

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL -
MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Fernanda Beuren

**UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS
COMO SUBSTRATO NA COMPOSTAGEM DE BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL**

Santa Cruz do Sul

2019

Fernanda Beuren

**UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS
COMO SUBSTRATO NA COMPOSTAGEM DE BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Diosnel Antonio Rodriguez Lopez

Santa Cruz do Sul

2019

Fernanda Beuren

**UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS
COMO SUBSTRATO NA COMPOSTAGEM DE BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL**

Esta dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado; Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Dr. Diosnel Antonio Rodriguez Lopez

Professor Orientador | UNISC

Dr. Ênio Leandro Machado

Professor Examinador | UNISC

Dr. Robson Evaldo Gehlen Bohrer

Professor Examinador | UERGS

Santa Cruz do Sul

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela inspiração e conforto em todos os momentos desta caminhada;

A minha família, meus pais Dalila e Nestor, e meus irmãos Patricia e Mateus, que sempre me apoiaram em busca dos meus objetivos;

Ao meu parceiro Douglas que com paciência, companheirismo e carinho me incentivou a percorrer este caminho;

Ao meu orientador Prof. Dr. Diosnel pelo apoio constante, confiança, dedicação e ajuda no desenvolvimento desta dissertação;

A todos os professores e colegas do PGTA que contribuíram de uma forma ou outra forma na minha formação, em especial as minhas amigas do coração Ana e Priscila;

A UNISC, coordenação do PGTA e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PROPPG pela oportunidade, infraestrutura, e auxílio financeiro cedido por meio da bolsa BIPSS;

A empresa parceira pelo convênio, permitindo a realização deste estudo e a utilização dos dados, bem como, aos colegas de trabalho que me auxiliaram na condução dos experimentos.

A Universidade Federal de Pelotas, em especial ao Prof. Érico Kunde Corrêa pelo o conhecimento repassado e o incentivo para a realização deste estudo;

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Seu futuro é criado pelo o que você faz hoje, não amanhã!

Robert Kiyosaki.

RESUMO

Se, de um lado, o agronegócio é destaque na economia nacional, de outro, também o é na geração de resíduos, os quais, se não tratados e acumulados de forma desordenada no meio ambiente, devido as suas características físico-químicas e microbiológicas, ocasionam a poluição da água e do solo, além da disseminação de doenças e a emissão de odores desagradáveis. A implementação de práticas agroindustriais sustentáveis que visem o tratamento e reaproveitamento destes resíduos são primordiais para a redução e /ou minimização dos impactos ambientais associados, atendendo ao disposto na Lei Federal nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver e analisar as características físicas, químicas, microbiológicas e toxicológicas dos compostos orgânicos produzidos com diferentes tipos de resíduos agroindustriais (serragem, cama de aves, pó de fumo e casca de arroz), utilizados como substrato na compostagem de biossólido industrial. Foram montados quatro tratamentos em duplicata: ST1 – 12 m³ de serragem e 7 m³ biossólido; ST2 - 6 m³ serragem, 6 m³ cama de aves e 7 m³ biossólido; ST3 - 6 m³ serragem, 6 m³ pó de fumo e 7 m³ biossólido e ST4 - 6 m³ serragem, 6 m³ casca de arroz e 7 m³ biossólido. Os valores de pH, carbono orgânico total – COT e temperatura para todos os tratamentos analisados, não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) durante o processo de compostagem. Já os valores de nitrogênio apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para o tratamento ST1 que apresentou redução significativa em sua concentração, ou seja, 1,64 % e o tratamento ST2 que atingiu elevado percentual de concentração aos 126 dias, ou seja, 4,09 %. Os valores de fósforo dos tratamentos ST1, ST3 e ST4 não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) ao contrário do tratamento ST2 que apresentou aumento significativo em sua concentração final, ou seja, 3,65%. Os valores de umidade dos tratamentos ST2, ST3 e ST4 não diferiram significativamente ($p > 0,05$), porém o tratamento ST1 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com relação ao tratamento ST4 devido ao seu valor inicial de umidade relativamente alto, ou seja, 62,84%. Os valores de condutividade elétrica dos tratamentos ST1 e ST4 não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) entre si, assim como os tratamentos ST2 e ST3. Porém as respectivas duplas similares de tratamento diferiram ($p < 0,05$) entre si em virtude do comportamento e valores de condutividade similares obtidos durante todo o processo de compostagem. Quanto aos valores de bactérias mesófilas, estes não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) para os tratamentos analisados, ao contrário das bactérias termófilas que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) no tratamento ST4 em virtude do

comportamento estabilizado da colônia durante o período de 126 dias. Os valores de índice de germinação não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) ao longo do processo de compostagem para os tratamentos analisados, demonstrando-se fitotóxico até os 42 dias para os tratamentos ST1, ST3 e ST4, e 62 dias para o tratamento ST2. Neste sentido, os resultados obtidos indicam que a compostagem se apresenta como uma tecnologia ambientalmente sustentável no tratamento e revalorização de resíduos orgânicos, uma vez que os compostos orgânicos produzidos atendem os limites de qualidade estabelecidos na legislação ambiental vigente.

Palavras-chave: resíduos agroindustriais. Biossólido. Composto orgânico. Sustentabilidade.

ABSTRACT

If, on the one hand, agribusiness is prominent in the national economy, on the other, it is also in the generation of waste, which, if untreated and accumulated in a disorderly way in the environment, due to its physicochemical and microbiological characteristics, cause pollution of water and soil, as well as the spread of disease and the emission of unpleasant odors. The implementation of sustainable agroindustrial practices aimed at the treatment and reuse of these wastes are essential for the reduction and / or minimization of associated environmental impacts, in compliance with the Federal Law No. 12,305 / 2010, which establishes the National Solid Waste Policy (PNRS). In this context, the objective of this study was to develop and analyze the physical, chemical, microbiological and toxicological characteristics of organic compounds produced with different types of agroindustrial residues (sawdust, poultry litter, smoke powder and rice hulls). industrial biosolids composting. Four replicate treatments were set up: ST1 - 12 m³ of sawdust and 7 m³ biosolid; ST2 - 6 m³ sawdust, 6 m³ bird bed and 7 m³ biosolid; ST3 - 6 m³ sawdust, 6 m³ smoke powder and 7 m³ biosolid and ST4 - 6 m³ sawdust, 6 m³ rice husk and 7 m³ biosolid. The values of pH, total organic carbon - TOC and temperature for all treatments analyzed did not present a statistically significant difference ($p > 0.05$) during the composting process. On the other hand, the nitrogen values presented a significant difference ($p < 0.05$) for the ST1 treatment, which presented a significant reduction in its concentration, ie, 1.64% and ST2 treatment, which reached a high percentage of concentration at 126 days, ie, 4.09%. The phosphorus values of the ST1, ST3 and ST4 treatments did not differ statistically ($p > 0.05$) as opposed to the ST2 treatment, which presented a significant increase in its final concentration, ie, 3.65%. The values of ST2, ST3 and ST4 did not differ significantly ($p > 0.05$), but the ST1 treatment presented a significant difference ($p < 0.05$) in relation to the ST4 treatment due to its initial value of relatively high humidity, that is, 62.84%. The electrical conductivity values of the ST1 and ST4 treatments did not differ statistically ($p > 0.05$) among themselves, as did the ST2 and ST3 treatments. However, the respective treatment doubles differed ($p < 0.05$) from each other due to the behavior and similar conductivity values obtained during the entire composting process. In relation to the values of mesophilic bacteria, these did not present a significant difference ($p > 0.05$) for the analyzed treatments, unlike the thermophilic bacteria that presented a significant difference ($p < 0.05$) in the ST4 treatment due to the stabilized behavior of the colony during the 126-day period. The values of germination index did not differ statistically ($p > 0.05$) throughout the composting process for the analyzed treatments,

showing up to 42 days for treatments ST1, ST3 and ST4, and 62 days for treatment ST2. In this sense, the results indicate that composting is presented as an environmentally sustainable technology in the treatment and revaluation of organic waste, since the organic compounds produced meet the quality limits established in the current environmental legislation.

Keywords: agroindustrial residues. Biosolids. Organic compounds. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Esquema representativo do processo de compostagem	31
Figura 2 -	Representação das fases da compostagem decorrente das variações de temperatura	42
Figura 3 -	Representação do sistema de revolvimento de leiras	44
Figura 4 -	Parâmetros para aplicação de fertilizantes orgânicos no solo de acordo com a sua classificação	47
Figura 5 -	Aspecto dos resíduos sólidos alternativos adquiridos. Em A – resíduo de casca de arroz, em B – resíduo de pó de fumo, em C – resíduos de cama de aves e em D – resíduo de serragem.	50
Figura 6 -	Aspecto do biossólido industrial (lodo)	51
Figura 7 -	Vista geral da usina de compostagem	53
Figura 8 -	Montagem dos tratamentos. Em A – aplicação dos resíduos, em B – homogeneização do tratamento, em C – tratamentos em duplicata homogeneizados, em D – identificação. Erro! Indicador não definido.	
Figura 9 -	Procedimentos de coleta das amostras para análise em laboratório terceirizado.	Erro! Indicador não definido.
Figura 10 -	Monitoramentos diários. Em A – abertura da cava e inserção do termômetro digital, em B – visor termômetro digital, em C – revolvimento do tratamento, em D – planilha de controle.	59
Figura 11 -	Variação temporal da umidade (%) nos tratamentos realizados.	61
Figura 12 -	Valores médios de umidade (%) dos tratamentos realizados	62
Figura 13 -	Variação temporal da temperatura (°C) nos tratamentos realizados.	64
Figura 14 -	Valores médios de temperatura (°C) dos tratamentos realizados	65
Figura 15 -	Variação temporal do pH para os tratamentos realizados.	66
Figura 16 -	Valores médios de pH dos tratamentos realizados	67
Figura 17 -	Variação temporal do carbono orgânico (%) nos tratamentos realizados.	68
Figura 18 -	Valores médios de carbono orgânico (%) dos tratamentos realizados	70
Figura 19 -	Variação temporal do nitrogênio (%) nos tratamentos realizados.	71
Figura 20 -	Valores médios de nitrogênio (%) dos tratamentos realizados	74
Figura 21 -	Variação temporal do fósforo total (%) nos tratamentos realizados.	75

Figura 22 -	Valores médios de fósforo (%) dos tratamentos realizados	76
Figura 23 -	Variação temporal da condutividade elétrica (uS/cm) nos tratamentos realizados	77
Figura 24 -	Valores médios de condutividade elétrica (uS/cm) dos tratamentos realizados	79
Figura 25 -	Variação temporal da contagem de microorganismos mesófilos (log.UFC/g) nos tratamentos realizados.	81
Figura 26 -	Variação temporal da contagem de microorganismos termófilos (log.UFC/g) nos tratamentos realizados.	81
Figura 27 -	Representação das fases da compostagem decorrente das variações de temperatura	83
Figura 28 -	Valores médios de microorganismos mesófilos (Log.UFC/g) dos tratamentos realizados	84
Figura 30 -	Variação temporal do índice de germinação (%) nos tratamentos realizados	85
Figura 31 -	Valores médios de fitotoxicidade (%) dos tratamentos realizados	87
Figura 32 -	Aspecto dos compostos orgânicos produzidos. Em A – ST1 serragem e bioossólido, em B – serragem, cama de aves e bioossólido, em C – serragem, pó de fumo e bioossólido e em D – serragem, casca de arroz e bioossólido.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização prévia física, química, microbiológica e de fitotoxicidade dos resíduos alternativos adquiridos	52
Tabela 2 – Identificação e composição dos tratamentos confeccionados	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3 – Caracterização inicial física, química, microbiológica e de fitotoxicidade dos tratamentos confeccionados – Coleta 01 em 0 dias	56
Tabela 4 – Métodos analíticos aplicados na amostragem	57
Tabela 5 – Tabela de atendimento da CE aos padrões de qualidade para uso agrícola	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
C	Carbono
C/N	Relação Carbono / Nitrogênio
CE	Condutividade Elétrica
COT	Carbono Orgânico Total
NTK	Nitrogênio Total de Kjeldahl
MDF	Medium Density Fiberboard
RAF	Resíduo Agroindústria Fumageira
DIRTEC	Diretriz Técnica
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO ₂	Dióxido de Carbono
pH	Potencial Hidrogeniônico
O ₂	Oxigênio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
IN	Instrução Normativa
NEPERS	Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade
UFPel	Universidade Federal de Pelotas
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
APHA	American Public Health Association
PCA	Plate Count Agar
AL	Alongamento da Radícula
IG	Índice de Germinação

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

km ²	Quilômetro quadrado
%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
mS/cm	Millisimens/centímetro
uS/cm	Microsiemens/centímetro
Log.UFC/g	Logaritmo. Unidades Formadoras de Colônia / grama
m/v	Massa/volume
mL	Mililitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	Resíduos Sólidos.....	20
3.2	Resíduos Sólidos Agroindustriais.....	22
3.2.1	Biossólido Industrial (Lodo)	25
3.2.2	Resíduo da agroindústria alimentícia – Cama de Aves.....	26
3.2.3	Resíduo de agroindústria madeireira – Serragem	28
3.2.4	Resíduos de agroindústria fumageira – Pó de fumo.....	29
3.2.5	Resíduo da agroindústria arrozeira – Casca de Arroz	30
3.3	Compostagem.....	30
3.3.1	Principais fatores que influenciam no processo de compostagem	34
3.3.1.1	Substrato	34
3.3.1.2	Relação C/N.....	34
3.3.1.3	pH.....	36
3.3.1.4	Aeração	37
3.3.1.5	Temperatura	38
3.3.1.6	Umidade.....	40
3.3.1.7	Tamanho da Partícula.....	40
3.3.1.8	Microorganismos	41
3.3.2	Sistemas de Compostagem.....	43
3.3.3	Composto Orgânico.....	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.1	Caraterização dos resíduos agroindustriais e biossólido industrial.....	50
4.2	Condução do Experimento	52
4.2.1	Local.....	52

4.2.2	Composição e Montagem dos Tratamentos	53
4.2.3	Monitoramento Analítico dos Tratamentos	54
4.2.3.1	Análises Físico-Químicas	56
4.2.3.2	Análises Microbiológicas.....	57
4.2.3.3	Análises de Fitotoxicidade.....	58
4.2.4	Monitoramento Diário e Condução dos Tratamentos	58
4.2.5	Análise Estatística dos Dados	59
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1	Avaliação dos parâmetros físico-químicos	61
5.2	Avaliação dos parâmetros microbiológicos.....	80
5.3	Avaliação dos parâmetros de fitotoxicidade.....	85
6	CONCLUSÃO.....	89
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio tem apresentado expressiva participação na economia do país, representando cerca de 24% do Produto Interno Bruto -PIB, sendo o principal setor com crescimento acumulado de 14,5% no ano de 2017, de acordo com pesquisas realizadas pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2018).

Se, de um lado, o setor é destaque na economia nacional, de outro, também o é na geração de resíduos. Dados do setor apontam alto fator residual derivado das atividades agroindustriais em virtude do desperdício no uso de insumos, perdas entre a produção e o consumo, materiais gerados ao longo da cadeia agroindustrial que não possuem valor econômico evidente. Estes resíduos, se não tratados e acumulados de forma desordenada no meio ambiente, devido as suas características físico-químicas (materiais orgânicos ricos em nutrientes) podem ocasionar à poluição da água e do solo (principalmente eutrofização de corpos hídricos), a disseminação de doenças, além de provocar odores desagradáveis (AMORIM, 2002).

Neste âmbito, a implementação de práticas agroindustriais sustentáveis que visem o tratamento e reaproveitamento destes resíduos são primordiais para a redução e /ou minimização dos impactos ambientais associados, atendendo ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº. 12.305/2010), que dispõe entre outros temas, a responsabilidade dos diferentes setores da sociedade, e mesmo dos indivíduos, quanto à geração de resíduos com a aplicação de programas que visem estimular a redução, reutilização, e reciclagem dos resíduos (BRASIL, 2010).

A compostagem apresenta-se como uma alternativa sustentável no tratamento e valorização da fração orgânica de resíduos agroindustriais, dando ao material utilizado valor agregado e estabilidade, uma vez que minimiza os impactos causados pelos resíduos, bem como, proporciona o aproveitamento dos elementos químicos nutricionais neles existentes (CORRÊA; MENDES; CORRÊA, 2012).

De acordo com os autores Pereira Neto (1996) e Oliveira, Sartori e Garcez (2008), a compostagem é definida como um processo aeróbio controlado de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas estabilizadas, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação.

O aproveitamento agrícola de resíduos agroindustriais na forma de composto orgânico que atenda ao padrão de qualidade estabelecido na Instrução Normativa nº. 25/2009, resulta na sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que, possibilita a reciclagem de nutrientes melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como, reduz a contaminação ambiental decorrente da disposição inadequada dos mesmos e a utilização indiscriminada de pesticidas e fertilizantes químicos (MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2011).

Neste contexto, o presente estudo buscou realizar a caracterização física, química, microbiológica e toxicológica de compostos orgânicos produzidos com diferentes tipos de substratos alternativos, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais por meio da compostagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo teve como objetivo geral analisar as características físicas, químicas, microbiológicas e toxicológicas dos compostos orgânicos produzidos com diferentes tipos de resíduos agroindustriais, como, serragem, cama de aves, pó de fumo e casca de arroz, utilizados como substrato na estabilização biotécnica de biossólido industrial (lodo de estação de tratamento de efluentes) por meio da compostagem.

2.2 Objetivos Específicos

- Montagem de quatro tratamentos em duplicata constituídos por biossólido industrial e diferentes tipos de resíduos agroindustriais;
- Monitoramento analítico dos tratamentos constituídos por meio de análises diárias e coletas periódicas de amostras do composto orgânico produzido durante o período de 126 dias;
- Tratamento estatístico dos dados analíticos obtidos e análise qualitativa do composto orgânico produzido;
- Classificação do composto orgânico produzido de acordo com a Instrução Normativa Nº 25 de 23 de Julho de 2009, do Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos Sólidos

A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, dispõe sobre um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, voltados à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos no País (BRASIL, 2010).

O inciso § 16 do Artigo 3º da respectiva legislação define resíduos sólidos como sendo:

Resíduos Sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, ONLINE).

Outrossim, a norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define resíduos sólidos como sendo:

Resíduos sólidos: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004, p 1).

São geradores de resíduos sólidos as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo (BRASIL, 2010). A classificação dos resíduos sólidos gerados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública somente é possível por meio da identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido, podendo estes serem divididos em dois grupos - perigosos e não perigosos, sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte, ou seja, a) Resíduos classe I - perigosos: são aqueles cujas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem acarretar em riscos à saúde pública e/ou riscos ao meio ambiente,

quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Para que um resíduo seja apontado como classe I, ele deve estar contido nos anexos A ou B da NBR 10004 ou apresentar uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. b) Resíduos classe II – não perigosos: subdividem-se em classe II A – não inertes e classe II B – inertes, que apresentam características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos apresenta uma série de conceitos inovadores, vislumbrando os resíduos sólidos como materiais que podem ser reutilizados e reaproveitados, bem como, o rejeito como insumo inservível como matéria-prima na cadeia produtiva. Para tanto, a PNRS definiu em seu artigo 9º que, na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, deve-se adotar a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos (BRASIL, 2010).

Neste sentido, torna-se necessário o desenvolvimento da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos através das atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, por meio da aplicação de programas que visem estimular a redução, reutilização, e reciclagem dos resíduos, minimizando assim, os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental (BRASIL, 2010).

Um dos instrumentos-chave para a implantação sustentável da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é a reciclagem, que além de viabilizar a hierarquização no gerenciamento dos resíduos sólidos, prevê a inclusão socioeconômica dos envolvidos. A reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes (BRASIL, 2010).

Com a instituição da PNRS, a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sólidos não só é estimulado como passa a ser obrigatoriedade das empresas geradoras, que devem buscar tecnologias ou destinos ambientalmente adequados para disposição dos mesmos (BRASIL, 2010). Neste sentido, as empresas têm buscado alternativas sustentáveis para o tratamento de resíduos não só para atender a legislação ambiental vigente, mas também, para promover a preservação ambiental. Em grande parte, os resíduos sólidos classificados como classe II são os que apresentam maior potencial para reciclagem ou implantação de tecnologias de

reaproveitamento, por serem compostos de materiais orgânicos ricos em nutrientes, os quais se não tratados e acumulados desordenadamente no ambiente, podem levar à poluição da água e do solo (principalmente eutrofização de corpos hídricos), a disseminação de doenças, além de provocar odores desagradáveis (AMORIM, 2002).

A compostagem apresenta-se como uma opção de tratamento sustentável por apresentar baixo custo e boa eficiência. Este processo tem por finalidade, obter mais rapidamente e em condições desejadas a estabilização da matéria orgânica. A mesma minimiza os impactos causados pela grande geração de resíduos, e, gera o aproveitamento dos elementos químicos nutricionais neles existentes. É uma técnica biológica aeróbia controlada que permite a reciclagem dos nutrientes presentes nos resíduos, sem que ocorram excessivas perdas nutricionais por lixiviação ou volatilização (KIEHL, 2010).

3.2 Resíduos Sólidos Agroindustriais

Segundo Novaes et al. (2009), o agronegócio é caracterizado como uma das principais atividades econômicas do Brasil, favorecendo o avanço da economia brasileira em nível mundial, colocando o Brasil como um dos maiores produtores e exportadores do mundo, em especial na produção e exportação de alimentos, uma vez que apresenta vocação natural para o agronegócio devido às suas características e diversidades favoráveis, sendo elas: clima, solo, água, relevo e luminosidade.

O Brasil é o país mais extenso da América do Sul por apresentar 8,5 milhões de km² e o quinto do mundo com potencial de expansão de sua capacidade agrícola sem necessidade de agredir o meio ambiente. Em virtude disso, o agronegócio brasileiro além de moderno, competitivo e eficiente, é uma atividade bem-sucedida, segura e com grande possibilidade de lucros se gerenciada de forma adequada (CEPEA, 2018).

De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA, (2017), a agricultura e o agronegócio no Brasil contribuíram com 23,5 % do Produto Interno Bruto (PIB) do país em 2017, a maior participação nos últimos 13 anos. O PIB do agronegócio é medido pela renda gerada em todas atividades que se relacionam com a agropecuária, estando estas relações divididas em quatro segmentos: (1) insumos para a agropecuária, (2) produção agropecuária, (3) agroindústria e (4) serviços (comércio, transporte, demais serviços) (BARROS; SILVA; FACHINELLO, 2014).

Estimativa do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) (2018), o PIB-volume do agronegócio deve crescer 2,53% em 2018, com altas de 4,48% para

insumos, de 0,97% para o segmento primário, de 3,06% para a agroindústria e de 2,91% para os agrosserviços. Este impulso para a alta do agronegócio está vindo dos elos industriais, já que se estima leve queda apenas para o segmento primário.

O agronegócio tem colaborado de forma significativa para o crescimento econômico do país, sendo um dos segmentos mais importantes da economia brasileira, trazendo benefícios sociais e econômicos. Entretanto, tem contribuindo significativamente para o aumento da geração de resíduos que variam desde a etapa de extração da matéria prima estendendo-se durante todas as etapas do processo industrial, sendo em muitos casos destinados de forma irregular acarretando problemas sanitários e ambientais como a contaminação do solo, do ar e de corpos hídricos (PEDROSA et al., 2013).

O mesmo contempla a agroindustrialização que compreende as atividades industriais relacionadas ao beneficiamento, processamento e/ou transformação de matérias-primas provenientes de explorações agrícolas, pecuárias, pesqueiras, aquícolas, extrativistas e florestais. A agroindústria, ainda pode ser entendida como todo segmento industrial de produtos alimentícios, ou indústria que transforma matéria-prima agropecuária em produtos intermediários para fins alimentares e não alimentares como as indústrias de óleos vegetais não comestíveis, e de insumos agropecuários (PREZOTTO, 2016).

Os resíduos agroindustriais são gerados no processamento de materiais como alimentos, fibras, couro e madeira, como por exemplo, em usinas sucroalcooleiras, abatedouros e criações de animais, indústrias de processamento de carnes, indústrias de processamento de grãos, frutas e hortaliças, indústrias de produção de celulose e papel, curtumes, entre outras. Atualmente, a maior problemática relacionada à agroindústria está vinculada a quantidade de resíduos sólidos gerados durante o desenvolvimento de suas atividades industriais. Em grande parte, os resíduos gerados não são tratados e reaproveitados de forma adequada, apresentando uma disposição ambientalmente inadequada, com potenciais riscos de contaminação dos solos e águas (PREZOTTO, 2016).

Com relação aos subprodutos e descartes produzidos pela agroindústria de maneira geral, pode-se citar: resíduos de abatedouros, lodos das estações de tratamento de efluentes, palha de arroz, invólucro de embutidos, carvão remanescente de caldeiras, resíduos da limpeza de grãos em unidades de beneficiamento, resíduo da desfibrilação de algodão, bagaço de cana-de-açúcar, conteúdo ruminal de bovinos, manipueira das fecularias, restos de culturas e hortaliças, resíduo de incubatório, tortas da produção de biodiesel, efluentes de abatedouros, resíduos de aves de postura, e, outros variados (CARNEIRO, 2012).

Apesar dos resíduos agroindustriais apresentarem risco de contaminação, os mesmos não podem ser considerados rejeitos, uma vez que apresentam valor econômico agregado podendo ser tratados e reutilizados de forma harmônica no próprio setor agroindustrial ou como fonte de matéria prima para outras atividades. Neste sentido, o desenvolvimento e implementação de processos sustentáveis capazes de converter biomassa em produtos com valor agregado é uma necessidade absoluta para reaproveitar os resíduos agroindustriais atendendo ao preconizado na Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, promovendo assim, a preservação ambiental (PEDROSA et al., 2013).

Segundo Silva (2007), entre os principais resíduos agroindustriais com potencial para reciclagem agrícola disponíveis no Brasil, considerando sua composição e as escalas de produção estão: os resíduos da indústria sucroalcooleira (bagaço da cana-de-açúcar, torta de filtro, cinzas de caldeira, borra de branqueamento do açúcar), resíduos da produção animal (camas, restos de carcaças, esterco, sólidos oriundos da limpeza das baias), resíduos da indústria de processamento de frutas e hortaliças (casca de coco, bagaços diversos, produtos alimentícios após a validade ou fora do padrão), resíduos da produção de carvão vegetal (fino de carvão, alcatrão e ácido pirolenhoso), palhadas resultantes da produção de sementes de gramíneas, entre outros.

O reaproveitamento destes resíduos, além de evitar a acumulação dos mesmos, contribui para o controle da poluição, gera renda, proporciona melhores condições de saúde pública, bem como, reduz a dependência de fertilizantes químicos importados e viabiliza a sustentabilidade do crescimento da produção agrícola. A utilização de compostos provenientes da reciclagem de resíduos orgânicos como fonte de adubação permite a recuperação de elementos valiosos para o solo presentes nos resíduos, tais como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e elementos traço. Além disso, a adição de matéria orgânica ao solo contribui para melhorar sua estrutura física e sua capacidade de absorção de água e de fornecimento de nutrientes para as plantas, viabilizando o aumento da produção e a melhoria da qualidade dos alimentos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA, 2012).

A reciclagem ou reutilização dos resíduos agroindustriais por meio da compostagem representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de resíduos alternativos devidamente tratados como insumo agrícola atuando como um fertilizante orgânico e/ou condicionador do solo de boa qualidade e baixo custo, além de reduzir custos finais dos setores industriais geradores e consumidores dos resíduos, além de preservar o meio ambiente (BRASIL, 2010).

3.2.1 Biossólido Industrial (Lodo)

O biossólido é um resíduo orgânico (lodo) resultante de sistemas de tratamento de efluentes industriais. O mesmo é rico em matéria orgânica e nutrientes como Nitrogênio (N), Fósforo (P), Enxofre (S), Magnésio (Mg) e Cálcio (Ca), além de alguns elementos traço como Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Boro (B), podendo as suas propriedades variar de acordo com a composição da matéria-prima ao qual ele se originou e como ele foi processado (ILANI et al., 2016).

A destinação ou processamento final deste tipo de resíduo depende das suas características e origem, podendo ser realizado pelo próprio gerador ou por terceiros, devendo ser adequadamente disposto ou reciclado em atendimento as leis e normas vigentes, sanitárias e ambientais (ILANI et al., 2016).

Devido à elevada concentração de nutrientes, o biossólido apresenta potencial de uso como fertilizante e condicionador do solo e, quando atende aos requisitos necessários à concentração de metais pesados e patógenos, pode substituir parcial ou totalmente os fertilizantes minerais. No entanto, a aplicação direta do mesmo em solos agrícolas não é recomendada, sendo necessário a implementação de tratamentos que possibilitem a estabilização do biossólido para reduzir odores, patógenos e a atração de vetores que podem resultar da decomposição do material depositado (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002; RIGBY et al., 2016).

A reciclagem de biossólidos industriais por meio da compostagem é um dos métodos de tratamento mais econômico e sustentável, uma vez que, proporciona um destino mais nobre e ambientalmente correto a este tipo de resíduo, gerando um produto final orgânico de qualidade para uso agrícola, bem como, promove ganhos energéticos e econômicos à indústria, além de reduzir a exploração de recursos naturais e a dependência pela importação e utilização de insumos químicos (CORRÊA et al., 2012).

O biossólido industrial pode apresentar alto teor de umidade, alta densidade e baixa razão C/N, sendo susceptível à compactação, limitando o arejamento da pilha de compostagem e contribuindo para a emissão de lixiviados e gases tais como metano e sulfeto de hidrogênio. Desta forma, para que seja possível a sua reciclagem, é necessário o acréscimo de resíduos secos a fim de controlar a umidade, como por exemplo: serragem, maravalha, casca de arroz, entre outros (ALMEIDA, 2015).

3.2.2 Resíduo da agroindústria alimentícia – Cama de Aves

A cama de aves consiste em um material disposto no galpão para evitar o contato direto das aves com o piso durante todo o período de alojamento. A mesma tem como objetivo promover a absorção de água e a incorporação de fezes e penas. Ademais, o material auxilia na redução das oscilações de temperatura do aviário, contribuindo para o conforto das aves (COOB, 2009).

A cama de aves geralmente é constituída por uma mistura de serragem, lascas de madeira sem tratamento químico, palha, casca de arroz juntamente com restos de ração, excretas e penas. Hahn (2004), cita diversos fatores que podem influenciar a composição física e química da cama de aviário. O mais importante é o número de lotes criados na mesma cama e o tipo e a quantidade de material que é utilizado como substrato. Além desses fatores, cita-se também a idade de abate dos animais, a densidade de confinamento, a conversão alimentar, o tipo de alimento dos frangos, a umidade do material absorvente, o tipo de piso e as condições climáticas ocorridas durante a criação.

Ao final do ciclo de criação, a cama de aves resulta em um produto final que pode ser utilizado como fertilizante orgânico por apresentar relativa quantidade de nutrientes. A cama é basicamente composta de Carbono © e água, com quantidades menores de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) e demais elementos como Cloro (Cl), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Arsênio (As) (KELLEHER et al., 2001).

A utilização da cama de aviário como fertilizante é desejável economicamente, uma vez que representa um recurso interno da propriedade rural e é um resíduo contendo uma elevada concentração de nutrientes. Em muitas propriedades é a única fonte de nutrientes adicionados ao solo pelos agricultores. Entretanto, do ponto de vista ecológico, há grandes restrições ao seu uso direto, pois este resíduo pode ser um poluente do solo e das águas superficiais e subterrâneas (MOORE et al., 1995; VIEIRA, 2016).

Normalmente, a cama de aviário é aplicada diretamente no solo sem que tenha sido submetida a um processo de decomposição uma vez que o agricultor não dispõe de espaço para estocagem adequada, geralmente o período de limpeza do aviário coincide com o preparo do solo e plantio das lavouras, ou o agricultor desconhece ou não considera a decomposição da cama de aviário uma medida importante na redução dos riscos de contaminação ambiental.

Segundo Hahn (2004), a aplicação inadequada da cama de aves não obedece aos critérios agronômicos para aplicação de fertilizantes no solo, provocando desequilíbrios

químicos, físicos e biológicos do solo, bem como, aumentando o risco de toxicidade às plantas e as perdas de nutrientes (nitrogênio e fósforo) por erosão e lixiviação, podendo ocasionar a poluição de recursos hídricos próximos. Dos elementos presentes em altas concentrações na cama de aviário o nitrogênio e o fósforo apresentam maior potencial de contaminação ambiental. O nitrogênio pode contaminar a atmosfera, o solo e as águas superficiais e subterrâneas. O fósforo pode contaminar o solo e, principalmente, as águas superficiais. Além destes, o potássio e nutrientes como o cobre, zinco, cálcio, magnésio, em menor concentração na cama de aviário, também apresentam um risco de contaminação quando a cama é inadequadamente utilizada.

Além disso, a cama de aves apresenta elevada e diversificada população microbiana, podendo acarretar problemas de saúde pública e ambiental, pois parte dos microorganismos podem contaminar o solo, os mananciais de água e infectar o homem e outros animais pelo contato com a pele e pelo consumo de água, animais aquáticos e alimentos contaminados (HAHN, 2004).

A utilização de um processo de decomposição da cama de aviário antes de sua aplicação no solo permite, em determinadas condições, a transformação biológica da matéria orgânica em compostos inorgânicos, tendo como produto final um fertilizante de qualidade e com menores impactos negativos ao ambiente.

Este processo de decomposição é mais comumente conhecido pelos agricultores por fermentação, pois quando a cama é amontoada pela necessidade de limpeza dos aviários, geralmente é feita em grandes quantidades e neste caso há predomínio de um ambiente anaeróbio durante a decomposição do material. Já quando a cama recebe uma maior aeração pelo revolvimento ou pela adição de materiais que aumentam as trocas gasosas, o processo é comumente denominado de compostagem (HAHN, 2004).

Em ambos os processos, o produto resultante da decomposição apresenta características físicas, químicas e biológicas diferentes das do material que lhe deu origem devido as inúmeras transformações físico-químicas desencadeadas, principalmente pelos microorganismos. Além disso, a prática da decomposição apresenta a vantagem de eliminar microorganismos patogênicos e resíduos de substâncias químicas (MOORE et al., 1995; VIEIRA, 2016).

3.2.3 Resíduo de agroindústria madeireira – Serragem

A indústria moveleira brasileira é geradora de grandes volumes de subprodutos de madeira e nesse sentido vende resíduos de madeira como fonte de matéria prima para outros processos industriais, seja como biomassa para geração de calor ou para a produção de aglomerado e MDF (CASSILHA et al.,2003).

Cassilha et al., (2003), estima que as perdas e a geração de resíduos é de quase 50% do total da cadeia produtiva da madeira, tendo em vista a baixa qualidade da matéria-prima, a falta de conhecimento básico das propriedades físicas, mecânicas e organolépticas da madeira, e também pela aplicação de tecnologias inadequadas para seu processamento.

Os principais resíduos da indústria madeireira são: a) a serragem, originada da operação das serras, que pode chegar a 12% do volume total de matéria-prima; b) os cepilhos ou maravalhas, gerados pelas plainas, que podem chegar a 20% do volume total de matéria-prima, nas indústrias de beneficiamento; c) a lenha ou cavacos, composta por costaneiras, aparas, refilos, cascas e outros, que pode chegar a 50% do volume total de matéria-prima, nas serrarias e laminadoras (CASSILHA et al.,2003).

Apesar destes resíduos apresentarem baixo potencial poluidor, a estocagem dos mesmos interfere no processo industrial, podendo os mesmos serem destinados a queima a céu aberto ou sem fins energéticos, acarretando na liberação de poluentes atmosféricos. Além disso, o descarte indevido dos mesmos pode causar poluição nos recursos hídricos, inutilização de áreas que poderiam ser mais bem aproveitadas e poluição de maneira geral (CASSILHA et al., 2003).

Resíduos de madeira, quando não tratados, possuem grande possibilidade de uso como agente estruturante na compostagem. Agentes estruturantes são resíduos que complementam o processo, visto que o biossólido sozinho não possui características que possibilitem sua compostagem de forma adequada. Vários são os agentes estruturantes utilizados hoje na compostagem, entre eles, serragem, maravalha, casca de arroz, farelo de arroz, entre outros. Como o biossólido tem um conteúdo de umidade muito alto e baixos índices de relação C/N para uma compostagem eficiente, o uso de agentes estruturantes se faz necessário (CHANG; CHEN, 2010).

A serragem é o material mais amplamente utilizado como agente estruturante na compostagem, sendo demonstrado em estudos que ela consegue ajudar na adequação de umidade durante os primeiros dias de compostagem, bem como auxilia na manutenção de

espaços de ar livres dentro da leira, melhorando assim o processo de compostagem e a qualidade do produto final (IQBAL; SHAFIQ; AHMED, 2010).

Dessa maneira, a reutilização e reciclagem destes resíduos é vista com bons olhos pelas indústrias madeireiras, visto que podem ser vendidos à outras empresas e aplicado em diversos usos, gerando lucro (IQBAL; SHAFIQ; AHMED, 2010).

3.2.4 Resíduos de agroindústria fumageira – Pó de fumo

Dados do setor industrial indicam que a produção anual de resíduos de agroindústria fumageira (RAF) corresponde a aproximadamente 4% do total de folhas processadas nas agroindústrias, sendo geradas no Brasil aproximadamente 35.000 toneladas de resíduos por ano (LAUSCHNER et al., 2013).

Segundo a Portaria nº. 016, de 19 de janeiro de 1982, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1982), o pó de fumo é classificado como um resíduo do processamento do tabaco, sendo constituído dos resíduos finais provenientes da destala mecânica e que compreende o pó e resíduos de tamanho ínfimo, estes últimos não enquadráveis em SC (SC – fragmentos de folhas sem talo, de tamanho não superior a 10 (dez) milímetros quadrados). Ainda, segundo Lauschner et al., (2013), o pó de fumo é extraído durante todo o processo produtivo por sistemas de exaustão e tamização e pelos fragmentos de talos sem valor comercial, constituindo-se em aproximadamente 95 a 5% do total de resíduos gerados.

Usualmente, este resíduo do tabaco é descartado em solos agrícolas como fertilizantes ou destinados para usinas de reciclagem ou aterros de resíduos industriais, gerando assim altos custos com transporte e destinação final. Entretanto, devido à legislação ambiental e às próprias demandas do controle de qualidade da produção industrial são necessários indicadores de base técnica, que possibilitem o correto manejo e o reaproveitamento racional dos resíduos e/ou subprodutos do processamento das folhas de tabaco em solos agrícolas (TEDESCO et al., 1999).

Os resíduos de pó geralmente apresentam percentuais relativamente baixos de umidade (4%) e relação C/N, porém contêm teores relativamente altos de macro-nutrientes, principalmente de potássio (LAUSCHNER et al., 2013). Por outro lado, este tipo de resíduo se misturado com outros resíduos biodegradáveis com relação C/N alta, resulta em uma mistura com características físico-químicas ideais para compostagem (KOPČÍK et al., 2014).

3.2.5 Resíduo da agroindústria arrozeira – Casca de Arroz

A economia do Estado do Rio Grande do Sul é fortemente vinculada a atividades agrícolas, distinguidas, entre outras, por grandes volumes de produção de arroz, gerando considerável quantidade de resíduos sólidos oriundos da atividade de processamento e beneficiamento, identificados como casca de arroz e cinzas resultantes da queima de casca de arroz, os quais representam aproximadamente 23% do peso total de arroz beneficiado (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM, 2011).

Silveira, Ferreira e Dal Molin (1996) caracteriza a casca de arroz como uma capa lenhosa, dura e altamente silicosa, composta por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica, em base anidra, dificultando a sua decomposição e caracterizados como fonte de poluição e contaminação, vindo a impactar o meio ambiente e a saúde pública da população, quando passíveis de ações inadequadas de gerenciamento.

As unidades processadoras e beneficiadoras de arroz, bem como, a unidades que utilizam a casca de arroz como combustível ou para outros fins, devem possuir um Plano de Gestão que visa o destino final ambientalmente adequado destes resíduos de acordo com a diretriz técnica nº. 002/2011 – DIRTEC da FEPAM (FEPAM, 2011).

Atualmente, os resíduos de casca de arroz, devido as suas características físicas e químicas destina-se basicamente para incorporação em solo agrícola, unidades de compostagem, utilização como combustível, disposição final em células de aterro, entre outros fins (SILVEIRA; FERREIRA; DAL MOLIN, 1996).

No processo de compostagem, a casca de arroz pode ser inserida como substrato tanto na forma natural quanto carbonizada, misturada a outros materiais, uma vez que apresenta baixa capacidade de retenção de água, drenagem rápida e eficiente, proporcionando boa oxigenação para as raízes, elevado espaço de aeração ao substrato, resistência à decomposição, relativa estabilidade de estrutura, baixa densidade e pH próximo à neutralidade (MELLO, 2006).

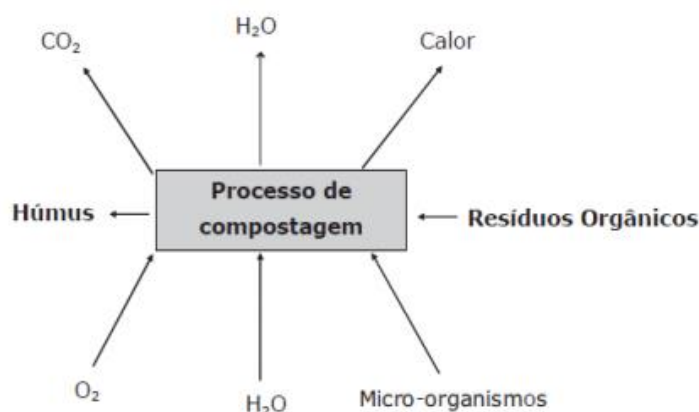
3.3 Compostagem

De acordo com Kiehl (1998), a compostagem é uma técnica que vem sendo praticada desde a antiguidade, como forma de fertilizar o solo, pois antes mesmo da era cristã, os chineses, gregos e romanos já devolviam a seus solos os restos de plantas e resíduos animais.

Seu termo está associado ao processo de tratamento e/ou estabilização de resíduos orgânicos sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola, florestal entre outras.

Segundo Pereira Neto (1987), Oliveira, Sartori e Garcez (2008), a compostagem é considerada um processo de decomposição oxidativa biológica aeróbia de resíduos orgânicos sob condições adequadas, mediado por uma população diversificada de microrganismos termófilos e mesófilos, que produzem compostos mineralizados ou matéria orgânica bioestabilizada na forma de substâncias húmicas com propriedades e características muito diferentes daquele material que lhe deu origem. Durante o processo de decomposição biológica ocorre a produção de calor e o desprendimento, principalmente de gás carbônico e vapor d'água conforme evidencia a Figura 1 (KIEHL, 1998).

Figura 1 – Esquema representativo do processo de compostagem



Fonte: Adaptado de Almeida (2015).

O processo de compostagem reduz toxicidade, volume e umidade de resíduos e os transforma em fontes de matéria orgânica de uso na agricultura e no enriquecimento de fertilidade do solo. A efetividade desse tipo de composto como condicionador de solo ou fertilizante depende das propriedades químicas, físicas e biológicas do substrato utilizado (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2015).

A compostagem é desenvolvida por uma ação combinada da macro e mesofauna e de diferentes comunidades de microrganismos (incluindo bactérias, actinomicetas, leveduras e fungos) que predominam em diferentes fases da compostagem. Durante o processo a ação microbiana realiza a degradação de carboidratos, proteínas, aminoácidos, lipídeos, ligninas e

taninos. Já as reações enzimáticas de polimerização e repolimerização formam compostos aromáticos e alifáticos tais como as substâncias húmicas (EL FELS et al., 2014).

De forma geral, a ação conjunta dos microorganismos provoca a liberação de elementos químicos como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, que deixam a forma orgânica (forma imobilizada) e passam para a forma de nutrientes minerais (forma mineralizada) disponível as plantas (KIEHL, 1998).

Para se obter um composto de boa qualidade em menos tempo, é necessário que os resíduos apresentem uma adequada relação de nutrientes e fatores, proporcionando condições favoráveis ao crescimento e metabolismo das colônias de microorganismos (FIORI; SCHOENHALS; FOLLADOR, 2008).

Para a obtenção de uma adequada degradação da matéria orgânica sem elevadas perdas nutricionais por lixiviação ou volatilização, e, redução no tempo necessário para as transformações apropriadas no descarte inicial, é necessário que alguns fatores devam ser monitorados e mantidos sobre controle ao longo do processo garantindo a atividade biológica (VERAS; POVINELLI, 2004; KIEHL, 2010).

Vários são os fatores físicos e químicos relacionados entre si que determinam a qualidade e a velocidade do processo de compostagem, como composição da matéria-prima, viabilidade de nutrientes, temperatura, concentração de oxigênio, carbono, nitrogênio, pH, umidade, tamanho das partículas, entre outros. Durante o processo de compostagem, estes parâmetros devem ser ajustados e controlados para que os micro-organismos possam ter as condições necessárias para desenvolver suas atividades biológicas, pois estes têm importante papel em todos os eventos da biotransformação de substratos orgânicos, sendo as bactérias as de maior influência devido sua versatilidade metabólica. Portanto, o conhecimento da dinâmica enzimática bacteriana é de fundamental importância para uma melhor gestão e melhoramento dos processos de compostagem (VIEIRA, 2016).

O processo da compostagem é representado por três etapas, sendo a primeira etapa correspondente a decomposição dos componentes facilmente biodegradáveis, a segunda etapa, termofílica, onde a celulose e materiais similares são degradados pela atividade fortemente oxidativa dos microorganismos e a terceira etapa de maturação/estabilização. Durante o processo ocorre a produção de calor e o desprendimento, principalmente de gás carbônico e vapor d'água (KIEHL, 1998).

O tempo necessário para a compostagem de resíduos orgânicos está associado aos vários fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais. A

compostagem natural leva de 60 a 90 dias para atingir a bioestabilização e de 90 a 120 dias para humificação (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000).

Como resultado da compostagem, tem-se um composto orgânico estabilizado, com aspecto escuro, semelhante a húmus, combinado por sais minerais e nutrientes, atuando como fertilizante ou condicionador natural, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do sistema solo/planta (KIEHL, 2010).

A utilização da compostagem, como qualquer outro recurso apresenta vantagens e desvantagens, sendo elas (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES, 2014):

Vantagens que esta tecnologia apresenta:

- Aumenta a vida útil do local de disposição final dos resíduos;
- Promove o aproveitamento agrícola da matéria orgânica pelo uso de composto orgânico no solo;
- Os rejeitos podem ser dispostos nos aterros sanitários, reduzindo os problemas relativos à formação de gases e lixiviados, visto que são materiais biologicamente estabilizados;
- Quando bem operadas, as unidades de compostagem não causam poluição atmosférica ou hídrica;
- Geração de renda com a comercialização do composto, caso exista mercado.

Desvantagens apresentadas pela técnica:

- Requer uma separação eficiente dos resíduos e um tempo de processamento que pode chegar a seis meses;
- Necessita de mercado para vender o composto;
- Quando mal operada, os líquidos e gases gerados podem contaminar o meio ambiente e comprometer a qualidade de vida;
- Requer área relativamente grande para operação das leiras em comparação a aterro sanitário.

De forma geral, o processo de compostagem apresenta baixo custo e é sanitariamente eficiente na eliminação de patógenos e odores fortes e desagradáveis. Normalmente é realizada em pátios nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem, ou montes de forma prismática com seção similar triangular, denominadas de leiras de compostagem (BIDONE; POVINELLI, 1999; CAPRARA, 2016).

3.3.1 Principais fatores que influenciam no processo de compostagem

O desempenho do processo de compostagem é determinado pela influência de diversos fatores como: pH, aeração, umidade, temperatura, microorganismos, relação C/N, tamanho das partículas. Esses fatores influenciam diretamente na qualidade final do composto orgânico produzido, bem como, no tempo necessário para a estabilização do mesmo, devendo estes serem devidamente controlados com frequência durante o período de estabilização.

3.3.1.1 Substrato

A definição do substrato é de suma importância para o processo de compostagem, por ser fonte primordial de energia para micro-organismos existente no meio (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008). Os micro-organismos utilizam macro e micronutrientes para exercer suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes principais utilizados cita-se o carbono e o nitrogênio considerados os mais importantes, uma vez que a sua concentração e disponibilidade biológica no meio afetam diretamente o desenvolvimento do processo (PEREIRA NETO, 1996).

O carbono é fonte básica de energia para as atividades metabólicas de micro-organismos e sua quantidade deve ser regulada ao início do tratamento, bem como o nitrogênio, fundamental no processo de síntese de proteínas, sendo a relação desses dois componentes fundamental para o bom início do processo (MASSUKADO, 2008).

Na fase inicial de compostagem, compostos de carbono mais simples como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, são os primeiros a serem degradados, gerando energia e sendo transformados em moléculas mais complexas. Na sequência de degradação, se encontram as hemiceluloses, celulose e lignina. A lignina é extremamente resistente ao ataque de microrganismos, sendo de degradação lenta, constituindo o último material a ser degradado na compostagem (BARREIRA, 2005).

3.3.1.2 Relação C/N

A relação C/N deve ser avaliada no início do processo de compostagem para efeito de balanço de nutrientes, e, no produto final para efeito de qualidade do composto. Isto, porque a atividade dos microrganismos heterotróficos depende tanto de N para síntese de proteínas, quanto de C para ser sua fonte de energia, influenciando diretamente no tempo de

compostagem para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos (VALENTE et al., 2009).

Para que possa se proporcionar condições ótimas para uma ação eficaz da microbiota é indicada uma relação inicial de 30/1. A relação C/N inicial influencia diretamente no tempo de compostagem, pois os micro-organismos absorvem carbono e nitrogênio em uma proporção 30/1, ou seja, absorvem 30 partes de C para uma de N. O carbono é utilizado como fonte de energia, sendo 10 partes incorporadas ao protoplasma celular e 20 partes eliminadas como gás carbônico (CO_2). Cada parte de nitrogênio é assimilada na proporção de 10 partes de carbono, daí a razão do húmus ter uma relação C/N próxima de 10/1 (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

Para Peixoto (1988); Caprara (2016), a quantidade de N exigida por unidade de C varia com os tipos de microrganismos envolvidos no processo. Independentemente da relação C/N inicial, no final da compostagem a relação C/N converge para um mesmo valor, devido a perdas maiores de carbono que de nitrogênio, no desenvolvimento do processo.

Relação C/N alta, a base de madeira, confere estrutura aos volumes de resíduos dispostos para a compostagem, porém não fornece nitrogênio suficiente para os microrganismos realizarem a síntese de proteínas e terão o seu desenvolvimento limitado, tornando o processo de compostagem mais lento. Já a baixa relação C/N favorece a volatilização de amônia (liberação de odores), perda de N, durante a fase termofílica da decomposição aeróbia e retarda o processo de estabilização da matéria orgânica (SILVA, 2007).

Portanto, na compostagem de dois ou mais materiais, para diminuir as perdas de N e propiciar um desenvolvimento ótimo na compostagem, deve-se buscar um equilíbrio para a relação C/N, utilizando a mistura de diferentes tipos de resíduos orgânicos ricos em nitrogênio e palhosos (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002).

Ademais, a qualidade da fração de carbono na leira atuará como indicativo da facilidade de degradação do material, ou seja, quanto maior for a resistência para que ocorra a degradação do substrato utilizado como fonte de C, maiores serão as perdas de N (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Sendo assim, durante a compostagem, a degradação da matéria orgânica leva a uma redução do carbono orgânico. O nitrogênio total aumenta em virtude da mineralização, ocorrendo uma diminuição da relação C/N. É importante o acompanhamento da relação C/N durante a compostagem, pois permite conhecer o andamento do processo, indicando se o composto atingiu a semicura ou a bioestabilização (relação C/N em torno de 18/1), e se ele se

transformou no produto acabado ou humificado (relação C/N em torno de 10/1) (KIEHL, 1998).

As fibras vegetais são ótimas fontes de C, são constituídas basicamente por três componentes: celulose, lignina e hemicelulose. A celulose é um polissacarídeo com fórmula molecular geral ($C_6H_{10}O_5$). Associada a ela, nos tecidos das plantas, encontra-se a hemicelulose, mistura de polissacarídeos de cadeia ramificada e baixa massa molecular, o qual promove a flexibilidade às plantas e atua como o ligante da celulose com a lignina. Apesar de apresentarem essencialmente os três mesmos membros, podem ser retiradas de distintas partes das plantas, por exemplo, do caule, das folhas, do fruto, do tronco e outros; o que faz com que estas fibras possam ser diferentes entre si (ROWELL et al., 1997; OLIVEIRA, 2014).

3.3.1.3 pH

O pH é um fator chave para o processo de compostagem, uma vez que fornece informações sobre o estado de decomposição da matéria orgânica submetida ao processo de decomposição, ou seja, quando o material se apresenta cru a reação será ácida, quando estabilizado a reação tende a ser neutra e alcalina quando o composto apresenta-se humificado, final do processo (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

Num primeiro momento, a decomposição da matéria orgânica em uma pilha de compostagem apresenta a fermentação dos resíduos com produção de ácidos orgânicos, gerando uma redução do pH do material, o que ajuda a evitar a perda de nitrogênio na forma de amônia. Nas fases seguintes de decomposição, os ácidos são também consumidos e observa-se uma elevação do pH. Ao final do processo, um bom composto deve apresentar entre outras características, um pH entre 7,0 e 8,0 (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000).

Fernandes e Silva (1999) complementam afirmando que a passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente ele se mantém alcalino (7,5-9,5). Porém, Valente et al., (2009) destaca que o pH alcalino no processo de compostagem acarreta perdas de N pela volatilização de amônia.

A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas nesta faixa de pH. Valores de pH muito baixos ou muito altos podem reduzir ou até inibir a atividade biológica (RODRIGUES et al., 2006).

3.3.1.4 Aeração

A aeração é um fator primordial para a compostagem, uma vez que, controla a temperatura da leira, remove o excesso de umidade e CO₂, bem como, fornece oxigênio para os processos biológicos (MASSUKADO, 2008).

A aeração contribui para que a decomposição ocorra de uma forma mais rápida e para que não tenha o inconveniente do mau cheiro ocasionado quando a degradação ocorre na ausência de oxigênio. O consumo de oxigênio depende da temperatura, da umidade, da granulometria e do tipo de material que está sendo decomposto e pode ocorrer por revolvimento manual ou por meios mecânicos (BIDONE; POVINELLI, 1999; CAPRARA, 2016).

O fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm a necessidade de oxigênio (O₂) para oxidar a matéria orgânica heterogênea que lhes serve de alimento, e assim alterar as características iniciais dos resíduos. A falta deste elemento pode se tornar fator limitante para a atividade microbiológica, uma vez que a decomposição passará a ser realizadas por microrganismos anaeróbios, os quais atuam com lentidão, retardando o processo de compostagem, bem como, produzindo maus odores e atraindo vetores, além de não conseguirem a plena estabilização da matéria orgânica (FERNANDES; SILVA, 1999).

Quando a disponibilidade de O₂ é zero, ou quase nada, os microrganismos aeróbios morrem e são substituídos pelos anaeróbios. Os quais são indesejados neste tipo de tratamento, pois, decompõe a matéria orgânica mais lentamente e produzem odores indesejáveis causando a atração de vetores patógenos (KIEHL, 2010).

A presença de oxigênio na compostagem confere ao processo duas características importantes do ponto de vista da biossegurança: a elevação da temperatura e a aceleração da decomposição (COSTA et al., 2005).

A leira, ou pilha, quando vista em corte exhibe variáveis porcentagens de O₂ no ar encontrado em seus espaços vazios. A camada mais externa apresenta cerca de 18 a 20%, enquanto que, caminhando para o centro da leira aumenta-se o teor de gás carbônico e diminui o de O₂, o núcleo (base e centro), quando não revolvido, demonstra aproximadamente de 0 a 2% de O₂. Considerando-se que no interior o conteúdo mínimo deva ser 5% a aeração deve ser realizada periodicamente. A circulação de O₂ depende da estrutura e umidade da massa e principalmente dos revolvimentos realizados (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

Durante o processo de compostagem o material orgânico deve ser revolvido em média três vezes por semana para aumentar a porosidade do meio, homogeneizar o material e para obter o controle de umidade e temperatura do processo. Com a estabilização da leira, o intervalo de revolvimento tende a reduzir, já que a atividade microbiana diminui ao longo do processo (MASSUKADO, 2008).

A aeração aumenta a disponibilidade de O₂, assim aumenta a atividade microbiana, o que eleva a temperatura (COSTA et al., 2005).

3.3.1.5 Temperatura

A temperatura é a resposta da atividade microbiana, sendo um dos principais indicadores de desempenho do processo de compostagem (KIEHL, 1998; VIEIRA, 2016). No processo de compostagem, a atividade microbiológica atinge alta intensidade, provocando a elevação da temperatura no interior das leiras, chegando a valores de até 65°C, ou mesmo superiores, em decorrência da geração de calor pelo metabolismo microbológico de oxidação da matéria orgânica que é exotérmico. A temperatura influencia tanto a natureza específica da população microbiana como o tempo e o tipo de decomposição (KUMAR; OU; LIN, 2010).

Valente et al., (2009) relata que a temperatura está relacionada com diversos fatores, por exemplo, umidade, relação de nutrientes, aeração e granulometria dos materiais constituintes das leiras (materiais moídos e peneirados com granulometria fina e maior homogeneidade apresentam menos perda de calor, pois, formam montes com melhor distribuição; leiras com materiais mais grosseiros proporcionam boa aeração, são mais sujeitos a perdas de calor do que os anteriores).

Durante todo o processo ocorre produção de calor e desprendimento, principalmente, de gás carbônico e vapor de água. Se a leira apresentar temperatura da ordem de 40 e 60°C logo nos primeiros dias, é sinal que a compostagem terá todas as chances para ser bem-sucedida (VALENTE et al., 2009).

Bidone e Povinelli (1999) e Caprara (2016), dividem a compostagem em quatro fases, sendo elas:

1º Fase Mesofílica: dura em média de dois a cinco dias, com temperaturas moderadas de 19°C a 40°C, onde se inicia o processo de decomposição dos substratos orgânicos pelos microorganismos mesófilos (decomposição de composto mais simples, como aminoácidos, açúcares e proteínas)

2º Fase Termofílica: etapa de degradação ativa da matéria orgânica durando de 60 a 90 dias de acordo com o material compostado, atingindo temperaturas de 45 a 65°C. Nesta fase, a ação dos microorganismos termófilos degradam de forma mais rápida os substratos orgânicos, propiciando a eliminação de organismos patogênicos e a degradação de gorduras, celulose, hemicelulose e lignina. A partir de 20 dias a pilha vai diminuindo de tamanho e ficando mais escura, reflexo da decomposição das substâncias orgânicas promovida pela atividade microbiana.

3º Fase Mesófila de Resfriamento: quando ocorre a redução da temperatura da leira para valores próximos a temperatura ambiente, voltando a predominar os microorganismos mesófilos, ocorrendo a degradação de açúcares e ligninas remanescentes.

4º Fase Maturação/Cura: nesta fase ocorre a estabilização final do material, produzindo um composto sem toxicidade e humificado, denominado húmus. A temperatura nesta fase permanece na faixa mesofílica (19°C a 40°C), levando de 30 a 60 dias.

Em geral considera-se que 60°C é o pico de temperatura ideal, pois os organismos patogênicos e sementes de ervas daninhas são destruídos pelo longo tempo de exposição a essas condições, sem, contudo, haver perda excessiva de nutrientes como o nitrogênio (PEIXOTO, 1988).

Temperaturas superiores a 70°C, segundo Kiehl, (1985) e Almeida, (2015), restringem a ação dos microorganismos mais sensíveis, podendo insolubilizar proteínas hidrossolúveis e desprender amônia, se o material apresentar baixa relação C/N.

O modo mais simples de controle da temperatura é o revolvimento periódico das leiras de compostagem, ou caso a leira alcance temperaturas demasiadamente altas, recomenda-se irrigar o composto ao fazer o revolvimento (KIEHL, 1998). Baixas temperaturas é indicativo de alta umidade, e temperaturas elevadas indicam baixa umidade (BIDONE; POVINELLI, 1999; CAPRARA, 2016).

Para que todo ciclo esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos (dependendo da relação C/N do resíduo), tendo como resultado um composto normalmente escuro e de textura turfa, utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas.

3.3.1.6 Umidade

A umidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos. Porém, a escassez ou excesso da mesma pode retardar o processo de compostagem (SILVA, 2007).

Segundo Kiehl (1985) a umidade ótima da leira deve ser inicialmente de 60 a 65%, para granulometria grosseira, de 55 a 60% para fina, e, não deve ser inferior a 40%. Umidade inferior a 35%, inibe a atividade dos microrganismos impedindo a fermentação e valores acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes, uma vez que a aeração da massa é prejudica pela obstrução dos vazios pela água, resultando em condições anaeróbicas e com consequente liberação de odores desagradáveis.

Na operação de controle da umidade é importante que todas as camadas do material em compostagem tenham igual teor de água, portanto, ao revolvê-lo, as camadas externas mais secas devem-se misturar com as camadas internas mais úmidas (TAGLIARI, 1997; PRIMO, 2009).

A umidade tem, portanto, juntamente com a aeração, o pH, a relação C/N, a granulometria do material e as dimensões das leiras, um efeito direto sobre o desenvolvimento de microrganismos e indireto sobre a temperatura do processo de compostagem, sendo que a considerada ótima varia em função do tipo de material a ser compostado e do material celulósico utilizado (SILVA, 2007).

3.3.1.7 Tamanho da Partícula

A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno microbiológico cuja intensidade está relacionada à superfície específica do material a ser compostado, sendo que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área superficial sujeita ao ataque microbiológico acelerando o processo de decomposição (FERNANDES; SILVA, 1999).

Entretanto, Russo (2003), cita que partículas menores que 2 milímetros são muito finas prejudicando a aeração, ocasionam compactação excessiva do material, sendo necessário agregar material sólido a massa para melhorar a sustentação e a aeração, evitando anaerobiose indesejada.

O tamanho ideal das partículas deve variar de 1 a 5 cm, sendo, normalmente, necessário picar-se ou triturar-se o resíduo existente. Esse padrão possibilita um equilíbrio adequado

entre aeração e área superficial das partículas expostas à ação microbiana, favorecendo também as condições de umidade e o manuseio da pilha (PEIXOTO, 1988).

Cada material a ser compostado apresenta uma particularidade, então é difícil estabelecer um padrão para a granulometria, a mistura de vários resíduos orgânicos é uma alternativa para corrigir o tamanho das partículas, o que favorece a homogeneização da massa em compostagem, ocorrendo menor compactação e maior capacidade de aeração. As características físicas da mistura inicial são importantes para o bom desenvolvimento do processo de compostagem, conforme cita RUGGIERI, ARTOLA e SANCHEZ (2008).

3.3.1.8 Microorganismos

No processo de compostagem, a matéria orgânica é decomposta principalmente através da ação de microorganismos e enzimas, resultando na fragmentação gradual e oxidação de detritos (FIORI; SCHOENHALS; FOLLADOR, 2008).

Durante a compostagem, há desprendimento de gás carbônico, água na forma de vapor e energia, devido à ação dos microrganismos. Parte da energia é usada para crescimento e movimento, sendo a restante liberada como calor, que se procura conservar na pilha de compostagem. Como resultado, a pilha se aquece, atinge uma temperatura elevada, resfria e atinge estágio de maturação. O composto final, húmus, é constituído de partes resistentes dos resíduos orgânicos, produtos de compostos e microrganismos mortos e vivos (PEIXOTO, 1988).

Diferentes micro-organismos predominam em diferentes fases da compostagem, sendo bactérias, fungos e actinomicetos os principais responsáveis pela atividade microbiológica do processo de compostagem. Na fase inicial da decomposição da matéria orgânica, denominada fase mesófila, predominam bactérias mesófilas, actinomicetos, fungos e protozoários. Esses micro-organismos crescem entre 10°C e 45°C e degradam facilmente o substrato produzindo ácidos. Com a elevação da temperatura ao longo da compostagem, ocorre a fase termofílica, cujo crescimento microbiológico se dá em temperaturas acima dos 45°C, a população dominante será actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes. Os micro-organismos presentes nessa fase têm características fermentativas próprias e utilizam substratos primariamente degradados por bactérias mesófilas durante o início do processo (BRITO, 2008).

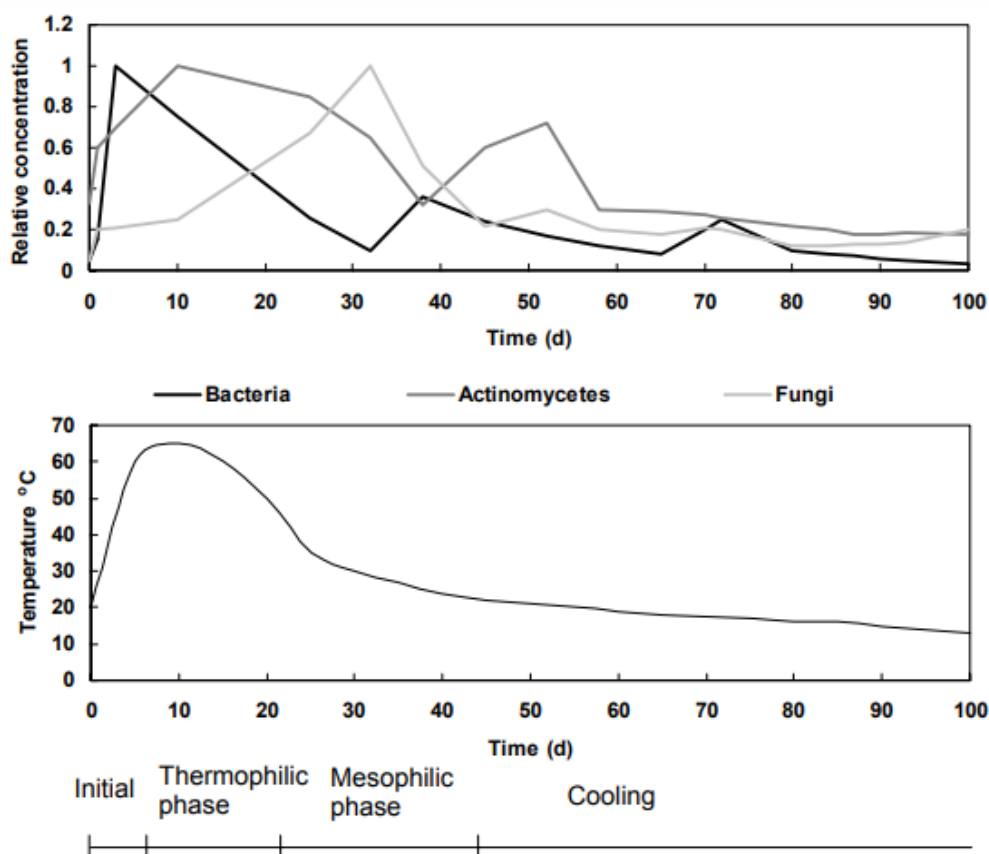
Passada a fase termófila, o composto vai perdendo calor e retornando a fase mesófila, porém agora com outra composição química, pois os açúcares e ao amido já foram

consumidos pelos microorganismos nas etapas anteriores, restando os componentes mais difíceis de serem degradados como celulose e lignina. Nesta etapa, fungos e actinomicetos são melhores adaptados para utilizar os compostos degradáveis mais difíceis comparados com a maioria das bactérias. Alguns fungos podem até produzir penicilina que matará algumas das bactérias. A fase mesofílica pode levar várias semanas para finalizar (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

Quando a temperatura do composto se torna próxima ou igual à ambiente o mesmo passa a ser colonizados por protozoários, nematoides formigas, miriópodes, vermes e insetos diversos. Os microorganismos encontrados em um composto quer vivos ou mortos, podem constituir até 25% do seu peso (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

A Figura 2 apresenta esquematicamente a sucessão microbiana durante o período da compostagem, bem como, a variação da temperatura durante as fases do processo de compostagem.

Figura 2 – Representação das fases da compostagem decorrente das variações de temperatura



Fonte: Poulsen (2003)

Durante o processo de compostagem aeróbia, as bactérias termofílicas decompõem materiais orgânicos e utilizam nutrientes disponíveis para a produção de biomassa microbiana (LIANG et al., 2006).

De acordo com a hierarquia da decomposição, os compostos de carbono mais simples e com menor peso molecular, como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, serão atacados na fase inicial de decomposição e haverá geração de energia. A seguir, serão degradados hemicelulose e celulose. A lignina é extremamente resistente ao ataque de microorganismos, sendo o último composto a ser degradado (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

Segundo Kiehl (1998), a maturidade do composto ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus. Esse produto final da decomposição (húmus) é comumente utilizado para fins agrícolas, devendo deter de características físicas e químicas que facilitem o seu uso como fertilizante e/ou condicionador de solos, não podendo conter contaminação com metais pesados ou patógenos, uma vez que, havendo tais contaminantes, somente poderá ser empregado na adubação de plantas ornamentais e flores.

3.3.2 Sistemas de Compostagem

Atualmente, existem diversas tecnologias disponíveis para a compostagem, desde sistemas simples e manuais, até sistemas complexos, altamente tecnificados, onde todos os parâmetros do processo são monitorados e controlados com precisão. O interessante da compostagem é que um bom composto pode ser obtido tanto por tecnologias simples como por tecnologias complexas, desde que os resíduos sejam adequados e o processo biológico ocorra em boas condições. Segundo Fernandes e Silva (1999) e Almeida (2015), os processos de compostagem podem ser divididos em três grandes grupos:

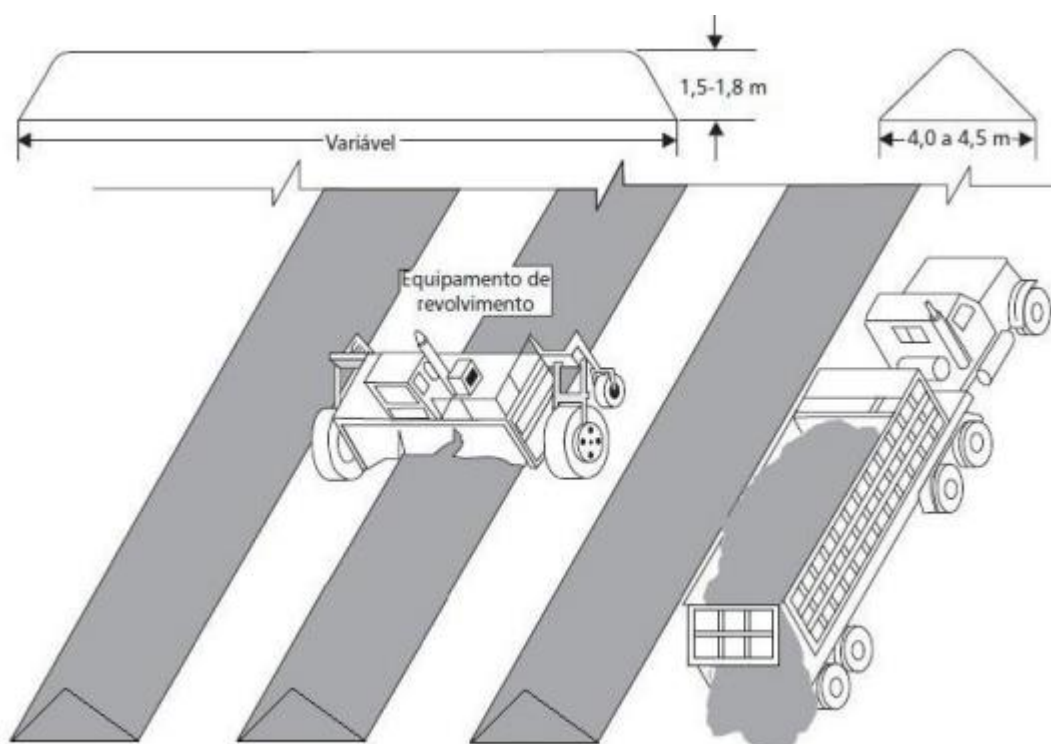
- Sistema de leiras revolvidas (windrow), onde a mistura de resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar na massa do composto. Uma variante deste sistema, além do revolvimento, utiliza a insuflação de ar sob pressão nas leiras
- Sistema de leiras estáticas aeradas (static pile), onde a mistura a ser compostada é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras.

- Sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel), onde os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem.

Segundo Júnior (2012), o sistema de leiras revolvidas (windrow) é o mais simples. A mistura do biossólido e do material estruturante é disposto em pilhas triangulares ou trapezoidais na cruzseção, podendo atingir cerca de 1,5 a 2 m de altura e largura de base de 2,5 m a 4 m dependendo do método de construção e o tipo de resíduo estruturante utilizado. As leiras geralmente apresentam de 20 a 50 m de comprimento dependendo da área disponível para o processo.

Neste sistema, a incorporação de oxigênio é realizada pelo revolvimento da leira (Figura 3) com equipamentos/maquinários específicos, permitindo o contato do composto com a atmosfera rica em O₂, suprimindo momentaneamente as necessidades de aeração do processo biológico (JÚNIOR, 2012).

Figura 3 – Representação do sistema de revolvimento de leiras



Fonte: Júnior (2012)

A mistura do lodo com o agente estruturante pode ser feita por um misturador específico ou então na própria área de compostagem, quando existe a possibilidade de

utilização de um equipamento mecânico eficiente. Existem máquinas específicas para misturar e revolver o composto, sendo estas:

- Implementos tracionados por tratores agrícolas;
- Equipamentos auto-propelidos;
- Pás carregadeiras convencionais.

O espaçamento entre as leiras é determinado em função das características do equipamento responsável pelo revolvimento. Caso seja uma pá carregadeira, o espaçamento de 3,0 m geralmente é suficiente (FERNANDES; SILVA, 1999; ALMEIDA, 2015).

As pilhas são normalmente revolvidas de 7 a 10 vezes um período de cerca de 15 semanas para garantir a aeração e expor todo o material às altas temperaturas no centro da pilha, ajudando a diminuir inicialmente alto teor de água e reduzir problemas de odor causados pelo desenvolvimento de zonas anaeróbicas dentro do composto. A exposição a altas temperaturas é importante para reduzir ou inativar organismos patogênicos contidos nos materiais orgânicos que entram. O período ativo de compostagem nas leiras, geralmente 1 - 4 meses, dependendo do tipo de material orgânico que está sendo compostado, o composto é armazenado em pilhas por 2-3 meses sem virar para assegurar a estabilidade adequada, isto é, que a actividade microbiana no material de compostagem nível correspondente aos solos naturais. O curso do processo de compostagem é tipicamente controlado com base na temperatura e teor de umidade. Se a temperatura diminui devido ao baixo teor de umidade, o pilhas são regadas. Se a temperatura diminui devido à falta de oxigênio, as pilhas são viradas mais freqüentemente para aumentar o oxigênio concentração e volume de negócios microbiano (JÚNIOR, 2012).

3.3.3 Composto Orgânico

O composto orgânico é um material bioestabilizado, homogêneo, de odor não agressivo, coloração escura, rico em matéria orgânica, isento de microorganismos patogênicos, sendo o teor de nutrientes determinado pelas matérias-primas que foram utilizadas no processo, sendo classificado como adubo orgânico (KIEHL, 2010).

Quando aplicado ao solo em determinadas quantidades, em épocas e formas adequadas, proporciona melhorias nas suas qualidades químicas, biológicas e físicas, esta última não condicionada por fertilizantes minerais. Tem a possibilidade de atuar como um corretivo da acidez, um complexante de elementos tóxicos e uma fonte de liberação lenta de macro e

micronutrientes às plantas, garantindo a produção de colheitas compensadoras, com produtos de boa qualidade, sem causar danos ao solo, à planta ou ao ambiente (KIEHL, 2010).

Ainda, segundo Primo et al., (2010), o aproveitamento agrícola de resíduos agroindustriais na forma de composto orgânico, pode resultar em maior sustentabilidade dos sistemas agrícolas devido sobretudo ao fato de possibilitar a reciclagem de nutrientes no sistema e a redução da contaminação ambiental, decorrente de uma disposição inadequada. Os adubos orgânicos, além de fornecerem nutrientes se destacam por seu significativo papel, isto é, pelo fornecimento de matéria orgânica visando melhorar as propriedades físicas e biológicas do solo.

Neste sentido, os adubos orgânicos provenientes de resíduos gerados nas atividades agroindustriais possuem, em geral, grande potencial agrícola em virtude de serem ricos em matéria orgânica e nutrientes utilizados pelas plantas e micro-organismos do solo. A utilização de composto na atividade agrônômica depende sobretudo da sua qualidade, especialmente do conteúdo em matéria orgânica da sua maturidade, da concentração em nutrientes e da presença ou ausência de substâncias potencialmente perigosas e indesejáveis ao ambiente agrário.

Grau de maturação de um composto não deve ser confundido com qualidade do composto, já que maturação é o resultado de uma correta decomposição microbiológica da matéria orgânica, originando nutrientes e húmus e, um composto de qualidade, além de ter elevado grau de maturação, deve apresentar características e propriedades que não torne o produto inadequado para o uso agrícola, uma vez que a qualidade do mesmo varia de acordo com a tipologia dos resíduos e processos empregados durante o processo de compostagem (VIEIRA, 2016).

Segundo Oliveira, Sartori e Garcez (2008), o composto estará curado, ou seja, pronto para o uso cerca de 120 – 150 dias após o início das operações. O composto curado (humificado) apresenta coloração escura, cheiro de bolor e consistência amanteigada, quando molhado e esfregado nas mãos. O produto final deverá ter no máximo 25% de umidade; pH superior a 6,0 e a relação carbono / nitrogênio (C/N) na faixa de 10/1 a 15/1.

As características do composto orgânico devem ser normatizadas por legislação específica. No Brasil, a Instrução Normativa Nº 25 de 23 de julho de 2009, do Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 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. O

artigo 2º da respectiva instrução, classifica os fertilizantes orgânicos de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção, ou seja:

I – Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

II – Classe “B”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

III – Classe “C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

IV – Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura (BRASIL, 2009, ONLINE).

Ademais, o anexo III da mesma instrução apresenta os parâmetros e os limites máximos estabelecidos para aplicação de fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos no solo de acordo com a sua classificação.

Figura 4 -Parâmetros para aplicação de fertilizantes orgânicos no solo de acordo com a sua classificação

*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5				
*Carbono orgânico (mín.)	15				10
*CTC(1)	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20				14
*Relação CTC/C (1)	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

(1) É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Fonte: BRASIL, 2009

Além dos parâmetros listados na IN nº. 25/2009, demais critérios de avaliação da qualidade de composto orgânicos possuem importância e podem ser avaliados de forma independente, baseados no teor de nutrientes, matéria orgânica humificada e estabilizada, o grau de maturidade, a higienização e a presença de alguns compostos tóxicos, como metais pesados, sais solúveis e xenobióticos (FERNANDES; SILVA, 1999).

Sabe-se que a compostagem é um processo biológico efetivo na remediação de diferentes tipos de resíduos orgânicos, porém é de extrema importância uma avaliação de resposta biológica no composto para a verificação de possíveis efeitos deletérios nas plantas, pois a presença de substâncias tóxicas no composto pode reduzir ou inibir o processo de germinação das sementes (EL FELS et al., 2014).

Já o grau de maturidade do composto produzido e seu efeito direto nas plantas pode ser determinado por meio de análises de fitotoxicidade, considerada como uma ação tóxica que é provocada em plantas que iniba ou prejudique sua germinação ou desenvolvimento (CORRÊA; MENDES; CORRÊA, 2012). A análise de fitotoxicidade é baseada em testes utilizando diferentes tipos de sementes como bioindicadores de toxicidade, que quando em contato com soluções diluídas do composto a ser avaliado, podem apresentar inibição no mecanismo germinativo ou redução do tamanho da radícula. As análises com plantas vem sendo o método mais utilizado para determinação da fitotoxicidade, porém não são capazes de identificar contaminantes específicos que causam a fitotoxicidade quando apontada (TIQUIA, 2010).

Um teste de fitotoxicidade proposto por Zucconi et al., (1981) e Barral e Paradelo (2011), baseado na germinação de sementes e no crescimento inicial de raízes submetidas ao extrato aquoso do composto tem se apresentado eficaz no que diz respeito à sensibilidade à agentes fitotóxicos presentes no composto em diferentes etapas da compostagem.

Zucconi et al., (1981) e Barral e Paradelo (2011), cita que um composto está maturado quando seu índice de germinação está acima de 50%. Índices de germinação abaixo deste percentual podem ser associados à presença de metais pesados, elementos inorgânicos, sais solúveis e demais compostos orgânicos e podem ser produzidos ainda durante a compostagem, se esta não foi bem conduzida e apresentou anaerobiose. Se algumas destas características estiverem presentes no composto orgânico, a germinação das sementes diminuirá de acordo com o grau de fitotoxicidade do composto (CORRÊA; MENDES; CORRÊA, 2012).

A condutividade elétrica também pode ser utilizada como um parâmetro importante para verificar o grau de qualidade do composto, pois serve como indicativo dos níveis de fitotoxicidade. A mesma determina a concentração de sais solúveis no composto produzido resultante da mineralização dos compostos orgânicos e pode ser definida como a capacidade de uma solução de conduzir corrente elétrica devido à presença de íons dissolvidos, sendo o valor expresso em miliSiemens por centímetro (mS/cm) de acordo com a IN n°. 25/2009.

Segundo Sharma et al., (1997) e Oliveira (2014), valores entre 0,64 e 6,85 mS.cm⁻¹ são considerados normais para uso de resíduos em áreas agrícolas. Segundo Kiehl (2002), destaca que a condutividade deve diminuir durante o processo de compostagem, estabilizando em um valor próximo a 50% da leitura inicial, uma vez que, elevadas concentrações de sais podem causar problemas de fitotoxicidade, uma vez que a maioria dos vegetais tolera substâncias com condutividade elétrica entre 0,5 a 0,8 mS.cm⁻¹ na absorção foliar.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização dos resíduos agroindustriais e biossólido industrial

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados resíduos orgânicos alternativos, provenientes de atividades agroindustriais como: fumageiras (pó de fumo), arrozeira (casca de arroz), avicultura (cama de aviário) e madeireira (serragem), localizadas próximo a usina de compostagem com vistas a facilitar o transporte do material reduzindo custos com a logística. Além disso, a disponibilidade, o custo de aquisição nulo ou baixo e as características específicas apropriadas para o processo de compostagem, como, boa capacidade higroscópica, fonte de carbono e estrutura particulada, determinaram a aquisição destes resíduos. Na Figura 5 pode se observar os aspectos dos substratos utilizados neste trabalho.

Figura 5 – Aspecto dos resíduos sólidos alternativos adquiridos. Em A – resíduo de casca de arroz, em B – resíduo de pó de fumo, em C – resíduos de cama de aves e em D – resíduo de serragem.



Fonte: a autora (2018).

O biossólido industrial (lodo) utilizado é proveniente de um sistema de tratamento físico-químico de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma unidade frigorífica de aves da região de Santa Catarina. O mesmo representa 43% da quantidade de resíduos orgânicos recebidos diariamente na usina de compostagem estudada, necessitando de tratamento adequado para disposição final em solo agrícola. A Figura 6 apresenta o aspecto dos biossólido (lodo) utilizado.

Figura 6 – Aspecto do biossólido industrial (lodo)



Fonte: a autora (2018).

A caracterização prévia analítica dos resíduos sólidos agroindustriais adquiridos foi realizada por meio da coleta de amostras de cada resíduo e enviadas para análise no laboratório do Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade (NEPERS) da Universidade Federal de Pelotas para fins de avaliação das características físicas, químicas, microbiológicas e de fitotoxicidade dos mesmos. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para cada resíduo analisado.

Tabela 1 – Caracterização prévia física, química, microbiológica e de fitotoxicidade dos resíduos alternativos adquiridos

Parâmetro	Resultados Analíticos Resíduos				
	Casca de Arroz	Pó de Fumo	Cama de Aves	Serragem	Biossólido
Umidade (%)	7,98	18,03	25,60	53,91	67,58
Matéria Seca * (%)	92,02	81,97	74,40	46,09	32,42
Matéria Mineral* (%)	14,80	23,44	34,95	1,30	7,73
Carbono Orgânico Total*(%)	19,13	34,78	16,60	36,06	24,77
Nitrogênio Total Kjeldahl* (%)	0,36	2,32	1,80	0,27	5,82
pH	7,71	6,79	9,75	6,31	5,39
Condutividade Elétrica (uS/cm)	429,70	8106,70	3783,80	120,40	1013,80
Fósforo Total* (%)	0,29	0,85	3,87	0,36	2,77
Índice de Germinação (%) – Pepino	87,14	0,85	36,14	52,20	0,98
Contagem de Mesófilos (Log.UFC/g)	5,12	5,40	4,92	5,85	3,44
Contagem de Termófilos (Log.UFC/g)	3,40	5,17	3,21	1,00	3,42

* Base Seca.

Fonte: NEPERS/UFPeL (2018).

4.2 Condução do Experimento

4.2.1 Local

O tratamento experimental foi conduzido na usina de compostagem de uma indústria do ramo de reciclagem de subprodutos do abate, localizada no município de Cruzeiro do Sul, Rio Grande do Sul, no período de julho a novembro de 2017. O estudo foi realizado em parceria

com o Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade (NEPERS) da Universidade Federal de Pelotas – UFPel.

A estrutura da usina é composta por três pavilhões pré-moldados com cobertura e piso plano em concreto e com declividade de 2%, de forma a permitir o escoamento de possíveis lixiviados, os quais são destinados para tratamento em uma lagoa de estabilização. A mesma abrange uma área total de 5.000 m² destinada exclusivamente ao tratamento de resíduos orgânicos gerados no processo produtivo da empresa. A Figura 7 apresenta uma imagem geral da usina de compostagem aonde o estudo foi realizado.

Figura 7 – Vista geral da usina de compostagem



Fonte: a autora (2018).

4.2.2 Composição e Montagem dos Tratamentos

A definição das proporções de substrato e de biossólido industrial para a confecção dos diferentes tratamentos (pilhas) foi realizada com base nas características físicas, químicas, microbiológicas e de fitotoxicidade dos resíduos brutos adquiridos (Idem Tabela 2) de modo a se obter uma razão C/N 30:1 visando condições ideais de mistura para iniciar o processo de compostagem e o pleno desenvolvimento do mesmo durante o período avaliado.

Os tratamentos foram montados em formato cônico em duplicata de acordo com as proporções estabelecidas na Tabela 2, totalizando 08 tratamentos com diferentes tipologias de resíduos, porém com a mesma proporção de volume, ou seja, 19 m³ cada.

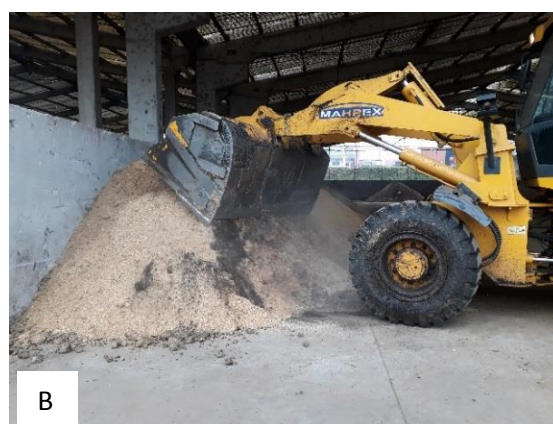
Tabela 2 - Identificação e composição dos tratamentos confeccionados

Identificação do Tratamento	Composição
ST1R1 / ST2R2	12 m ³ de serragem + 7 m ³ biossólido
ST2R1 / ST2R2	6 m ³ serragem + 6 m ³ cama de aves + 7 m ³ biossólido
ST3R1 / ST3R2	6 m ³ serragem + 6 m ³ pó de fumo + 7 m ³ biossólido
ST4R1 / ST4R2	6 m ³ serragem + 6 m ³ casca de arroz + 7 m ³ biossólido

Fonte: a autora (2018).

Após a montagem, os tratamentos foram homogeneizados com o auxílio de uma pá carregadeira e devidamente identificados com placas, conforme evidencia a Figura 8.

Figura 8 – Montagem dos tratamentos. Em A – aplicação dos resíduos, em B – homogeneização do tratamento, em C – tratamentos em duplicata homogeneizados, em D – identificação



Fonte: a autora (2018).

4.2.3 Monitoramento Analítico dos Tratamentos

O monitoramento analítico dos tratamentos foi realizado em intervalos de 21 dias a contar da data de montagem dos tratamentos durante um período de 126 dias, sendo extraídas três sub-amostras aleatórias de cada leira, formando uma amostra composta de aproximadamente 200 gramas para análise (Figura 9). Os parâmetros analisados foram pH, condutividade elétrica, fitotoxicidade com semente de pepino, umidade, matéria mineral, matéria seca, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, e microbiológico (termófilos e mesófilos). As análises foram realizadas pelo laboratório do Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade (NEPERS) da Universidade Federal de Pelotas – UFPel.

A definição dos respectivos parâmetros físicos, químicos, microbiológico e de fitotoxicidade se deu em virtude do tipo de material compostado e o produto a ser obtido. Este procedimento permitiu que se avaliasse o real grau de estabilização da matéria orgânica em compostagem, submetida a diferentes teores de umidade durante o processo.

Figura 9 – Procedimentos de coleta das amostras para análise em laboratório terceirizado



Fonte: a autora (2018).

A Tabela 3 apresenta a média dos resultados obtidos para cada tratamento analisado após a confecção dos mesmos, representando a coleta 1 em 0 dias. Através da mesma é possível observar que a mistura dos resíduos obedeceu a relação C/N de aproximadamente 30:1, bem como, a umidade inicial se manteve dentro da faixa recomendada entre 40 e 60%, garantindo a eficiência inicial do processo de compostagem.

Tabela 2 – Caracterização inicial física, química, microbiológica e de fitotoxicidade dos tratamentos confeccionados – Coleta 01 em 0 dias.

Parâmetro	Resultados Médios Analíticos Tratamento			
	ST1	ST2	ST3	ST4
Umidade (%)	62,84	55,13	48,11	47,32
Carbono Orgânico Total*(%)	36,77	26,66	34,87	39,57
Nitrogênio Total Kjeldahl* (%)	4,74	1,96	3,90	3,50
pH	7,52	8,19	6,51	6,18
Condutividade Elétrica (uS/cm)	714,50	2630,00	3176,65	1320,15
Fósforo Total* (%)	2,27	3,13	2,02	2,26
Índice de Germinação (%) - Pepino	28,62	18,62	2,66	24,55
Contagem de Mesófilos (Log.UFC/g)	7,46	5,78	5,10	4,94
Contagem de Termófilos (Log.UFC/g)	6,85	4,27	6,48	4,20
Temperatura (°C)	43,00	36,90	40,50	38,30

* Base Seca.

Fonte: NEPERS/UFPel (2018).

4.2.3.1 Análises Físico-Químicas

A temperatura ambiente do local, das leiras e a umidade relativa do ar foram registradas no local do experimento, com o auxílio de um de termômetro digital. As demais análises físico-químicas foram terceirizadas, seguindo as metodologias empregadas pelo laboratório do Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade (NEPERS). A Tabela 4 apresenta as metodologias empregadas.

Tabela 3 – Métodos analíticos aplicados na amostragem

Parâmetro	Método
Umidade (%)	AOAC: Official Methods of Analysis (1997)
Carbono Orgânico Total*(%)	Tedesco (1995)
Nitrogênio Total Kjeldahl* (%)	Embrapa (1997)
pH	Embrapa (1997)
Condutividade Elétrica (uS/cm)	Embrapa (1997)
Fósforo Total* (%)	Tedesco (1995)

Fonte: NEPERS/UFPel (2018).

A análise de pH e condutividade foi realizada pelo método proposto por Embrapa (1997) com modificações. Onde uma solução com o composto e água destilada de 1/10 (m/v) foi homogeneizada por 1 hora. Decorrido este tempo, o pH foi medido em pHmetro marca Technopon modelo mPA-210 e a condutividade medida em condutivímetro da marca Tecnal modelo Tec-4MP. A determinação de fósforo foi realizada de acordo com Tedesco (1995) com auxílio de espectrofotômetro.

O método de determinação de carbono orgânico (%) foi realizado pelo método Walkley-Black segundo Tedesco (1995). A determinação de nitrogênio total (%) foi executado segundo metodologia proposta por Embrapa (1997). A relação carbono/nitrogênio será calculada dividindo os valores de carbono orgânico obtidos (%) com os valores de nitrogênio total (%). As análises de umidade, matéria mineral e matéria seca (%) foram determinadas segundo método proposto por Association of Official Agricultural Chemists - AOAC INTERNATIONAL (1997).

4.2.3.2 Análises Microbiológicas

As metodologias utilizadas para a determinação de mesófilos e termófilos nas amostras coletas foram baseadas na descrição do American Public Health Association – APHA 2001. As amostras foram analisadas em triplicada, nos tempos 0, 21, 42, 63, 84, 105 e 126 dias do experimento, inoculadas em ágar PCA e submetidas à estufa microbiológica por 48h à 25°C para determinação de bactérias mesofílicas e 50°C para determinação de bactérias termofílicas.

4.2.3.3 Análises de Fitotoxicidade

Os ensaios de fitotoxicidade foram conduzidos, de acordo com a metodologia proposta por Mendes et al., (2016). Resumidamente, foi determinada a germinação relativa (G), o Alongamento da Radícula (AL) e o Índice de Germinação (IG). Dez sementes certificadas e do mesmo lote de pepino foram dispostas em placas de petri, juntamente com papel filtro qualitativo e 5mL de solução 10% (m/v) da diluição da amostra coletada em água destilada. Esta solução foi feita pesando 10g de amostra e diluindo em 100mL de água destilada, a qual foi agitada com auxílio de ação magnética por 1 hora e filtrada em papel filtro. Posteriormente, as placas foram encaminhadas para a incubadora e permaneceram por 48 horas à 25°C ao abrigo de luz para condições favoráveis a germinação. Decorrido o período estipulado, as sementes germinadas foram contadas e suas radículas mensuradas com paquímetro digital. Sendo consideradas sementes germinadas aquelas que possuíram radícula superior a 1mm.

4.2.4 Monitoramento Diário e Condução dos Tratamentos

O monitoramento diário dos tratamentos confeccionados consistiu na medição da temperatura ambiente e interna dos tratamentos, bem como, na frequência de revolvimento dos mesmos, sendo essas informações lançadas pelo operador em uma planilha de monitoramento durante o período experimental para fins de acompanhamento do processo e tomada de decisões visando o pleno desenvolvimento da compostagem e um composto de qualidade.

A medição adequada da temperatura ambiente e do interior dos tratamentos foi realizada por meio da utilização de um termômetro digital com sonda, o qual foi introduzido em 03 pontos diferentes da pilha (base, centro e topo), ou seja, em cavas abertas a uma profundidade de 20 cm, sendo a leitura da temperatura realizada assim que estabilizada no leitor e anotada na planilha. A aferição da temperatura é fundamental para o acompanhamento do desenvolvimento do processo de compostagem, uma vez que atua como indicativo do processo biológico.

O revolvimento dos tratamentos nos três primeiros meses foi realizado com maior intensidade, a cada 8 dias utilizando uma máquina pá carregadeira exclusiva da usina. Nos últimos dois meses, o revolvimento passou a ser realizado a cada 20 dias pois o sistema se

encontrava na fase mesofílica de maturação e/ou cura reduzindo a necessidade de aeração. Os períodos de revolvimento foram pré-estabelecidos pelos técnicos e/ou de acordo com o monitoramento das temperaturas com vistas a misturar as camadas externas (mais secas) com as internas (mais úmidas) no sentido de oxigenar o material e favorecer a atuação dos microrganismos decompositores. A Figura 10 demonstra os sistemas de controle utilizados diariamente durante o período experimental.

Figura 10 – Monitoramentos diários. Em A – abertura da cava e inserção do termômetro digital, em B – visor termômetro digital, em C – revolvimento do tratamento, em D – planilha de controle.



Planilha de Controle – Teste Substratos
ST1: 100% serragem / ST2: 50% serragem + 50% cama de aviário / ST3: 50 % serragem + 50% pó de fumo / ST4: 50 % serragem + 50% casca de arroz

Data	Temp. Ambiente	ST1R1	ST1R2	Rev.	ST2R1	ST2R2	Rev.	ST3R1	ST3R2	Rev.	ST4R1	ST4R2	Rev.
12/03	23.8	25.5	25.9		31.6	30.6		20.2	32.2		30.5	25.5	
14/03	23.1	25.1	25.3	OK	30.6	33.1	OK	20.1	30.5	OK	35.2	33.4	OK
16/03	23.1	25.2	25.8		31.0	30.8		20.6	30.6		33.2	33.5	
18/03	23.2	25.1	25.9		30.6	32.2		20.1	31.8		34.0	33.0	
20/03	23.1	25.5	26.6		30.5	30.4		20.5	29.4		33.8	34.5	
22/03	23.3	25.3	26.5		30.3	30.3		20.3	31.2		30.0	32.1	
24/03	23.4	25.2	26.5		30.2	30.2		20.2	30.9		30.2	32.2	
26/03	23.5	25.1	26.4		30.1	30.1		20.1	30.8		30.1	32.1	
28/03	23.6	25.0	26.3		30.0	30.0		20.0	30.7		30.0	32.0	
30/03	23.7	24.9	26.2		29.9	29.9		19.9	30.6		29.9	31.9	
31/03	23.8	24.8	26.1		29.8	29.8		19.8	30.5		29.8	31.8	
01/04	23.9	24.7	26.0		29.7	29.7		19.7	30.4		29.7	31.7	
03/04	24.0	24.6	25.9		29.6	29.6		19.6	30.3		29.6	31.6	
05/04	24.1	24.5	25.8		29.5	29.5		19.5	30.2		29.5	31.5	
07/04	24.2	24.4	25.7		29.4	29.4		19.4	30.1		29.4	31.4	
09/04	24.3	24.3	25.6		29.3	29.3		19.3	30.0		29.3	31.3	
11/04	24.4	24.2	25.5		29.2	29.2		19.2	29.9		29.2	31.2	
13/04	24.5	24.1	25.4		29.1	29.1		19.1	29.8		29.1	31.1	
15/04	24.6	24.0	25.3		29.0	29.0		19.0	29.7		29.0	31.0	
17/04	24.7	23.9	25.2		28.9	28.9		18.9	29.6		28.9	30.9	
19/04	24.8	23.8	25.1		28.8	28.8		18.8	29.5		28.8	30.8	
21/04	24.9	23.7	25.0		28.7	28.7		18.7	29.4		28.7	30.7	
23/04	25.0	23.6	24.9		28.6	28.6		18.6	29.3		28.6	30.6	
25/04	25.1	23.5	24.8		28.5	28.5		18.5	29.2		28.5	30.5	
27/04	25.2	23.4	24.7		28.4	28.4		18.4	29.1		28.4	30.4	
29/04	25.3	23.3	24.6		28.3	28.3		18.3	29.0		28.3	30.3	
31/04	25.4	23.2	24.5		28.2	28.2		18.2	28.9		28.2	30.2	
03/05	25.5	23.1	24.4		28.1	28.1		18.1	28.8		28.1	30.1	
05/05	25.6	23.0	24.3		28.0	28.0		18.0	28.7		28.0	30.0	
07/05	25.7	22.9	24.2		27.9	27.9		17.9	28.6		27.9	29.9	
09/05	25.8	22.8	24.1		27.8	27.8		17.8	28.5		27.8	29.8	
11/05	25.9	22.7	24.0		27.7	27.7		17.7	28.4		27.7	29.7	
13/05	26.0	22.6	23.9		27.6	27.6		17.6	28.3		27.6	29.6	
15/05	26.1	22.5	23.8		27.5	27.5		17.5	28.2		27.5	29.5	
17/05	26.2	22.4	23.7		27.4	27.4		17.4	28.1		27.4	29.4	
19/05	26.3	22.3	23.6		27.3	27.3		17.3	28.0		27.3	29.3	
21/05	26.4	22.2	23.5		27.2	27.2		17.2	27.9		27.2	29.2	
23/05	26.5	22.1	23.4		27.1	27.1		17.1	27.8		27.1	29.1	
25/05	26.6	22.0	23.3		27.0	27.0		17.0	27.7		27.0	29.0	
27/05	26.7	21.9	23.2		26.9	26.9		16.9	27.6		26.9	28.9	
29/05	26.8	21.8	23.1		26.8	26.8		16.8	27.5		26.8	28.8	
31/05	26.9	21.7	23.0		26.7	26.7		16.7	27.4		26.7	28.7	
02/06	27.0	21.6	22.9		26.6	26.6		16.6	27.3		26.6	28.6	
04/06	27.1	21.5	22.8		26.5	26.5		16.5	27.2		26.5	28.5	
06/06	27.2	21.4	22.7		26.4	26.4		16.4	27.1		26.4	28.4	
08/06	27.3	21.3	22.6		26.3	26.3		16.3	27.0		26.3	28.3	
10/06	27.4	21.2	22.5		26.2	26.2		16.2	26.9		26.2	28.2	
12/06	27.5	21.1	22.4		26.1	26.1		16.1	26.8		26.1	28.1	
14/06	27.6	21.0	22.3		26.0	26.0		16.0	26.7		26.0	28.0	
16/06	27.7	20.9	22.2		25.9	25.9		15.9	26.6		25.9	27.9	
18/06	27.8	20.8	22.1		25.8	25.8		15.8	26.5		25.8	27.8	
20/06	27.9	20.7	22.0		25.7	25.7		15.7	26.4		25.7	27.7	
22/06	28.0	20.6	21.9		25.6	25.6		15.6	26.3		25.6	27.6	
24/06	28.1	20.5	21.8		25.5	25.5		15.5	26.2		25.5	27.5	
26/06	28.2	20.4	21.7		25.4	25.4		15.4	26.1		25.4	27.4	
28/06	28.3	20.3	21.6		25.3	25.3		15.3	26.0		25.3	27.3	
30/06	28.4	20.2	21.5		25.2	25.2		15.2	25.9		25.2	27.2	
02/07	28.5	20.1	21.4		25.1	25.1		15.1	25.8		25.1	27.1	
04/07	28.6	20.0	21.3		25.0	25.0		15.0	25.7		25.0	27.0	
06/07	28.7	19.9	21.2		24.9	24.9		14.9	25.6		24.9	26.9	
08/07	28.8	19.8	21.1		24.8	24.8		14.8	25.5		24.8	26.8	
10/07	28.9	19.7	21.0		24.7	24.7		14.7	25.4		24.7	26.7	
12/07	29.0	19.6	20.9		24.6	24.6		14.6	25.3		24.6	26.6	
14/07	29.1	19.5	20.8		24.5	24.5		14.5	25.2		24.5	26.5	
16/07	29.2	19.4	20.7		24.4	24.4		14.4	25.1		24.4	26.4	
18/07	29.3	19.3	20.6		24.3	24.3		14.3	25.0		24.3	26.3	
20/07	29.4	19.2	20.5		24.2	24.2		14.2	24.9		24.2	26.2	
22/07	29.5	19.1	20.4		24.1	24.1		14.1	24.8		24.1	26.1	
24/07	29.6	19.0	20.3		24.0	24.0		14.0	24.7		24.0	26.0	
26/07	29.7	18.9	20.2		23.9	23.9		13.9	24.6		23.9	25.9	
28/07	29.8	18.8	20.1		23.8	23.8		13.8	24.5		23.8	25.8	
30/07	29.9	18.7	20.0		23.7	23.7		13.7	24.4		23.7	25.7	
01/08	30.0	18.6	19.9		23.6	23.6		13.6	24.3		23.6	25.6	
03/08	30.1	18.5	19.8		23.5	23.5		13.5	24.2		23.5	25.5	
05/08	30.2	18.4	19.7		23.4	23.4		13.4	24.1		23.4	25.4	
07/08	30.3	18.3	19.6		23.3	23.3		13.3	24.0		23.3	25.3	
09/08	30.4	18.2	19.5		23.2	23.2		13.2	23.9		23.2	25.2	
11/08	30.5	18.1	19.4		23.1	23.1		13.1	23.8		23.1	25.1	
13/08	30.6	18.0	19.3		23.0	23.0		13.0	23.7		23.0	25.0	
15/08	30.7	17.9	19.2		22.9	22.9		12.9	23.6		22.9	24.9	
17/08	30.8	17.8	19.1		22.8	22.8		12.8	23.5		22.8	24.8	
19/08	30.9	17.7	19.0		22.7	22.7		12.7	23.4		22.7	24.7	
21/08	31.0	17.6	18.9		22.6	22.6		12.6	23.3		22.6	24.6	
23/08	31.1	17.5	18.8		22.5	22.5		12.5	23.2		22.5	24.5	
25/08	31.2	17.4	18.7		22.4	22.4		12.4	23.1		22.4	24.4	
27/08	31.3	17.3	18.6		22.3	22.3		12.3	23.0		22.3	24.3	
29/08	31.4	17.2	18.5		22.2	22.2		12.2	22.9		22.2	24.2	
31/08	31.5	17.1	18.4		22.1	22.1		12.1	22.8		22.1	24.1	
03/09	31.6	17.0	18.3		22.0	22.0		12.0	22.7		22.0	24.0	
05/09	31.7	16.9	18.2		21.9	21.9		11.9	22.6		21.9	23.9	
07/09	31.8	16.8	18.1		21.8	21.8		11.8	22.5		21.8	23.8	
09/09	31.9	16.7	18.0		21.7	21.7		11.7	22.4		21.7	23.7	
11/09	32.0	16.6	17.9		21.6	21.6		11.6	22.3		21.6	23.6	
13/09	32.1	16.5	17.8		21.5	21.5		11.5	22.2		21.5	23.5	
15/09	32.2	16.4	17.7		21.4	21.4		11.4	22.1		21.4	23.4	
17/09	32.3	16.3	17.6		21.3	21.3		11.3	22.0		21.3	23.3	
19/09	32.4	16.2	17.5		21.2	21.2		11.2	21.9		21.2	23.2	
21/09	32.5	16.1	17.4		21.1	21.1		11.1	21.8		21.1	23.1	
23/09	32.6	16.0	17.3		21.0	21.0		11.0	21.7		21.0	23.0	
25/09	32.7	15.9	17.2		20.9	20.9		10.9	21.6		20.9	22.9	
27/09	32.8	15.8	17.1		20.8	20.8		10.8	21.5		20.8	22.8	
29/09	32.9	15.7	17.0		20.7	20.7		10.7	21.4		20.7	22.7	
31/09	33.0	15.6	16.9		20.6	20.6		10.6	21.3		20.6	22.6	
03/10	33.1	15.5	16.8		20.5	20.5		10.5	21.2		20.5	22.5	

8. Parte dos dados (variáveis) apresentam normalidade ($p > 0,05$) e outros diferem de uma distribuição normal ($p < 0,05$), apresentando diferença significativa entre os valores inviabilizando a aplicação de testes parâmetros convencionais. Desta forma, optou-se em utilizar um teste estatístico não paramétrico, ou seja, Kruscal-Wallis.

O teste de Kruscal-Wallis é um teste não paramétrico utilizado na comparação de três ou mais amostras independentes (médias). Ele indica se há diferença entre pelo menos dois deles. A aplicação do teste utiliza os valores numéricos transformados em postos e agrupados num só conjunto de dados. A comparação dos grupos é realizada por meio da média de uma série de grupos univariados (fornecidos em colunas) (VIALI, 2008).

O tratamento dos dados utilizando o teste Kruscal-Wallis foi realizado no Software GraphPad Prism 8, considerando um nível de significância de 0,05. Já os dados foram graficados através dos Softwares PAST e GraphPad Prism 8.

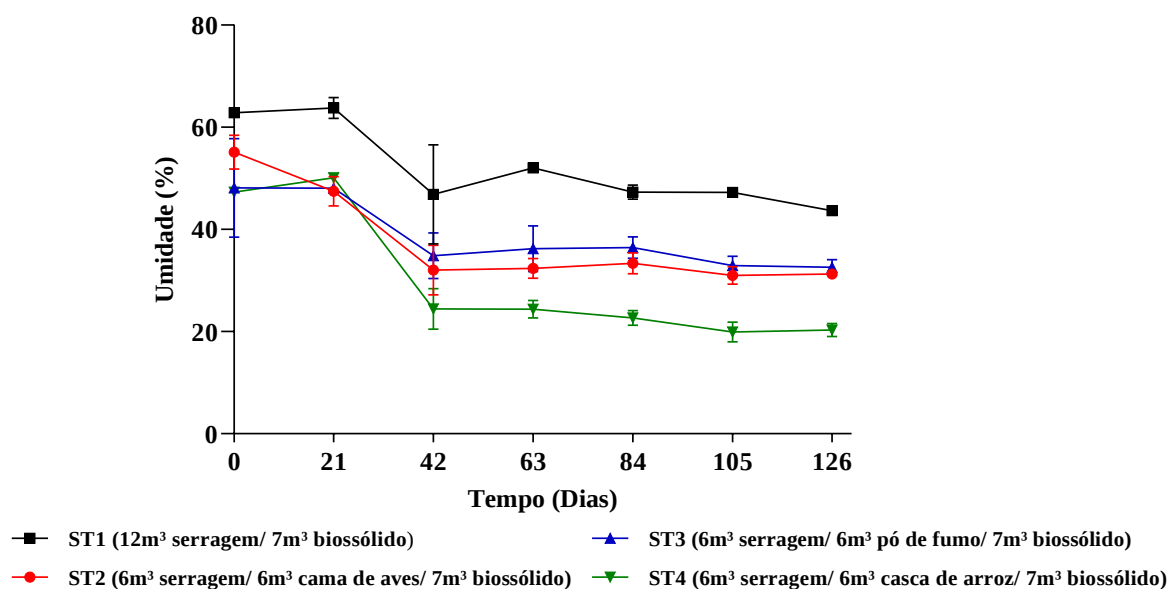
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos para as análises físico-químicas, microbiológicas e de fitotoxicidade do composto orgânico produzido neste experimento.

5.1 Avaliação dos parâmetros físico-químicos

A Figura 11 apresenta a variação temporal dos valores de umidade (%) observados para os tratamentos efetuados.

Figura 11 - Variação temporal da umidade (%) nos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da Figura 11 verifica-se um comportamento análogo de declínio dos valores de umidade em todos os tratamentos durante o período estudado. Estatisticamente, os valores de umidade dos tratamentos ST2, ST3 e ST4 não diferem de forma significativa entre si ($p > 0,05$) por apresentarem comportamento parecido durante o processo de compostagem, reduzindo significativamente os valores de umidade em até 50% do valor inicial. A umidade do tratamento ST1 apresentou diferença significativa com relação ao tratamento ST4, provavelmente por ter apresentando um valor inicial de umidade relativamente alto, ou seja,

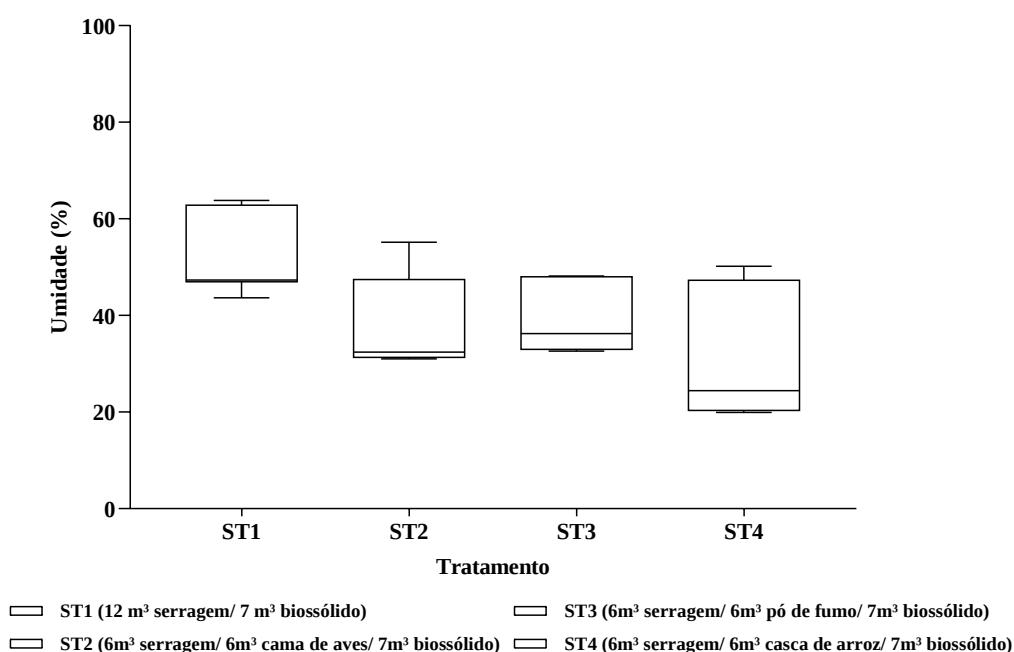
62,84% se comparado aos demais tratamentos, retardando o processo de compostagem, não havendo reduções significativas da umidade.

A umidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos. Porém, a escassez ou excesso da mesma pode retardar o processo de compostagem (SILVA, 2007). No processo de decomposição da matéria orgânica, a umidade garante a atividade microbiológica. Isso porque, entre outros fatores, a estrutura dos microrganismos consiste de aproximadamente 90% de água e para a produção de novas células, a água precisa ser obtida do meio, no caso, da massa de compostagem. Além disso, todo o nutriente necessário para o desenvolvimento celular precisa ser dissolvido em água, antes de sua assimilação (ALEXANDER, 1977; OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Segundo Kiehl (1985) e Almeida (2015), a umidade ótima da leira deve ser inicialmente de 60 a 65%, para granulometria grosseira, de 55 a 60% para fina, e, não deve ser inferior a 40%. Umidade inferior a 40%, inibe a atividade dos microrganismos impedindo a fermentação e valores acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes.

A Figura 12 apresenta os valores médios da umidade (%) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 12 - Valores médios de umidade (%) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

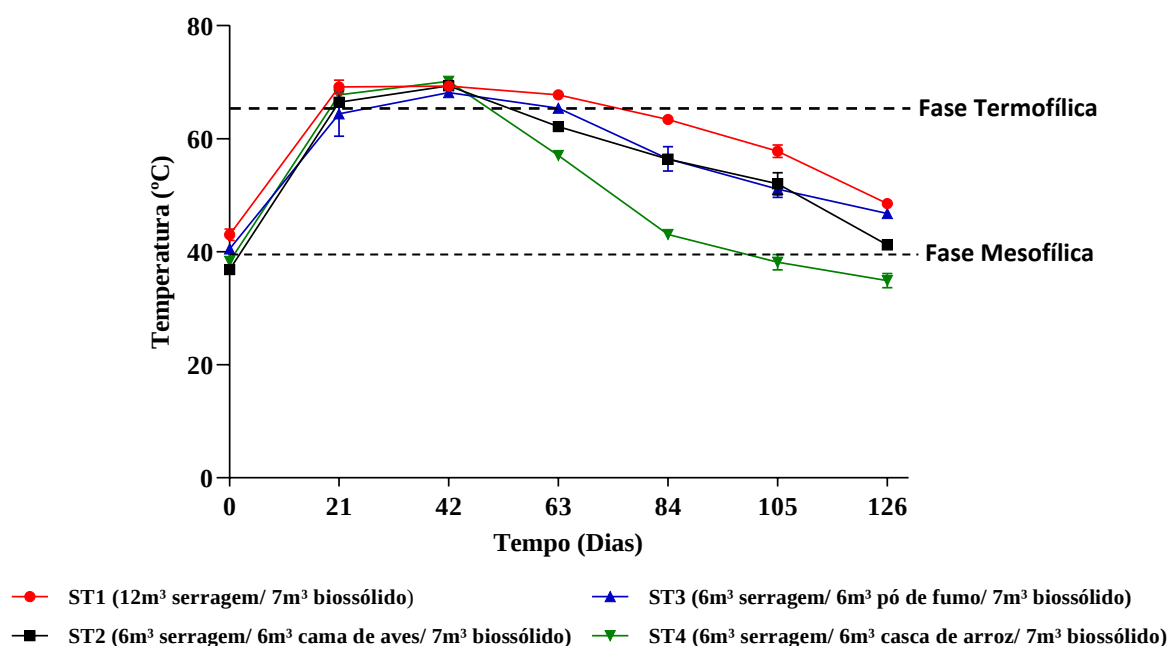
Por meio da avaliação da Figura 12, observa-se que os tratamentos ST2, ST3 e ST4 apresentaram valores de umidade próximos (37,52%, 38,47% e 29,89%), não apresentando estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) entre si durante o processo de compostagem. Contudo, o tratamento ST1 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com relação aos demais tratamentos por apresentar uma concentração média de umidade superior aos demais tratamentos, ou seja, 51,96 %.

Neste caso, a diferença pode estar relacionada a umidade inicial da mistura substrato (serragem) e biossólido, uma vez que estes resíduos foram os que apresentam maior percentual de umidade na caracterização, resultando em uma mistura no tempo 0 com umidade de 62,894%. Durante o processo de compostagem foi possível verificar que a umidade reduziu de forma mais lenta se comparado aos demais tratamentos, representando um retardamento no processo, obtendo-se umidade final superior (51,96%). Oliveira, Sartori e Garcez (2008), destaca que quanto mais úmidas estiverem as matérias-primas mais deficientes será sua oxigenação, determinando que providências sejam tomadas para reduzir a umidade visando o pleno desenvolvimento do processo de compostagem.

De acordo com Brasil (2009) a taxa de umidade máxima exigida para compostos orgânicos de Classe A situa-se em 50%, não exigindo uma umidade mínima para comercialização do mesmo. Neste sentido, os compostos orgânicos produzidos neste experimento apresentaram-se dentro limite estabelecido pela mesma, com exceção do composto resultante do tratamento ST1 que apresentou umidade final de 51,96%, excedendo a taxa máxima.

A Figura 13 apresenta a variação temporal dos valores de temperatura (°C) para os tratamentos efetuados.

Figura 13 - Variação temporal da temperatura (°C) nos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da Figura 13 observou-se um comportamento análogo dos valores de temperatura nos tratamentos avaliados durante o período estudado. Estatisticamente, os valores não diferiram entre si ($p > 0,05$) uma vez que apresentaram comportamento relativamente igual durante o processo de compostagem, demonstrando nitidamente os estabelecimentos das três fases da compostagem, ou seja, os tratamentos atingiram a temperatura da fase termofílica ($> 45^{\circ}\text{C}$) nos primeiros dias de compostagem e se mantiveram estáveis sem diferença significativa até o final do experimento, não apresentando assim interferência da temperatura ambiente durante o processo.

A temperatura é a resposta da atividade microbiana, sendo um dos principais indicadores de desempenho do processo de compostagem (KIEHL, 1998). Conforme demonstrado na Figura 20 todos os tratamentos apresentaram valores de temperatura de acordo com descrito por Bidone e Povinelli (1999) e Caprara (2016), comprovando o adequado comportamento do processo de compostagem.

1° Fase Mesofílica: dura em média de dois a cinco dias, com temperaturas moderadas de 19°C a 40°C ; *2° Fase Termofílica:* etapa de degradação ativa da matéria orgânica durando de 60 a 90 dias de acordo com o material compostado, atingindo temperaturas de 45 a 65°C ; *3° Fase Resfriamento:* quando ocorre a redução da temperatura da leira para valores próximos

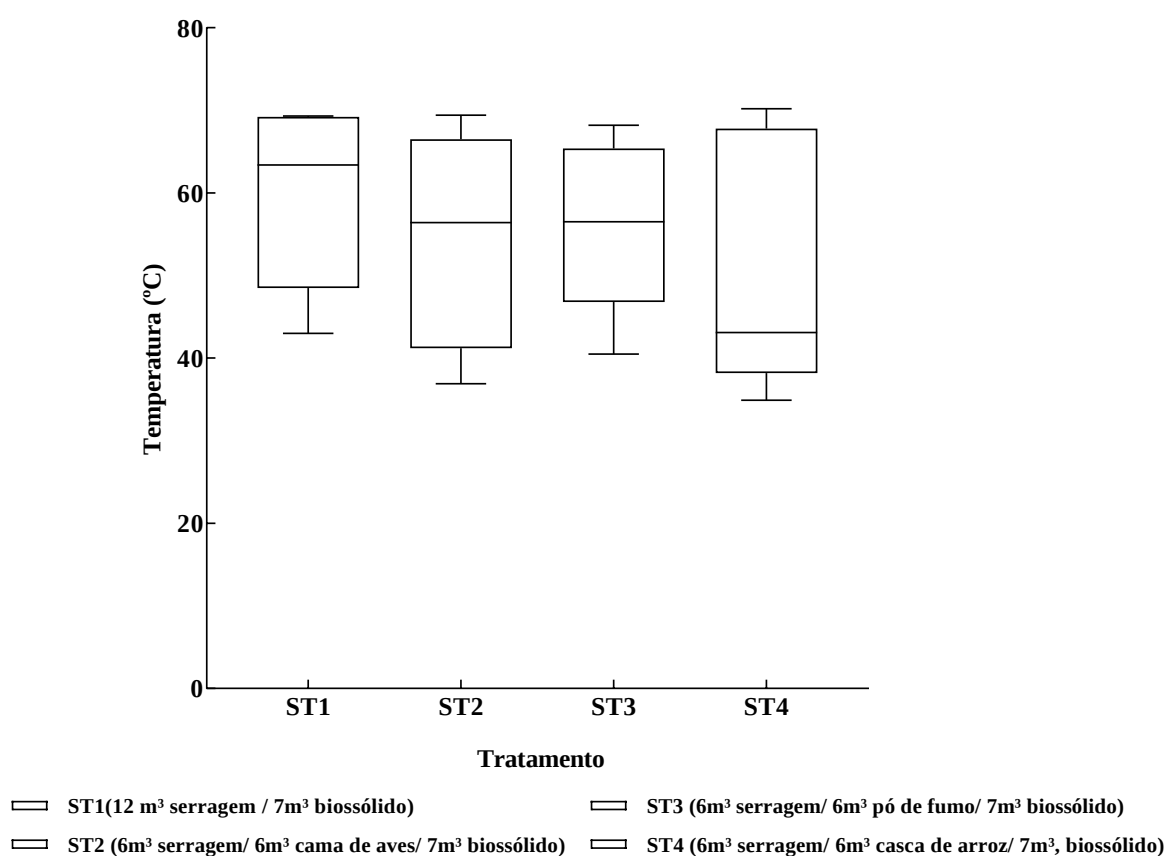
a temperatura ambiente; 4° *Fase Maturação/Cura*: nesta fase ocorre a estabilização final do material levando de 30 a 60 dias, com temperatura na faixa mesofílica (19°C a 40°C).

Uma temperatura entre 40 e 60°C nos primeiros dias de compostagem indica que o ecossistema está equilibrado na leira e que o processo tem grandes chances de ser bem-sucedido e que a atividade microbiana está sendo favorecida (FERNANDES; SILVA, 1999).

A manutenção de temperaturas termofílicas (45 a 65 °C) controladas, na fase de degradação ativa, é um dos requisitos básicos, uma vez que somente por meio desse controle se pode conseguir o aumento da eficiência do processo, ou seja, o aumento da velocidade de degradação e a eliminação dos microorganismos patogênicos (COSTA et al., 2005).

A Figura 14 apresenta os valores médios da temperatura (°C) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 14 - Valores médios de temperatura (°C) dos tratamentos realizados

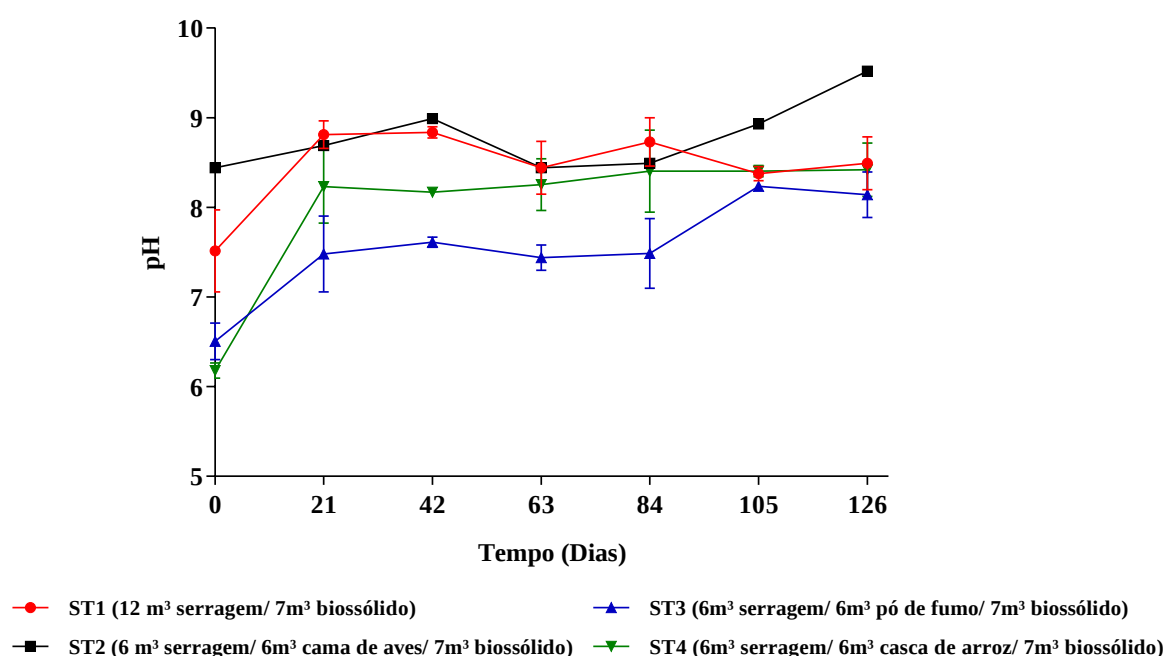


Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 14, observa-se que nenhum dos tratamentos apresentou valores de temperatura com diferença significativa ($p>0,05$) entre si durante o processo de compostagem, demonstrando que todos os substratos utilizados apresentaram resultados satisfatórios na compostagem de biossólido industrial, apresentando valores finais médios de temperatura de 59,8%, 54,9%, 56,10% e 49,9%.

A Figura 15 apresenta a variação temporal dos valores de pH para os tratamentos efetuados.

Figura 15 - Variação temporal do pH para os tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Conforme pode ser observado na Figura 15 o valor de pH, para todos os tratamentos, apresentou elevação durante o processo de compostagem, não apresentando estatisticamente diferença significativa ($p>0,05$) entre os valores, mantendo-se na faixa da neutralidade, entre 5,5 e 8,5, considerada excelente para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pelo processo de decomposição, demonstrando assim o bom desenvolvimento da compostagem para o período amostrado (RODRIGUES et al., 2006).

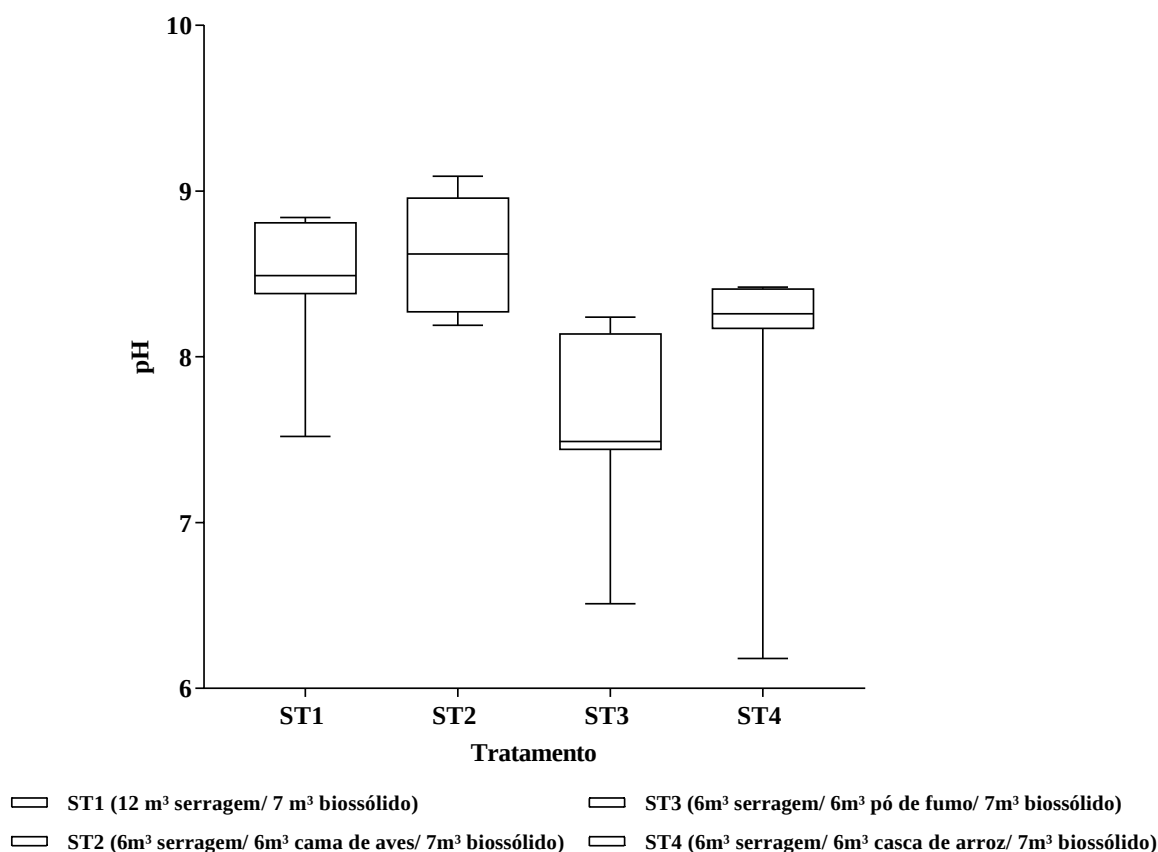
Valores extremos (ácidos ou básico) podem reduzir ou até inibir a atividade biológica (RODRIGUES et al., 2006). Porém, Pereira Neto (2007) afirma que a taxa de degradação dependente fortemente do pH, podendo ser desenvolvida em uma faixa entre 4,5 e 9,5, sendo

que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio.

Este parâmetro fornece informações sobre o estágio em que se encontra o processo de decomposição, determinando a acidez/alcalinidade da compostagem. O início do processo geralmente é caracterizado por apresentar um pH mais ácido, entre de 4 e 5 devido a formação de ácidos orgânicos, passando pela neutralidade, tornando-se alcalino pela formação de humatos alcalinos, atingindo muitas vezes, valores superiores a 8,0. Para a maioria das bactérias, a faixa ótima de pH está entre 6 e 7,5 e para os fungos entre 5,5 e 8,0. Ao final do processo de compostagem, o pH tende a ficar na faixa alcalina de 7,5 a 9,0 (KIEHL, 2004; PEREIRA NETO, 2004).

A Figura 16 apresenta os valores médios do pH dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 16 - Valores médios de pH dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 16, observa-se que os tratamentos ST1, ST2 e ST4 apresentaram valores de pH próximos (8,46, 8,63 e 8,01), não apresentando diferença significativa ($p > 0,05$) entre si, encaixando-se em uma faixa de pH entre 8 e 9. Já o tratamento ST3 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com relação aos demais tratamentos por apresentar um pH de menor valor, ou seja, 7,56.

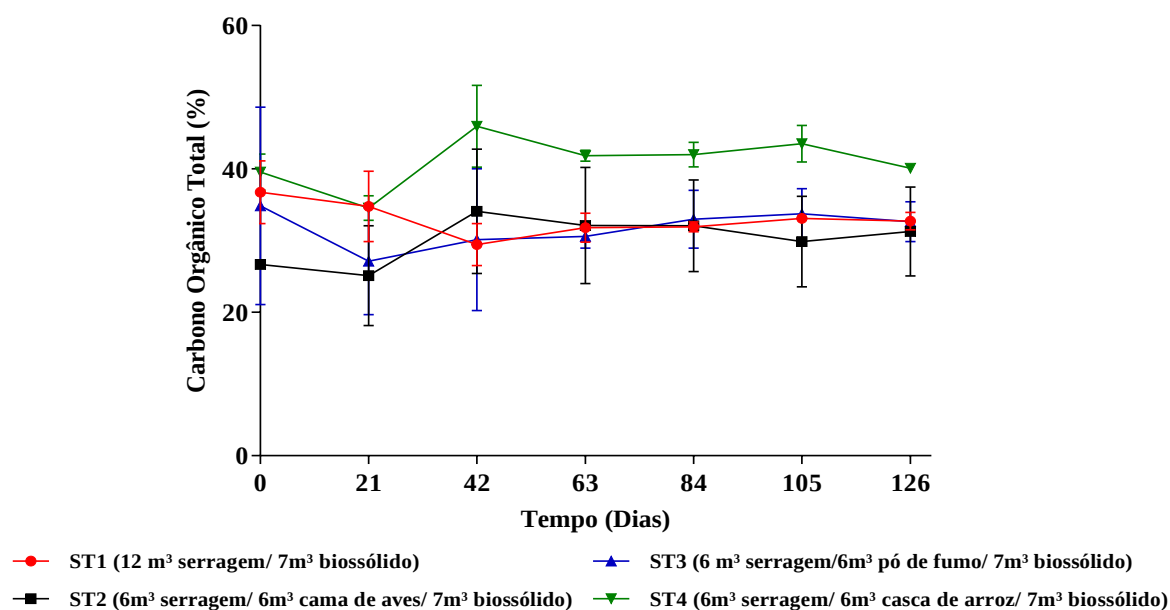
Segundo Lauschner et al., (2013), em tratamentos com adição de resíduos de agroindústria fumageira – RAF os valores de pH variaram de 6,0 até 10,3. Porém, os tratamentos com adição de RAF T (talo) apresentam acréscimos de pH significativamente maiores do que aqueles com adição de RAF P (pó) nas doses acima de 5 t ha⁻¹ de resíduos, possivelmente por causa do efeito do resíduo em pó por ser mais diluído se comparado ao talo (granulometria), dificultando a atividade biológica. Esse fato pode ser observado na Figura 10 que demonstra que o pH do tratamento ST3 não apresentou elevações expressivas durante o processo e compostagem se comparado aos demais tratamentos.

Cada material a ser compostado apresenta uma particularidade, então é difícil estabelecer um padrão para a granulometria, a mistura de vários resíduos orgânicos é uma alternativa para corrigir o tamanho das partículas, o que favorece a homogeneização da massa em compostagem, ocorrendo menor compactação e maior capacidade de aeração garantindo o bom desenvolvimento do processo de compostagem, conforme cita RUGGIERI, ARTOLA e SANCHEZ (2008).

De acordo com os autores D'Almeida e Vilhena, (2000), um composto de qualidade deve apresentar valores finais de pH entre 7,0 e 8,0. Contudo, os compostos orgânicos estudados se encontraram dentro do especificado pela IN 25/2009 que estipula um valor mínimo de pH (6) para a comercialização de compostos orgânicos, viabilizando a aplicação dos mesmos no solo.

A Figura 17 apresenta a variação temporal dos valores de carbono orgânico (%) para os tratamentos efetuados.

Figura 17 - Variação temporal do carbono orgânico (%) nos tratamentos realizados



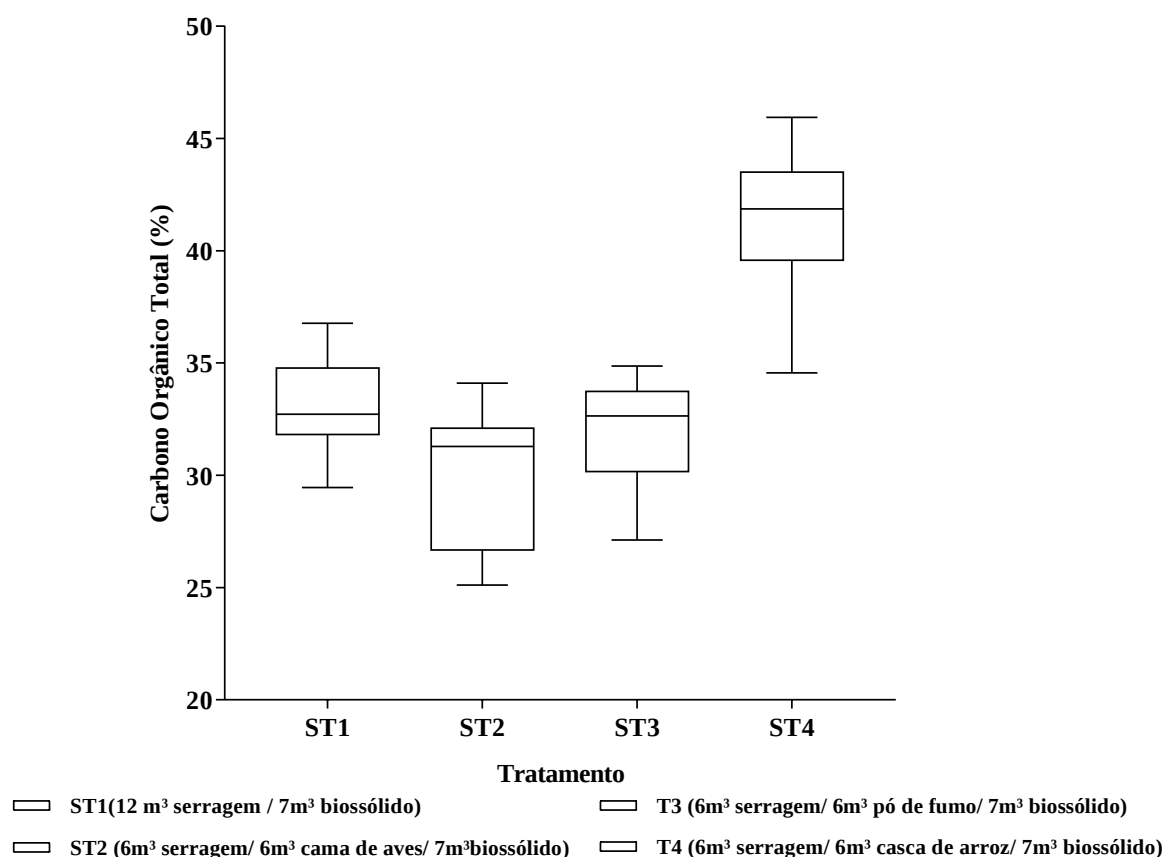
Fonte: a autora (2018).

A análise da Figura 17 demonstra que os valores de carbono orgânico total - COT nos tratamentos não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) ao longo do processo de compostagem. Observa-se, em todos os tratamentos, um decréscimo acentuado da concentração de COT nos primeiros 25 dias de compostagem, comparado com o restante do período. Esta diminuição deve-se ao consumo acelerado das formas mais lábeis do carbono no início dos tratamentos pelo microorganismos. Durante a fase ativa do processo, a degradação da matéria orgânica leva a uma redução do carbono orgânico, reduzindo o peso da leira, e consequentemente a relação C:N (COSTA et al., 2005).

O conteúdo de carbono orgânico total fornece uma estimativa direta do carbono biodegradável presente no composto, sendo que durante o processo de compostagem, além de ser transformado em dióxido de carbono, também é transformado em compostos orgânicos mais complexos, como húmus e outros compostos mineralizados (MOURA et al., 2015).

A Figura 18 apresenta os valores médios de carbono orgânico (%) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 17 - Valores médios de carbono orgânico (%) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 18, observa-se que os tratamentos ST1, ST2 e ST3 apresentaram média de valores de carbono orgânico próximas (32,94%, 30,17% e 31,73%), não apresentando estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) entre si durante o processo de compostagem. Contudo, o tratamento ST4 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com relação aos demais tratamentos por apresentar uma concentração média de carbono orgânico superior, ou seja, 41,08%.

Essa diferença pode estar relacionada a dificuldade de degradação do substrato orgânico (casca de arroz) durante o processo de compostagem, resultando na imobilização de nitrogênio pelos microorganismos e na presença de carbono recalcitrante, como a lignina, uma vez, que segundo Carmona et al., (2013), a superfície da casca de arroz é revestida e o alto teor de sílica reduz a capacidade de retenção de água, podendo limitar o ataque microbiano e consequentemente a sua degradação.

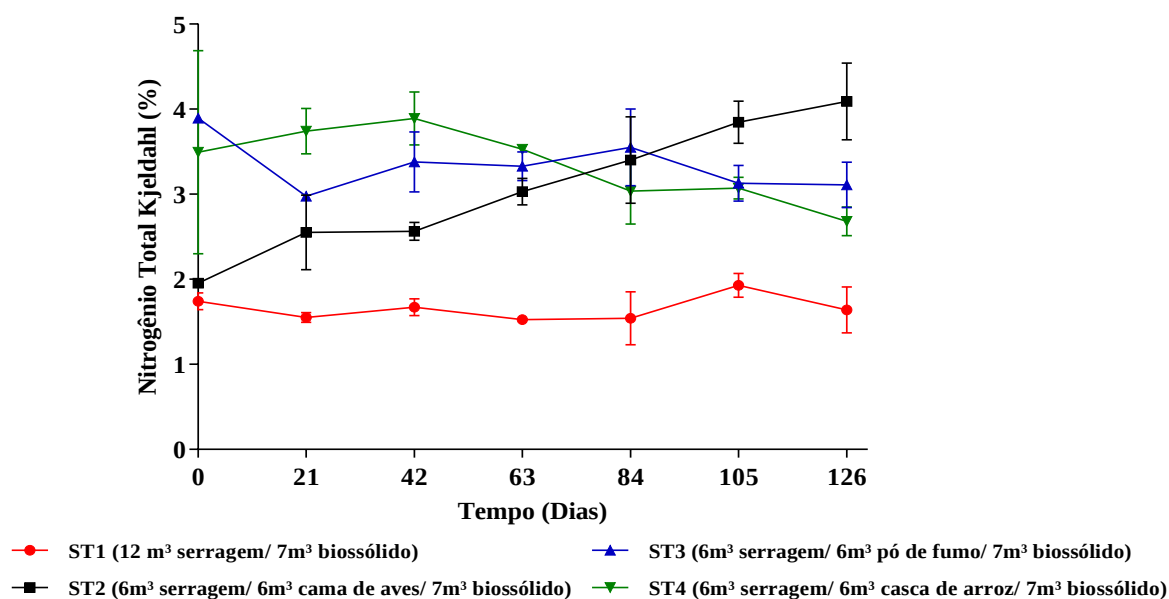
O estudo realizado por Leconte et al. (2009), relata que a casca de arroz apresentou estrutura inicial intacta ao final dos 90 dias de compostagem, demonstrando-se assim resistente à degradação microbiana, devido ao seu alto conteúdo de sílica e lignina.

Ademais, Costa et al., (2005), salienta que a qualidade do C, a ser digerido, também interfere na velocidade e na quantidade de carbono que será transformado em CO₂ durante a compostagem. Quando parte do carbono disponível é de difícil degradação, como a celulose, a lignina e a hemicelulose, é aconselhável uma relação C/N inicial maior, pois o carbono biodisponível é inferior ao carbono total.

Considerando os compostos produzidos com os diferentes tratamentos, os mesmos apresentaram valores de carbono orgânico dentro do especificado pela IN 25/2009 que estipula um valor mínimo de 15% de COT para compostos orgânicos. A quantidade e biodegradabilidade do carbono orgânico é de suma importância na compostagem, visto que o mesmo controla diversos parâmetros de produtividade do solo, como capacidade de retenção de água, natureza da porosidade do solo, estrutura do solo, reservas de nutrientes na planta bem como promove a atividade biológica e uma maior biomassa de produção ao solo (RICH; BHARTI, 2015).

A Figura 19 apresenta a variação temporal dos valores de nitrogênio (%) para os tratamentos efetuados.

Figura 18 - Variação temporal do nitrogênio (%) nos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da Figura 19 observou-se uma variação considerável dos valores de nitrogênio em todos os tratamentos durante o período estudado. Estatisticamente, os valores de nitrogênio dos tratamentos ST3 e ST4 não diferem entre si ($p>0,05$) uma vez que apresentaram comportamento relativamente igual durante o processo de compostagem, bem como, apresentaram uma aparente estabilização do nitrogênio, devido os valores finais se apresentaram próximos aos valores iniciais do processo.

Esse fato pode ser explicado segundo Brito (2008), devido utilização do nitrogênio total por parte das populações microbianas e também em decorrência de perdas por volatilização. Liang et al., (2006) ressaltam que a volatilização do nitrogênio na forma de amônia pode concorrer com a sua imobilização pelos microorganismos, particularmente quando a relação carbono/nitrogênio da mistura é alta, pela presença de carbono recalcitrante como a lignina, bem como, com o aumento do pH.

Em contrapartida, o valor de nitrogênio do tratamento ST2, apresentou diferença significativa com relação aos demais tratamentos ($p<0,05$), uma vez que, durante o processo de compostagem exibiu crescimento significativo em sua concentração final, atingindo 4,09%.

Segundo Liang et al., (2006), o aumento na concentração de nitrogênio na compostagem, está diretamente relacionado a dois fatores: a perda de massa, pelo consumo do carbono orgânico pelos microorganismos, e a menor perda de nitrogênio por volatilização, principalmente durante a fase termofílica do processo (neste caso, entre 21 e 42 dias), demonstrando o ótimo desenvolvimento da compostagem, uma vez que se vislumbra da mesma a maior imobilização e posterior mineralização do nitrogênio.

Já o tratamento ST1 apresentou diferença significativa ($p<0,05$) de valores de nitrogênio se comparado aos demais tratamentos ao longo do processo de compostagem. Ou seja, a concentração de nitrogênio obteve um comportamento e resultados contrários ao desejado, ou seja, reduziu a sua concentração para 1,64 %, indicando deficiência no processo de degradação.

Essa deficiência pode estar relacionada a alguns fatores que favorecem a volatilização, desnitrificação e/ou consumo da amônia, como: qualidade da fração de carbono, aumento de pH, conversão de compostos orgânicos, baixa relação C/N e hidrólise de compostos nitrogenados.

A redução significativa de nitrogênio pode estar relacionada a qualidade da fração de carbono na leira que atua como indicativo da facilidade de degradação do material, ou seja, quanto maior for a resistência para que ocorra a degradação do substrato utilizado como fonte

de C, maiores serão as perdas de nitrogênio (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010).

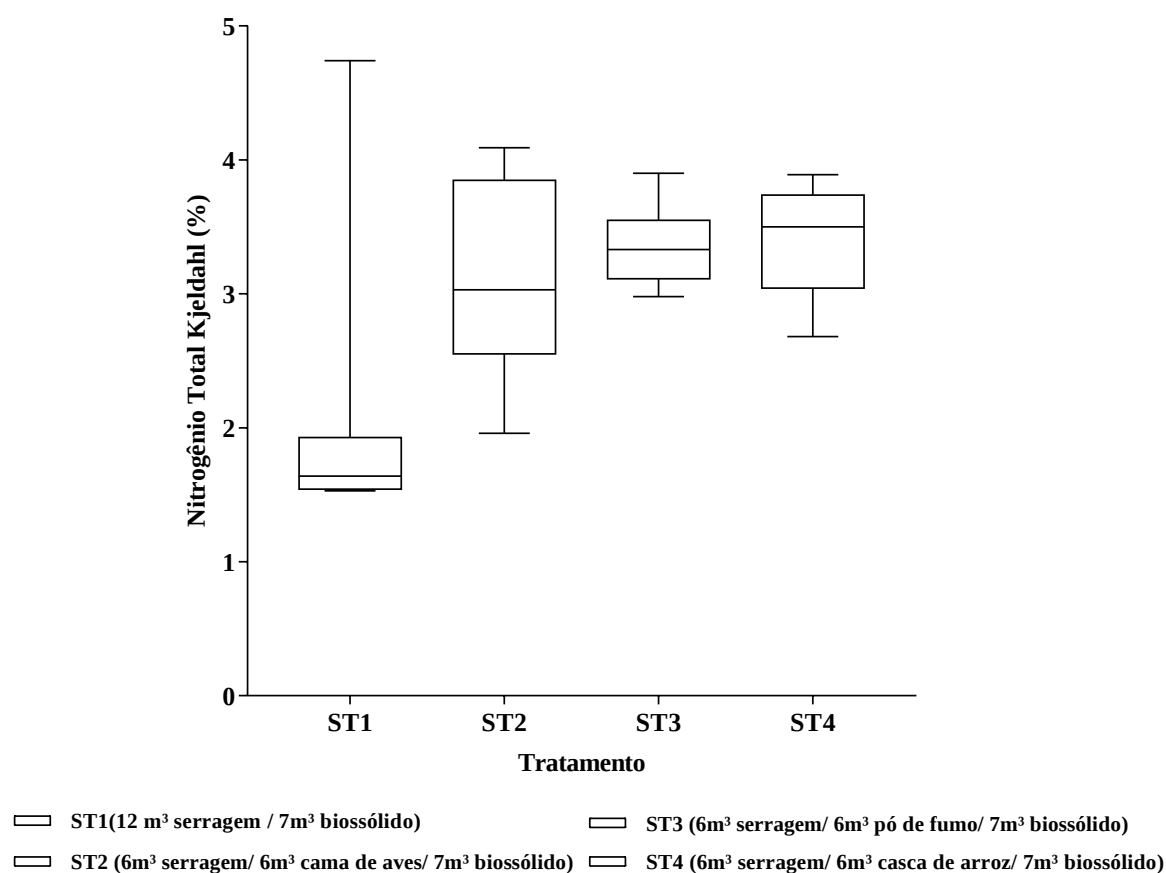
Além disso, Gorgati (2001) ressalta que deve se tomar cuidado com o pH na compostagem de resíduos ricos em nitrogênio, afinal, em pH básico ($\text{pH} > 8,5$), deve ocorrer a conversão de compostos orgânicos contendo nitrogênio em amônia. Essa conversão possibilita grandes perdas de nitrogênio do material, por volatilização. Os processos de volatilização da amônia e de desnitrificação são responsáveis pelas maiores perdas de N durante a compostagem. As perdas de N durante o processo de compostagem aumentam com a temperatura e a intensidade com que se realizam as trocas gasosas com o exterior, com a diminuição da relação C/N e com o aumento do pH.

Em estudos realizados por Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior (2010), demonstram que durante o processo de compostagem de cama de frangos e carcaça de aves, a formação de amônia foi favorecida, pois por todo o período o pH manteve-se acima de 8,6. O pH pode ser considerado um dos principais fatores na determinação das perdas de N, pois valores acima da neutralidade favorecem a formação de amônia, acarretando maiores reduções no conteúdo de N.

Lo Monaco et al., (2013) explicam que as perdas iniciais de nitrogênio se dão através da hidrólise de compostos nitrogenados pelos micro-organismos presentes na leira e que degradam o Nitrogênio orgânico, levando à formação de N-NH_4^+ (amonificação), que é utilizado no crescimento microbiano ou no processo de nitrificação. No entanto, quando o nitrogênio se encontra em quantidades maiores do que as assimiláveis pelos micro-organismos, o mesmo é perdido na forma de óxido de nitrogênio e amônia, sendo esta a maior fração das perdas ocorridas para a atmosfera.

A Figura 20 apresenta os valores médios do nitrogênio (%) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 19 - Valores médios de nitrogênio (%) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 20, observa-se que os tratamentos ST2, ST3 e ST4 apresentaram média de valores de nitrogênio próximas (3,06 %, 3,34 % e 3,35%), não apresentando estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) entre si durante o processo de compostagem. Contudo, o tratamento ST1 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com relação aos demais tratamentos por apresentar uma concentração média de nitrogênio inferior aos demais tratamentos, ou seja, 2,09 %.

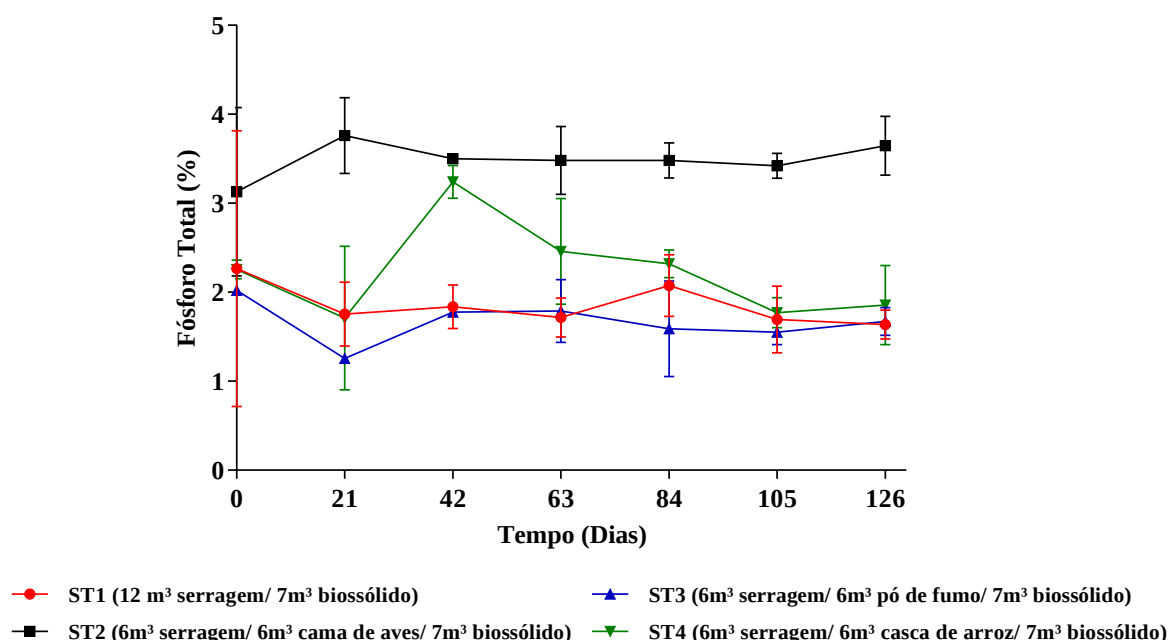
A diferença pode estar relacionada com a relação C/N inicial do processo, uma vez que este apresentou relação inicial inferior aos demais tratamentos e o recomendado pela literatura, ou seja, 9:1, repercutindo no aumento na relação C/N final devido à grande perda de nitrogênio na fase inicial do processo, a qual não foi acompanhada pela redução de carbono orgânico da leira, resultando no aumento da relação. A menor redução do carbono está relacionada com a qualidade do mesmo (a cama de frangos utilizada no processo apresentava grande quantidade de serragem, que representa material de difícil degradação). A

fração carbono atua como indicativo da facilidade de degradação do material, sendo que, quanto maior for a resistência para que ocorra a degradação do substrato utilizado como fonte de C, maiores serão as perdas de N. (TIQUIA; TAM, 2000).

Considerando os compostos produzidos com os diferentes tratamentos, os mesmos apresentaram valores de nitrogênio dentro do especificado pela IN 25/2009 que estipula uma concentração mínima de 0,5% para compostos orgânicos.

A Figura 21 apresenta a variação temporal dos valores de fósforo (%) para os tratamentos efetuados.

Figura 20 - Variação temporal do fósforo total (%) nos tratamentos realizados



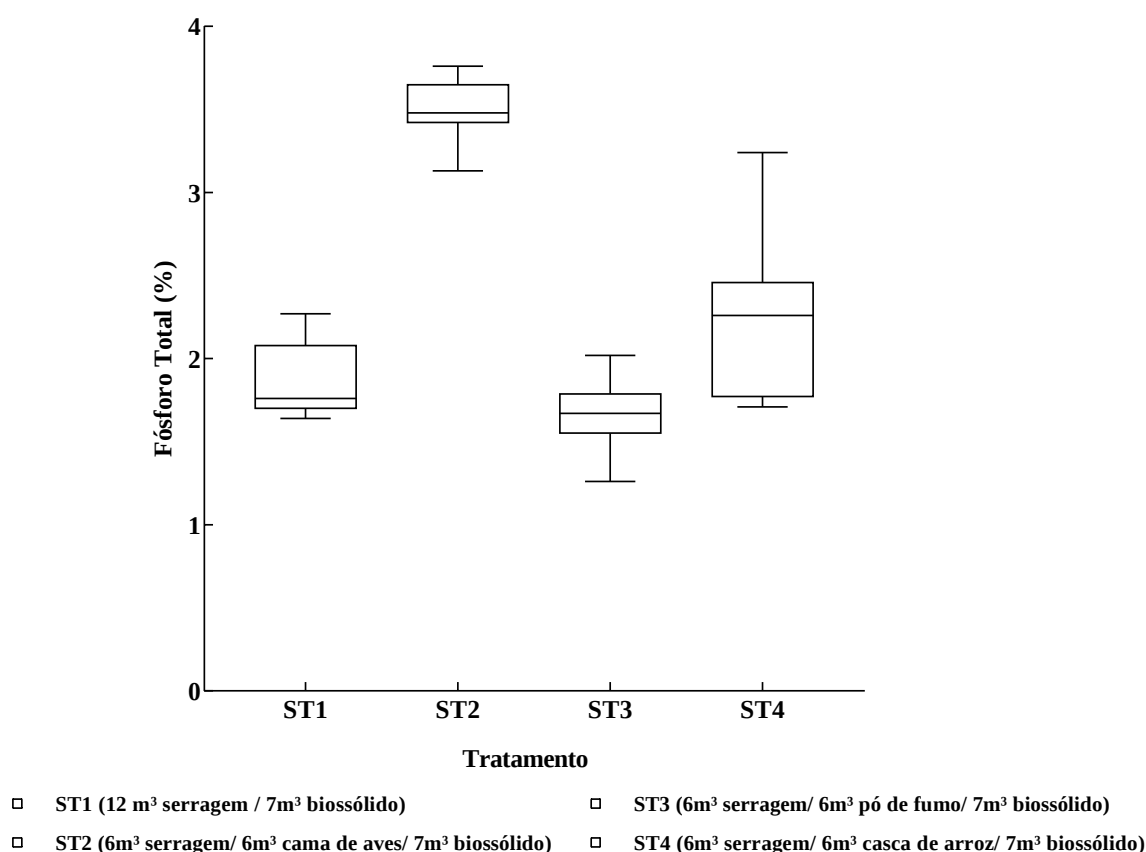
Fonte: a autora (2018).

A análise da Figura 21 demonstra que os valores de fósforo (%) nos tratamentos ST1, ST3 e ST4 não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) ao longo do processo de compostagem apresentando concentrações finais aproximadas (1,64%, 1,67% e 1,86%), com exceção do valor de fósforo do tratamento ST2 que apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) devido ao comportamento e aumento significativo do teor fósforo durante o processo de compostagem, ou seja, 3,49%.

Essa diferença com relação aos demais tratamentos está relacionada à composição química da cama de aviário, uma vez que os dois elementos presentes em altas concentrações na cama de aviário são o nitrogênio e o fósforo, sendo a sua disponibilidade no composto final por meio da disponibilização ocorrida pela ação microbiana no material (PEREIRA NETO, 1996).

A Figura 22 apresenta os valores médios do fósforo (%) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 21 - Valores médios de fósforo (%) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 22, observa-se que os tratamentos ST1, ST3 e ST4 não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) na média de valores de fósforo durante o processo de compostagem (1,85%, 1,66% e 2,23%). Porém, o tratamento ST2, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com relação aos demais tratamentos pelo fato de possuir uma concentração final elevada de fósforo, ou seja, 3,49%. Conforme já exposto

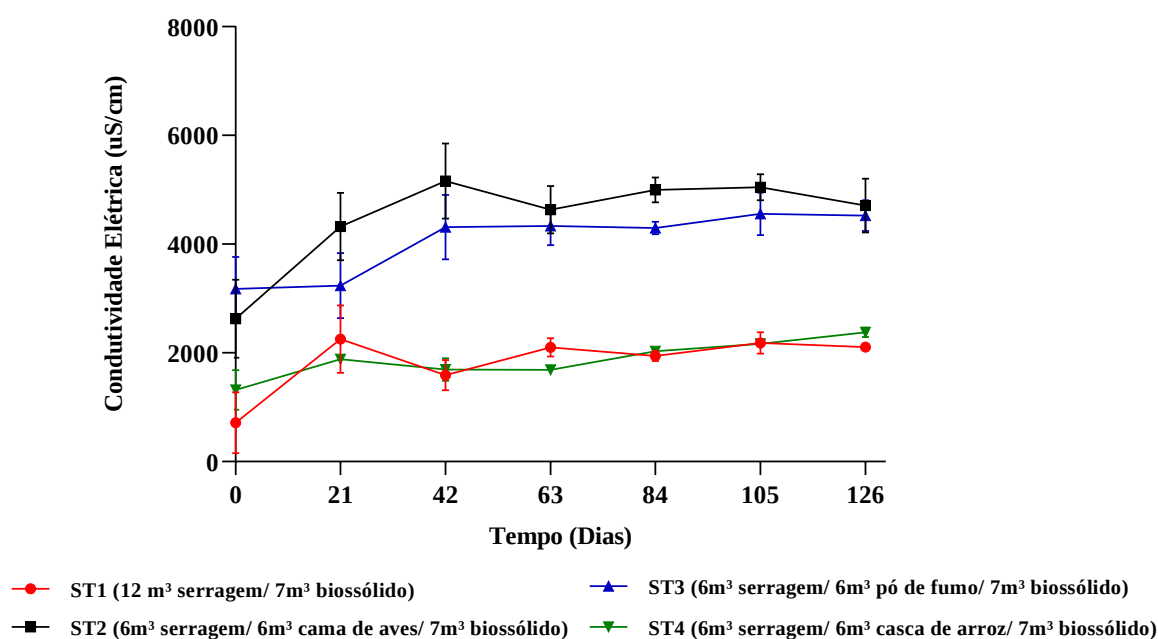
anteriormente, essa concentração elevada de nutriente está relacionada ao tipo de substrato de cama de aves utilizado.

Como resultado da digestão da matéria orgânica pelos microorganismos, ocorre à liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio se transformando em nutrientes minerais. Ou seja, esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

A instrução IN 25/2009 não estipula valor mínimo para o fósforo, devendo os valores atenderem ao declarado na realização do cadastro do produto junto ao MAPA.

A Figura 23 apresenta a variação temporal dos valores de condutividade elétrica (uS/cm) para os tratamentos efetuados.

Figura 22 - Variação temporal da condutividade elétrica (uS/cm) nos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

A análise da Figura 23 demonstra que os valores de condutividade elétrica (uS/cm) não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) ao longo do processo de compostagem para os tratamentos ST1 e ST4, assim como para os tratamentos ST2 e ST3. Porém os valores dos tratamentos ST1 e ST4 diferiram ($p<0,05$) estatisticamente dos valores obtidos nos

tratamentos ST2 e ST3, e assim subsequente. Esse fato pode estar relacionado ao comportamento e valores de condutividade similares obtidos nos tratamentos durante todo o processo de compostagem, formando duplas similares de tratamento.

Neste caso, verifica-se que os valores de CE elevaram nos primeiros 20 dias, posteriormente reduzindo, mas voltando a aumentar de forma significativa no segundo mês até o final do processo, contrariando ao exposto na literatura. Segundo Kiehl (2002), a condutividade deve diminuir durante o processo de compostagem, estabilizando em um valor próximo a 50% da leitura inicial, uma vez que, elevadas concentrações de sais podem causar problemas de fitotoxicidade, uma vez que a maioria dos vegetais tolera substâncias com condutividade elétrica entre 0,5 a 0,8 mS.cm⁻¹ na absorção foliar.

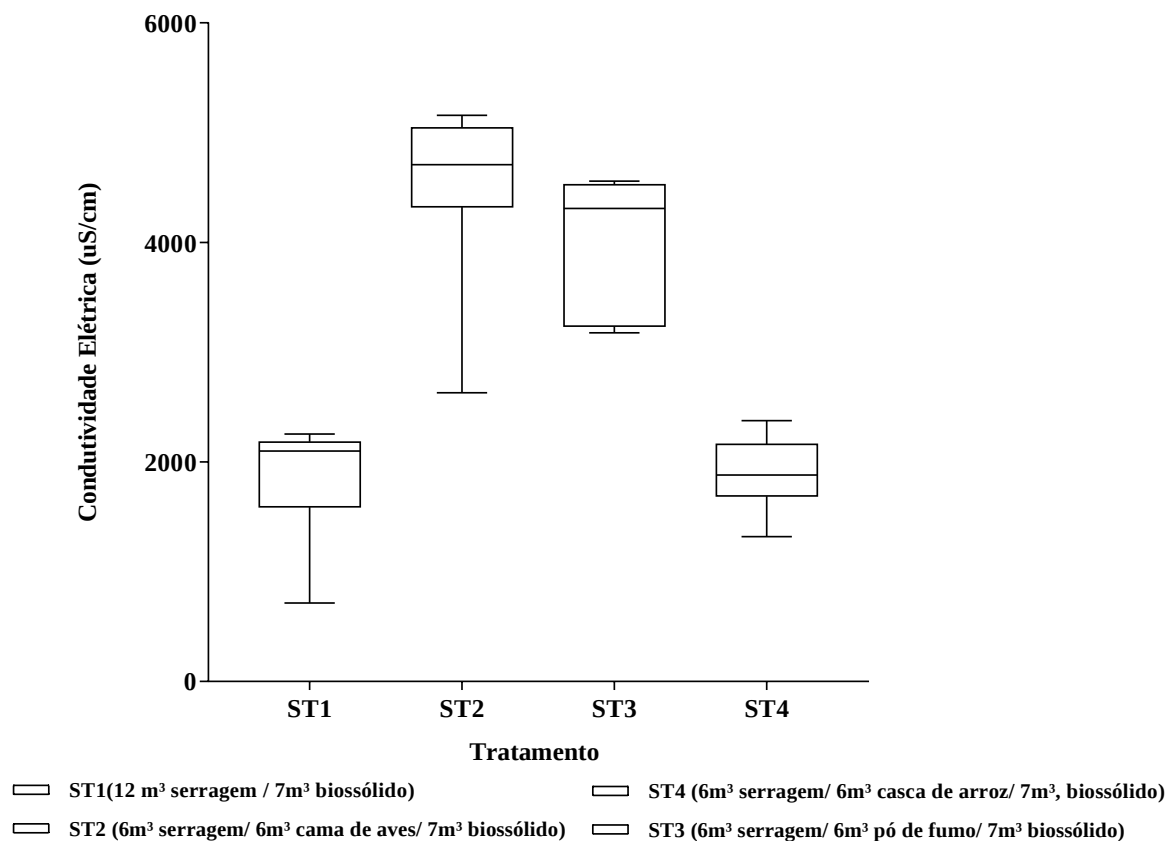
Estudo realizados por Silva, Villas Boas e Silva (2008) na compostagem de resíduos do processo de industrialização de plantas medicinais e esterco bovino, também identificaram aumentos dos valores de condutividade elétrica aos 60 dias, bem como, aumento da concentração de CE até o final do processo, encontrando valores elevados, variando entre 6,92 e 8,49 dSm-1.

Esses resultados, contrariando conceitos postulados na literatura, podem ser explicados através da caracterização dos materiais utilizados na composição das pilhas. Os valores elevados de CE do biossólido industrial e de parte dos substratos utilizados foram responsáveis pelos altos valores de CE já no início do processo (SILVA; VILLAS BOAS; SILVA, 2008).

Neste sentido, avaliando-se a caracterização inicial dos valores de CE dos resíduos utilizados neste estudo, foi possível observar que as maiores concentrações estão relacionados aos substratos de cama de aves (3783,8 uS/cm) e pó de fumo (8106,7 uS/cm), que juntamente com o biossólido (1013,8 uS/cm), apresentaram maiores valores iniciais de CE após a mistura, ou seja, ST2 (2630,00 uS/cm) e ST3 (3176,6 uS/cm) e conseqüentemente ao final do processo de compostagem, apresentaram valores elevados de CE em virtude do efeito acumulativo dos sais, onde ST2 apresentou um valor final de 4708,15 uS/cm e ST3 4526,80 uS/cm, coincidindo com as informações expostas na Figura 23.

A Figura 24 apresenta os valores médios da condutividade elétrica (uS/cm) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 23 - Valores médios de condutividade elétrica (uS/cm) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 24, observa-se que os tratamentos ST2 e ST3 não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) na média de valores de condutividade elétrica durante o processo de compostagem (4500,09 uS/cm e 4062,39 uS/cm). Os tratamentos ST1 e ST4 também não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) na média de valores de condutividade elétrica durante o processo de compostagem (1840,73 uS/cm e 1878,97 uS/cm). Já entre os tratamentos ST2/ST3 e ST1/ST4 ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) em função da concentração final de CE obtida no composto final.

De acordo com Sharma et al., (1997) e Oliveira (2014) a condutividade elétrica é utilizada como um parâmetro importante para verificar o grau de qualidade do composto, pois serve como indicativo dos níveis de fitotoxicidade. Valores entre 0,64 e 6,85 mS.cm⁻¹ - millisiemens/ centimeter são considerados normais para uso de resíduos em áreas agrícolas.

Neste sentido, considerando a conversão unitária dos valores médios de CE obtidos nos diferentes tratamentos para a unidade exigida pela IN 25/2009 e descrita na literatura foi possível verificar a qualidade do composto orgânico produzido com os diferentes substratos.

Tabela 4 - Tabela de atendimento da CE aos padrões de qualidade para uso agrícola

Unidade	ST1	ST2	ST3	ST4	Faixa para uso agrícola
					Sharma <i>et al.</i> , (1997); Oliveira (2014)
uS/cm	1840,73	4500,09	4062,39	1878,97	
mS.cm	1,84073	4,50009	4,06239	1,87897	0,64 e 6,85 mS.cm
Atendimento	Sim	Sim	Sim	Sim	

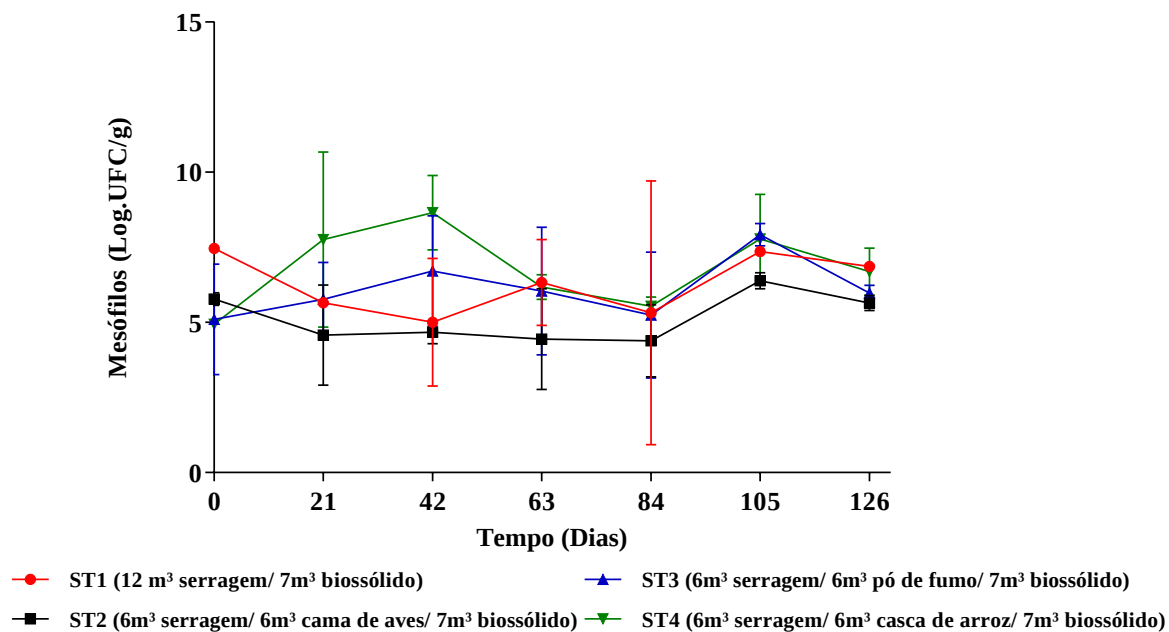
Fonte: a autora (2018).

Mesmo a IN 25/2009 não estabelecendo valores mínimos e/ou máximos para a concentração de CE no composto orgânico, a tabela 6 demonstra que os valores de CE dos compostos orgânicos produzidos no experimento atendem a faixa de qualidade informada por Sharma *et al.*, (1997) e Oliveira (2014).

5.2 Avaliação dos parâmetros microbiológicos

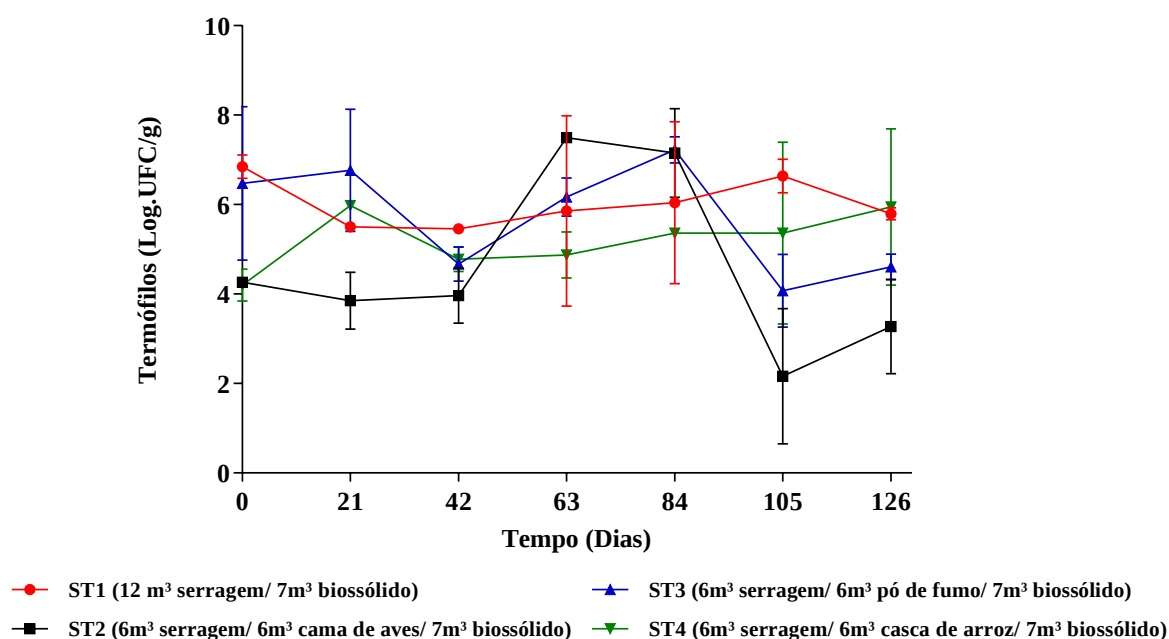
As Figuras 25 e 26 seguintes apresentam os valores da contagem de microorganismos mesófilos (log.UFC/g) e termófilos (log.UFC/g) presentes no período de compostagem, considerando os tratamentos efetuados.

Figura 24 - Variação temporal da contagem de microorganismos mesófilos (log.UFC/g) nos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Figura 25 - Variação temporal da contagem de microorganismos termófilos (log.UFC/g) nos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

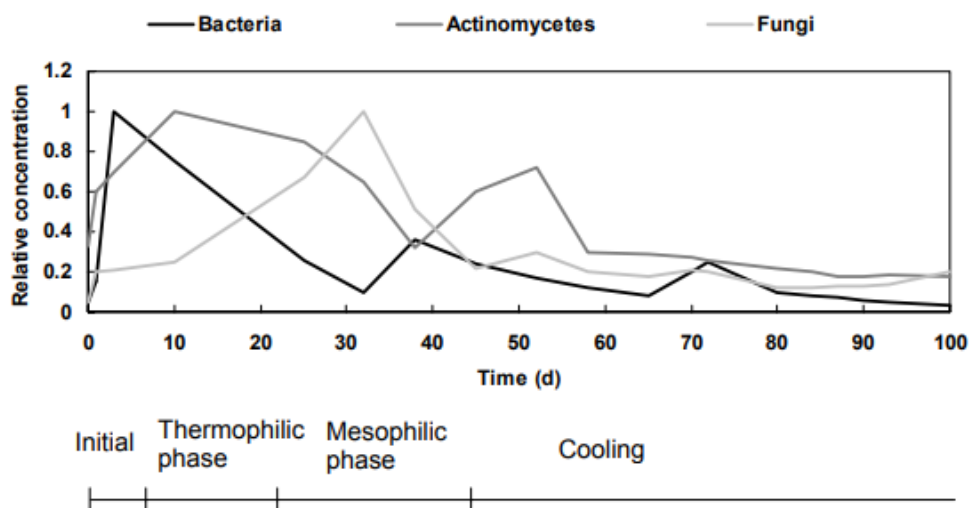
Por meio da Figura 25 verifica-se que os valores de bactérias mesófilas não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p > 0,05$) entre si para os tratamentos avaliados durante o processo de compostagem. Já as bactérias termofilicas, de acordo com a Figura 26 apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para o tratamento ST4 em virtude do comportamento diferenciado (estabilizado) da colônia se comparado aos demais tratamentos durante o processo de compostagem.

Diferentes micro-organismos predominam em diferentes fases da compostagem, sendo bactérias, fungos e actinomicetos os principais responsáveis pela atividade microbiológica do processo de compostagem. Na fase inicial da decomposição da matéria orgânica, denominada fase mesófila, predominam bactérias mesófilas, actinomicetos, fungos e protozoários. Esses micro-organismos crescem entre 10°C e 45°C e degradam facilmente o substrato produzindo ácidos. Com a elevação da temperatura ao longo da compostagem (21 dias), ocorre a fase termofílica, cujo crescimento microbiológico se dá em temperaturas acima dos 45°C, a população dominante será actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes (BRITO, 2008).

Passada a fase termófila, o composto vai perdendo calor e retornando a fase mesófila, porém agora com outra composição química, pois os açúcares e o amido já foram consumidos pelos microorganismos nas etapas anteriores, restando os componentes mais difíceis de serem degradados como celulose e lignina. Nesta etapa, fungos e actinomicetos são melhores adaptados para utilizar os compostos degradáveis mais difíceis comparados com a maioria das bactérias (KIEHL, 1985; ALMEIDA, 2015).

De forma geral, observa-se que o comportamento das colônias de microorganismos mesófilos e termófilos apresentou-se de acordo com o descrito por Bidone e Povinelli (1999) e Caprara (2016), representando o bom desempenho da atividade biológica durante o processo de compostagem. A Figura 27 apresenta esquematicamente a sucessão microbiana durante o período da compostagem.

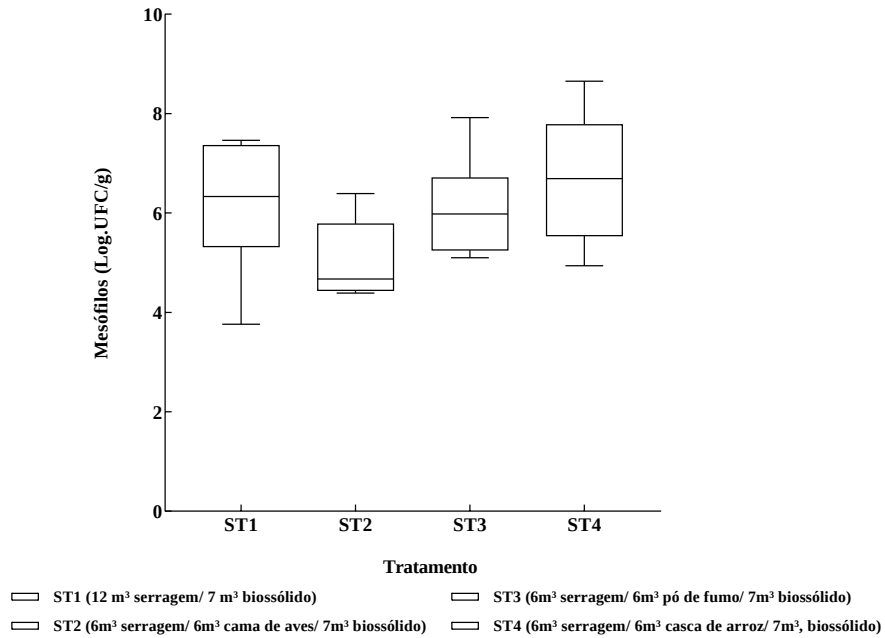
Figura 26 - Representação das fases da compostagem decorrente das variações de temperatura



Fonte: Epstein (1997).

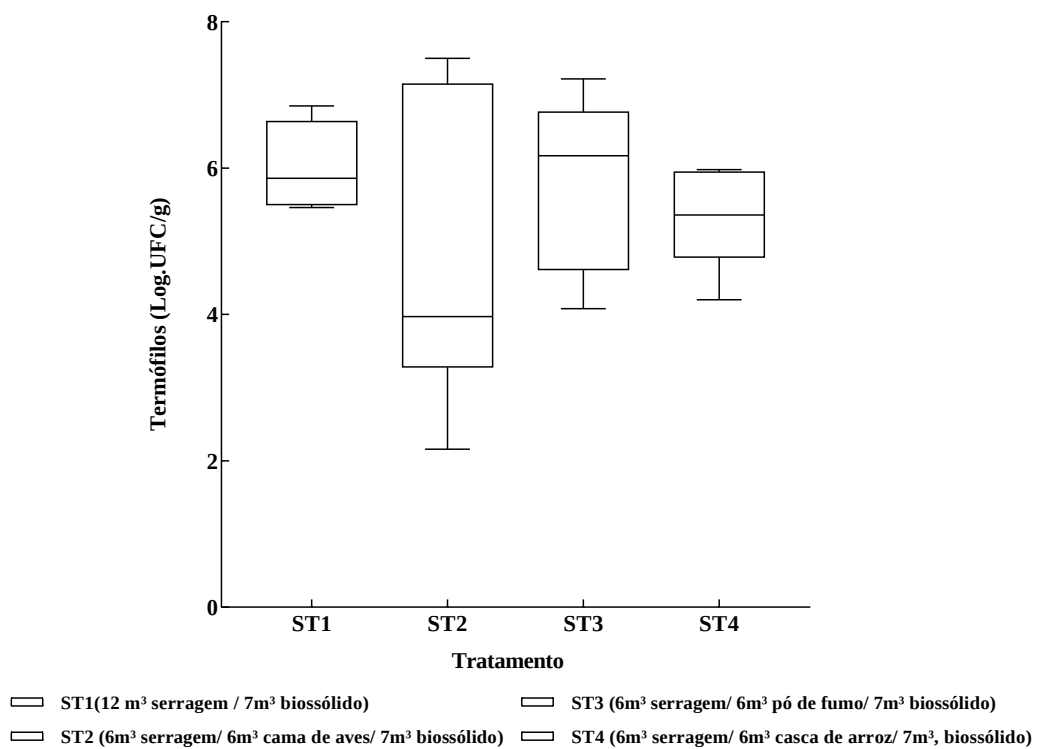
As Figuras 28 e 29 apresentam os valores médios da contagem de microorganismos mesófilos (log.UFC/g) e termófilos (log.UFC/g) nos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 27 - Valores médios de microorganismos mesófilos (Log.UFC/g) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Figura 28 - Valores médios de microorganismos termófilos (Log.UFC/g) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

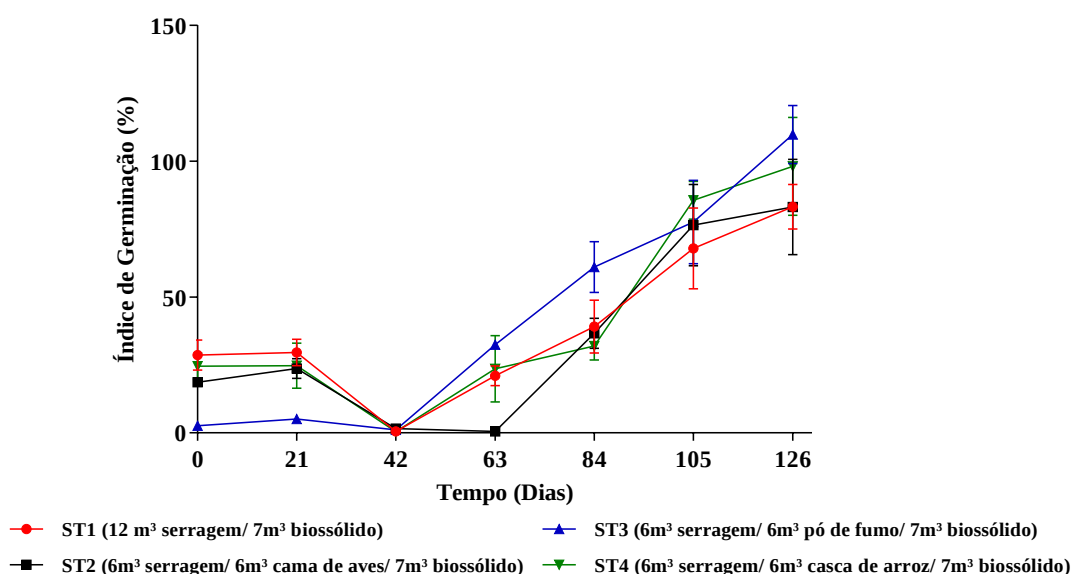
Por meio da avaliação da Figura 28, observa-se que os tratamentos ST1, ST2, ST3 e ST4 não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p>0,05$) na média de valores de contagem de microorganismos mesófilos (6,11, 5,13, 6,11 e 6,79 Log.UFC/g). Com relação a contagem de microorganismos termófilos (Figura 29) os tratamentos ST2, ST3 e ST4 não apresentaram estatisticamente diferença significativa ($p>0,05$) durante o período avaliado (4,59, 5,71, 5,21 Log.UFC/g), com exceção do tratamento ST1 (6,02 Log.UFC/g) que apresentou diferença significativa ($p<0,05$) se comparado ao tratamento ST4.

Essa diferença está relacionada ao desenvolvimento da colônia de microorganismos termófilos durante o processo de compostagem, uma vez que o ST1 apresentou uma média de microorganismos termófilos maior (6,02 Log.UFC/g) durante o tratamento. Este fato pode estar relacionado as temperaturas do tratamento que se mantiveram elevadas durante todo o processo de compostagem, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos termófilos.

5.3 Avaliação dos parâmetros de fitotoxicidade

A Figura 30 apresenta a variação temporal dos valores de índice de germinação (%) para os tratamentos efetuados.

Figura 29 - Variação temporal do índice de germinação (%) nos tratamentos realizados



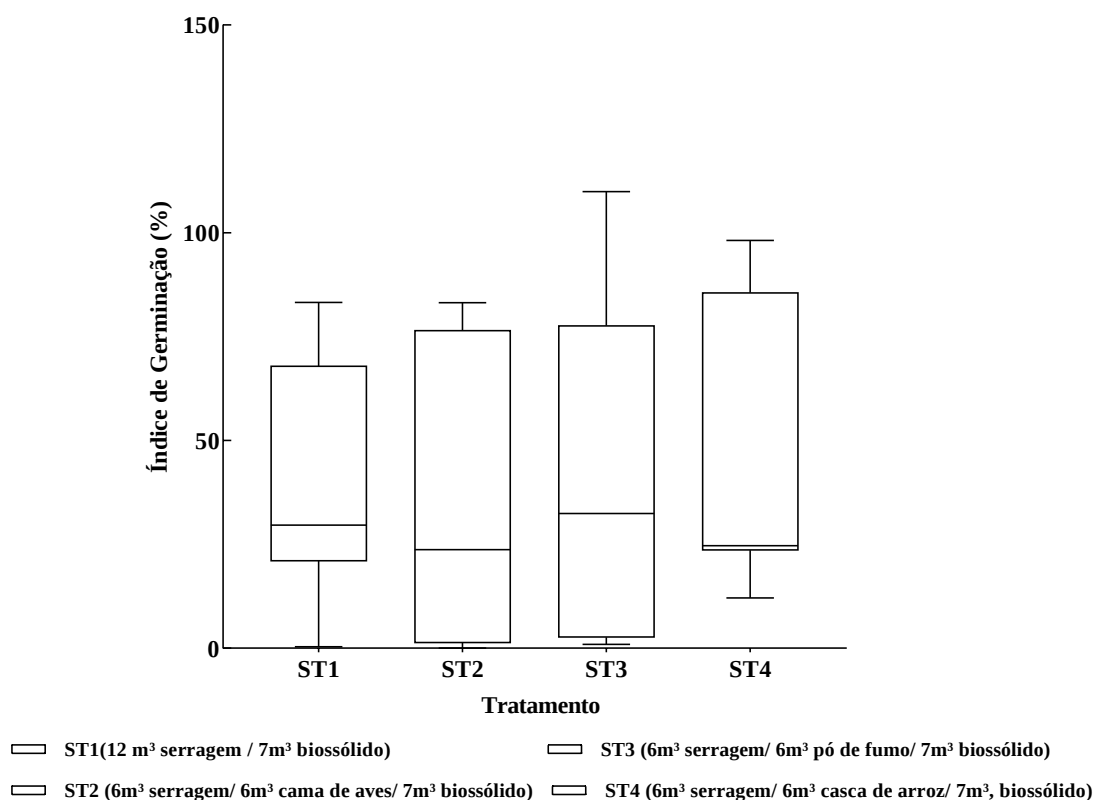
Fonte: a autora (2018).

A análise da Figura 30 demonstra que os valores de índice de germinação (%) não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) ao longo do processo de compostagem para os tratamentos avaliados, demonstrando-se fitotóxico até os 42 dias para os tratamentos ST1, ST3 e ST4, e 62 dias para o tratamento ST2. Desde então, o índice de germinação apresentou crescimento exponencial, atingindo ao final de 126 dias de compostagem percentuais de germinação variando de 83,13 a 109,87%.

O grau de maturidade do composto produzido e seu efeito direto nas plantas pode ser determinado por meio de análises de fitotoxicidade. Zucconi et al. (1981) e Barral e Paradelo (2011), citam que um composto está maturado quando seu índice de germinação está acima de 50%. Índices de germinação abaixo deste percentual podem ser associados à presença de metais pesados, elementos inorgânicos, sais solúveis e demais compostos orgânicos e podem ser produzidos ainda durante a compostagem, se esta não foi bem conduzida e apresentou anaerobiose. Se algumas destas características estiverem presentes no composto orgânico, a germinação das sementes diminuirá de acordo com o grau de fitotoxicidade do composto (CORRÊA; MENDES; CORRÊA, 2012).

A Figura 31 apresenta os valores médios da fitotoxicidade (%) dos tratamentos realizados e seus respectivos desvios padrões.

Figura 30 - Valores médios de fitotoxicidade (%) dos tratamentos realizados



Fonte: a autora (2018).

Por meio da avaliação da Figura 31, observa-se que os tratamentos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) na média de valores de fitotoxicidade durante o processo de compostagem, uma vez que os tratamentos apresentaram valores finais médios de índice de germinação relativamente próximos (38,55%, 34,26%, 41,37% e 42,96%).

Todo os tratamentos apresentaram comportamento e resultados satisfatórios com relação a fitotoxicidade do composto orgânico produzido, não havendo diferença significativa em virtude do tipo de substrato utilizado. No entanto, esses valores médios não devem ser considerados para a caracterização da fitotoxicidade do composto orgânico produzido, tendo em vista que os mesmos são resultantes da média dos valores obtidos durante o processo de compostagem não atendendo o padrão de fitotoxicidade estabelecido por Zucconi et al., (1981) e Barral e Paradelo (2011). Assim, considera-se os valores de índice de germinação obtidos aos 126 dias de compostagem, ou seja, ST1 – 83,25%, ST2 – 83,13%, ST3 – 109,87% e ST4 – 98,13%, os quais demonstram resultados satisfatórios de fitotoxicidade.

A imagem 32 evidencia os compostos orgânicos obtidos após o período de 126 dias de compostagem para os tratamentos realizados.

Figura 31 – Aspecto dos compostos orgânicos produzidos. Em A – ST1 serragem e bio sólido, em B – serragem, cama de aves e bio sólido, em C – serragem, pó de fumo e bio sólido e em D – serragem, casca de arroz e bio sólido.



Fonte: a autora (2018).

6 CONCLUSÃO

Por meio da caracterização física, química, microbiológica e de fitotoxicidade dos compostos orgânicos produzidos com diferentes tipos de substratos orgânicos alternativos, foi possível concluir que os resíduos utilizados (serragem, cama de aviário, pó de fumo e casca de arroz) no respectivo experimento apresentam-se como fonte viável de substrato para o tratamento de biossólido industrial por meio da compostagem, uma vez que os tratamentos avaliados apresentaram compostos orgânicos de qualidade em curto período de tempo (126 dias) atendendo ao preconizado na literatura e os limites de qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa nº. 25 de 23 de Julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Defesa Agropecuária – MAPA para a comercialização de compostos orgânicos mistos.

Neste sentido, o respectivo estudo contribui para a ascensão de novas tecnologias que visem a implementação de práticas agroindustriais sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, atendendo ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), uma vez que o processo de compostagem realizado apresentou-se eficiente podendo ser utilizado como uma alternativa sustentável no tratamento e valorização da fração orgânica de resíduos agroindustriais, dando ao material utilizado valor agregado e estabilidade, contribuindo assim, para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que, possibilita a reciclagem de nutrientes melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como, reduz a contaminação ambiental decorrente da disposição inadequada de resíduos e a utilização indiscriminada de pesticidas e fertilizantes químicos nas atividades agrícolas.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Martin. **Introduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1977.

ALMEIDA, Thiago Eduardo. **Estudo da compostagem de tabaco de cigarros contrabandeados misturados a lodo de ETE por meio de análises convencionais e espectroscópias**. 2015. 95 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington: APHA, 2001.

AMORIM, Ana Carolina. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 108f. Dissertação (Mestre em Produção Animal) - Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2002.

AOAC - Association of Official Agricultural Chemists - INTERNATIONAL. **Official methods of analysis**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.994: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. FADE – UFPE, 2014.

BARRAL, M.T.; PARADELO, R. **A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator**. Santiago de Compostela, Spain. Global Science Books. p.9, 2011.

BARREIRA, Luciana Pranzetti. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 204f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BARROS. G. S.C.; SILVA.A.F.; FACHINELLO.A.L. **PIB do agronegócio brasileiro: comentários metodológicos**. São Paulo: CEPEA, 2014.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC, 1999.

BRASIL. Lei n. 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 25**, de 23 de julho de 2009. Disponível em: <
<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/IN%20MAPA%2025%202009.pdf> >. Acesso em: 10 de dezembro de 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria n. 016**, de 19 de janeiro de 1982. Disponível em: < http://www.codapar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/tabacobenef16_82.pdf >. Acesso em: 02 de fevereiro de 2019.

BRITO, Márcio José Costa. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**. 2008. 124 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracajú, 2008.

CAPRARA, Patricia Tomedi. **Utilização da compostagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil: avaliação dos problemas ocorridos no passado e considerações para projetos futuros**. 2016. 122f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

CARMONA, V.B. et al. **Nanosilica from rice husk: extraction and characterization**. Industrial Crops and Products. São Carlos/SP, v.43, p.291-296, 2013.

CARNEIRO, Leocir José. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. 64f Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

CASSILHA, A.C. et al. **Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental**. Educação e Tecnologia. p. 22, 2003.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **PIB do agronegócio brasileiro**. 2018. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> >. Acesso em: 04 de fevereiro de 2019.

CHANG, J. I.; CHEN, Y. J. Effects of bulking agents on food waste composting. **Bioresource Technology**. Kaohsiung, Taiwan. v. 101, p.5917-5924. 2010.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. **Agro maduro e moderno**. 2017. Disponível em: < <https://www.cnabrazil.org.br/artigos/agro-maduro-e-moderno> >. Acesso em: 20 de janeiro de 2019.

COOB-VANTRESS. **Manual de Manejo de Frangos de Corte**. Guapiaçu: 2009.

CORRÊA, E. K.; MENDES, P. M.; CORRÊA, L. B. Destinação da cama aviária. In: DAI PRÁ, M. A.; ROLL, V. F. B. (Org.). **Cama de aviário: utilização, reutilização e destino**. I. Porto Alegre: Manas, 2012.

COSTA, M. S. M. et al. Efeito da Aeração no Primeiro Estágio da Compostagem de Carcaça de Aves. **Engenharia. Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 549-556, 2005.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Orgs.) **Lixo Municipal: Manual do Gerenciamento Integrado**. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

EL FELS, L. et al. Assesment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocelulosic waste by chemical, FTIR analyses, and phytotoxicity tests.

International Biodeterioration & Biodegradation. Marrakesh, Morocco, v. 87, p. 128–137, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FIORI, M.G.; SCHOENHALS, M; FOLLADOR, F.C. Análise da evolução tempo eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia.

Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v.5, n.3, p. 178-191, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - FEPAM. **Diretriz técnica n. 002/2011** – DIRTEC: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. Porto Alegre, 2011.

GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S.A. Solid waste management by composting: state of the art. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**. v. 38, n. 5, p.178-191 2008.

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, J.J. et al. Evaluation of composition and performance of composts derived from guacamole production residues. **Journal of Environmental Management**. Sevilla, v.147, p. 132-139. 2015.

GORGATI, Cláudia Queiroz. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais – município de São Lourenço da Serra – SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. 74 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2001.

HAHN, Leandro. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. 2004. 130f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ILANI, T. et al. Characterization of the biosolids composting process by hyperspectral analysis. **Waste Management**. Sede Boker Campus, Israel. v. 48, p. 106- 114. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília: IPEA, 2012.

IQBAL, M.K.; SHAFIQ, T.; AHMED, K. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. **Bioresource Technology**. Punjab, Pakistan. v. 101, p. 1913-1919, 2010.

JUNIOR, E.A.F. Projeto Industrial para Aeração Automática de Leiras de Compostagem Orgânica. 2012.86f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2012.

KELLEHER, B. P. et al. Advances in poultry disposal technology a review. **Bioresource Technology**. Limerick, Ireland. v. 83, p. 27-36, 2002.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Edmar José Kiehl, 1998.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4. ed. Piracicaba: Edmar José Kiehl, 2004.

KIEHL, Edmar José. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3. ed. Piracicaba: Edição do autor, 2002.

KIEHL, Edmar José; **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Agronômica, 2010.

KIEHL, Edmar. José. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985.

KOPČIĆ, N. et al. Evaluation of laboratory-scale in-vessel co-composting of tobacco and apple waste. **Waste Management**. Zagreb, Croatia. v. 34, p. 323-328, 2014.

KUMAR, M.; OU, Y.L.; LIN, J.G. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. **Waste Management**. Hsinchu City 30010, Taiwan. v.30, p. 602-609, 2010.

LAUSCHNER, M.H. et al. Decomposição de resíduos de agroindústria fumageira no solo. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**. Santa Maria, v. 35 n. 2, p. 001-008, 2013.

LECONTE, M.C. et al. Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. **Waste Management**. Bariloche, v.29, p.2446-2453, 2009.

LIANG, Y. et al. Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting. **Bioresource Technology**. Canadá v. 97, p. 748 – 761, 2006.

LO MONACO, P. A. V. et al. Avaliação da relação C/N e da qualidade do composto produzido em leiras de compostagem de carcaça e diferentes camas de criatório de frangos. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa/MG, v. 21, n. 6, p. 563-573, 2013.

MARTÍNEZ-BLANCO, J. et al. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. **Journal of Cleaner Production**. Barcelona. v. 19, p. 985–997, 2011.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências da engenharia ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MELLO, Rosmary Panno. **Consumo de água do lírio asiático em vaso com diferentes substratos**. 2006. 74f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

- MENDES, P.M. et al. Phytotoxicity as na indicator of stability of broiler production residues. **Journal of Environmental Management**. Pelotas, v. 167, p. 156-159, 2016.
- MOORE, P.A. et al. Effect of chemical amendments on ammonia volatilization from poultry litter. **Journal of Environmental Quality**. Fayetteville, v.24, p.293-300, 1995.
- MOURA, J. A. et al. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina/PR, v. 36, n. 2, p. 731-746, 2015.
- NOVAES.A. L. et al. Análise dos Fatores Críticos de Sucesso do Agronegócio Brasileiro. CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2009, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande, 2009. 20p.
- OLIVEIRA, Paula Delise Costa. **Compostagem de resíduos agroindustriais em leiras com diferentes fontes de carbono**. 2014. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.
- OLIVEIRA. E. C.A.; SARTORI.R.H.; GARCEZ.T.B. **Compostagem**. 2008.19f. Trabalho de Conclusão de Curso (Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- ORRICO JÚNIOR, M. A.P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n.3, p.1-8 2010.
- PEDROSA, T. D. et al. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Pombal, PB, v. 1, n. 1, p. 44-48, 2013.
- PEIXOTO, Ricardo Trippia dos Guimarães. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina: IAPAR, 1988.
- PEREIRA NETO, João Tinoco. Compostagem: Fundamentos e Métodos. SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM: CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1, 2004. **Anais...** Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.
- PEREIRA NETO, João Tinoco. **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.
- PEREIRA NETO, João Tinoco. **On the Tratment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Approach**. University of Leeds, Inglaterra. p. 839-845, 2007.
- POULSEN, Tjalfe G. **Aerobic composting Solid waste management**. Chapter 4. Aalborg University, 2003.
- PREZZOTO, Leomar Luiz. **Agroindústria da agricultura familiar: regularização e acesso ao mercado**. Brasília: CONTAG, 2016.

PRIMO, Diário Costa. **Compostagem do resíduo sólido gerado na cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.) e sua utilização para produção de mudas arbóreas**. 2009. 74 f. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

PRIMO, D. C. et al. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Campina Grande, PB, v. 14, n. 07, p. 742–746, 2010.

RICH, N.; BHARTI, A. Assessment of different types of in-vessel composters and its effect on stabilization of MSW compost. **International Research Journal of Engineering and Technology**. Arunachal Pradesh, India, v. 2, n. 3, p. 1-6, 2015.

RIGBY, H. et al. A critical review of nitrogen mineralization in biosolids amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment. **Science of the Total Environment**. London, v. 541, n. 541, p. 1310- 1338, 2016.

RODRIGUES, M.S. et al. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: IFCE, 2006, p. 63-94.

ROWELL, R. M. et al. Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities. **Lignocellulosic-Plastics Composites**. p. 23-51, 1997.

RUGGIERI, L. T.; ARTOLA, G. A.; SANCHEZ, A. A study on air filled porosity evolution in sludge composting. Int. J. Environ. 2008. **Waste Manage**. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 04 mar. 2015.

RUSSO, Mário Augusto Tavaeres. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. 2003. 196f. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 2003.

SHARMA, V. K. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review. **Energy Conservation Manag**. Viçosa, v. 38, n. 3, p. 453-478, 1997.

SILVA, F. M. VILLAS BOAS, R.L.; SILVA, R.B. Parâmetros de maturação para diferentes compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Registro/SP, v. 4, n.1, p. 67-78, 2008.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o bio-sólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Planaltina/DF, v.26, p.487-495, 2002.

SILVA, Lucimar Novaes Da. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 2007. 57f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SILVEIRA, A.; FERREIRA, A.A.; DAL MOLIN, D.C.C. A cinza da casca de arroz como adição mineral. WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 1996.

TAGLIARI, Paulo Sérgio. Produção agroecológica: uma ótima alternativa para agricultura familiar. **Agropecuária Catarinense**. Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 29-39, 1997.

TEDESCO, M.J. et al., **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995.

TEDESCO, M.J. et al., Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999, p.159- 196.

TIQUIA, S, M.; TAM, N.F.Y. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. **Environmental Pollution**. Oxford, v. 110, n.4, p.535-541, 2000.

TIQUIA, Sônia. Reduction of compost phytotoxicity during the processo of decomposition. **Chemosphere**. Dearborn/USA.v. 79, p. 506–512, 2010.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Pelotas/RS, v. 58, n. 9, p. 59-85, 2009.

VERAS, L. R.; POVINELLI, J. A. Vermicompostagem do Lodo de Lagoas de Tratamento de Efluentes Industriais Consorciada com Composto de Lixo Urbano. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. São Paulo, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004.

VIALI, Lorí. **Testes de Hipóteses Não Paramétricos**.2008. 43f. Apostila:UFRGS. Porto Alegre, 2008.

VIEIRA, Lauren Andrade. **Compostagem de biossólido de estação de tratamento de efluentes de frigorífico com serragem e cama de aves**. 2016. 66f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

ZUCCONI, F. et al. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**. n. 22, p.54-57, 1981.