

Universidade Federal de Pelotas
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Dissertação

**Toxicidade em Compostagem de Biossólido do Tratamento de Efluentes
do Abate de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes**

Gabriel Afonso Martins

Pelotas, 2019

Gabriel Afonso Martins

**Toxicidade em Compostagem de Biossólido do Tratamento de Efluentes
do Abate de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M379t Martins, Gabriel Afonso

Toxicidade em compostagem de biossólido do tratamento de efluentes do abate de suínos com diferentes materiais estruturantes / Gabriel Afonso Martins ; Érico Kunde Corrêa, orientador. — Pelotas, 2019.

72 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Biodegradação. 2. Lodo. 3. Fitotoxicidade. 4. Citotoxicidade. 5. Genotoxicidade. I. Corrêa, Érico Kunde, orient. II. Título.

CDD : 636.4

Gabriel Afonso Martins

**Toxicidade em Compostagem de Biossólido do Tratamento de Efluentes
do Abate de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 14/08/2019

Banca examinadora:

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa

Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Michel David Gerber

Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Thomaz Lucia Jr.

Doutor em Medicina Veterinária pela University of Minnesota, EUA

Prof. Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior

Doutorado em Ciências Fisiológicas pela Universidade Federal do Rio Grande

**Dedico esse trabalho à minha mãe
Donizeti Cruciel Afonso, ao meu pai Álvaro
Miguel Moreira Martins e à minha irmã
Eduarda Afonso Schein.**

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha mãe, Donizeti Cruciel Afonso, por toda a dedicação e esforço para que eu tivesse a melhor formação possível.

Ao meu pai, Álvaro Miguel Moreira Martins, que sempre se fez presente quando possível, me mostrando a importância de estudar e demonstrando sua preocupação com o meu futuro.

À minha irmã, Eduarda Afonso Schein, que me acompanha há tanto tempo na jornada da vida e que sempre foi minha companheira nos bons e nos maus momentos.

Ao meu avô, Adir da Silva Afonso (*in memoriam*), que despertou minha curiosidade pela ciência quando eu ainda era criança e acabou me influenciando a tomar o caminho da pesquisa.

Ao meu tio, Tonilar Cruciel Afonso (*in memoriam*), que me ensinou a importância e o orgulho de ser um servidor público.

À toda minha família e amigos por todo amor e compreensão.

Ao Professor João Nelci Brandalise, que sem dúvida foi um grande motivador deste trabalho, por quem tenho profunda admiração e gratidão.

Aos colegas Lucas Lourenço Castiglioni Guidoni, Matheus Francisco da Paz, Pablo Machado Mendes e Thayli Ramires Araujo por terem me ajudado a suportar e superar esse desafio que acabou se tornando para mim uma grande lição de vida.

Ao meu Orientador, Professor Érico Kunde Corrêa e à Professora Luciara Bilhalva Corrêa que me guiaram e que tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao grupo NEPERS, onde várias pessoas, entre Servidores, Pós-graduandos e Graduandos, contribuíram para esta pesquisa.

“O homem não é nada além daquilo que a educação faz dele”

Immanuel Kant

RESUMO

Martins, Gabriel Afonso. **Toxicidade em Compostagem de Biossólido do Tratamento de Efluentes do Abate de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes**. 2019. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, 2019.

A demanda por alimentos no mundo tem aumentado e a procura por proteína animal acompanha esse crescimento. Em termos de consumo, a carne de suíno é a principal no mundo e o Brasil se encontra entre os maiores produtores e exportadores. No entanto, muito resíduo acaba sendo gerado e o efluente de abatedouros possui uma elevada carga de matéria orgânica, por isso, é feito um tratamento para que esse material cause o menor impacto possível. Porém, esse tratamento acaba gerando biossólido o qual possui elevada carga microbiana e necessita de disposição ambientalmente adequada. A compostagem é uma alternativa promissora para tratar resíduos orgânicos, por ser um método de reciclagem o qual forma um composto quimicamente e microbiologicamente estável, podendo ser utilizado como adubo orgânico. Contudo, se faz necessária a presença de oxigênio para que ocorra a degradação microbiológica por via aeróbia a fim de se evitar maus odores e a formação de chorume. Para tanto, podem ser utilizados materiais estruturantes para proporcionar ao biossólido uma característica granulada, tornando a leira porosa. Isto permite a retenção de ar atmosférico em seu interior após o revolvimento. O objetivo do presente trabalho foi estudar o processo de compostagem na estabilização de lodo da estação de tratamento de efluentes do abate de suínos, utilizando como materiais estruturantes serragem, cama de aviário, resíduo de tabaco e casca de arroz. Foram montadas oito leiras representando quatro tratamentos em duplicata. A compostagem ocorreu em um período de 132 dias, onde foram analisados parâmetros físico-químicos e toxicológicos como citotoxicidade e genotoxicidade de amostras de cada leira ao longo de 7 coletas. Os resultados indicam que a compostagem ocorreu dentro do esperado. Os resultados toxicológicos indicam que o composto ainda apresenta toxicidade para os bioindicadores e métodos utilizados, por isso, é interessante que mais pesquisas sejam feitas nesse sentido.

Palavras-chave: biodegradação, lodo, fitotoxicidade, citotoxicidade, genotoxicidade.

ABSTRACT

Martins, Gabriel Afonso. **Biosolid Composting Toxicity from Swine Slaughter Effluent Treatment with Different Structuring Materials**. 2019. 72f. Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Postgraduate Program in Food Science and Technology. Federal University of Pelotas, 2019.

Demand for food in the world has been increasing and the demand for animal protein follows this growth. In terms of consumption, pork is the main one in the world and Brazil is among the largest producers and exporters. However, much waste is generated and the slaughterhouse effluent has a high load of organic matter, so a treatment is done to make the material have the least impact. However, this treatment ends up generating biosolid which has high microbial load and needs an environmentally appropriate disposal. Composting is a promising alternative for treating organic waste, as it is a recycling method which forms a chemically and microbiologically stable compound and can be used as organic fertilizer. However, oxygen is required for aerobic microbiological degradation to occur in order to avoid bad odors and slurry formation. For this purpose, structuring materials can be used to give the biosolid a granular characteristic, making the swath porous. This allows the retention of atmospheric air inside it after revolving. The objective of the present work was to study the composting process in the sludge stabilization of the swine slaughtering effluent treatment plant, using as structuring materials sawdust, poultry litter, tobacco residue and rice husk. Eight rows were set up representing four duplicate treatments. Composting took place over a period of 132 days, during which physicochemical and toxicological parameters were analyzed, such as cytotoxicity and genotoxicity of samples from each swath over 7 collections. Results indicate that composting occurred as expected. The toxicological results indicate that the compound still presents toxicity to the bioindicators and methods used, so it is interesting that more research be done in this direction.

Keywords: biodegradation, sludge, phytotoxicity, cytotoxicity, genotoxicity.

Lista de Figuras

Capítulo 1

Figura 1 – Temperatura do ambiente e das leiras com os diferentes tratamentos ao longo dos 132 dias de compostagem.....	35
--	----

Capítulo 2

Figura 2 – Fotos de células de <i>Allium cepa</i>	57
--	----

Capítulo 1

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos do lodo e dos materiais estruturantes.....	36
Tabela 2 - Umidade (%) dos tratamentos ao longo de 132 dias.....	37
Tabela 3 - Relação Carbono/Nitrogênio dos tratamentos ao longo de 132 dias.....	38
Tabela 4 – pH dos tratamentos ao longo de 132 dias.....	39
Tabela 5 – Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos tratamentos ao longo de 132 dias.....	40
Tabela 6 – Fósforo (%) dos tratamentos ao longo de 132 dias.....	41

Capítulo 2

Tabela 7 – Índices de Germinação (%) do lodo e dos materiais estruturantes usando sementes de alface, pepino e rabo-de-galo.....	49
Tabela 8 – Índices de Germinação (%) do lodo e dos materiais estruturantes usando sementes de soja convencional (IGSC), soja transgênica (IGST), trigo (IGTRI) e arroz (IGAZ).....	49
Tabela 9 – Índice de Germinação (%) (IGCB), Índice Mitótico (%) (IM) e Frequência de Aberrações Cromossômicas (%) (FAC) do lodo e dos materiais estruturantes utilizando sementes de cebola (<i>Allium cepa</i>).....	50
Tabela 10 – Índice de Germinação (%) com sementes de Pepino ao longo de 132 dias.....	51
Tabela 11 – Índice de Germinação (%) com sementes de Alface ao longo de 132 dias.....	52
Tabela 12 – Índice de Germinação (%) com sementes de Rabo de Galo ao longo de 132 dias.....	53
Tabela 13 – Índice de Germinação (%) com grãos de Soja convencional nos dias 0 e 132.....	54
Tabela 14 – Índice de Germinação (%) de Soja transgênica nos dias 0 e 132.....	54
Tabela 15 – Índice de Germinação (%) com grãos de Trigo nos dias 0 e 132.....	55
Tabela 16 – Índice de Germinação (%) com grãos de Arroz nos dias 0 e 132.....	55
Tabela 17 - Índice de Germinação (%) com sementes de cebola (<i>Allium cepa</i>) ao longo de 132 dias.....	56
Tabela 18 - Índice Mitótico (%) em células de cebola (<i>Allium cepa</i>) ao longo de 132 dias.....	58

Tabela 19 - Frequência de Aberrações Cromossômicas (%) em células de cebola (*Allium cepa*).....59

Lista de abreviaturas e siglas

U Umidade

CE	Condutividade Elétrica
C/N	Carbono/Nitrogênio
P	Fósforo
LSE	Tratamento com bio sólido e serragem
LSA	Tratamento com bio sólido, serragem e cama de aviário
LST	Tratamento com bio sólido, serragem e resíduo de tabaco
LSC	Tratamento com bio sólido, serragem e casca de arroz
IGP	Índice de Germinação de Pepino
IGA	Índice de Germinação de Alface
IGRG	Índice de Germinação de Rabo de Galo
IGSC	Índice de Germinação de Soja convencional
IGST	Índice de Germinação de Soja transgênica
IGT	Índice de Germinação de Trigo
IGAZ	Índice de Germinação de Arroz
IGCB	Índice de Germinação de Cebola
IM	Índice Mitótico
FAC	Frequência de Aberração Cromossômica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivo Geral.....	17

1.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 Biossólido.....	18
2.2 Compostagem.....	18
2.3 Materiais Estruturantes.....	19
2.3.1 Serragem.....	19
2.3.2 Casca de Arroz.....	20
2.3.3 Cama de Aviário.....	20
2.3.4 Resíduo de Tabaco.....	20
2.4 Análises Toxicológicas.....	21
2.4.1 Fitotoxicidade.....	21
2.4.2 Citotoxicidade e Genotoxicidade.....	21
2.4.2.1 Citotoxicidade.....	22
2.4.2.2 Genotoxicidade.....	22
2.5 Bioindicadores.....	22
2.5.1 Arroz.....	23
2.5.2 Soja.....	23
2.5.3 Trigo.....	24
2.5.4 Alface.....	24
2.5.5 Pepino.....	24
2.5.6 Rabo-de-galo.....	24
2.5.7 Cebola.....	25
2.6 Análises Físico-químicas.....	25
2.6.1 Temperatura.....	25
2.6.2 Umidade.....	25
2.6.3 pH.....	26
2.6.4 Condutividade Elétrica.....	26
2.6.5 Relação Carbono/Nitrogênio.....	27
2.6.5.1 Carbono Orgânico Total.....	27
2.6.5.2 Nitrogênio Total.....	27
2.6.6 Fósforo.....	28
3 METODOLOGIA.....	29
4 Capítulo 1 - Parâmetros Físico-Químicos de Compostagem de Biossólido de Efluente de Abatedouro de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes....	30

4.1 Introdução.....	32
4.2 Materiais e Métodos.....	33
4.2.1 Análises Físico-Químicas.....	33
4.2.2 Análises de Macro Nutrientes.....	33
4.3 Resultados e Discussões.....	34
4.4 Conclusão.....	41
Referências.....	42
5 Capítulo 2 - Avaliação Toxicológica de Composto de Biossólido de Efluente de Abatedouro de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes.....	45
5.1 Introdução.....	47
5.2 Materiais e Métodos.....	48
5.2.1 Análises Toxicológicas.....	48
5.3 Resultados e Discussões.....	48
5.4 Conclusão.....	60
Referências.....	61
6 CONCLUSÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

O mundo hoje conta com uma população superior a 7,5 bilhões de pessoas, diante disso, um dos maiores desafios que se enfrenta é o problema da fome. Estima-se que em 2050, chegaremos à população de 10 bilhões de habitantes no planeta e uma das maiores questões é se todos os povos terão capacidade para atender às suas necessidades nutricionais mínimas (MOSELEY, 2017).

Sendo um dos principais nutrientes da dieta humana, as proteínas são indispensáveis para a manutenção, estruturação e regulação do organismo. No entanto, cerca de 1 bilhão de pessoas apresentam consumo inadequado crônico de proteína (WU, 2014).

A carne mais consumida do mundo é a carne suína (GERVÁSIO, 2013) e o Brasil se encontra entre os maiores produtores e exportadores do mundo. Além disso, a produção de suínos para abate envolve uma cadeia produtiva que compreende produtores de grãos, fábricas de ração, transportadoras, frigoríficos e abatedouros (MIELE, 2007).

Criar e abater suínos são processos que envolvem uma grande geração de efluente com excesso de carga orgânica, o que é prejudicial à qualidade do meio ambiente, pois, pode causar graves problemas ao meio ambiente, como a eutrofização de corpos hídricos (GERBER, 2017). Deste modo, se faz necessário um tratamento para reduzir a matéria orgânica do efluente e atenuar seu efeito deletério ao ambiente (VERKH, 2018).

Durante o processo de tratamento de efluentes agroindustriais, é gerada uma biomassa, denominada lodo ou bio sólido, composta basicamente por microrganismos e matéria orgânica. Esse resíduo causa um grave impacto ambiental se for disposto em sua forma *in natura*, portanto, é imprescindível que haja um tratamento a fim de estabilizar esse bio sólido (SILVA, 2018).

A lei 12.305 (BRASIL, 2010), a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe sobre a gestão integrada, o gerenciamento de resíduos, a responsabilidade direta ou indireta entre os geradores e o poder público. Também fala da disposição ambientalmente adequada, sendo necessário realizar o tratamento para cada tipo de resíduo, seja a redução, a reutilização, a reciclagem ou algum tratamento prévio caso seja necessário o descarte em aterros.

A compostagem surge como uma alternativa para esse problema, quando, por meio de um processo controlado, a matéria orgânica é degradada por microrganismos aeróbicos gerando um composto o qual pode ser aproveitado como fertilizante orgânico (SANCHEZ-MONEDERO, 2018).

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo verificar qual combinação de materiais estruturantes proporciona uma melhor estabilização do bio sólido a qual permita que o composto gerado seja útil para fertilização de solo destinado à agricultura.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência de diferentes materiais estruturantes sobre parâmetros físico-químicos como temperatura, umidade, relação carbono/nitrogênio, Fósforo, pH e Condutividade Elétrica de composto de lodo de estação de tratamento de efluentes de abatedouro de suínos.

- Estudar o efeito do uso do composto como adubo sobre o crescimento e desenvolvimento de tecidos, células e material genético de diferentes vegetais através de ensaios de Fitotoxicidade, Citotoxicidade e Genotoxicidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Biossólido

O tratamento de efluentes gera um resíduo conhecido como lodo ativo que é resultante do desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela degradação da carga orgânica e que por consequência acabam formando esse biossólido (GEED, 2017). Essa biomassa, portanto, é rica em nutrientes e geralmente apresenta presença de patógenos em sua composição (ENNOURI, 2016).

Esse resíduo necessita de uma disposição adequada devido ao fato de conter substâncias orgânicas, microrganismos, algum deles patogênicos (MUHMOOD, 2018) e possivelmente, substâncias tóxicas, seja do próprio efluente como antibióticos (HE, 2016) e metais pesados (AL-GHEETHI, 2015), ou resultantes do processo de degradação como nitritos (WANG, 2011) e ácidos orgânicos (SHOU, 2017).

Sendo assim, o lodo não deve ser descartado in natura, pois, esse material sofrerá degradação anaeróbia (sem a presença de oxigênio), produzindo gases tóxicos, mal cheirosos e até inflamáveis (JIA, 2017), com isso, propiciara a proliferação de insetos que são potenciais vetores de doenças (MUDRUŇKA, 2017).

Esse processo também acarretará na formação de chorume, um líquido viscoso composto por substâncias tóxicas que podem acabar lixiviando e contaminando o lençol freático (BERTANI, 2017).

2.2 Compostagem

Uma forma de estabilizar o biossólido é por meio da compostagem, um processo controlado de reciclagem de matéria orgânica através da degradação microbiológica aeróbia, onde os próprios microrganismos do composto degradam o material, convertendo em um composto mineralizado sem formação de chorume (TAMBONE, 2015) e liberando basicamente CO₂ e água (CZEKAŁA, 2016). O processo de compostagem elimina o mau cheiro e contribui para a redução da toxicidade. Durante esse processo, também ocorre geração de calor em uma fase denominada termofílica, a qual é possível pelo metabolismo dos microrganismos e

com esse aumento de temperatura, a presença de insetos (MIHAI, 2018) e de microrganismos patogênicos (QIAN, 2016) é inibida.

Para alcançar a fase termofílica, é preciso favorecer a degradação da matéria orgânica pela via aeróbia, a qual exige a presença de oxigênio no meio e para garantir isso, é feito o revolvimento da leira, proporcionando que todo o material entre em contato com o ar atmosférico e conseqüentemente com o oxigênio presente no mesmo (ZENG, 2016). Diante do exposto, é importante que se façam mais trabalhos que estudem processos de compostagem de biossólido com diferentes estruturantes em diferentes proporções, pois esses ainda são escassos na literatura.

2.3 Materiais Estruturantes

O lodo é um material que possui a característica de se compactar, dessa forma, o interior da leira não consegue manter o oxigênio e isso compromete a degradação aeróbia e favorece a via anaeróbia. Para casos como este, utilizam-se materiais estruturantes que possam dar ao biossólido uma granulometria, que permita criar espaços intersticiais na leira, possibilitando que o oxigênio permaneça mais tempo em seu interior (WU, 2015).

Materiais estruturantes, também podem oferecer outras vantagens como regular o teor de umidade ou balancear a relação C/N. Além disso, existem muitos resíduos de outras fontes que podem servir como material estruturante. Dessa forma, é possível dar uma destinação mais adequada, tanto para o biossólido, quanto para o resíduo que for utilizado como material estruturante (TEIXEIRA, 2016). Podem-se citar, como exemplos, resíduos como serragem, casca de arroz, cama de aviário e resíduo de tabaco.

2.3.1 Serragem

A serragem, um resíduo proveniente das indústrias madeireira e moveleira, é um material lignocelulósico amplamente utilizado em processos de compostagem por regular a umidade, podendo também elevar a relação C/N caso esta esteja abaixo do ideal, uma vez que a serragem contém um alto teor de carbono em sua composição (SHI, 2018).

2.3.2 Casca de Arroz

O Rio Grande do Sul é o Estado Brasileiro que mais produz arroz (ROSA, 2015), no entanto, nessa produção a casca de arroz é descartada, gerando um resíduo que deve ser destinado de forma ambientalmente correta. Algumas indústrias usam a casca de arroz como fonte de energia queimando-a em fornos de caldeiras, porém, isso acaba gerando a cinza, material com alta concentração de metais, de difícil transporte e disposição (PODE, 2016). Portanto, a compostagem pode ser um caminho mais apropriado para a casca de arroz, pois possui algumas características semelhantes as da serragem.

2.3.3 Cama de Aviário

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de carne de frango do mundo, sendo a cama de frango um dos principais resíduos da indústria avícola (VALENTE, 2015). A cama de frango é utilizada para tornar o piso mais confortável para os animais, ajuda a manter a temperatura do ambiente e absorve a excreta, células mortas, penas, restos de ração e água desperdiçada dos bebedouros, o que torna esse resíduo rico em nutrientes. Geralmente, o material utilizado para compor a cama é lignocelulósico e não só pode ser usado como material estruturante, como por si só, já é um resíduo que necessita de destino adequado (JUNIOR, 2018).

2.3.4 Resíduo de Tabaco

Outro material que pode ser utilizado como estruturante em leiras de compostagem é o resíduo da produção de tabaco e o Brasil é o segundo maior produtor do mundo ficando atrás somente da China (FASSA, 2014). Estima-se que cerca de 25% do tabaco produzido acaba se tornando resíduo e por se tratar de um material de origem vegetal (WU, 2015), possui potencial para aperfeiçoar processos de reciclagem de matéria orgânica (ZHAO, 2017).

2.4 Análises Toxicológicas

No que diz respeito, seja na área ambiental, seja na área da produção de alimentos, algo para ao qual deve se dar total atenção é para a questão toxicológica. Substâncias tóxicas causam efeitos deletérios aos seres vivos, e podem estar presentes nos mais diferentes meios, inclusive na agroindústria como metais pesados (YANG, 2017), pesticidas (CASTILLO, 2016), entre outros.

Portanto, para que se possa dar um destino adequado para os resíduos provenientes da atividade agroindustrial, é imprescindível que se façam análises que demonstrem qual o nível de toxicidade do material para que se possa dar o tratamento e destinação adequados para este.

2.4.1 Fitotoxicidade

No processo de compostagem podem ser utilizados materiais que apresentam algum nível de toxicidade, por tanto é importante que sejam feitos ensaios que indiquem se ocorrem alterações no efeito tóxico ao longo do processo de compostagem a fim de se obter um composto que cause o menor impacto ambiental possível.

Uma vez que os compostos tenham a finalidade de servir como adubo, é importante saber se este causa algum efeito deletério em plantas e um dos ensaios utilizados para determinar essa toxicidade é o Índice de Germinação, onde são utilizadas sementes como bioindicadores sendo expostas ao extrato aquoso do composto e então são observadas quantas germinaram e qual o comprimento das suas raízes (LIBRALATO, 2016).

2.4.2 Citotoxicidade e Genotoxicidade

Uma das técnicas de avaliar a citogenotoxicidade de um material consiste na observação do desenvolvimento de células do tecido meristemático de plantas. Um tecido amplamente utilizado é o Meristema de raízes de *Allium cepa* (cebola), por isso, esse bioindicador é recomendado para trabalhos nos quais são pesquisadas amostras que não se tem grande conhecimento a respeito de sua toxicidade. (RIBEIRO, 2016).

2.4.2.1 Citotoxicidade

No caso da citotoxicidade é determinado o Índice Mitótico (IM) observando um número total de células (que pode variar dependendo da proposta da pesquisa) em cada repetição e verificando quantas estão em divisão, ou seja, quantas estão na fase Prófase, Metáfase, Anáfase e Telófase. Ao final divide-se o número de células em divisão pelo número total de células, obtendo assim, o Índice Mitótico (TARANATH, 2015).

Se o IM for menor que o do controle, isso indica que a amostra inibe o desenvolvimento do tecido, porém, se for maior, pode ser que a amostra seja promotora de crescimento, mas pode também causar um efeito deletério no sentido de forçar a divisão celular provocando desordem na proliferação celular podendo levar ao desenvolvimento de tumores (LAUGHINGHOUSE, 2012).

2.4.2.2 Genotoxicidade

Na análise de genotoxicidade é avaliada a frequência com que ocorrem danos e distúrbios no material genético da célula durante as fases da divisão mitótica. Aberrações cromossômicas podem ser provocadas por metais pesados e pesticidas (HAQ, 2017) e podem causar diversos problemas, como danos na membrana celular, disfunção da produção de proteínas, levando a problemas no crescimento e desenvolvimento do organismo (FELISBINO, 2018).

2.5 Bioindicadores

Para realizar análises toxicológicas, é necessária a utilização de material biológico, como células, microrganismos, sementes, peixes, etc. É importante o uso de bioindicadores, pois, estes mostram com maior precisão quais são os efeitos que uma amostra pode causar ao interagir com algum organismo e, dessa forma, tem-se um melhor diagnóstico sobre o impacto que poderá ocorrer ao meio ambiente e, a partir daí, se torna mais viável propor soluções para o problema com o qual se está lidando (BELLINGER, 2015; PARMAR, 2016).

2.5.1 Arroz (*Oryza sativa*)

A produção mundial de arroz mais que dobrou nos últimos 30 anos (SPINDEL, 2015), sendo que mais da metade da população mundial tem esse grão como base da sua alimentação (RATHNAYAKA, 2018).

A Ásia é o continente que mais produz e consome arroz no mundo (MUTHAYYA, 2014). O Brasil se destaca na América do Sul sendo o maior produtor do Mercosul com uma produção que corresponde a mais de 70% (SANTOS, 2018). A região Sul do Brasil que compreende os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, é responsável por 79% da produção nacional de arroz (AZEREDO, 2017).

O arroz é um excelente alimento, pois, além de ser uma ótima fonte de amido, também oferece nutrientes importantes como minerais, vitaminas e proteínas, além de possuir um baixo teor de lipídios (WALTER, 2008).

2.5.2 Soja (*Glycine max*)

A soja é uma leguminosa originária da Ásia que consegue se adaptar tanto ao clima tropical quanto ao clima subtropical. Esse grão chegou ao Brasil em 1882 e passou a ser cultivada no Rio Grande do Sul por volta de 1914 (ROESSING, 2001).

Segundo relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos haverá um crescimento de 5,3% da produção de soja a nível global, o que corresponde a 354,54 milhões de toneladas e o Brasil é um dos maiores produtores com uma produção de 117 milhões de toneladas (COSTA, 2018).

Este grão tem grande importância pelo seu alto teor de óleo, cerca de 18%, e de proteína bruta que pode chegar a 37%, sendo que sua composição contém aminoácidos essenciais. Por isso a soja é amplamente utilizada tanto para nutrição humana quanto para nutrição animal (LIMA, 2014).

2.5.3 Trigo (*Triticum spp.*)

O trigo é um dos cereais mais cultivados no mundo e o pão feito de sua farinha é um dos alimentos mais consumidos representando 20% de todas as calorias ingeridas pelos humanos (WANG, 2014).

O trigo foi introduzido no Brasil em 1914 trazido por colonizadores e no ano de 2013 a sua produção chegou a cerca de 5 milhões de toneladas. Só no Rio Grande do Sul foram produzidos 2,5 milhões de toneladas em uma área de mais de 1 milhão de hectares (FOLLMANN, 2017).

2.5.4 Alface (*Lactuca sativa*)

Essa hortaliça é bastante versátil podendo se adaptar a diferentes faixas de temperatura (GRAHN, 2015), no entanto, esse vegetal também apresenta uma boa sensibilidade em testes de germinação e por isso é considerado um ótimo bioindicador (PRIAC, 2017).

É uma das folhosas mais produzidas e consumidas no Brasil graças a sua versatilidade para cultivo e propriedades nutricionais (ABCSEM, 2014).

2.5.5 Pepino (*Cucumis sativus*)

O pepino é uma Cucurbitaceae rica em amido, açúcares e fibras (ZHAO, 2014) e esse fruto é produzido nas mais diversas regiões do mundo. No entanto, ele é suscetível a variações do meio, como salinidade e estresse hídrico. Por isso, é muito utilizado em ensaios de toxicidade (OUZOUNIDOU, 2016).

2.5.6 Rabo-de-galo (*Celosia plumosa*)

Celosia plumosa é uma flor utilizada como planta ornamental originária de regiões tropicais, por isso, temperaturas mais altas apressam o seu crescimento, sendo que o seu fotoperíodo fica entre 14 e 16 horas (PORAT, 1995).

2.5.7 Cebola (*Allium cepa*)

A cebola (*Allium cepa*) é uma das hortaliças mais importantes, em termos econômicos, do Brasil com uma produção superior a 1 milhão de toneladas por ano. As principais regiões produtoras são o Sul e o sudeste. Pertencente à família das Alliaceae, a cebola possui um número básico de cromossomos de $2n=16$. Essa olerícola é originária das regiões que compreendem o Oriente Médio e o Leste Europeu (COSTA, 2002).

2.6 Análises Físico-químicas

Para que a compostagem seja bem sucedida, é preciso que haja condições favoráveis tanto no aspecto físico da leira, quanto no aspecto químico, por que são esses parâmetros que irão determinar se a microbiota será capaz de degradar a matéria orgânica a qual compõe o resíduo. Também se deve atentar para essas características ao final do processo a fim de saber se o composto obtido está maturado e se possui condições para ser aplicado como adubo orgânico (ZHANG, 2015).

2.6.1 Temperatura

Durante a compostagem, devido à degradação da matéria orgânica, os microrganismos produzem energia através da respiração celular e isso ocasiona o aumento da temperatura da leira. Esse parâmetro é um importante indicativo, pois sua mensuração é feita *in loco* e o resultado é imediato. Com isso, se pode observar rápido e facilmente se a compostagem está ocorrendo e em qual etapa ela se encontra (KOYAMA, 2018).

2.6.2 Umidade

A degradação da matéria orgânica se dá através de enzimas produzidas pelos microrganismos presentes no resíduo e para que ocorra o processo enzimático é necessário que haja moléculas de água disponíveis no meio para permitir as reações químicas (ELANGO, 2018).

Segundo a normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009 do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), para composto orgânico do tipo A, B, C é esperado um máximo de 50% de umidade, e para compostos do tipo D, 70%, sendo que os compostos do tipo A tem sua origem de resíduos agroindustriais, já os do tipo B são resíduos agroindustriais que possuem algum limitante como metais tóxicos, os do tipo C são aqueles resíduos de origem domiciliar e o D, utiliza materiais provenientes de despejos sanitários (BRASIL, 2009).

Índices altos de umidade podem comprometer a compostagem, pois, a água acaba ocupando os poros da leira impedido a permanência do oxigênio, favorecendo, dessa forma, a degradação anaeróbia a qual é indesejada por ser ineficiente e produzir mau odor (ZANG, 2016).

2.6.3 pH

Outro parâmetro muito importante na compostagem é o pH, pois, esse é usado como um indicador da maturidade do composto e pode definir a qualidade do processo de degradação (RAZA, 2017). Sabe-se que baixos níveis de pH acabam inibindo o desenvolvimento microbiano, impedindo que se alcance a fase termofílica (WANG, 2017).

O pH varia ao longo da compostagem devido à transformação das substâncias através do metabolismo dos microrganismos (MENG, 2016), por isso é necessário que se faça o acompanhamento desse parâmetro para monitorar a evolução do processo de degradação.

Além disso, quando o composto obtido tem como destino a fertilização de solo para cultivo, o pH também tem importância, a Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009 define que um composto maturado deve apresentar um pH de no mínimo 6,0.

2.6.4 Condutividade Elétrica

À medida que o processo de compostagem avança, as substâncias químicas vão sendo degradadas e transformadas alterando assim a condutividade elétrica (HAZARIKA, 2018), por exemplo, quanto mais mineralizado for o composto, maior será sua condutividade elétrica (CHAN, 2016).

Algumas substâncias tóxicas, como metais pesados, também influenciam esse parâmetro (MALINSKA, 2017), fazendo, portanto, com que essa análise se torne interessante para acompanhar a evolução da compostagem e interpretar os resultados obtidos.

2.6.5 Relação Carbono/Nitrogênio

A relação carbono/nitrogênio é um parâmetro muito importante para compostagem, pois, é indicador de maturação do composto (SISOUANE, 2017). Segundo Yang (2015), um composto maturado apresenta uma relação C/N por volta de 12/1. Mas, para que a degradação microbiológica ocorra de forma satisfatória, promovendo multiplicação de células e aumento da temperatura, a relação ideal de C/N deve estar na faixa de 19/1 a 40/1 (KHUDZARI, 2016).

Uma vez que existe o interesse de se utilizar o composto como adubo, também deve se considerar os índices de carbono e nitrogênio, pois, estes são macro nutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas (MCROBERTS, 2017).

2.6.5.1 Carbono Orgânico Total

No resíduo, o carbono é uma das principais substâncias consumidas pelos microrganismos. É utilizado como fonte de energia e como precursor de moléculas orgânicas. Ao ser metabolizado, o carbono pode ser eliminado na forma de gás carbônico (CO₂) ou permanecer no composto como ácidos húmicos e fúlvicos. Esses ácidos acabam dando características físico-químicas ao composto de forma a permitir a manutenção da microbiota e de propiciar condições ao solo que ajudam a evitar a erosão e permite um melhor desenvolvimento de plantas (AWASTHI, 2017).

2.6.5.2 Nitrogênio Total

Para poder produzir proteínas, enzimas e outras substâncias essenciais à vida, os microrganismos necessitam do nitrogênio, o qual pode estar presente em moléculas de proteína, ureia e amônia. Já no solo, o nitrogênio se torna um elemento fundamental para o plantio de cultivares, portanto, espera-se que um

composto destinado à agricultura possua um teor significativo de nitrogênio (JIANG, 2015).

2.6.7 Fósforo

A importância do fósforo na compostagem é que este é um elemento que não volatiliza, tende a permanecer na leira, porém, é possível que se perca fósforo por lixiviação que pode ocorrer por excesso de umidade, chuva ou formação de chorume (MULLANE, 2015). Por isso, o teor de fósforo pode ser um parâmetro interessante para avaliar se a compostagem ocorreu de forma adequada. Além disso, o fósforo também é um nutriente de grande importância, seja para a degradação microbológica, seja para desenvolvimento de plantas, uma vez que o fósforo é necessário para a estruturação das células e do material genético, bem como para a produção de energia dos organismos (WEI, 2017).

3 METODOLOGIA

As leiras de compostagem foram montadas no parque de compostagem de uma empresa localizada no Rio Grande do Sul, sendo os tratamentos: 12 m³ de serragem + 7 m³ biossólido (LSE); 6 m³ serragem + 6 m³ casca de arroz + 7 m³ biossólido (LSC); 6 m³ serragem + 6 m³ cama de aviário + 7 m³ biossólido (LSA) e 6 m³ serragem + 6 m³ resíduo de tabaco + 7 m³ biossólido (LST), sendo que para cada tratamento foram feitas duas repetições com volume de 19 m³, com uma distância de aproximadamente 4 metros entre cada uma e dispostas na área do galpão de forma aleatória para evitar a influência do ambiente. Já o revolvimento foi realizado em todas as leiras a cada 3 dias.

A amostragem de cada leira foi feita através da coleta, mistura e homogeneização de 3 porções de diferentes pontos do montante e foram realizadas coletas a cada 22 dias de cada repetição ao longo dos 132 dias de compostagem. As temperaturas das leiras e do ambiente no qual ocorreu o processo de estabilização foram monitoradas pela própria empresa, bem como o revolvimento do material. Já as análises laboratoriais ocorreram no Laboratório de Resíduos e Ecotoxicologia do grupo Núcleo de Educação, Ensino, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade (NEPERS), localizada na sala 200 do prédio do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas.

4 Capítulo 1 - Parâmetros Físico-Químicos de Compostagem de Biossólido de Efluente de Abatedouro de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes

RESUMO: A produção e exportação de alimentos do Brasil são notórias tanto pelo volume quanto pela diversidade de produtos. Um dos destaques da agroindústria brasileira é a carne de suínos, a qual tem grande importância econômica para o País. No entanto, essa atividade causa impacto ambiental por gerar uma enorme quantidade de resíduo orgânico e este, necessita de uma destinação ambientalmente correta, por isso, não pode ser disposto em aterro *in natura* devido à degradação anaeróbia a qual produz substâncias indesejáveis as quais produzem maus odores, proliferação de insetos e contaminação do lençol freático. Por tanto, é necessário que haja um tratamento desse resíduo para reduzir o seu impacto no meio ambiente. Esse trabalho teve por objetivo realizar a compostagem, um processo de degradação microbiológica aeróbia o qual recicla a matéria orgânica convertendo em um composto mineralizado e microbiologicamente estável. Para aperfeiçoar a degradação, foram utilizados diferentes materiais estruturantes. Os tratamentos foram: LSE - 7m³ de lodo + 12m³ de serragem, LSA - 7m³ de lodo + 6m³ de serragem + 6m³ de cama de aviário; LST – 7m³ de lodo + 6m³ de serragem + 6m³ de resíduo de tabaco; LSC – 7m³ de lodo + 6m³ de serragem + 6m³ de casca de arroz. Foram feitas análises de temperatura, umidade, relação C/N, pH, condutividade elétrica e fósforo.. As temperaturas das leiras chegaram a mais de 70°C durante a fase termofílica. Os tratamentos apresentaram parâmetros dentro do esperado.

Palavras-chave: resíduo agroindustrial, estabilização, maturação, degradação aeróbia, material estruturante.

ABSTRACT: The production and export of food from Brazil are notorious both for the volume and for the diversity of products. One of the highlights of the Brazilian agribusiness is pork meat, which has great economic importance for the country. However, this activity has an environmental impact because it generates an enormous amount of organic waste and it needs an environmentally correct destination, so , can not be disposed of in landfill due to anaerobic degradation which produces undesirable substances, producing bad odors, insect proliferation and groundwater contamination. It is therefore necessary to treat this waste to reduce its impact on the environment. The objective of this work was to perform composting, an aerobic microbiological degradation process which recycles the organic matter into a mineralized and microbiologically stable compost. To improve the degradation, different structuring materials were used. The treatments were: LSE - 7m³ of sludge + 12m³ of sawdust, LSA - 7m³ of sludge + 6m³ of sawdust + 6m³ of aviary bed; LST - 7m³ of sludge + 6m³ of sawdust + 6m³ of tobacco residue; LSC - 7m³ of sludge + 6m³ of sawdust + 6m³ of rice husk. Analyzes of temperature, humidity, C / N ratio, pH, electrical conductivity and phosphorus were performed. Lateral temperatures reached more than 70 ° C during the thermophilic phase. The treatments presented parameters as expected.

Keywords: agroindustrial residue, stabilization, maturation, aerobic degradation, structuring material.

4.1 Introdução

A indústria de alimentos vem procurando sempre atender a demanda do mercado buscando aumentar sua produtividade, no entanto, com isso acaba também aumentando a geração de resíduos, o que acaba se tornando motivo de preocupação no que diz respeito às questões ambientais.

Uma das áreas mais importantes da indústria alimentícia do Brasil é a de produção de proteína animal, pois o país sem encontra entre os líderes tanto de produção, quanto de exportação sendo que só no ano de 2016 alcançou uma população de 216 Milhões de cabeças de gado (FLORINDO, 2018).

Entre os principais tipos de carnes produzidos no Brasil, está a carne de suíno que é também a carne mais consumida no mundo (OLIVEIRA, 2017), porém, no processo de produção é gerado um efluente com grande quantidade de matéria orgânica. Ao se tratar esse efluente surge um novo problema que é o lodo formado durante a degradação das substâncias do efluente. Esse resíduo, portanto, acaba demandando um novo tratamento uma vez que não se deve descartá-lo sob risco de causar danos ao meio ambiente e à saúde pública (XIA, 2015).

Como o lodo é rico em nutrientes, pode ser interessante aproveitá-lo como fertilizante, no entanto, o lodo pode apresentar substâncias que ainda estão em degradação e microrganismos patogênicos, por isso é recomendado que esse material seja compostado para que se elimine patógenos e que a matéria orgânica seja transformada e estabilizada por meio da degradação microbológica aeróbia (FATUNLA, 2017).

Como a compostagem necessita de aeração efetiva, utilizam-se materiais estruturantes como, serragem (SHARMA, 2018), casca de arroz (MENG, 2018), cama de aviário (NEHER, 2019) e resíduo de tabaco (KULIĆ, 2016) para que o lodo adquira uma melhor granulometria permitindo que seja retido ar nos poros do interior da leira, fazendo com que os microrganismos tenham mais oxigênio disponível e assim consigam uma degradação mais eficiente, promovendo o aumento da temperatura da leira (PROIETTI, 2016).

Usar outros resíduos como materiais estruturantes pode ser vantajoso, pois, assim é possível dar um destino adequado para esses, contudo, alguns resíduos podem ser mais eficientes que outros para o processo de compostagem, por isso,

esse trabalho buscou experimentar diferentes combinações de resíduos na intenção de se obter uma melhor estabilização desses materiais.

4.2 Materiais e Métodos

Foram feitas análises de umidade (U), pH, condutividade elétrica (CE), carbono (C), relação carbono/nitrogênio (C/N) e fósforo (P). Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade por Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Após, passou-se para teste de significância AOV ($p < 0,05$) e teste Tukey de comparação de médias.

As temperaturas das leiras e do ambiente (Gráfico 1) foram monitoradas durante um período de 132 dias utilizando termômetro digital em três pontos diferentes.

4.2.1 Análises Físico-Químicas

As temperaturas das leiras e do ambiente foram mensuradas utilizando termômetro digital. As análises de umidade e matéria orgânica foram realizadas de acordo com o procedimento descrito pela AOAC (1997). As determinações do pH e da condutividade foram realizados pelo método proposto por Embrapa (1997) e Tedesco (1995) com modificações. Foi feito uma solução com a amostra e água destilada numa proporção de 1/10 (m/v) e homogeneizada por 1 hora. A seguir, o pH foi medido em pHmetro marca Technopon modelo mPA-210 e a condutividade foi mensurada em condutímetro marca Tecnal modelo Tec-4MP.

4.2.2 Análises de Macro Nutrientes

O método utilizado para a determinação de carbono orgânico (%) e de fósforo (%) foi o de Tedesco (1995) com modificações. Já o nitrogênio total (%) foi obtido segundo metodologia proposta por Embrapa (1997) e Marques et al. (2013). A relação carbono/nitrogênio foi calculada dividindo os valores obtidos de carbono orgânico (%) com os de nitrogênio total (%).

4.3 Resultados e Discussões

Os tratamentos tiveram comportamento semelhante começando com uma temperatura entre 28,7 e 43,9°C, alcançando a fase termofílica em menos de uma semana com temperaturas entre 62 e 72,2°C. Esta fase se estendeu até o 69º sendo um indicativo de eliminação de patógenos.

Observou-se que todos os tratamentos tiveram uma lenta redução de temperatura a partir do 70º dia, essa etapa é chamada de maturação, onde ocorre a humificação e mineralização do composto (LOPES, 2017). Nessa etapa do processo, os tratamentos apresentaram diferenças mais significativas, sendo o tratamento LSE o que manteve a maior temperatura, já o tratamento LSC apresentou um declínio mais acentuado, enquanto que os tratamentos LSA e LST obtiveram um resultado intermediário. Kebibeche (2019), em seu trabalho envolvendo compostagem de lodo de esgoto, palha de trigo e serragem, alcançou 62°C na fase termofílica, já Jiang (2018) conseguiu atingir uma temperatura máxima de 65,5°C em processo de compostagem de dejetos de suínos, sendo que a temperatura adequada para eliminação de patógenos é acima dos 55°C. Com isso, pode-se afirmar que o comportamento da temperatura das leiras ocorreu dentro do esperado.

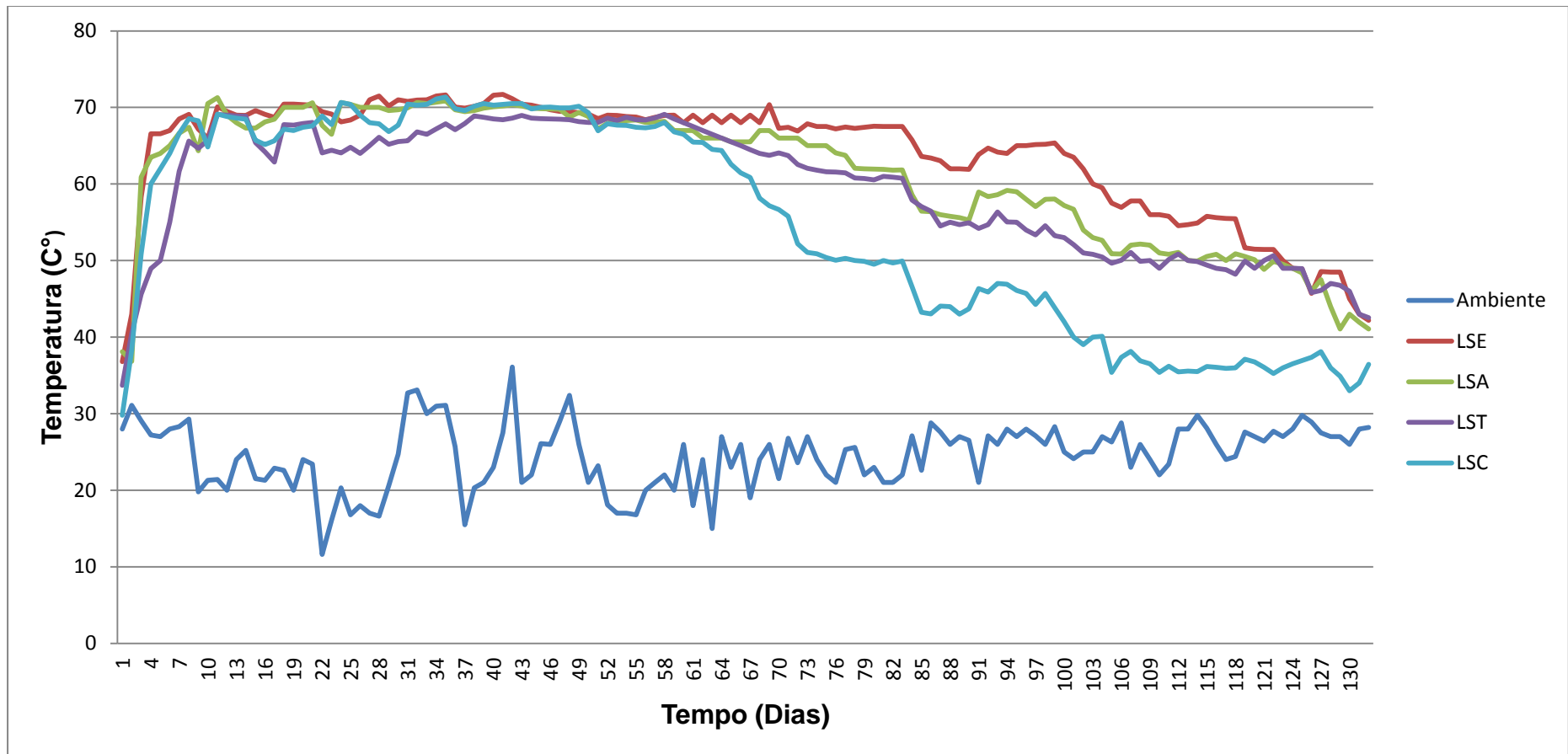


Figura 1 - Temperatura do ambiente e das leiras com os diferentes tratamentos ao longo dos 132 dias de compostagem.

LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

A Tabela 1 mostra o resultado de todos os parâmetros físico-químicos para o lodo e os materiais estruturantes.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos do lodo e dos materiais estruturantes

Parâmetros	Lodo	Serragem	Cama De Aviário	Resíduo De Tabaco	Casca De Arroz
U	67,6 ± 0,0 ^A	53,9 ± 0,0 ^B	25,6 ± 0,1 ^C	18,0 ± 0,4 ^D	8,0 ± 0,0 ^E
PH	5,4 ± 0,1 ^E	6,3 ± 0,0 ^D	9,7 ± 0,0 ^A	6,8 ± 0,0 ^C	7,7 ± 0,0 ^B
COND.	1013,8 ± 0,7 ^B	120,4 ± 0,1 ^B	3783,8 ± 52,8 ^B	8106,7 ± 0,8 ^A	429,7 ± 0,3 ^B
C/N	4,6 ± 0,1 ^D	76,20 ± 2,7 ^{AB}	31,5 ± 0,4 ^{BC}	19,5 ± 0,7 ^C	111,7 ± 5,8 ^A
P	2,8 ± 0,1 ^B	0,4 ± 0,1 ^D	3,9 ± 0,1 ^A	0,8 ± 0,1 ^C	0,3 ± 0,1 ^D

Letras maiúsculas diferem entre si nas linhas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Todos os tratamentos apresentaram redução da umidade (Tabela 2), o que era esperado devido à fase termofílica, onde o aumento da temperatura favorece a evaporação da água. No início da compostagem, os tratamentos não apresentaram diferença, porém, ao final do processo, o tratamento LSE terminou com o maior teor de umidade, pois a serragem possui a característica de reter água. O tratamento LSC apresentou menor umidade devido à casca de arroz ser um material mais seco e os tratamentos LSA e LST terminaram com valores intermediários. Alguns autores apontam que a umidade inicial ideal fica por volta de 60% (AGYARKO-MINTAH, 2017), mas, apesar dos tratamentos terem ficado com umidade abaixo dessa faixa, os demais parâmetros indicam que o processo de compostagem ocorreu de forma satisfatória.

Tabela 2 - Umidade (%) dos tratamentos ao longo de 132 dias.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	54,2 ± 1,2 ^{NSab}	55,1 ± 0,4 ^{NSa}	48,1 ± 1,1 ^{NSa}	47,3 ± 0,9 ^{NSa}
22	63,8 ± 0,2 ^{Aa}	47,4 ± 0,4 ^{Ba}	48,0 ± 0,6 ^{Ba}	50,1 ± 0,8 ^{Ba}
44	46,9 ± 1,1 ^{Abc}	32,0 ± 0,7 ^{BCb}	34,9 ± 0,6 ^{Bb}	24,4 ± 0,9 ^{Cb}
66	23,6 ± 0,7 ^{Ad}	17,9 ± 0,8 ^{Ae}	24,8 ± 0,4 ^{Ac}	14,0 ± 0,1 ^{Ac}
88	35,5 ± 1,0 ^{AcD}	20,7 ± 0,3 ^{BCde}	27,5 ± 0,8 ^{ABc}	19,5 ± 1,1 ^{Cbc}
110	38,7 ± 1,6 ^{Ac}	24,3 ± 0,3 ^{Bd}	25,4 ± 0,4 ^{Bc}	22,7 ± 0,5 ^{Bb}
132	36,2 ± 1,7 ^{AcD}	21,7 ± 0,9 ^{Bde}	18,5 ± 0,4 ^{Bd}	14,0 ± 0,1 ^{Cc}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

A relação C/N tem fundamental importância no desenvolvimento dos microrganismos e estudos apontam que a relação ideal inicial fica em torno de 20 a 40 (CERDA, 2018; DURAN 2014). Alguns trabalhos sugerem que os valores ideais ao final da compostagem devem ser menores que 12 (PULIT, 2019; BERNAI, 1998). A Tabela 3 mostra que os valores iniciais dos tratamentos LSE e LSC ficaram dentro da faixa considerada ideal, enquanto que os tratamentos LST e LSA apresentaram relações mais baixas, pois se trata de tratamentos que contém materiais estruturantes mais ricos em nitrogênio. Ao final da compostagem, todos os tratamentos ficaram dentro ou muito próximos do ideal.

Tabela 3 - Relação Carbono/Nitrogênio dos tratamentos ao longo de 132 dias.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	27,4 ± 1,3 ^{Aa}	11,3 ± 0,5 ^{Babc}	10,2 ± 0,5 ^{Bns}	29,6 ± 3,3 ^{Aa}
22	26,9 ± 0,3 ^{Aa}	12,4 ± 0,3 ^{Ba}	14,2 ± 0,7 ^{Bns}	16,8 ± 0,9 ^{ABab}
44	24,3 ± 0,7 ^{Aa}	12,0 ± 0,2 ^{Cab}	11,8 ± 0,2 ^{Cns}	15,0 ± 0,4 ^{Bab}
66	15,2 ± 0,6 ^{Ab}	9,9 ± 0,4 ^{Babc}	11,2 ± 0,5 ^{ABns}	12,5 ± 0,7 ^{ABb}
88	24,5 ± 1,0 ^{Aa}	10,1 ± 0,5 ^{Cabc}	14,4 ± 1,4 ^{BCns}	20,1 ± 0,9 ^{ABab}
110	15,1 ± 0,3 ^{Ab}	9,1 ± 0,2 ^{Bbc}	9,5 ± 0,3 ^{Bns}	9,2 ± 0,5 ^{Bb}
132	12,1 ± 0,4 ^{Ab}	8,6 ± 0,4 ^{Bc}	9,6 ± 0,6 ^{ABns}	10,3 ± 0,2 ^{ABb}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Geralmente, para compostagem, o pH começa em torno de 7,5 e tende a elevar ao longo do processo, por volta de 8.0 (LIN, 2016). No entanto, podem ocorrer variações entre pH 6,5 à 8,5 dependendo da natureza do resíduo, com isso, a medida que a matéria orgânica vai sendo degradada, o meio tende a se tornar mais alcalino por conta da volatilização dos ácidos graxos e da produção de amônia que, em parte, é volatilizada, no entanto, uma parte acaba ficando acumulada na leira, o que eleva o pH devido ao seu caráter básico (ABSANIUS, 2016). Observou-se na Tabela 4 que o tratamento LSE mostrou um comportamento bem próximo do ideal, já os tratamentos LST e LSC começaram com um pH mais ácido, no entanto, terminaram com pH dentro do esperado. O tratamento LSA se diferenciou dos demais por já ter começado o processo com pH elevado, isso pode ter ocorrido por que a cama de aviário, é um resíduo o qual costuma apresentar um caráter básico graças ao acúmulo de amônia presente nele por conta da excreta dos animais.

Tabela 4 – pH dos tratamentos ao longo de 132 dias.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	7,5 ± 0,1 ^{Bd}	8,2 ± 0,1 ^{Aa}	6,5 ± 0,1 ^{Cd}	6,2 ± 0,3 ^{Cc}
22	8,8 ± 0,0 ^{Aa}	8,6 ± 0,0 ^{Bb}	7,5 ± 0,1 ^{Dcd}	8,2 ± 0,1 ^{Ca}
44	8,8 ± 0,0 ^{Aa}	8,9 ± 0,0 ^{Ad}	7,6 ± 0,4 ^{Bab}	8,2 ± 0,0 ^{ABab}
66	8,6 ± 0,0 ^{Aab}	8,7 ± 0,0 ^{Abc}	8,2 ± 0,1 ^{Babc}	7,8 ± 0,0 ^{Cb}
88	8,3 ± 0,0 ^{Bb}	8,7 ± 0,0 ^{Abcd}	8,0 ± 0,1 ^{Babc}	8,1 ± 0,0 ^{Ba}
110	8,2 ± 0,0 ^{Cb}	8,8 ± 0,0 ^{Aab}	8,5 ± 0,1 ^{Ba}	8,1 ± 0,0 ^{Cab}
132	7,8 ± 0,0 ^{Dc}	8,9 ± 0,0 ^{AcD}	8,4 ± 0,1 ^{Bab}	8,1 ± 0,0 ^{Cab}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

A Condutividade Elétrica é um parâmetro que varia de acordo com o substrato e ao longo do processo de compostagem devido à degradação e assimilação de substâncias pelos microrganismos. Trabalhos sugerem que a Condutividade Elétrica ideal para compostos deve estar abaixo de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ZHANG, 2016; LASARIDI, 2006). Todos os tratamentos ficaram abaixo do limite de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, exceto o tratamento LSA que apresentou uma maior mineralização talvez pelo fato da excreta de animais presente na cama de aviário ser um material de degradação mais fácil. (Tabela 5).

Tabela 5 - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos tratamentos ao longo de 132 dias.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	858,2 \pm 9,5 ^{Bc}	2630,0 \pm 10,9 ^{Ad}	3176,7 \pm 8,0 ^{Ae}	1320,2 \pm 7,8 ^{Bd}
22	2253,3 \pm 10,2 ^{NSa}	4323,3 \pm 7,5 ^{NSc}	3235,0 \pm 8,2 ^{NSde}	1881,7 \pm 1,0 ^{NSbcd}
44	1587,7 \pm 8,1 ^{Bb}	5158,3 \pm 9,9 ^{Aabc}	4310,0 \pm 7,1 ^{Abc}	1692,2 \pm 18,1 ^{Bcd}
66	1835,8 \pm 1,3 ^{Bab}	5040,0 \pm 6,9 ^{Aabc}	4180,0 \pm 11,1 ^{Abcd}	2192,0 \pm 3,4 ^{Babc}
88	2137,5 \pm 1,8 ^{Cab}	5777,5 \pm 2,8 ^{Aa}	5811,7 \pm 6,9 ^{Aa}	2936,7 \pm 0,9 ^{Ba}
110	1731,7 \pm 3,0 ^{Db}	5365,0 \pm 2,7 ^{Aab}	4771,7 \pm 6,2 ^{Bb}	2556,7 \pm 2,8 ^{Cab}
132	1570,8 \pm 2,1 ^{Cb}	4505,0 \pm 6,8 ^{Abc}	3742,5 \pm 3,0 ^{Acde}	2518,0 \pm 13,2 ^{Bab}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

O fósforo é um nutriente muito importante e possui a característica de ter baixa mobilidade, ou seja, é um elemento químico que tem a tendência de permanecer mais na leira do que outros elementos como, por exemplo, carbono e nitrogênio (BORINI, 2017). Os resultados encontrados (Tabela 6) corroboram com os encontrados por Pedrosa (2016) onde a compostagem de resíduos de frigoríficos mostrou uma variação do Fósforo entre 1,1 e 2,7 entre os tratamentos. Os resultados do presente trabalho ficaram dentro ou muito próximos dessa faixa, não mostrando diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 6 - Fósforo (%) dos tratamentos ao longo de 132 dias.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	1,1 ± 0,2 ^{Cd}	3,1 ± 0,4 ^{Aabc}	2,0 ± 0,1 ^{Bab}	2,2 ± 0,3 ^{Bcd}
22	1,8 ± 0,2 ^{Bbc}	3,8 ± 0,2 ^{Aab}	1,3 ± 0,2 ^{Bb}	1,7 ± 0,5 ^{Bd}
44	1,8 ± 0,2 ^{Bbc}	3,5 ± 0,1 ^{Aabc}	1,8 ± 0,1 ^{Bab}	3,2 ± 0,1 ^{Aa}
66	3,0 ± 0,2 ^{Aa}	3,3 ± 0,5 ^{Aabc}	1,7 ± 0,3 ^{Bab}	2,9 ± 0,2 ^{Aabc}
88	1,3 ± 0,6 ^{Bcd}	2,4 ± 0,4 ^{Ac}	1,6 ± 0,5 ^{ABab}	2,6 ± 0,3 ^{Abc}
110	1,9 ± 0,1 ^{Cbc}	4,0 ± 0,1 ^{Aa}	1,9 ± 0,1 ^{Cab}	3,1 ± 0,2 ^{Bab}
132	2,2 ± 0,1 ^{NSb}	2,9 ± 0,5 ^{NSbc}	2,2 ± 0,7 ^{NSa}	2,9 ± 0,2 ^{NSabc}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

4.4 Conclusão

Todos os tratamentos sofreram maturação e alcançaram valores dentro, ou muito próximos, do esperado, o que indica que a compostagem desses resíduos se mostrou uma forma eficiente de reciclar este material, ou, ao menos, dar um destino mais ambientalmente adequado. O tratamento LSE mostrou os melhores resultados, no entanto, é importante que novos trabalhos sejam realizados a fim de se buscar uma maior eficiência, seja utilizando outras proporções, ou outros substratos.

Referências

- ABSANIUS, Beatrix W. et al. **Handbook for composting and compost use in organic horticulture**. BioGreenhouse COST Action FA 1105, 2016.
- AGYARKO-MINTAH, Eunice et al. Biochar increases nitrogen retention and lowers greenhouse gas emissions when added to composting poultry litter. **Waste Management**, v. 61, p. 138-149, 2017.
- AOAC.International.Official methods of analysis.Gaithersburg: Published by **AOAC International**, ed. 16, v. 2, 1997.
- BERNAI, M. P. et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource technology**, v. 63, n. 1, p. 91-99, 1998.
- BORINI, Roberta Quiles. Tratamento de dejetos suíno com o emprego de compostagem. 2017.
- CERDA, Alejandra et al. Composting of food wastes: status and challenges. **Bioresource technology**, v. 248, p. 57-67, 2018.
- CHOÍŃSKA-PULIT, Anna; ŁABA, Wojciech; RODZIEWICZ, Anna. Enhancement of pig bristles waste bioconversion by inoculum of keratinolytic bacteria during composting. **Waste Management**, v. 84, p. 269-276, 2019.
- DE SOUZA LOPES, Marcos Felipe; SISTE, Daniela Aparecida Barroso. Viabilidade de compostagem na propriedade rural. **Políticas e Saúde Coletiva**, v. 2, n. 4, 2017.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FATUNLA, Kayode et al. Influence of composting and thermal processing on the survival of microbial pathogens and nutritional status of Nigeria sewage sludge. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 301-310, 2017.
- FLORINDO, T. J.; et al. Application of the Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) approach in the identification of Carbon Footprint reduction actions in the Brazilian beef production chain. **Journal of Cleaner Production**, 2018.
- JIANG, Jishao et al. Relationship between maturity and microbial communities during pig manure composting by phospholipid fatty acid (PLFA) and correlation analysis. **Journal of environmental management**, v. 206, p. 532-539, 2018.

- KEBIBECHE, Hassiba et al. Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 168, p. 423-430, 2019.
- KULIĆ, G. et al. The reduction of nicotine content in the composting process of tobacco waste mixing with sheep and chicken droppings. In: **VII International Scientific Agriculture Symposium, " Agrosym 2016", 6-9 October 2016, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. Proceedings**. University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, 2016. p. 2139-2143.
- LASARIDI, Katia et al. Quality assessment of composts in the Greek market: the need for standards and quality assurance. **Journal of environmental management**, v. 80, n. 1, p. 58-65, 2006.
- LIN, Chitsan; WEI, Chih-Chiang; TSAI, Chia-Cheng. Prediction of influential operational compost parameters for monitoring composting process. **Environmental Engineering Science**, v. 33, n. 7, p. 494-506, 2016.
- MARQUES, R. V.; AZAMBUJA, H. G. P.; PERIUS, D. B.; BITTENCOURT, G. A.; MAULINI-DURAN, Caterina et al. Gaseous emissions in municipal wastes composting: effect of the bulking agent. **Bioresource technology**, v. 172, p. 260-268, 2014.
- MENG, Xingyao et al. Effect of pig manure on the chemical composition and microbial diversity during co-composting with spent mushroom substrate and rice husks. **Bioresource technology**, v. 251, p. 22-30, 2018.
- MONCKS, R. B.; CORRÊA, E. K.; SANTO, M. L. P. Canned anchoita (*Engraulis Anchoita*): Technological process and sensory analysis – an alternative for human feed. **American Journal of Food Science and Technology**. v. 1, n. 3, p. 18-24, 2013.
- NEHER, Deborah A. et al. Composts of poultry litter or dairy manure differentially affect survival of enteric bacteria in fields with spinach. **Journal of Applied Microbiology**, 2019.
- OLIVEIRA, Aracele Prates et al. Principais aspectos considerados por consumidores na aquisição e consumo de carne suína em Colônia do Piauí-PI. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 20, n. 2, 2017.
- PEDROSA, Talita Dantas et al. Ciclagem de nutrientes por meio da transformação de resíduos em fertilizante orgânico. **Nativa**, v. 4, n. 1, p. 19-24, 2016.

PROIETTI, Primo et al. Composting optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted. **Journal of cleaner production**, v. 137, p. 1086-1099, 2016.

SHARMA, Dayanand; YADAV, Kunwar D.; KUMAR, Sunil. Role of sawdust and cow dung on compost maturity during rotary drum composting of flower waste. **Bioresource technology**, v. 264, p. 285-289, 2018.

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. Análise de solo plantas e outros materiais. Porto Alegre. **Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia**, UFRGS, p. 174, 1995.

XIA, Yun et al. Anaerobic digestibility of beef hooves with swine manure or slaughterhouse sludge. **Waste management**, v. 38, p. 443-448, 2015.

ZHANG, Jining et al. Straw biochar hastens organic matter degradation and produces nutrient-rich compost. **Bioresource technology**, v. 200, p. 876-883, 2016.

5 Capítulo 2 - Avaliação Toxicológica de Composto de Biossólido de Efluente de Abatedouro de Suínos com Diferentes Materiais Estruturantes

RESUMO: Um dos grandes desafios da agroindústria é conseguir dispor seus resíduos de forma ambientalmente correta. Abatedouros de suínos geram um volume muito grande de efluentes e ao trata-los, acabam formando o lodo, um resíduo com elevada carga orgânica. Para tratar esse resíduo, a compostagem pode ser utilizada como um meio de reciclar esse material, pois, a degradação microbiológica converte a matéria orgânica em um composto rico em nutrientes que pode ser aproveitado como adubo orgânico. Para melhorar o processo de compostagem, utilizam-se materiais estruturantes os quais podem ser resíduos de outras atividades agroindustriais e, dessa forma, também acabam recebendo um destino mais adequado. No entanto, para utilizar composto como fertilizante, é importante conhecer qual o seu potencial de adubação, para isso, se faz necessárias, além das análises físico-químicas, análises toxicológicas que demonstrem qual o impacto que esse produto pode causar no meio em que for disposto. Nesse trabalho foram utilizadas sementes de alface (*Lactuca sativa*), pepino (*Cucumis sativus*), rabo de galo (*Celosia plumosa*), soja convencional (*Glycine max*), soja transgênica (*Glycine max*), trigo (*Triticum spp.*), arroz (*Oryza sativa*) para testes de índice de germinação. Já as sementes de cebola (*Allium cepa*) foram utilizadas para análises de índice de germinação, citotoxicidade e genotoxicidade. Os tratamentos foram: LSE - 7m³ de lodo + 12m³ de serragem, LSA - 7m³ de lodo + 6m³ de serragem + 6m³ de cama de aviário; LST – 7m³ de lodo + 6m³ de serragem + 6m³ de resíduo de tabaco; LSC – 7m³ de lodo + 6m³ de serragem + 6m³ de casca de arroz. Todos os Índices de Germinação para as amostras LST e LSC se mostraram insatisfatórios, já para as amostras LSE e LSA tiveram resultados abaixo do esperado para alface (*Lactuca sativa*) e pepino (*Cucumis sativus*), porém, se mostraram promissores para as demais cultivares. Os níveis de citotoxicidade e genotoxicidade . Este trabalho conclui que outros testes precisam ser realizados, pois, a toxicidade do composto pode mudar quando misturada ao solo e exposto às intempéries do ambiente.

Palavras-chave: composto, bioindicadores, toxicidade, germinação, tecido vegetal, divisão celular.

ABSTRACT: One of the great challenges of agroindustry is to dispose of its waste in an environmentally correct way. Pig slaughterhouses generate a very large volume of effluents and, when treated, ends up forming sludge, a residue with high organic load. To treat this residue, composting can be used as a means of recycling this material, because microbiological degradation converts organic matter into a nutrient rich compound that can be used as organic fertilizer. In order to improve the composting process, structuring materials are used, which can be waste from other agroindustrial activities and, in this way, also end up receiving a more suitable destination. However, in order to use compost as a fertilizer, it is important to know its fertilization potential. To this end, toxicological analyzes are required to demonstrate the impact that this product can have on the environment in which it is disposed. Seeds of lettuce, cucumber, rooster tail, conventional soybeans, transgenic soybeans, wheat, and rice for germination index tests were used. On the other hand, the onion seeds were used for germination index, cytotoxicity and genotoxicity analyzes. All the germination indexes for the LST and LSC samples were unsatisfactory. However, for the LSE and LSA samples, results were lower than expected for lettuce and cucumber, but they were promising for the other cultivars. The levels of cytotoxicity and genotoxicity were within normal range. This work concludes that other tests need to be carried out, since the toxicity of the compound can change when mixed with the soil and exposed to the elements in the environment.

Keywords: compost, bioindicators, toxicity, germination, plant tissue, cell division.

5.1 Introdução

Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o Brasil importou cerca de 27,5 milhões de toneladas de fertilizante no ano de 2018, o que representa 77,44% da quantidade de fertilizantes entregues ao mercado nacional.

Diante disto, a compostagem se torna interessante economicamente, pois é possível produzir adubo orgânico a partir do próprio resíduo agroindustrial, uma vez que para realizar esse processo são necessários materiais ricos em carbono e nitrogênio. O lodo de abatedouro de suínos é um resíduo que possui essas características (XIA, 2015).

Como materiais com potencial para serem estruturantes, temos a serragem, a casca de arroz, a cama de aviário e o resíduo de tabaco.

A serragem é um resíduo que costuma ser utilizado como material estruturante em leiras de compostagem por proporcionar melhores características físico-químicas à mistura (WON, 2016).

A casca de arroz é um subproduto da indústria arroseira que representa 20% do peso do grão e é, portanto, um resíduo que representa um volume significativo. Porém, a casca de arroz também é conhecida por possuir uma quantidade significativa de metais e esses podem causar toxicidade ao meio caso se encontrem em concentrações expressivas (LOPES, 2018).

A casca de arroz também pode ser utilizada como cama de aviário, a fim de dar conforto para frangos de corte, no entanto, durante a criação desses animais, é comum a utilização de antibióticos para tentar garantir que as aves atinjam o peso ideal para o abate. Com isso, é possível que na cama de aviário ainda se encontre resíduos de antibióticos, o que pode causar impacto no ambiente onde quer que esse material seja disposto (BOAMAH, 2017).

Outro resíduo que pode ser aproveitado como material estruturante é o resíduo de tabaco, pois, este necessita de disposição adequada e a compostagem pode ser útil nesse sentido. Contudo, há o problema desse resíduo conter certa quantidade de nicotina em sua composição, que é um pesticida conhecido por causar efeitos tóxicos em plantas e animais. Porém, estudos apontam que o processo de compostagem pode ajudar a degradar essa substância reduzindo a sua toxicidade (OKUR, 2008).

O objetivo deste trabalho foi acompanhar o processo de compostagem com diferentes materiais e analisar a variação da toxicidade ao longo do tempo.

5.2 Materiais e Métodos

Análise de fitotoxicidade foi feita através do Índice de Germinação por 48h a 25°C de sementes de alface (IGA), pepino (IGP), rabo-de-galo (IGRG), soja convencional (IGSC), soja transgênica (IGST), trigo (IGT) e arroz (IGAZ). Com as sementes de cebola (*Allium cepa*) foram feitos testes de Fitotoxicidade por meio do Índice de Germinação por 144h a 25°C (IGCB). Após, foi seccionado o tecido meristemático da zona apical das radículas para preparo de lâminas de microscopia a fim de realizar as análises de citotoxicidade, por meio do Índice Mitótico (IM), e genotoxicidade, através da Frequência de Aberrações Cromossômicas (FAC).

Todos os resultados obtidos foram, primeiramente, submetidos ao teste de normalidade por Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e, posteriormente, realizou-se teste AOV ($p < 0,05$) e Tukey.

5.2.1 Análises Toxicológicas

Obteve-se o teor de fitotoxicidade por meio do método de Zucconi et al. (1981) e Mendes et al. (2016) com modificações. A citotoxicidade e a genotoxicidade foi verificada pelo método de Guerra & Souza (2002) com modificações, observando tecido meristemático de radícula de cebola (*Allium cepa*) por meio de microscopia ótica.

5.3 Resultados e Discussões

A Tabela 7 mostra os resultados de Fitotoxicidade do lodo e dos materiais estruturantes para sementes de alface, pepino e rabo-de-galo. Os resultados são comparados com o controle com água destilada, sendo este considerado como 100%.

Tabela 7 – Índices de Germinação (%) do lodo e dos materiais estruturantes usando sementes de alface (IGA), pepino (IGP), e rabo-de-galo (IGRG).

Parâmetros	Biossólido	Serragem	Cama De Aviário	Resíduo De Tabaco	Casca De Arroz
IGA	0,3 ± 0,0 ^B	97,2 ± 2,0 ^A	0,0 ± 0,0 ^C	0,0 ± 0,0 ^C	110,0 ± 5,1 ^A
IGP	1,0 ± 0,0 ^B	52,2 ± 1,8 ^A	6,1 ± 2,0 ^B	0,8 ± 3,5 ^B	87,1 ± 4,8 ^A
IGRG	0,0 ± 0,0 ^C	115,1 ± 2,9 ^A	8,2 ± 4,4 ^B	0,0 ± 0,0 ^C	105,9 ± 6,2 ^A

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

A Tabela 8 mostra os resultados de Fitotoxicidade do lodo e dos materiais estruturantes para sementes de soja convencional, soja transgênica, trigo e arroz. Os resultados são comparados com o controle com água destilada, sendo este considerado como 100%.

Tabela 8 – Índices de Germinação (%) do lodo e dos materiais estruturantes usando sementes de soja convencional (IGSC), soja transgênica (IGST), trigo (IGTRI) e arroz (IGAZ).

Parâmetros	Biossólido	Serragem	Cama De Aviário	Resíduo De Tabaco	Casca De Arroz
IGSC	52,8 ± 3,0 ^B	122,0 ± 1,0 ^A	39,7 ± 2,4 ^B	6,9 ± 2,6 ^C	117,0 ± 3,6 ^A
IGST	2,5 ± 1,4 ^B	116,2 ± 2,5 ^A	4,8 ± 0,6 ^B	1,9 ± 0,4 ^B	105,0 ± 1,3 ^A
IGTRI	5,1 ± 2,0 ^B	11,3 ± 5,8 ^B	76,5 ± 0,8 ^A	9,8 ± 2,0 ^B	20,8 ± 4,0 ^B
IGAZ	0,5 ± 0,2 ^C	103,1 ± 0,6 ^A	0,5 ± 0,3 ^C	0,1 ± 0,7 ^C	74,5 ± 2,9 ^B

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

A Tabela 9 mostra os resultados de fitotoxicidade, citotoxicidade e genotoxicidade do lodo e dos materiais estruturantes para semente de cebola. Os resultados são comparados com o controle com água destilada, sendo este considerado como 100%.

Tabela 9 – Índice de Germinação (%) (IGCB), Índice Mitótico (%) (IM) e Frequência de Aberrações Cromossômicas (%) (FAC) do lodo e dos materiais estruturantes utilizando sementes de cebola (*Allium cepa*).

Parâmetros	Biossólido	Serragem	Cama De Aviário	Resíduo De Tabaco	Casca De Arroz
IGCB	51,4 ± 4,3 ^B	90,1 ± 1,9 ^{AB}	45,3 ± 0,2 ^B	0,0 ± 0,0 ^C	165,4 ± 2,1 ^A
IM	0,0 ± 0,0 ^C	91,3 ± 0,1 ^B	0,0 ± 0,0 ^C	0,0 ± 0,0 ^C	182,1 ± 0,0 ^A
FAC	0,0 ± 0,0 ^B	0,0 ± 0,0 ^B	0,0 ± 0,0 ^B	0,0 ± 0,0 ^B	300,0 ± 0,0 ^A

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

A Tabela 10 mostra que o tratamento que apresentou o melhor índice de germinação foi o LSE, porém, ainda ficou muito abaixo do valor esperado, portanto, todos os tratamentos foram fitotóxicos para semente de pepino, bem como para semente de Alface (Tabela 10). Segundo o *California Compost Quality Council* (2001), um composto maturado deve obter um índice de germinação entre 80 e 90%.

Tabela 10 - Índice de Germinação (%) com sementes de Pepino (IGP).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	18,6 ± 5,9 ^{NSns}	10,1 ± 3,4 ^{NSns}	2,7 ± 0,8 ^{NSb}	14,5 ± 6,7 ^{NSns}
22	1,6 ± 2,1 ^{NSns}	3,7 ± 2,8 ^{NSns}	5,1 ± 1,9 ^{NSab}	9,4 ± 4,2 ^{NSns}
44	0,3 ± 1,4 ^{NSns}	1,3 ± 2,8 ^{NSns}	0,9 ± 1,5 ^{NSab}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}
66	21,8 ± 5,2 ^{NSns}	11,4 ± 7,2 ^{NSns}	29,2 ± 4,4 ^{NSa}	93,7 ± 15,8 ^{NSns}
88	25,0 ± 4,4 ^{NSns}	36,1 ± 11,2 ^{NSns}	3,1 ± 2,9 ^{NSab}	0,7 ± 2,0 ^{NSns}
110	8,2 ± 2,5 ^{NSns}	28,9 ± 8,9 ^{NSns}	5,0 ± 1,8 ^{NSab}	8,4 ± 4,2 ^{NSns}
132	32,6 ± 7,1 ^{Ans}	6,8 ± 2,4 ^{ABns}	12,3 ± 4,1 ^{ABab}	0,8 ± 0,8 ^{Bns}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Na tabela 11, os diferentes tratamentos não diferiram entre si ($p > 0,05$). Entretanto, ocorreu diferença ($p < 0,05$) ao longo das coletas dos tratamentos LSE, LSA e LSC. Para o tratamento LSE, o melhor ($p < 0,05$) resultado para índice de germinação para semente de alface foi na coleta do dia 0. Este resultado pode ser atribuído a elementos presentes no bioossólido ou na serragem que estavam menos biodisponíveis, e ao longo do processo de compostagem foram sendo disponibilizados prejudicando a germinação e desenvolvimento das raízes.

Tabela 11 - Índice de Germinação (%) com sementes de Alface (IGA).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	40,6 ± 7,4 ^{NSa}	28,0 ± 6,1 ^{NSa}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	13,7 ± 1,6 ^{NSa}
22	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	1,4 ± 1,6 ^{NSb}
44	13,7 ± 2,5 ^{NSab}	0,1 ± 0,9 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	2,7 ± 4,1 ^{NSb}
66	32,9 ± 2,8 ^{NSab}	0,6 ± 1,9 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	5,0 ± 3,8 ^{NSab}
88	3,5 ± 1,3 ^{NSab}	0,3 ± 0,7 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}
110	1,8 ± 1,6 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	1,4 ± 2,7 ^{NSb}
132	22,8 ± 4,4 ^{Aab}	0,6 ± 1,5 ^{ABb}	0,0 ± 0,0 ^{ABns}	0,3 ± 0,7 ^{Bb}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Já em semente de rabo-de-galo, observa-se que ocorreu uma redução no efeito fitotóxico, mas ainda não foi o suficiente para considerar o composto próprio para ser utilizado no cultivo dessa espécie (Tabela 12).

Tabela 12 - Índice de Germinação (%) com sementes de rabo-de-galo (IGRG).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	43,3 ± 8,3 ^{NSns}	42,0 ± 5,6 ^{NSa}	7,5 ± 4,8 ^{NSns}	59,6 ± 5,1 ^{NSa}
22	1,2 ± 2,8 ^{NSns}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	4,3 ± 2,4 ^{NSns}	4,3 ± 2,5 ^{NSb}
44	18,3 ± 2,7 ^{Ans}	0,1 ± 0,5 ^{Bb}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}	8,4 ± 4,7 ^{ABb}
66	68,1 ± 6,0 ^{Ans}	11,4 ± 3,7 ^{Bab}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}	15,5 ± 6,2 ^{Bb}
88	65,0 ± 7,9 ^{Ans}	10,8 ± 5,0 ^{ABab}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}	10,1 ± 7,2 ^{ABb}
110	36,4 ± 2,7 ^{Ans}	19,8 ± 5,6 ^{ABab}	0,8 ± 1,0 ^{Bns}	20,8 ± 3,6 ^{ABab}
132	57,9 ± 3,4 ^{Ans}	30,5 ± 1,3 ^{ABab}	7,7 ± 2,3 ^{Bns}	36,9 ± 4,8 ^{ABab}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Quanto ao teste em sementes de soja convencional (Tabela 13), percebe-se que ocorreu uma melhora considerável em todos os tratamentos. Embora não tenha alcançado a margem ideal de 80-90%, os resultados são promissores e é interessante que se façam novos testes de toxicidade para elucidar qual o verdadeiro potencial para aplicação desse composto na produção agrícola. Tančić (2013), ao realizar teste de germinação com soja, encontrou valores próximos entre 64 e 79%, o que reforça a ideia de que mais testes são necessários.

Os grãos de soja transgênica (Tabela 14) apresentaram germinação um pouco inferior ao da soja convencional, porém, durante a 4ª coleta, o composto proporcionou um índice de crescimento significativo em todos os tratamentos, fazendo inclusive, com que os tratamentos LSE e LSC ficassem dentro da faixa ideal proposta pelo *California Compost Quality Council* (2001).

Tabela 13 - Índice de Germinação (%) com grãos de Soja convencional (IGSC).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	66,8 ± 4,6 ^{NSns}	46,5 ± 4,2 ^{NSns}	30,0 ± 3,3 ^{NSb}	69,2 ± 4,5 ^{NSns}
132	64,5 ± 4,0 ^{NSns}	64,9 ± 1,1 ^{NSns}	64,3 ± 2,0 ^{NSa}	58,7 ± 1,2 ^{NSns}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Tabela 14 - Índice de Germinação (%) de Soja transgênica (IGST).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	61,4 ± 3,3 ^{NSns}	57,8 ± 4,6 ^{NSns}	40,9 ± 2,0 ^{NSb}	57,3 ± 2,0 ^{NSb}
132	62,8 ± 1,1 ^{NSns}	55,0 ± 2,6 ^{NSns}	49,9 ± 1,5 ^{NSb}	46,8 ± 2,3 ^{NSb}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

No caso das sementes de trigo (Tabela 15) e arroz (Tabela 16), o tratamento LSE mostrou melhor resultado, porém, os outros tratamentos apresentaram elevada fitotoxicidade. Phoungthong (2016), ao pesquisar o Índice de Germinação em sementes de trigo, observou que os metais presentes em resíduos sólidos urbanos causam fitotoxicidade e o efeito é mais grave quando se aplica teste de lixiviação com ácidos orgânicos, no caso, Ácido Acético.

Kandil (2019) demonstrou com sua pesquisa que a germinação do arroz está associada a combinação de fatores como salinidade e substâncias antioxidantes. Isso mostra que materiais tão heterogêneos como o lodo podem causar efeitos adversos devido a sua grande variedade de substâncias químicas.

Tabela 15 - Índice de Germinação (%) com grãos de Trigo (IGTRI).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	40,9 ± 6,0 ^{NSb}	66,1 ± 3,8 ^{NSns}	18,5 ± 1,8 ^{NSns}	19,5 ± 2,3 ^{NSb}
132	66,8 ± 1,0 ^{Aab}	45,7 ± 3,2 ^{Ans}	15,5 ± 2,0 ^{Bns}	21,0 ± 2,6 ^{Bb}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Tabela 16 - Índice de Germinação (%) com grãos de Arroz (IGAZ).

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	7,0 ± 2,8 ^{NSb}	8,2 ± 1,6 ^{NSb}	4,0 ± 1,4 ^{NSb}	9,0 ± 1,2 ^{NSb}
132	63,2 ± 2,9 ^{Aa}	50,6 ± 3,7 ^{Aba}	28,3 ± 2,4 ^{Ba}	18,4 ± 4,2 ^{Ba}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

O índice de germinação para semente de cebola (Tabela 17) mostrou oscilações ao longo do processo. Pereira (2015) observou índices de germinação em *Allium cepa* de 80 a 110% ao pesquisar extrato aquoso de *Aspidosperma pyrifolium* MART. e *Combretum leprosum* MART., já Raskar (2014), ao pesquisar o efeito de nanopartículas de Óxido de Zinco, acabou encontrando índices que iam de 78 a 96%. Ao pesquisar o índice de germinação com amostra de composto de restos de poda, Moerales-Corts (2014) obteve valores entre 58 e 70%, enquanto Ravindran (2016), trabalhando com amostra de águas residuárias, encontrou resultados para *Allium cepa* que vão de 73 a 94%. Os tratamentos LSE e LSA conseguiram ficar dentro de uma faixa aceitável.

Tabela 17 - Índice de Germinação (%) com sementes de *Allium cepa*.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	31,6 ± 7,3 ^{ABcd}	54,3 ± 3,9 ^{Ab}	0,0 ± 0,0 ^{Bb}	59,8 ± 3,7 ^{Aabc}
22	17,9 ± 2,5 ^{ABd}	18,8 ± 1,8 ^{Ab}	7,1 ± 2,6 ^{Bab}	14,7 ± 2,3 ^{ABbc}
44	42,5 ± 5,9 ^{NSbcd}	39,1 ± 5,3 ^{NSb}	18,9 ± 5,5 ^{NSab}	17,7 ± 4,3 ^{NSc}
66	99,1 ± 1,8 ^{Aab}	51,9 ± 3,0 ^{BCb}	23,1 ± 2,6 ^{Cab}	64,3 ± 2,3 ^{Bab}
88	71,3 ± 3,4 ^{Aabcd}	61,5 ± 2,8 ^{Ab}	11,5 ± 4,3 ^{Bab}	32,4 ± 4,8 ^{ABabc}
110	109,6 ± 3,7 ^{Aa}	164,8 ± 6,8 ^{Aa}	22,3 ± 5,3 ^{Bab}	78,3 ± 7,4 ^{ABa}
132	75,1 ± 3,7 ^{NSabc}	72,5 ± 5,2 ^{NSab}	38,6 ± 6,1 ^{NSa}	27,7 ± 5,4 ^{NSabc}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey (p<0,05). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

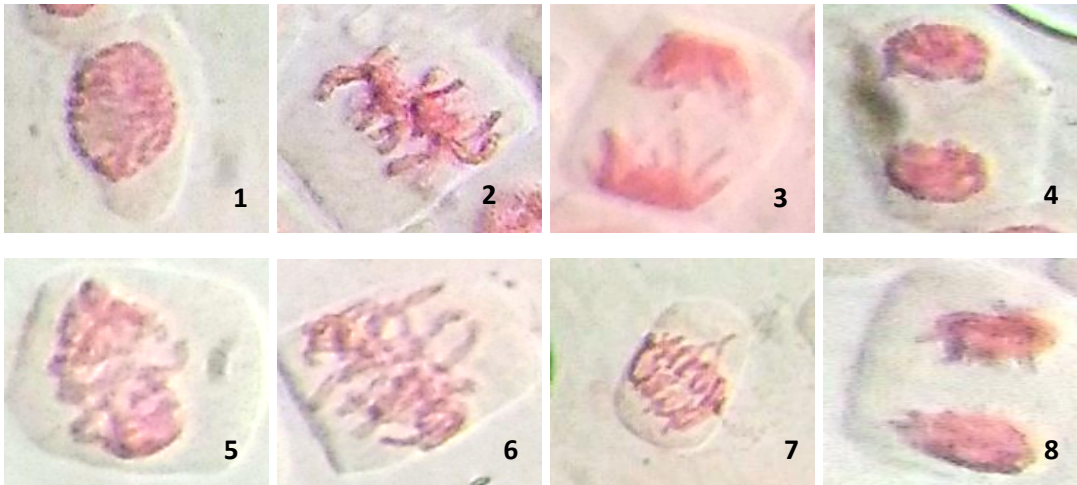


Figura 2 – Fotos de células de *Allium cepa*.

1- Prófase normal; 2- Metáfase normal; 3- Anáfase normal; 4- Telófase normal; 5- Prófase com cromossomo isolado; 6- Metáfase desorganizada; 7- Anáfase com cromossomo isolado; 8- Telófase com cromossomo atrasado.

A Tabela 18 mostra o Índice Mitótico do Meristema de raízes de *Allium cepa* onde se pode perceber que as amostras demonstraram uma melhora significativa comparando os valores iniciais com os finais. Os resultados são calculados considerando que o controle com água destilada representa um IM de 100%. A maior diferença ocorreu no tratamento LSC, onde não ocorreu crescimento de raízes na primeira coleta, chegando a 118% de divisão celular na última, ou seja, a divisão celular foi 18% maior que no controle. O Bioensaio feito com a amostra LST também não apresentou desenvolvimento das raízes no início, porém, chegou muito próximo ao Índice Mitótico do controle no final do processo com 94%. No caso da amostra LSE, houve um desenvolvimento modesto do tecido com um Índice Mitótico de 39,74% em relação ao controle, contudo, ao longo do processo, o

material apresentou uma melhora significativa, embora tenha sido o Índice Mitótico mais baixo da coleta do dia 132 entre as amostras, chegando a 82,53% de divisão celular comparado ao controle.

A amostra LSA foi a amostra que apresentou o melhor Índice Mitótico inicial com 64,62%, apresentando ao final da compostagem, uma taxa de divisão celular de 91,27% em relação ao controle. Yadava (2019), ao determinar o Índice Mitótico de meristema de *Allium cepa* com efluente de curtume, estabeleceu que seu controle com apenas água destilada alcançou um IM de 66%, enquanto que a amostra mais diluída com 6,25% (v/v) apresentou o melhor resultado em torno de 31%, ou seja, ocorreu uma redução de aproximadamente 53% da taxa de divisão celular. Moura (2017) testou a citotoxicidade de leite em pó utilizando *Allium cepa*, e os valores do controle com somente água destilada ficaram em torno de 16,5 a 22,7%, já os resultados com diferentes concentrações de leite em pó alcançaram valores entre 0,2 e 4,9%. Portanto, estudos mostram que cebola (*Allium cepa*) é um bioindicador bastante sensível a diferentes tipos de amostras e considerando os resultados obtidos, se pode concluir que as amostras não apresentaram citotoxicidade ao final do processo.

Tabela 18 - Índice Mitótico (%) em células de *Allium cepa*.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	39,7 ± 7,1 ^{Aab}	64,6 ± 1,6 ^{Aab}	0,0 ± 0,0 ^{Bb}	0,0 ± 0,0 ^{Bb}
22	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSc}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}
44	39,3 ± 2,3 ^{NSab}	25,0 ± 5,9 ^{NSbc}	32,1 ± 7,6 ^{NSab}	25,0 ± 8,1 ^{NSab}
66	105,0 ± 6,9 ^{NSa}	81,7 ± 5,3 ^{NSa}	75,0 ± 9,0 ^{NSa}	41,7 ± 3,3 ^{NSab}
88	67,3 ± 5,5 ^{Aab}	1,9 ± 3,4 ^{Bc}	0,0 ± 0,0 ^{Bb}	17,9 ± 5,2 ^{Bb}
110	82,8 ± 7,4 ^{NSa}	87,5 ± 3,0 ^{NSa}	28,1 ± 4,2 ^{NSab}	76,6 ± 5,5 ^{NSab}
132	82,5 ± 1,6 ^{NSa}	91,3 ± 4,4 ^{NSa}	94,0 ± 6,0 ^{NSa}	118,0 ± 11,4 ^{NSa}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey (p<0,05). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

Com respeito à Frequência de Aberrações Cromossômicas apresentadas na Tabela 19, as amostras LSE e LSA apresentaram o dobro de genotoxicidade quando comparado com o controle cujo valor é considerado como sendo 100%. Isso pode ser devido à biodisponibilização de substâncias no final do processo de degradação, como minerais ou substâncias produzidas pela própria ação dos microrganismos. Já as amostras LST e LSC apresentaram valores abaixo do controle, o que mostra que os materiais estruturantes presentes nesses tratamentos liberaram substâncias que causam menos danos genéticos às células de *Allium cepa*, ou os produzem em menor quantidade.

A presença de metais como Zinco e Cobre pode ocasionar a ocorrência de danos no material genético (KUMARI, 2011; HEMACHANDRA, 2015) e considerando que a compostagem é um processo de mineralização da matéria orgânica, isso pode ter contribuído para o aumento da concentração de metais e, conseqüentemente, da genotoxicidade. O Enxofre é um elemento muito comum em resíduos orgânicos e a sua degradação forma substâncias que também são capazes de causar efeitos genotóxicos como bisulfito (HSO_3^-) e sulfito (SO_3^-) (YI, 2003).

Tabela 19 - Frequência de Aberrações Cromossômicas (%) em células de *Allium cepa*.

Coleta	LSE	LSA	LST	LSC
0	53,8 ± 11,0 ^{ABab}	305,5 ± 18,5 ^{Aa}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}
22	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}	0,0 ± 0,0 ^{NSns}
44	33,3 ± 7,1 ^{NSab}	0,0 ± 0,0 ^{NSb}	16,7 ± 6,3 ^{NSns}	33,3 ± 8,9 ^{NSns}
66	90,0 ± 7,7 ^{NSab}	140,0 ± 11,4 ^{NSab}	70,0 ± 11,5 ^{NSns}	100,0 ± 14,0 ^{NSns}
88	87,5 ± 7,9 ^{Aab}	6,2 ± 6,1 ^{Bb}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}	0,0 ± 0,0 ^{Bns}
110	80,0 ± 10,1 ^{NSab}	100,0 ± 6,2 ^{NSab}	40,0 ± 9,8 ^{NSns}	90,0 ± 5,3 ^{NSns}
132	200,5 ± 14,5 ^{NSa}	212,5 ± 8,9 ^{NSab}	50,0 ± 4,3 ^{NSns}	75,0 ± 9,1 ^{NSns}

As letras maiúsculas diferem entre si nas linhas e as minúsculas diferem entre si nas colunas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). LSE – tratamento com lodo e serragem; LSA – tratamento com lodo, serragem e cama de aviário; LST – tratamento com lodo, serragem e resíduo de tabaco; LSC – tratamento com lodo, serragem e casca de arroz.

5.4 Conclusão

Os tratamentos apresentaram redução de fitotoxicidade em alguns casos e em outros não. As amostras analisadas não mostraram citotoxicidade, porém, as amostras LSE e LSA apresentaram um grau significativo de genotoxicidade, por outro lado, as amostras LST e LSC mostraram redução na Frequência de Aberrações Cromossômicas.

Pelos resultados encontrados, os compostos não mostraram condições para servir como adubo orgânico devido à toxicidade apresentada. Recomenda-se que mais testes sejam realizados, como por exemplo, testar a toxicidade do composto quando aplicado ao solo, uma vez que a interação com as condições ambientais como radiação solar, chuva e as próprias características físico-químicas e microbiológicas do solo, podem modificar o grau de toxicidade do material.

Referências

- Associação Nacional para Difusão de Adubos. Disponível em: <http://anda.org.br/?mpg=03.00.00&ver=por>. Acesso em: 11 de janeiro de 2019.
- BOAMAH, V, E.; et al. Prevalence and antibiotic resistance of coagulase-negative Staphylococci isolated from poultry farms in three regions of Ghana. **Infection and drug resistance**, v. 10, p. 175, 2017.
- ELANGO, R. Influence of microbial inoculants and their enzyme complexes on windrow composting of press mud sprayed with treated distillery spent wash. **International Journal of Recent Scientific Research**, vol. 9, ed. 7(G), p. 28239-28243, 2018.
- GERVÁSIO, E. W. Suinocultura - Análise da Conjuntura Agropecuária. SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **DERAL - Departamento de Economia Rural**, Paraná, 2013.
- GUERRA, M.; SOUZA. M. J. **Como observar cromossomos: um guia de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana**. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC, 2002.
- HEMACHANDRA, C. K.; PATHIRATNE, A. Assessing toxicity of copper, cadmium and chromium levels relevant to discharge limits of industrial effluents into inland surface waters using common onion, *Allium cepa* bioassay. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 94, n. 2, p. 199-203, 2015.

- KANDIL, A. A.; SHARIEF, A. E.; EL-FATAH, Fatma M. Abd. Individual and combined effects of antioxidant and salinity on germination characters of rice. **Journal of Ecobiotechnology**, 2019.
- KUMARI, M.; MUKHERJEE, A.; CHANDRASEKARAN, N. Genotoxicity of silver nanoparticles in *Allium cepa*. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 19, p. 5243-5246, 2009.
- LUCIA JR, T.; CORRÊA, E. K. Phytotoxicity as an indicator of stability of broiler production residues. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 156-159, 2016.
- MENDES, P. M.; BECKER, R.; CORRÊA, L. B.; BIANCHI, M. A.; DAI PRÁ, M. A.; LOPES, E. R.; et al. Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por métodos após decomposição ácida com sistema de refluxo. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1009-1017, 2018.
- MOURA, R. A. M.; et al. Industrial milk powder in bioassays for evaluation of cytotoxicity and genotoxicity. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, 2017.
- OKUR, N.; et al. Organic amendment based on tobacco waste compost and farmyard manure: influence on soil biological properties and butter-head lettuce yield. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, n. 2, p. 91-99, 2008.
- PHOUNGTHONG, K.; et al. Variation of the phytotoxicity of municipal solid waste incinerator bottom ash on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination with leaching conditions. **Chemosphere**, v. 146, p. 547-554, 2016.
- WON, S. G.; et al. Co-composting of swine mortalities with swine manure and sawdust. **Compost Science & Utilization**, v. 24, n. 1, p. 42-53, 2016.
- XIA, Y.; et al. Anaerobic digestibility of beef hooves with swine manure or slaughterhouse sludge. **Waste management**, v. 38, p. 443-448, 2015.
- YADAV, A.; et al. Phytotoxicity, cytotoxicity and genotoxicity evaluation of organic and inorganic pollutants rich tannery wastewater from a Common Effluent Treatment Plant (CETP) in Unnao district, India using *Vigna radiata* and *Allium cepa*. **Chemosphere**, v. 224, p. 324-332, 2019.
- YI, H.; MENG, Ziqiang. Genotoxicity of hydrated sulfur dioxide on root tips of *Allium sativum* and *Vicia faba*. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 537, n. 1, p. 109-114, 2003.
- ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**, v.22, p. 54-57, 1981.

6. CONCLUSÕES FINAIS

O resíduo sofreu degradação e alcançou os parâmetros físico-químicos de um composto maturado, no entanto, o material apresentou toxicidade nas análises de fitotoxicidade para os bioindicadores utilizados.

Com relação à citotoxicidade, as amostras não apresentaram inibição na taxa de divisão celular. Já a Frequência de Aberrações Cromossômicas foram significativas nas amostras LSE e LSA, no entanto, as amostras LST e LSC apresentaram redução no número de células com dano no material genético.

Mais trabalhos são necessários para elucidar a questão referente à toxicidade destes compostos.

7. REFERÊNCIAS

AL-GHEETHI, A. A. S.; et al. Removal of heavy metals and antibiotics from treated sewage effluent by bacteria. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.17, p. 2101, 2015.

Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas. 2º levantamento de dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil. ABCSEM.

Disponível em:

<http://www.abcsem.com.br/imagens_noticias/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20completa%20dos%20dados%20da%20cadeia%20produtiva%20de%20hortali%C3%A7as%20-%2029MAIO2014.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2017.

AWASTHI, M. K.; et al. Heterogeneity of biochar amendment to improve the carbon and nitrogen sequestration through reduce the greenhouse gases emissions during sewage sludge composting. **Bioresource technology**, v. 224, p. 428-438, 2017.

AZEREDO, M. S. L.; DALCHIAVON, F. C. Diagnóstico das lavouras de arroz do Rio Grande do Sul: Safras 2004/2005 x 2014/2015. **Revista iPecege**, v. 3, p. 86-108, 2017.

BERTANI, R. M. A.; et al. Avaliação Do Processo De Compostagem Do Lodo De Esgoto Com Diferentes Fontes De Carbono. **8º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, Curitiba, 2017.

BELLINGER, E. G.; SIGEE, D. C. **Freshwater algae: identification and use as bioindicators**. John Wiley & Sons, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Instrução Normativa SDA No 25, DE 23 DE JULHO DE 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. D.O.U. 28/07/2009, Seção 1, Página 20

BRASIL – Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>.

Acesso em: 30 out. 2018.

CASTILLO, J. M.; BEGUET, J.; LAURENT, F. M.; ROMERO, E. Multidisciplinary assessment of pesticide mitigation in soil amended with vermicomposted agroindustrial wastes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 304, p. 379-387, 2016.

CHAN, M. T.; SELVAM, A.; WONG, J. W. C. Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment. **Bioresource Technology**, v. 200, p. 838–844, 2016.

COSTA, N. L.; SANTANA, A. C. Análise do Mercado da Soja: Aspectos Conjunturais da Formação do Preço Pago ao Produtor Brasileiro. **Plantio Direto**, Ed. 163, p. 20-39, 2018.

COSTA, N. D.; et al. Cultivares de cebola. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2002.

CZEKAŁA, W.; et al. Co-composting of poultry manure mixtures amended with biochar – The effect of biochar on temperature and C-CO₂ emission. **Bioresource Technology**, v. 200, p. 921-927, 2016.

ENNOURI, H.; et al. Effect of thermal pretreatment on the biogas production and microbial communities balance during anaerobic digestion of urban and industrial waste activated sludge. **Bioresource Technology**, v. 214, p. 184–191, 2016.

FASSA, A. G.; et al. Green Tobacco Sickness Among Tobacco Farmers in Southern Brazil. **American journal of industrial medicine**, v. 57, p. 726–735, 2014.

FELISBINO, K.; et al. Mesotrione herbicide does not cause genotoxicity, but modulates the genotoxic effects of Atrazine when assessed in mixture using a plant test system (*Allium cepa*). **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 150, p. 83-88, 2018.

FOLLMANN, D. N. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, 2017.

GEED, S.R.; SHRIRAME, B. S.; SINGH, R. S.; RAI, B. N. Assessment of pesticides removal using two-stage Integrated Aerobic Treatment Plant (IATP) by *Bacillus* sp. isolated from agricultural field. **Bioresource Technology**, v. 242, p. 45-54, 2017.

GERBER, M. D.; et al. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. **Science of the Total Environment**, v. 592, p. 86-90, 2017.

GRAHN, C. M.; HELLIER, B.; BENEDICT, C.; MILES, C. Screening USDA Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Germplasm for Ability to Germinate under Cold Conditions. **HortScience**, v. 50, n. 8, p. 1155–1159, 2015.

HAZARIKA, J.; KHWAIRAKPAM, M. Evaluation of biodegradation feasibility through rotary drum composting recalcitrant primary paper mill sludge. **Waste Management**, v. 76, p. 275–283, 2018.

HAQ, I.; et al. Genotoxicity assessment of pulp and paper mill effluent before and after bacterial degradation using *Allium cepa* test. **Chemosphere**, v. 169, p. 642-650, 2017.

HE, L. Y.; et al. Discharge of swine wastes risks water quality and food safety: Antibiotics and antibiotic resistance genes from swine sources to the receiving environments. **Environment International**, v. 92-93, p. 210-219, 2016.

JIA, Y.; et al. Sulfamethoxazole degradation in anaerobic sulfate-reducing bacteria sludge system. **Water Research**, v. 119, p. 12-20, 2017.

JIANG, J.; et al. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. **Waste Management**, v. 39, p. 78-85, 2015.

JUNIOR, J. C. S.; et al. Natural reactive phosphate and poultry litter association on growth of forage grasses in an Amazonian Oxisol. **Amazonian journal of agricultural and environmental sciences**, v. 61, 2018.

KHUDZARI, J. M.; TARTAKOVSKY, B.; RAGHAVAN, G. S. V. Effect of C/N ratio and salinity on power generation in compost microbial fuel cells. **Waste Management**, v. 48, p. 135–142, 2016.

KOYAMA, Mitsuhiko et al. Effect of temperature on thermophilic composting of aquaculture sludge: NH₃ recovery, nitrogen mass balance, and microbial community dynamics. **Bioresource technology**, v. 265, p. 207-213, 2018.

LAUGHINGHOUSE IV, Haywood Dail et al. Biomonitoring genotoxicity and cytotoxicity of *Microcystis aeruginosa* (Chroococcales, Cyanobacteria) using the *Allium cepa* test. **Science of the Total Environment**, v. 432, p. 180-188, 2012.

LIBRALATO, G.; et al. Phytotoxicity of ionic, micro- and nano-sized iron in three plant species. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 123, p. 81-88, 2016.

LIMA, C. B.; et al. Fatores antinutricionais e processamento do grão de soja para alimentação animal. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 10, n. 4, 2014.

MALINSKA, K.; et al. Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge – The effect of biochar on the activity of Eiseniafetida and the obtained vermicompost. **Bioresource Technology**, v. 225, p. 206–214, 2017.

MICROBERTS, K. C.; et al. Ureaandcompostedcattle manure affect forage yield and nutritive value in sandy soils of south-central Vietnam. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 132-145, 2017.

MENG, L.; et al. Effects of sucrose amendment on ammonia assimilation during sewage sludge composting. **Bioresource technology**, v. 210, p. 160-166, 2016.

MIELE, M.; WAQUIL, P. D. Cadeia produtiva da carne suína no Brasil. In **XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Londrina, 2007.

MIHAI, F. C., INGRAO, C. Assessment of biowaste losses through unsound waste management practices in rural areas and the role of home composting. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1631-1638, 2018.

MOSELEY, W. G. A Risky Solution for the Wrong Problem: Why GMOs won't Feed the Hungry of the World. **Geographical Review**, v. 107, p. 578-583, 2017.

MUDRUŇKA, J.; et al. The presence of insect at composting. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, ed. 92, 2017.

MOURA, R. A. M.; et al. Industrial milk powder in bioassays for evaluation of cytotoxicity and genotoxicity. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, 2017.

MUHMOOD, A.; et al. Nutrient recovery from anaerobically digested chicken slurry via struvite: Performance optimization and interactions with heavy metals and pathogens. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1-9, 2018.

MULLANE, J. M.; et al. Intermittent rainstorms cause pulses of nitrogen, phosphorus, and copper in leachate from compost in bioretention systems. **Science of the Total Environment**, v. 537, p. 294-303, 2015.

MUTHAYYA S.; SUGIMOTO, J. D.; MONTGOMERY, S.; MABERLY, G. F. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of The New York Academy of Sciences**, v. 1324, p. 7-14, 2014.

OUZOUNIDOU, G.; GIANNAKOULA, A.; ILIAS, I.; ZAMANIDIS, P. Alleviation of drought and salinity stresses on growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus L.* cultivars by Si application. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, ed. 2, p. 531-539, 2016.

PARMAR, T. K.; RAWTANI, D.; AGRAWAL, Y. K. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. **Frontiers in life science**, v. 9, n. 2, p. 110-118, 2016.

PODE, R. Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1468-1485, 2016.

PORAT, R.; SHLOMO, E.; HALEVY, A. H. Horticultural techniques to improve *Celosia plumosa* growth for cut flowers. **Scientia horticultrae**, v. 63, n. 3-4, p. 209-214, 1995.

PRIAC, A.; BADOT, P. M.; CRINI, G. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: Focus on germination and root elongation test parameters. **Comptes Rendus Biologies**, v. 340, p. 188–194, 2017.

QIAN, X.; et al. Reducing antibiotic resistance genes, integrons, and pathogens in dairy manure by continuous thermophilic composting. **Bioresource Technology**, v. 220, p. 425-432, 2016.

RATHNAYAKA, R. M. N. N.; MAHENDRAN, S.; IQBAL, Y. B.; RIFNAS, L. M. Influence of Urea and Nano-Nitrogen Fertilizers on the Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivar 'Bg 250'. **International Journal of Research Publications**, v. 5, p. 7, 2018.

RAZA, S.; et al. Effect of pH during composting of municipal solid waste. **Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series A: Physical Sciences**, v. 60, n. 2, p. 114-116, 2017.

RIBEIRO, T. P.; SOUSA, T. R.; ARRUDA, A. S.; PEIXOTO, N.; GONCALVES, P. J.; ALMEIDA, L. M. Evaluation of cytotoxicity and genotoxicity of *Hancorniaspeciosa* latex in *Allium cepa* root model. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 76, p. 245-249, 2016.

ROESSING A. C.; MENEGHELO, D. G. Perspectiva de crescimento da produção de soja no Mato Grosso frente à Política de Subsídios dos Estados Unidos. **EMBRAPA**, 2001.

ROSA, H. T.; et al. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1159-1165, 2015.

SANCHEZ-MONEDERO, M. A. et al. Role of biochar as an additive in organic waste composting. **Bioresource technology**, v. 247, p. 1155-1164, 2018.

SANTOS, I. O.; TAVARES, M. Eficiência Técnica, Alocativa e de Custos na Produção de Arroz no Brasil. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Outubro de 2018.

SHI, M.; et al. Response of humic acid formation to elevated nitrate during chicken manure composting. **Bioresource Technology**, v. 258, p. 390-394, 2018.

SHOU, Z.; et al. Mitigating inhibition of undissociated volatile fatty acids (VFAs) for enhanced sludge-rice bran composting with ferric nitrate amendment. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 672-678, 2017.

SILVA, F. A. M.; et al. Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Eucalyptusurograndis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 827-828, abr.- jun., 2018.

SISOUANE, M.; CASCANT M. M.; TAHIRI, S.; GARRIGUES, S.; KRATI, M. E.; BOUTCHICH, G. E. K.; CERVERA, M. L.; GUARDIA, M. Prediction of organic carbon and total nitrogen contents in organic wastes and their composts by Infrared spectroscopy and partial least square regression. **Talanta**, v. 167, p. 352–358, 2017.

SPINDEL, J.; BEGUM, H.; AKDEMIR, D.; Virk P.; COLLARD, B.; et al. Genomic selection and association mapping in rice (*oryza sativa*): effect of trait genetic architecture, training population composition, marker number and statistical model on accuracy of rice genomic selection in elite, tropical rice breeding lines. **PLOS Genetics**, 17 de Fevereiro de 2015.

TAMBONE, F.; et al. Composting of the solid fraction of digestate derived from pig slurry: Biological processes and compost properties. **Waste Management**, v. 35, p. 55-61, 2015.

TARANATH, T. C.; et al. Cytotoxicity of zinc nanoparticles fabricated by *Justicia adhatoda* L. on root tips of *Allium cepa* L.—a model approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 11, p. 8611-8617, 2015.

TEIXEIRA, D. L.; MATOS A. T.; MELO, E. C. Alterações nas características físicas do material orgânico submetido ao processo de compostagem. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. 24, p. 41-49, Viçosa – MG, 2016.

VALENTE, B. S.; et al. Compostagem e vermicompostagem de dejetos líquidos de bovinos leiteiros e cama aviária. **Archivos de zootecnia**, v. 65, n. 249, p. 80, 2015.

VERKH, Y.; ROZMAN, M.; PETROVIC, M. A. Non-targeted high-resolution mass spectrometry data analysis of dissolved organic matter in wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 200, p. 397-404, 2018.

WU, G. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 5, ed. 1, p. 34, 2014.

WALTER, M.; Marchezan E.; AVILA, L. A. Arroz: composicao e caracteristicas nutricionais. **Ciência Rural**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 38, p. 1184, 2008.

WANG, L.; ZHU, J.; MILLER, C. The Stability of Accumulating Nitrite from Swine Wastewater in a Sequencing Batch Reactor. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 163, p. 362-372, 2011.

WANG, S. P; et al. Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: The effects of initial pH adjustment. **Bioresource technology**, v. 245, p. 778-785, 2017.

WANG, Y.; et al. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. **Nature Biotechnology**, v. 32, p. 947–951, 2014.

WEI, Y.; et al. Impact of phosphate-solubilizing bacteria inoculation methods on phosphorus transformation and long-term utilization in composting. **Bioresource Technology**, v. 241, p. 134-141, 2017.

WU, C.; LI, W.; WANG, K.; LI, Y. Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 190, p. 516-521, 2015.

WU, W.; MEI, Y.; ZHANG, L.; LIU, R.; CAI, J. Kinetics and reaction chemistry of pyrolysis and combustion of tobacco waste. **Fuel**, v. 156, p. 71-80, 2015.

YANG, X.; et al. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China. **Waste Management**, v. 64, p. 333-339, 2017.

YANG, F.; et al. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Waste Management**, v. 36, p. 70-76, 2015.

ZANG, B.; et al. Effects of mix ratio, moisture content and aeration rate on sulfur odor emissions during pig manure composting. **Waste Management**, v.56, p. 498–505, 2016.

ZENG, Y.; GUARDIA, A.; DABERT, P. Improving composting as a post-treatment of anaerobic digestate. **Bioresource Technology**, v. 201, p. 293-303, 2016.

ZHANG, L.; et al. Response of denitrifying genes coding for nitrite (nirK or nirS) and nitrous oxide (nosZ) reductases to different physico-chemical parameters during agricultural waste composting. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 99, n. 9, p. 4059-4070, 2015.

ZHAO, G. H.; et al. Effects of drying pretreatment and particle size adjustment on the composting process of discarded flue-cured tobacco leaves. **Waste Management & Research**, v. 35, p. 534-540, 2017.

ZHAO, L.; et al. CeO₂ and ZnO Nanoparticles Change the Nutritional Qualities of Cucumber (*Cucumis sativus*). **Journal of Agricultural e Food Chemistry**, v. 62, ed. 13, p. 2752-2759, 2014.