferiu estatisticamente o TF 50 e TF 100. Para a fonte de lodo de esgoto, as doses de 50, 75 e 100% apresentaram maior atividade da catalase quando comparado ao controle, enquanto que o tratamento LE 125 não diferiu (Tabela 11). Lima et al. (2015), avaliando os efeitos de diferentes fontes de nitrogênio no metabolismo antioxidativo em plantas de seringueira, verificaram que os tratamentos que receberam maiores concentrações de N apresentaram maiores atividades de CAT. Já em trabalho desenvolvido com a cultura do girassol houve aumentos significativos na atividade da CAT devido ao fornecimento de N através de fertilizante orgânico originado da decomposição de resíduos (NUNES JUNIOR, 2016).

Para o teor de  $H_2O_2$  não foi observada diferença entre os tratamentos e as fontes dos fertilizantes organominerais utilizados. É importante salientar que numericamente, a utilização do fertilizante organomineral composto por lodo de esgoto nas doses de 100 e 125% proporcionou uma tendência de aumento em relação ao controle com fertilizante mineral (Tabela 11).

Em altas concentrações o  $H_2O_2$  ocasiona danos às células, no entanto em baixas concentrações este tem sido relacionado às várias vias de sinalização em plantas, entre elas, rotas que intercedem respostas a infecções de patógenos, estresses ambientais, morte celular programada e diferentes estímulos ambientais (MILLER et al., 2010; MILTTLER et al., 2004). Além disso, o  $H_2O_2$  é a principal espécie reativa de oxigênio responsável pela expressão gênica de proteínas de defesa e estímulo à atividade de enzimas antioxidantes (BHATTACHARJEE, 2012).

Avaliando a peroxidação lipídica, a dose de 125% do fertilizante organomineral contendo torta de filtro pode ter proporcionado maiores danos na membrana. Houve incremento de 13 e 22% no teor de peroxidação lipídica quando comparado ao tratamento sem adubação e ao fertilizante mineral, respectivamente. As atividades das enzimas CAT, POD e SOD para este tratamento apresentava reduzidas quando comparado aos demais, podendo justificar o alto teor de peroxidação lipídica ocorrida neste tratamento. A baixa atividade dessas enzimas ocorreu em outros tratamentos, no entanto, nesses casos verificou-se que apenas uma das enzimas se encontrava neutralizada. As plantas apresentam várias linha de defesa contra o estresse oxidativo. No caso do tratamento com TF 125%, foi evidenciado que a aplicação deste fertilizante dificultou a planta de metabolizar as enzimas responsáveis pela eliminação das EROs, fato já observado por Gill e Tuteja (2010), que de acordo com os autores quando os metabolismos enzimáticos e não enzimáticos não são capazes de degradar os radicais livres produzidos, ocorre a peroxidação lipídica das membranas, o que pode ocasionar a morte da célula.

No entanto, para lodo de esgoto esse efeito não foi verificado demonstrando assim que os tratamentos não ocasionaram aumento de danos nas membranas celulares. A aplicação dos tratamentos pode ter proporcionado às plantas maior atividade das enzimas antioxidantes (SOD, CAT, POD, entre outras) reduzindo as espécies reativas a oxigênio, sendo estas responsáveis por minimizar os danos causados pelo estresse oxidativo (PRICE; HENDRY, 1991).

A maior atuação das enzimas pode indicar maior potencial de remoção de radicais livres no interior das células. Contudo, maior consumo de  $H_2O_2$  deve estar contribuindo para menor formação do radical hidroxila e, assim, reduzir os danos causados no metabolismo da planta. Com a redução dos radicais livres, observou-se menor degradação lipídica das membranas, consequentemente houve tendência de aumento de massa seca das plantas, contribuindo para melhoria da produtividade final da cultura.

Com relação à atividade da enzima urease a aplicação dos tratamentos proporcionou comportamento distintos. Quando analisado numericamente, a aplicação dos fertilizantes composto por lodo de esgoto e torta de filtro apresentaram incremento na atividade da enzima urease superior ao tratamento sem adubação e com adubação mineral. No entanto, somente os tratamentos LE 100 e TF 125 diferiram estatisticamente em relação ao tratamento sem adubação. Os tratamentos proporcionaram incremento de 42 e 36%, respectivamente em relação ao tratamento sem adubação. A atividade da enzima urease representa um grande papel no metabolismo de ureídeos, especialmente na quebra da ureia que posteriormente resulta na formação de  $NH_3$  que será destinado a formação de aminoácidos (FAGAN, 2016).

Para o teor de prolina, apenas os tratamentos LE 100, TF 50 e TF 100 apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento com aplicação de fertilizante mineral, sendo essa diferença uma redução de 176%. O teor de prolina encontrado na folha das plantas corresponde à outra linha importante de defesa da planta contra estresse. Geralmente este aminoácido é produzido com o intuito de minimizar os danos causados às plantas devido a estresse hídrico ou salino, pois a prolina atua como um osmólito sob condições de déficit hídrico e estresse salino, sendo reconhecido como um composto protetor osmótico, inibidor da peroxidação lipídica e eliminação de ROS (Garcial et al., 2012). Chinsamy et al. (2013) evidenciaram aumento significativo na concentração de prolina em mudas de tomate submetidas a estresse salino e tratadas com doses de fertilizantes orgânicos provenientes da vermicompostagem. Garcial et al. (2012) desenvolvendo trabalhos com a aplicação de ácidos húmicos originados de vermicomposto em mudas de arroz sob estresse hídrico encontrou resultados semelhantes.

**Tabela 11** – Quantificação do teor de proteína total solúvel ( $\text{mg g}^{-1}$  [MF]), atividade das enzimas urease ( $\mu\text{mol} [\text{NH}_4] \text{g}^{-1} [\text{MF}] \text{h}^{-1}$ ), superóxido dismutase ( $\text{U } \mu\text{g}^{-1}$  [proteína]), catalase ( $\mu\text{mol min}^{-1}\mu\text{g}^{-1}$  [proteína]), peroxidase ( $\mu\text{mol min}^{-1}\mu\text{g}^{-1}$  [proteína]), além do teor de peróxido de hidrogênio ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  [MF]), peroxidação lipídica ( $\text{nmol} [\text{TBARS}] \text{g}^{-1}$  [MF]) e teor de prolina ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  [MF]), em plantas de soja após aplicação dos tratamentos com fertilizantes organominerais com lodo de esgoto (LE) e torta de filtro (TF), Patos de Minas – MG, 2017.

	PTS	SOD	POD	CAT	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	PL	U	PROL
Sem adubação	9,86	13,22	1,02	3,13	11,96	68,49	8,63	0,66
LE 50	11,50	15,75	0,94	4,97 <sup>**</sup>	12,46	74,47	9,76	0,64
LE 75	10,08	18,53	1,12	6,39 <sup>***</sup>	11,92	66,60	9,76	0,91
LE 100	9,82	25,88	1,59	4,52 <sup>**</sup>	13,54	67,62	12,29 <sup>*</sup>	0,57
LE 125	10,69	20,76	1,23	3,86	13,46	66,09	11,38	0,37 <sup>**</sup>
TF 50	11,11	20,49	0,78	5,92 <sup>***</sup>	12,14	64,93	11,26	0,36 <sup>**</sup>
TF 75	9,85	20,73	1,10	2,41	11,45	69,85	9,48	0,50
TF 100	9,51	19,54	1,03	5,12 <sup>**</sup>	12,95	74,41	10,34	0,36 <sup>**</sup>
TF 125	12,97	15,66	0,57 <sup>**</sup>	1,26	11,98	77,62 <sup>**</sup>	11,72 <sup>*</sup>	0,62
Fertilizante Mineral	8,80	19,76	1,34	1,92	13,07	63,31	10,39	1,02
CV (%)	23,22	36,87	31,03	26,09	12,27	8,40	13,32	51,19

\*Representa os tratamentos que diferem estatisticamente do Controle por meio do teste de Dunnett a 5% de significância,

\*\*Representa os tratamentos que diferem estatisticamente do Controle Padrão por meio do teste de Dunnett a 5% de significância

## 5 Conclusão

Os fertilizantes organominerais formulados com base orgânica em lodo de esgoto higienizado e torta de filtro apresentam potencial para substituir o fertilizante mineral.

Há aumentos significativos em parâmetros de crescimento de planta em função do uso de fertilizantes organominerais, com destaque para a formulação com lodo de esgoto higienizado em nível de adubação de 75% em relação à dosagem recomendada de fertilizante mineral.

Em relação à massa seca de folha, aos 80 DAS, todos os tratamentos foram superiores ao tratamento sem adubação e com adubação mineral.

A aplicação de fertilizantes organominerais apresentou incremento na atividade da enzima catalase.

A adubação com fertilizante organomineral na formulação de 125% de torta de filtro proporcionou incremento no teor de peroxidação lipídica em plantas de soja.

A aplicação de fertilizantes organominerais proporcionaram alterações quantitativas nas enzimas peroxidase e urease.

## Referências

- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, Chichester, v.24, p.1337-1344, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- ALLEY, M.M.; VANLAUWE B. The role of fertilizers in Integrated Plant Nutrient Management, First edition, IFA, Paris, France. TSBF-CIAT, Nairobi, 2009.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.10, p.1004-1013, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>
- ALVES FILHO, A. Desinfecção de lodo de esgoto anaeróbico para fins agrícolas. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- ANDERSON, M.D.; PRASAD, T.K.; STEWART, C.R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. *Plant Physiology*, n.109, 1995.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, v.55, p.373-399. 2004. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- ARAÚJO, R. K.; WOLFF, D. B.; CRUZ, J. C.; BAGGIOTTO, C.; FRIEDRICH, M. Dinâmica das contaminações do solo e água subterrânea por efluente sanitário em áreas de preservação permanente com macrófitas e gramíneas. *Ciência e Engenharia*. V.24, p. 115-123, 2015. <https://doi.org/10.14393/19834071.2015.28847>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS, ORGANOMINERAIS, FOLIARES, BIOFERTILIZANTES, CONDICIONADORES DE SOLOS E SUBSTRATOS PARA PLANTAS – ABISOLO. Disponível em <http://abisolo.com.br/files/julho2010.pdf>. Acesso em: 10 mar 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS – ABIOVE. Disponível em <http://www.abiove.org.br/>. Acesso em: 17 nov 2016.
- BALAKHNINA, T.; BORKOWSKA, A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *International Agrophysics*, Lublin, v. 27, n. 2, p. 225-232, 2013. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Gladiolus development in response to bulb

treatment with different concentration of humic acids. *Revista Ceres*. Viçosa, v. 60, p. 138-142, 2013.

BARBOSA, F. A. Utilização de cama de frango na produção de rúcula e rabanete. Monografia (Especialização) - Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá-MT, 2011.

BARBOSA, G. M. DE C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa-MG, v. 31, p. 601-605, 2007.

BARRETO, M. C. V. Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.

BATES, L.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil, The Hague*, v.39, p.205-207, 1973.  
<https://doi.org/10.1007/BF00018060>

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, New York, v.44, n.1, p.276-287, 1971.  
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8)

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n.9, p. 831-839, 2004.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900001>

BERNARDES, L.F. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 1982.

BERTONCINI, E.I. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, Piracicaba, v. 75, n. 1, p. 44-54, 1983.

BHATTACHARJEE, S. The language of reactive oxygen species signaling in plants. *Journal of Botany*, v. 12, 22 p. 2012.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. 2º ed. Departamento de Solos, UFRGS, Editora Metrópole, 2008.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade do



solo e manejo da adubação das culturas. Porto Alegre: Gênese, 2004.

BOEIRA, R.C. Uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. Jaguariúna, Embrapa – Comunicado Técnico, 2004.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos do solo degradado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grand, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. Analytical Biochemistry, New York, v.72, p.248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

BROETTO, F.; LÜTTGE U.; RATAJCZAK, E. Influence of light intensity and salt-treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of *Mesembryanthemum crystallinum*. Functional Plant Biol. 29:13-23, 2002. <https://doi.org/10.1071/PP00135>

BRUNO, R. L. A.; VIANA, J. S.; SILVA, V. F.; BRUNO, G. B.; MOURA, M. F. Produção e qualidade de sementes e raízes de cenoura cultivada em solo com adubação orgânica e mineral. Horticultura Brasileira, 25:170-174, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200008>

BÜTTENBENDER, S. E. Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelita/SC. Dissertação (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

CÂMARA, G. M. de S. Introdução ao agronegócio: Soja. Disciplina de Produção de Cana, Mandioca e Soja. USP/ESALQ, Piracicaba, 2015.

CANDIDO, A. de O.; TOMAZ, M. A.; SOUZA, A. L. de.; AMARAL, J. F. T. do.; RANGEL, O. J. P. Fertilizantes organominerais no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Salvador, 2013.

CANELLAS, L. P.; OLICARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, v. 1, p. 3-14, 2014. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>

CARMELLO, Q. A. de C; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. Visão Agrícola - Fertilidade, Paraná, 2006.

CARVALHO.H.C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. Plant Signaling & Behavior, Austin, v.3, 2008.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. da. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 9,

n. 17, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999.

CHAABANE, A. Nitrogen transfert in peatammoniacsoilplant system. Unpublished PhD. thesis. Quebec, Canada: Universite Laval, Quebec. 1994.

CHAGAS, R. M. Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ, Piracicaba, 2007.

CHIBA, M.K. Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

CHINSAMY, M.; KULKARNI, M. G.; STADEN, J. V. Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2013.

CIANCIO, N. H. R. Produção de grãos, matéria seca e acúmulo de nutrientes em culturas submetidas à adubação orgânica e mineral. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 289-302.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos. v.3 Safra 2016/2017, n. 9, p. 123, 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Resolução nº375 e nº 380, de 29 de agosto de 2006.< <http://www.mma.gov.br/port/conama/res06/res37506.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2016.

COPE, J. T.; EVANS, C. E. Soil testing. In STE-WART, B. A. *Advances in soil Science*. New York, Springer-Verlag, v. 1, 1985.

COSTA, M. S.S. DE M.; COSTA, A. DE M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J. DA; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Compostagem de Resíduos Sólidos de Frigorífico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.1, p.100–107, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100015>

DANTAS, F. VON A; LEONETI, A. B; OLIVEIRA, S. V. W. B. de; OLIVEIRA, M. M. B. de. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e

Gestão, v.15, n.3, p.272-284, 2012.

DEBIASE, G.S. Abordagem das diferentes alternativas para destinação de lodos de estações de tratamento de esgoto. Trabalho de Conclusão do curso de pós graduação em Auditoria e Perícia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Cararinense – UNESC, Criciúma, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Produção de soja 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso em 12 jan 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja, Paraná, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil – Paraná – 2003.

ESFAHANI, M. N.; HELALAT, N.; OLIYA, M. Compost fertilizer by municipality wastes of isfahan as bionematicide and biofertilizer. 16° World Fertilizer Cong. Cienc. RJ, 2014.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SHRIPSEMA, J.; BRAZFILHO, R.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.9, p.1301-1310, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900014>

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; SOARES, L. H.; DURVAL NETO, D. Fisiologia Vegetal: Metabolismo e nutrição mineral. São Paulo, 2016.

FAGUNDES, D. C. Gerenciamento de resíduos urbanos em Tarumã e Teodoro Sampaio – SP. Sociedade & Natureza, Uberlândia, p. 159-179, 2009.

FEBRER, M. C. A. Dinâmica da decomposição mesofílica de resíduos orgânicos misturados com águas residuárias da suinocultura. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.10, n.1-4, p.18-30, 2002.

FERNANDES, A. J. Manual da cana-de-açúcar. Piracicaba: Livro Ceres, p. 196, 1990.

FERNANDES, A. L. T. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando fertilizantes organominerais e químicos. Tese (Doutorado em Ciências) - UNICAMP, Campinas, 2001.

FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. STAB - Açúcar, Álcool e

Subprodutos, Piracicaba, 2000.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRA, P. A. Avaliação de um fertilizante organomineral com atividade nematicida. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

FRIDOVICH, I. Superoxide dismutases. In: Advances in enzymology and related areas of molecular biology. v.58, 1986, p.61-97. <https://doi.org/10.1002/9780470123041.ch2>

GARCIA, S. H.; ROZZETTO, D. S.; MEIRELLES, J. L.; GUIDOLIA, F. Simulação de estresse hídrico em feijão pela diminuição do potencial osmótico. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 11, 2012.

GARG, N.; MANCHANDA, G. ROS generation in plants: Boon or bane? Plant Biosystems, Essex, v. 143, p. 1-96, 2009. <https://doi.org/10.1080/11263500802633626>

GILL, S. S; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, Dorchester, v.48, 2010.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview. Methods in Enzymology, New York, v. 186, 1990.

HANCOCK, J. T.; DESIKAN, R.; NEILL, S. J. Role of reactive oxygen species in cell signaling pathways. Biochemical Society Transactions, London, v. 29, 2001.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives in Biochemistry and Biophysics, New York, v.125, p.189-198, 1968. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)

JIMÉNEZ, A.; HERNÁNDEZ, J.A.; PASTORI, G.; DEL RIO, L.A.; SEVILLA, F. Role of ascorbate-glutathione cycle of mitochondria and peroxisomes in the senescence of pea leaves. Plant Physiology, v.118, p.1327-1335, 1998. <https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1327>

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology, Rockville, v.57, p.315-319, 1976. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>

KOMATSU, R. A.; GUADAGNIN, D. D.; BORGIO, M. A. Efeito do espaçamento de plantas sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. Campo Digital, v.5, n.1, p.50-55, Campo Mourão, 2010.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. da. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. Revista Brasileira de Ciência de Solo, v.30, p.741-750, 2006.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400015>

LEVRERO, C. R. Fertilizante organomineral: à serviço do mundo. In: FÓRUM ABISOLO, 2009.

LIMA, M. M. C. C.; PEDROSA, M. G.; BENTZEN, H. R. S.; REIS, V.; MENDONÇA, M. C.; Mota, L. E. O. Fotorrespiração e metabolismo antioxidante em plantas jovens de seringueira cultivadas sob diferentes fontes de nitrogênio ( $\text{NO}_3^-$  -  $\text{eNH}_4^+$ ). Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural de Pernambuco, v. 10, n. 1, 2015.

LOPES, R. M., SEVILHA, A. C., FALEIRO, F. G., SILVA, D. B., VIEIRA, R. F., COSTA, T. S. A. Estudo Comparativo do Perfil de Ácidos Graxos em Semente de Passifloras Nativas do Cerrado Brasileiro. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 32, n. 2, p. 498-506, 2010.

LOURENÇO, R.S. Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teores solúveis e totais de elementos do solo sob o sistema de produção de Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 38, p. 39-65, jan./jun. 1999.

MAGALHÃES, M. A. DE.; MATOS, A. T. DE.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. Campina Grande, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.466-471, 2006.  
<https://doi.org/10.1590/S1415-4366200600020003>

MAGELA, M. L. M.; MIRANDA, M. C. C.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q. Fontes de resíduos orgânicos na composição de fertilizantes organominerais para adubação da cultura do milho. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Bento Gonçalves – RS, 2016.

MARINARI, S. G.; MASCIANDARO, B.; CECCANTI, GREGO, S. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology, v. 72, p. 9-17, (2000). [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00094-2)

MATOS, A. T. DE.; VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C. P.; RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.2, p.199-203, 1998.  
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n02p199-203>

MATYSIK, J.; ALIA; BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygens species by praline under stress in plants. Current Science, Bangalore, v. 82, n. 5, 2002.

MC CULLOUGH, H. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. Clinica Chemica Acta, Amsterdam, v.17, p.297-298, 1967.  
[https://doi.org/10.1016/0009-8981\(67\)90133-7](https://doi.org/10.1016/0009-8981(67)90133-7)

MELLO, D. A. Avaliação econômica do cultivo da soja em rotação e sucessão de culturas:

um estudo de caso no município de Ourinhos-SP. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu – SP, 2015.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, 2000.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, 1994.

METZ, R. Efeito residual de lodo de esgoto alcalinizado sobre a atividade microbiana em três solos do Estado do Paraná, sob cultivo de feijoeiro. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. Plant, Cell and Environment, v.33, p.453-467, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>

MIRANDA, M. C. C.; MAGELA, M. L. M.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q. Biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais na massa de raiz e parte aérea do milho. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Bento Gonçalves – RS, 2016.

MISHRA, S.; DUBEY, R.S. Inhibition of ribonuclease and protease activities in arsenic exposed rice seedlings: role of proline as enzyme protectant. Journal of Plant Physiology, Balti more, v. 163, p. 927 - 936, 2006.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. Revista de Ciências Empresariais, v. 3, n.1 - p.7-15, 2006.

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen gene network of plants. Trends in Plant Science, v.9, p.490-498, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009>

MORAES, R.M., KLUMPP, A., FURLAN, C.M., KLUMPP, G., DOMINGOS, M., RINALDI, M.C.S. & MODESTO, I.F. Tropical fruit trees as bioindicators of industrial air pollution in southeast Brazil. Environment International, v. 28, p. 367-374, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00060-0)

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E. Crescimento da parte aérea e raiz do meloeiro adubado com fertilizante orgânico. Revista Ciencia Agrônômica, v. 44, n. 3, Fortaleza – CE, 2013.

MOTA, R. P. da; Biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais na cultura da soja. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

NUNES JÚNIOR, D. O insumo torta de filtro. IDEA News, Ribeirão Preto, 2005.

NUNES JUNIOR, D. Torta de Filtro: de resíduo a produto nobre. Idea News, n.92, 2008.

NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. Ambiente e Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science, 2016.

OLIVEIRA, A. P.; BARBOSA, A.H.D.; CAVALCANTE, L.F.; PEREIRA, W.E.; OLIVEIRA, A.N.P. Produção da batata-doce adubada com esterco bovino e biofertilizantes. Ciência Agrotécnica, 31:1722-1728, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600018>

OLIVEIRA, F. J. S.; JUCÁ, J. F.T. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. v. 9, n. 3, p. 211- 217, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000300007>

OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, F.C. Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba, 1995.

OLIVEIRA, O. P. Fontes de matéria orgânica para a formulação de fertilizantes organominerais peletizados no desenvolvimento da cultura do sorgo. Dissertação – (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PAGLIAI, M.; GUIDI, G.; LA MARCA, M.; GIACHETTI, M.; LUCAMANTE, G. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. J. Environ. Quality, v.10, p.556-561, 1981. <https://doi.org/10.2134/jeq1981.00472425001000040028x>

PARENT, L. E.; KHIARI, L.; PELLERIN, A. The P fertilization of potato: Increasing agronomic efficiency and decreasing environmental risk. Acta Horticulturae, 627:35-41, 2003. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.627.3>

PEDROSA, M. W.; SEDIYAMA, M. A. N.; Vidigal, S. M.; Santos, M. R.; Salgado, L. T.; NOBRE, M. C. R. Concentração de nutrientes em raízes de três cultivares de cenoura, adubadas com diferentes doses de compostos orgânicos. Revista Brasileira de Agroecologia, 2007.

PEIXOTO, H.P.P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, A.M. Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Londrina, v.11, n.3, p.



137-143, 1999.

PENATTI, C. P.; BONI, P. S. Efeito da torta de filtro na cana planta e cana soca. Centro de Tecnologia Copersucar. Relatório Técnico, Piracicaba, p.7, 1989.

PEREIRA, J. R.; FERREIRA, G. B.; GONDIM, T. M. S.; SANTOS, J.W.; VALE, D. G. Adubação orgânica com torta de filtro de cana-de-açúcar no algodoeiro semiperene BRS. 200 no Cariri Cearense. Anais do V Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador 2005.

PRADO, A. K.; CUNHA, M. E. T. Efeito da aplicação de Lodo de Esgoto e Curtume nas características físico-químicas do solo e na absorção de nitrogênio por feijoeiro (*Plaseolus vulgaris* L.). Cient. Exatas Tecnol, Londrina, v. 10, n. 1, 2011.

PRICE, A. H.; HENDRY, A. Iron- catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environment*, Oxford, v. 14, n. 5, p. 477-484, June 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01517.x>

QUEVEDO, C. M. G de.; PAGANINI, W. S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. *Ciência e Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v.16, n. 8, 2011.

RESENDE JUNIOR, 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, 2016.

RIMA, J. A.; MARTIM, S. A.; DOBBSS, L. B.; EVARISTO, J. A.; RETAMAL, C. A.; FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P. Adição de ácido cítrico potencializa a ação de ácidos húmicos e altera o perfil protéico da membrana plasmática em raízes de milho. *Ciência Rural*, v.41, n.4, p.614-620, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000400011>

RODRIGUES, A. L. N.; VELOSO, C. A. C; EL-HUSNY, J. C; CORRÊA, J. R. V; CARVALHO, E. J. M; SOUZA, F. R. S. DE; MARTINEZ, G. B. Adubação fosfatada e potássica na cultura da soja em latossolo amarelo do Estado do Para. XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Gramado RS, 2007.

ROMEIRO, J.C.T. Parâmetros Químicos da solução de um solo fertilizado com lodo de esgoto em bananeiras irrigadas. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - UNESP. Botucatu, 2007.

RYTER, S. W.; TYRREL, R. M. Single molecular oxygen ( $1O_2$ ): a possible effector of eukaryotic gene expression. *Free Radical Biology and Medicine*, New York, v. 24, 1998.

SALCEDO, I.H. Fertilidade do solo e agricultura de subsistência: Desafios para o semi-árido nordestino. FERTBIO 2004, Lages, 2004.



SANLI, A.; KARADOĞAN, T.; TONGUC, M. Effects of leonardite applications on yield and some quality parameters of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Turkish Journal of Field Crops, v. 18, n. 1, 2013.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. Embrapa Soja, Londrina, 2008.

SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. Journal of Plant Physiology, Rockville, v. 162, 2005.

SILVA, E. P.; MOTA S.; AQUINO, B. F. Potencial do lodo de esgoto de indústria têxtil como fertilizante agrícola. Engenharia Ambiental e Sanitária, v.8, p.69-76. 2003.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al . Fertilidade do solo . Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 6, p. 275-374

SILVA, M. S. Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. Ciências e Tecnologia de Alimentos, v. 26, n. 3, p. 571-576, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000300014>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Estudo Trata Brasil "Ranking do Saneamento – 2015. < <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil> > Acesso em: 09 de jun. 2017.

SMIRNOFF, N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytol. v.125, (1993). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x>

SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q.J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. Phytochemistry, Murcia, v. 28, p. 1057-1060, 1989. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(89\)80182-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(89)80182-7)

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

SOUZA, C. A.; VITTI, A. C.; SANQUETTA, C. R.; GAITAROSSA, E.C. Produção de biomassa de cana de açúcar por meio do uso de organomineirais em cana planta e cana soca. BIOFIX Scientific Journal, v.1, n.1, 2016.

SOUZA, D.V. DE; CABRAL, J. B. P.; LOPES, R. M.; REIS, M.A.S.; OLIVEIRA, S.F. Análise pluviométrica da cartatopográfica de Patos de Minas referente ao período de 1978 a 2003. Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC - Fortaleza, CE -Julho/2005.

SOUZA, J.L. DE; PREZOTTI, L.C. Estudos de solos em função de diversos sistemas de adubação orgânica e mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO OLERICULTURA, 37.

Manaus-AM. Anais..., Horticultura Brasileira, n.16, v.1, 1997.

SOUZA, M.R.F. Uso do lodo de curtume como fonte de nutrientes em plantas forrageiras. Dissertação – (Mestrado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

TAMANINI, C. R.; ANDREOLI, C. V.; MOTTA, A. C. V.; DOETZER, B. H.; PERGORINI, E.S. Estudo da utilização de altas doses de biossólido na recuperação de área decapada em São José dos Pinhais. 23º C. Br.de Eng. Ambiental e Sanitária, Campo Grande, 2005.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*), Plant Science, Amsterdam, v.153, p.65-72, 2000.  
[https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00257-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00257-5)

TIRITAN, C.S.; SANTOS, D.H.; BORDINI, R.A.; FOLONI, J.S.S.; ONISHI, R.Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. Colloquium Agrariae, v. 6, n.1, p. 01-07, 2010.

TREVISAN, S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: From environmental aspects to molecular factors. Plant signaling e Behavior, Bethesda, v. 5, 2010.

ULUKAN, H. Humicacidsintofieldcropscultivation. KSU Journal of Science and Engineering, p.119-127, 2008.

VASCONCELOS, A. C. F.; ZHANG, X.; ERVIN, E. H.; KIEHL, J. C. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. Sci. Agric. Piracicaba, 2009.

VEIGA, G. F. M.; VIERA, J. R.; MORGADO, I. F. Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do Estado do Rio de Janeiro: relatório de pesquisa. Rio de Janeiro: FAERJ, SEBRAE, p. 107, 2006.

VIEIRA, R. F.; TANAKA, R. T.; TSAI, S. M.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. M. M. de S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, p.919-926, 2005.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000900012>

VITTI, G. C.; OLIVEIRA, D. B. DE; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: p. 121-138, 2006.

WARNER, R. H. Superoxide dismutase, aging and degenerative disease. Free Radical Biology and Medicine, New York, v. 17, n. 3, p. 249-258, 1994.  
[https://doi.org/10.1016/0891-5849\(94\)90080-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(94)90080-9)

WELTMEIER, F.; EHLERT, A.; MAYER, C.S.; DIETRICH, K.; WANG, X.; SCHÜTZE, K.; ALONSO, R.; HARTER, K.; VICENTE - CARBAJOSA, J.; DRÖGE - LASER, W.

Combinatorial control of Arabidopsis proline dehydrogenase transcription by specific heterodimerization of bZIP transcription factors. The EMBO Journal, London, v. 25, 2006.

WORLD AGRICULTURAL SUPPLY AND DEMAND ESTIMATES - USDA. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>. Acesso em: 30 jan 2014.

## ANEXOS

**Anexo 1** - Resumo dos dados gerados através do quadro de análise de variância para peso de massa seca de raiz, caule, folha e vagem, em função das fontes de matéria orgânica na composição (F) e níveis de fertilizantes organominerais (D) aos 30, 60 e 80 DAS na cultura da soja.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios								
		30 DAS			60 DAS			80 DAS		
		Raiz	Caule	Folha	Raiz	Caule	Folha	Caule	Folha	Vagem
Fontes	1	2,06*	5,64*	3,34*	0,30 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	0,24 <sup>NS</sup>	33,04*	4,57*	0,15 <sup>NS</sup>
Doses	4	2,60*	5,45*	1,80*	7,45*	6,39*	3,63*	25,80*	36,48*	5,19 <sup>NS</sup>
FxD	4	5,79 <sup>NS</sup>	0,79*	0,27 <sup>NS</sup>	4,30*	13,20*	8,12*	16,79*	2,44*	1,53 <sup>NS</sup>
Resíduo	36	0,21	0,19	0,20	0,71	0,59	0,34	1,30	0,56	2,18
CV %		13,06	8,51	9,09	15,99	6,45	5,96	8,94	7,07	37,93

\* Significativo a 5%; NS - Não significativo

**Anexo 2** - Limites máximos dos componentes químicos e biológicos permitidos em lodo de esgoto ou produto derivado.

Parâmetro	Brasil – Resolução nº 375/2006	São Paulo – P 4230 CETESB
Concentração máxima de metais pesados permitidos no lodo de esgoto em mg kg <sup>-1</sup>		
Arsênio	41	75
Bário	1300	-
Cádmio	39	85
Chumbo	300	300
Cobre	1500	4300
Cromo	1000	-
Mércurio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	100	-
Zinco	2800	7500

Parâmetro	Brasil – Resolução n° 375/2006	São Paulo – P 4230 CETESB
Agentes patogênicos em lodo de esgoto ou produto derivado		
Coliformes Termotolerantes	< 10 <sup>3</sup> NMP/g de ST	< 2,0 NMP/g de ST
Ovos viáveis de Helmintos	< 0,25 ovo/g de ST	-
<i>Salmonella sp.</i>	Ausência em 10 g de ST	< 3 NMP/ 4 g de ST
<i>Virus entéricos</i>	< 0,25 UFP ou UFF/g de ST	-

Nota: ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFP: Unidade Formadora de Placa; UFF: Unidade Formadora de Foco.

Fonte: Adaptado de CONAMA (2006); CETESB (1999).

**Anexo 3** - Atributos químicos e biológicos presente no lodo de esgoto tratado com cal hidratada, utilizado no experimento.

Atributos químicos: metais pesados						Atributos biológicos
Zn	Cu	Cd	Cr	Ni	Pb	Coliformes termotolerantes
mg kg <sup>-1</sup>						NMP g <sup>-1</sup> ST
1180	157,91	0,45	83,340	19,86	Nd	0,71

Fonte: ALVES FILHO (2014).

**Anexo 4** - Atributos químicos presente no lodo de esgoto tratado com cal hidratada, utilizado no experimento.

Nutrientes químicos do lodo de esgoto					
M.O	C	N	Na	Mn	Al
g kg <sup>-1</sup>					
368,60	213,80	20,88	0,61	0,14	20,10
Ca	Mg	P	K	S	Fe
g kg <sup>-1</sup>					
302,0	4,2	1,6	0,6	12,4	12,75

Fonte: ALVES FILHO (2014).

**Anexo 5** - Visualização de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de fertilizante organomineral utilizando como fonte lodo de esgoto higienizado, aos 30 dias após a semeadura, Patos de Minas, 2017.



Fonte: A autora.

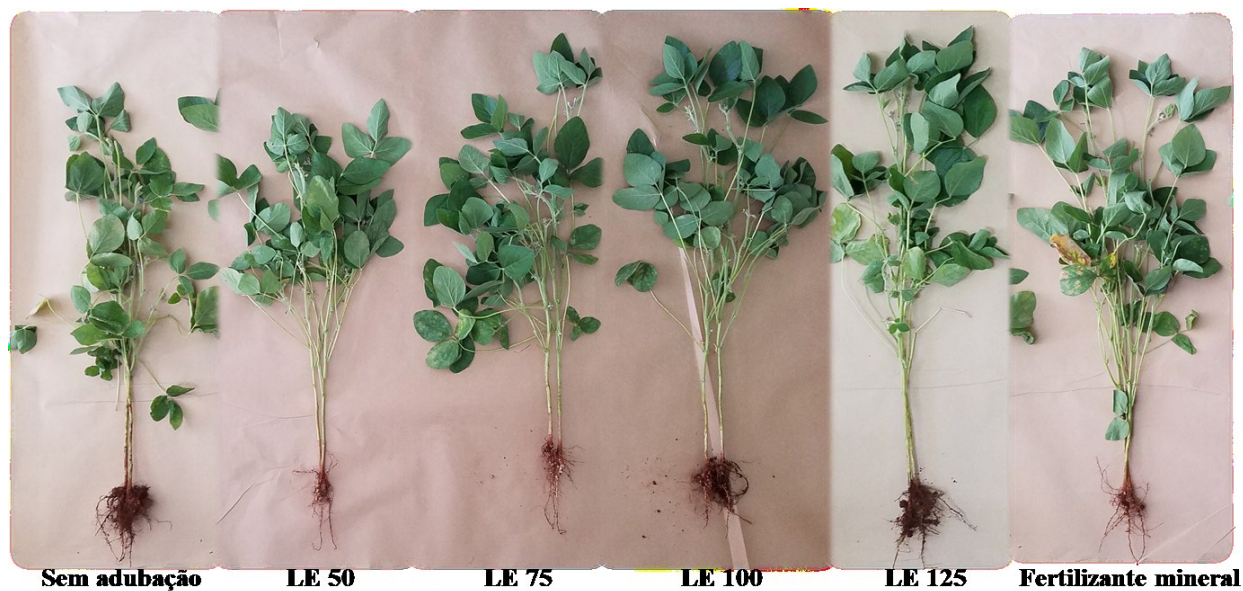
**Anexo 6** - Visualização de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de fertilizante organomineral utilizando como fonte torta de filtro, aos 30 dias após a semeadura, Patos de Minas, 2017.



Fonte: A autora.



**Anexo 7** - Visualização de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de fertilizante organomineral utilizando como fonte lodo de esgoto higienizado, aos 80 dias após a semeadura, Patos de Minas, 2017.



Fonte: A autora.

**Anexo 8** - Visualização de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de fertilizante organomineral utilizando como fonte torta de filtro, aos 80 dias após a semeadura, Patos de Minas, 2017.



Fonte: A autora.

**Anexo 9** - Folhas danificadas de plantas de soja quando aplicado o fertilizante organomineral formulado a partir de torta de filtro na dose de 125% recomendada para campo, Patos de Minas – MG, 2017.



**TF 125**

Fonte: A autora.