



**KARINA ALVES MÁXIMO**

**INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS COMO ACELERADORES NO  
PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS**

**BAMBUÍ – MG  
2018**

**KARINA ALVES MÁXIMO**

**INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS COMO ACELERADORES NO  
PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos

**BAMBUÍ – MG  
2018**



## FICHA DE APROVAÇÃO

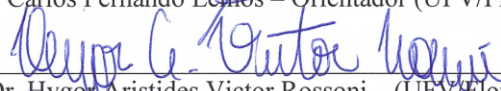
Dissertação de Mestrado, intitulada “*Avaliação da Eficiência da Inoculação de Microrganismos como Aceleradores no Processo de Compostagem de Resíduos Sólidos Agroindustriais*”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental **Karina Alves Máximo**, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 17/08/2018, com a média de pontuação de 92.

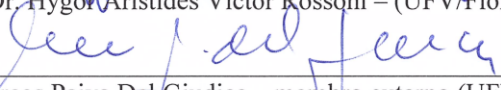
Título do Trabalho – houve alteração  Sim ( ) Não

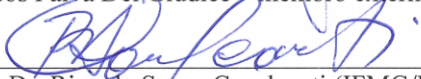
Se sim, qual o título “Inoculação de microrganismos como aceleradores no processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais”

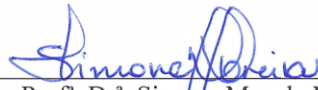
Florestal (MG), 17 de agosto de 2018.

  
Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos – Orientador (UFV/Florestal)

  
Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni – (UFV/Florestal)

  
Prof. Dr. Marcos Paiva Del Giudice – membro externo (UFV/Florestal)

  
Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti (IFMG/Bambuí)

  
Prof.ª Dr.ª Simone Magela Moreira (IFMG/Bambuí)

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG – Campus Bambuí

M464i Máximo, Karina Alves.

Inoculação de microrganismos como aceleradores no processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais. / Karina Alves Máximo. – 2018.

160 f.; il.; color.

Orientador: Dr. Carlos Fernando Lemos.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2018.

1. Compostagem. 2. Resíduos agroindustriais. 3. Inoculação de microrganismos. 4. Composto orgânico. I. Lemos, Carlos Fernando. II. Título.

CDD 631.8

*À minha amada filha Júlia, a maior motivação  
para eu jamais desistir deste sonho.*  
DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Um sonho realizado, ingressar no mestrado. Seguido de uma gravidez inesperada, a Júlia me acompanhou na barriga desde as primeiras matérias!

Agradeço o acolhimento, carinho e cuidado de toda a equipe do mestrado, para conosco. Em especial, cito aqueles que estiveram mais próximos e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho: Professores Ricardo Cavalcanti e Washington Santos, e aos colegas: Ti, Naty, Hi, Coração e Alex, não tenho palavras para agradecer o carinho que tiveram conosco, vocês conseguiram deixar o caminho mais leve!

Quando a Júlia nasceu, as coisas se tornaram ainda mais complicadas, conciliar o seu primeiro ano de vida, com o trabalho e mestrado foi a tarefa mais difícil da minha vida. Muitas ausências como mãe, filha e esposa foram necessárias, muitas renúncias, muitos finais de semana em casa estudando, por vezes pensei até em desistir. Mas, o apoio da minha família junto com a vontade de vencer foram mais fortes!

Aos meus pais João e Izabel, a minha irmã Marcelle, ao meu esposo Edwaldo, agradeço o apoio, amor e dedicação incondicional, sem vocês seria impossível alcançar essa conquista, que não posso chamar de minha, é nossa!

A todos os meus amigos que me apoiaram e compreenderam a minha ausência, em especial Simone e Renato, que estiveram sempre presentes me ajudando com a Júlia.

À minha equipe de trabalho, Maurício, Júlio, Fernanda, Danilo, obrigada pelo apoio.

À toda equipe da Biocomp, em especial Filipe, Fernando, Lorena e Israel, obrigada por abrirem as portas para realização deste trabalho e por toda contribuição durante o seu desenvolvimento.

Ao meu orientador Carlos Fernando Lemos agradeço por acreditar na minha competência, pelo incentivo e confiança desde o início do mestrado.

Aos professores Maribus Baldotto e Marcos Del Giudice, agradeço pela gentileza em cederem os laboratórios e a equipe para realização das análises.

A Débora e Ana Eliza, minha gratidão pela boa vontade em que tiveram em me ajudar, foi um prazer enorme conhecer vocês!

Ao meu bom Deus, agradeço por nos momentos de angústia e desespero, quando tudo parecia estar perdido, ter colocado tantas pessoas boas em meu caminho que me ajudaram a retomar a direção e chegar até aqui.

Professor Hygor Rossoni, você foi uma destas pessoas. Obrigada pelo seu incentivo, paciência, pelas críticas e sugestões que contribuíram muito com este trabalho e com o meu crescimento profissional, agradeço de coração!

## RESUMO

O Brasil é apontado como um dos países com maior potencial de produção agrícola do mundo, porém, é o quarto maior consumidor mundial de nutrientes para formulação de fertilizantes minerais. Ao mesmo tempo as projeções apontam o aumento da demanda por alimentos e o crescimento do setor agroindustrial, como consequência havendo também o aumento da geração de resíduos e a pressão sobre os recursos naturais. A compostagem surge como uma estratégia interessante para o tratamento e aproveitamento destes resíduos, pois permite transformá-los em composto orgânico capaz de melhorar a qualidade do solo e reduzir a utilização dos fertilizantes minerais, no entanto trata-se de um processo demorado, que pode levar até 180 dias, dependendo da matéria prima utilizada e do controle operacional. Uma vez que a inoculação de microrganismos pode intensificar o processo de degradação, o presente estudo teve como objetivo produzir um inóculo de microrganismos e avaliar a sua eficiência na aceleração do processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos agroindustriais. Os resíduos sólidos utilizados foram: lodo da estação de tratamento de efluentes de indústria de cerveja, chips de batata e milho e laticínio, resíduo ruminal bovino e película prateada de café. O trabalho foi desenvolvido na usina de compostagem Biocomp situada no município de Papagaios, MG, no período de fevereiro a agosto de 2017. O inóculo de microrganismos foi preparado com base no método de captura de microrganismos eficazes (EM). Para tanto, como substrato de captura dos microrganismos foi utilizado 3 Kg de arroz cozido em água sem sal e deixado por 10 dias na mata próxima ao pátio de compostagem, em seguida foi transferido para um reator aeróbio montado em uma caixa d'água de 3.000 litros onde foi instalado um sistema de recirculação com bomba. Como meio de cultivo para os microrganismos foi utilizado melão de cana-de-açúcar em pó e fertilizante orgânico foliar fluido. No procedimento de montagem das leiras, a mistura inicial de resíduos agroindustriais apresentou relação C/N 19 e umidade de 66,8%. Foram utilizados 2 tratamentos com 5 repetições, sendo o tratamento A sem adição de inóculo de microrganismos e o tratamento B com adição de inóculo de microrganismos. Durante o processo de compostagem foram monitorados os parâmetros físico-químicos: temperatura, umidade, pH, condutividade elétrica, nitrogênio total, carbono orgânico total e relação C/N. Para confirmar a ausência de fitotoxicidade dos compostos orgânicos foram realizados testes de germinação com alface mimosa (*Lactuca sativa*). Os dados coletados foram submetidos a testes estatísticos não-paramétricos que permitiram comparar os valores medianos dos tratamentos ao nível de 5% de significância. Para verificar o efeito dos dias de compostagem e do tipo de tratamento sobre a temperatura foi utilizada uma regressão linear multivariada com erros padrões robustos. Comprovou-se que o inóculo de microrganismos promoveu uma maior atividade biológica ao processo de compostagem aumentando a temperatura e o pH, com redução mais rápida da temperatura. Para os demais parâmetros observados, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, indicando que o tratamento B produziu composto orgânico com qualidades similares ao tratamento A, porém com 46% a menos de tempo. O índice de germinação (GI) > 80%, indicou a ausência de substâncias fitotóxicas que inibem a germinação e o crescimento das plantas aos 65 dias de compostagem.

**Palavras-chave:** Compostagem. Inoculação de microrganismos. Microrganismos eficazes. Lodo. Película prateada do café. Resíduo ruminal. Resíduos agroindustriais.

## ABSTRACT

Brazil is considered one of the countries with the highest potential of agricultural production in the world, however, it is the fourth largest consumer of nutrients for formulating mineral fertilizers in the world. At the same time, the projections point to the increase in demand for food and the growth of the agroindustrial sector, as consequence of which there is also an increase in the generation of waste and the pressure on natural resources. Composting emerges as an interesting strategy for the treatment and recovery of these wastes, because it allows them to be transformed into organic compost capable of improving soil quality and reducing the use of mineral fertilizers, however it is a time-consuming process, which can take up to 180 days, depending on the raw material used and operational control. Since inoculation of microorganisms may intensify the degradation process, the present study aimed to produce an inoculum of microorganisms and to evaluate its efficiency in accelerating the process composting of organic agroindustrial solid wastes. The solid wastes used were sludges from the wastewater treatment plants from industry potato and corn chips and dairy, bovine ruminal residue and coffee silverskin. The research was developed at the Biocomp composting plant located in the municipality of Papagaios, MG, from February to August 2017. The inoculum of microorganisms was prepared based on the method of capture of effective microorganisms (EM). Therefore, as substrate for catching the microorganisms was used 3 kg of rice cooked in unsalted water and left for 10 days in the forest near the composting yard, then transferred to an aerobic reactor mounted in a water tank of 3000 liters with a recirculation system with pump. As culture medium for the microorganisms was used sugar cane molasses powder and organic foliar fluid fertilizer. In the mounting procedure of the compost heap, the initial mixture of agroindustrial residues had a C/N 19 ratio and a moisture content of 66.8%. Two treatments with 5 replicates were used, being treatment A without addition of inoculum of microorganisms and treatment B with addition of inoculum of microorganisms. During the composting process the physical-chemical parameters were monitored: temperature, humidity, pH, electrical conductivity, total nitrogen, total organic carbon and C / N ratio. To confirm the maturity of the organic compounds germination tests were performed with lettuce (*Lactuca sativa*). The collected data were submitted to non-parametric statistical tests that allowed to compare the median values of the treatments at the level of 5% of significance. A multivariate linear regression with robust standard errors was used to verify the effect of composting days and treatment type about temperature. It was verified that the inoculum of microorganisms promoted a greater biological activity to the composting process increasing the temperature and the pH, with faster reduction of the temperature. For the other parameters observed, there was no significant statistical difference between treatments, indicating that treatment B produced organic compound with similar qualities to treatment A, but with 46% less time. The germination index (GI) > 80% indicated the absence of phytotoxic substances that inhibit the germination and growth of the plants at 65 days of composting.

**Key-words:** Composting. Inoculation of microorganisms. Effective microorganisms. Sludge. Coffee silverskin. Ruminal residue. Agroindustrial waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Estrutura de fruto de café em corte longitudinal.....	26
Figura 3.2 – Resíduos gerados no processamento do café .....	28
Figura 3.3 – Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional .....	30
Figura 3.4 – Fluxograma típico do sistema de lodos ativados de aeração prolongada .....	31
Figura 3.5 – Fluxograma composto por reator UASB seguido por lodos .....	32
Figura 3.6 – Reator anaeróbio de circulação interna.....	33
Figura 3.7 – Possibilidades de operações para processamento, tratamento e destinação final de lodo.....	34
Figura 3.8 – Esquema simplificado do processo de compostagem aeróbia .....	36
Figura 3.9 – Fases da compostagem.....	37
Figura 3.10 – Fases de decomposição da matéria orgânica conforme a relação C/N .....	44
Figura 3.11 – Sistema de compostagem por leiras revolvidas .....	52
Figura 3.12 – Túnel de ventilação .....	53
Figura 3.13 – Sistemas de leiras estáticas aeradas através de ventilação natural.....	53
Figura 3.14 – Sistema de leiras estáticas aeradas com injeção de ar.....	54
Figura 3.15 – Reator biológico para compostagem acelerada.....	55
Figura 4.1 – Fluxograma de operação da usina de compostagem da Biocomp .....	68
Figura 4.2 – Imagem de satélite da Usina de Compostagem .....	69
Figura 4.3 – Local de captura dos microrganismos.....	71
Figura 4.4 – Vista interna da mata onde foram coletados os microrganismos.....	71
Figuras 4.5 – Arroz contendo os microrganismos capturados .....	72
Figura 4.6 – Montagem do reator aeróbio .....	73
Figura 4.7 – Reator aeróbio com o inóculo de microrganismos pronto para utilização na compostagem.....	74
Figura 4.8 – Caracterização microbiológica do inóculo de microrganismos .....	75
Figura 4.9 – Baia de resíduo ruminal bovino (RRB).....	76
Figura 4.10 – Baia de película prateada do café (PPC).....	77
Figura 4.11 – Fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes da cervejaria.....	78
Figura 4.12 – Baia de lodo de ETE de cervejaria (LC) .....	79
Figura 4.13 – Fluxograma dos sistemas de tratamento de efluentes das indústrias de alimentos .....	80
Figura 4.14 – Baia de armazenamento de lodo de indústrias de alimentos (LBM + LL) .....	81

Figura 4.15 – Operação de <i>blendagem</i> dos resíduos .....	85
Figura 4.16 – Operação de montagem das leiras de compostagem.....	85
Figura 4.17 – Montagem das leiras no dia 27/4/2017 .....	86
Figura 4.18 – Levantamento das leiras no dia 30/04/2017.....	86
Figura 4.19 – Composição dos tratamentos. ....	87
Figuras 4.20 e 4.21 – Operação de revolvimento mecânico das leiras de compostagem.....	88
Figura 4.22 – Equipamento para aplicação do inóculo de microrganismo durante o revolvimento das leiras. ....	89
Figura 4.23 – Aplicação do inóculo de microrganismos durante o revolvimento das leiras do tratamento B .....	89
Figura 4.24 – Medição da temperatura na parte central da leira .....	90
Figura 4.25 – Teste da mão para verificação de umidade e maturação do composto .....	91
Figura 4.26 – Operação de rega das leiras para correção da umidade .....	92
Figura 4.27 – Peneira rotativa para atender as especificações granulométricas de fertilizante em pó .....	93
Figura 4.28 – Resumo da execução do teste de germinação .....	95
Figura 4.29 – Teste de germinação com <i>lactuca sativa</i> após 48 horas de incubação .....	97
Figura 4.30 – Como interpretar um gráfico <i>boxplot</i> .....	100
Figura 5.1 – Comparação da temperatura entre os tratamentos .....	102
Figura 5.2 – Comportamento da temperatura ao longo do processo de compostagem.....	103
Figura 5.3 – Modelo das variáveis que exerceram influência na temperatura .....	106
Figura 5.4 – Evolução da umidade na compostagem .....	108
Figura 5.5 – Evolução do carbono orgânico total na compostagem.....	109
Figura 5.6 – Evolução do nitrogênio total na compostagem .....	110
Figura 5.7 – Evolução da relação C/N na compostagem.....	112
Figura 5.8 – Evolução do pH na compostagem.....	113
Figura 5.9 – Evolução da condutividade elétrica na compostagem .....	114
Figura 5.10 – Comparação do pH entre os tratamentos .....	117
Figura 5.11 – Comparação do NSG entre os tratamentos A e B e controle aos 65 dias de compostagem.....	120
Figura 5.12 – Comparação do LR entre os tratamentos A e B e o controle aos 65 dias de compostagem.....	121
Figura 5.13 – Comparação da RSG entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem .....	122

Figura 5.14 – Comparação da RRG entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem .....	123
Figura 5.15 – Comparação do GI entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem .	124
Figura 5.16 – Comparação do NSG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem ....	126
Figura 5.17 – Comparação do LR do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem.....	127
Figura 5.18 – Comparação da RSG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem ....	128
Figura 5.19 – Comparação da RRG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem....	129
Figura 5.20 – Comparação do GI do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem.....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Estimativa de geração de resíduos sólidos orgânicos nas agroindústrias associadas às principais culturas brasileiras, ano base 2009 .....	23
Tabela 3.2 – Estimativa de geração de resíduos sólidos orgânicos da pecuária e agroindústrias associadas, ano base 2009 .....	23
Tabela 3.3 – Nitrogênio retido no composto de acordo com a relação C/N inicial .....	43
Tabela 3.4 – Temperaturas mínimas, ótimas e máximas para os microrganismos .....	46
Tabela 3.5 – Sistema de avaliação do CCQC para determinação do índice de maturidade do composto.....	57
Tabela 3.6 – Classificação do índice de germinação para fitotoxicidade do composto .....	59
Tabela 3.7 – Classificação do índice de germinação para maturidade do composto .....	59
Tabela 3.8 – Resumo da legislação sobre fertilizantes orgânicos .....	61
Tabela 3.9 – Classificação dos fertilizantes orgânicos de acordo com as matérias-primas utilizadas em sua produção.....	64
Tabela 3.10 – Especificações granulométricas para fertilizantes orgânicos sólidos .....	65
Tabela 3.11 – Especificação dos teores mínimos de macronutrientes primários .....	66
Tabela 3.12 – Especificação dos teores mínimos de macronutrientes secundários e micronutrientes .....	66
Tabela 3.13 – Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos .....	67
Tabela 4.1 – Médias climatológicas do município de Papagaios (1981 – 2010) .....	70
Tabela 4.2 – Caracterização físico-química do inóculo de microrganismos.....	74
Tabela 4.3 – Resultados de análise microbiológica do inóculo de microrganismos .....	76
Tabela 4.4 – Caracterização físico-química dos resíduos utilizados na compostagem.....	81
Tabela 4.5 – Determinação da mistura de resíduos utilizada nas leiras de compostagem .....	84
Tabela 4.6 – Resumo das condições do teste de germinação .....	96
Tabela 4.7 – Hipóteses usadas para os testes estatísticos.....	99
Tabela 5.1 – Análise descritiva da variável temperatura.....	101
Tabela 5.2 – Análise multivariada das variáveis que exerceram influência sobre a temperatura .....	105
Tabela 5.3 – Descritiva das variáveis físicas e químicas.....	107
Tabela 5.4 – Comparação das variáveis quantitativas entre os tratamentos.....	116

Tabela 5.5 – Comparação das variáveis numéricas do teste de germinação entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem .....	119
Tabela 5.6 – Comparação das variáveis numéricas do teste de germinação no tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem .....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANDA** Associação Nacional para Difusão de Adubos
- BOD** *Biochemical Oxygen Demand*
- C/N** Relação carbono/nitrogênio
- CCQC** Conselho de Qualidade de Composto da Califórnia
- CETESB** Companhia Ambiental do estado de São Paulo
- CONAB** Companhia Nacional de Abastecimento
- COT** Carbono orgânico total
- DBO** Demanda bioquímica de oxigênio
- DQO** Demanda química de oxigênio
- DRBC** *Dichloran Rose Bengal Chlortetracycline*
- EM** Microrganismos eficazes
- EMBRAPA** Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária
- ETE** Estação de tratamento de efluentes
- FAO** *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- GI** Índice de Germinação
- GLADIS** Sistema Global de Informações sobre Degradação dos Solos
- IC** Circulação interna
- IDE-SISEMA** Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- IN** Instrução normativa
- LBM** Lodo de ETE de indústria de chips de batata e milho
- LC** Lodo de ETE de cervejaria
- LL** Lodo de ETE de laticínio
- LR** Comprimento das raízes
- MAPA** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- N** Nitrogênio total
- NSG** Número de sementes germinadas
- PCA** *Plate Count Agar*
- pH** Potencial hidrogeniônico
- PPC** Película prateada do café
- RRB** Resíduo ruminal bovino

**RRG** Porcentagem relativa do comprimento das raízes

**RSG** Porcentagem relativa de germinação

**SST** Sólidos em suspensão totais

**UASB** *upflow anaerobic sludge blanket*

**UFC** Unidades formadoras de colônias

**VRB** *Violet Red Bile*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>18</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 A importância da matéria orgânica para o solo</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2 Resíduos sólidos orgânicos</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.1 Resíduos sólidos orgânicos das agroindústrias</b> .....	<b>21</b>
3.2.1.1 Resíduos utilizados no experimento .....	24
3.2.1.1.1 Resíduo ruminal bovino .....	24
3.2.1.1.2 Resíduos do processamento do café .....	26
3.2.1.1.3 Lodo de ETE de indústrias de alimentos e bebidas .....	29
<b>3.2.2 Gerenciamento e destinação final de resíduos orgânicos agroindustriais</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3 Compostagem</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3.1 Fatores que influenciam o processo de compostagem</b> .....	<b>38</b>
3.3.1.1 Temperatura .....	38
3.3.1.2 Aeração .....	39
3.3.1.3 pH .....	40
3.3.1.4 Umidade .....	40
3.3.1.5 Relação Carbono/Nitrogênio .....	42
3.3.1.6 Granulometria ou tamanho da partícula .....	44
3.3.1.7 Microrganismos .....	45
3.3.1.7.1 Bactérias .....	46
3.3.1.7.2 Actinomicetos .....	47
3.3.1.7.3 Fungos .....	47
<b>3.4 Inoculantes microbiológicos</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5 Métodos de compostagem</b> .....	<b>51</b>
<b>3.5.1 Sistema de leiras revolvidas (windrow)</b> .....	<b>51</b>
<b>3.5.2 Sistema de leiras estáticas aeradas (static pile)</b> .....	<b>52</b>
<b>3.5.3 Sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel)</b> .....	<b>54</b>
<b>3.6 Qualidade do composto</b> .....	<b>55</b>
<b>3.7 Fertilizante orgânico e mineral</b> .....	<b>59</b>

<b>3.8 Legislação Brasileira sobre fertilizantes orgânicos .....</b>	<b>61</b>
<i>3.8.1 Definições e classificações .....</i>	<i>62</i>
<i>3.8.2 Padrões de qualidade.....</i>	<i>65</i>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>68</b>
<b>4.1 Localização e caracterização do local do experimento .....</b>	<b>68</b>
<b>4.2 Preparação do inóculo de microrganismos .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.1 Captura dos microrganismos .....</b>	<b>70</b>
<i>4.2.2 Ativação do inóculo de microrganismos .....</i>	<i>72</i>
<b>4.3 Caracterização do inóculo de microrganismos .....</b>	<b>74</b>
<b>4.4 Descrição dos resíduos utilizados na compostagem .....</b>	<b>76</b>
<i>4.4.1 Resíduo ruminal bovino (RRB).....</i>	<i>76</i>
<i>4.4.2 Pélicula prateada do café (PPC).....</i>	<i>77</i>
<i>4.4.3 Lodo de ETE de cervejaria (LC).....</i>	<i>77</i>
<i>4.4.4 Lodo de indústrias de alimentos.....</i>	<i>79</i>
<b>4.5 Caracterização química dos resíduos utilizados na compostagem .....</b>	<b>81</b>
<b>4.6 Determinação da mistura dos resíduos.....</b>	<b>82</b>
<b>4.7 Montagem das Leiras .....</b>	<b>85</b>
<b>4.8 Composição dos tratamentos.....</b>	<b>87</b>
<b>4.9 Manejo e monitoramento do processo de compostagem.....</b>	<b>87</b>
<i>4.9.1 Método de compostagem .....</i>	<i>87</i>
<i>4.9.2 Revolvimentos .....</i>	<i>88</i>
<i>4.9.3 Aplicação do inóculo de microrganismos.....</i>	<i>88</i>
<i>4.9.4 Monitoramento da temperatura .....</i>	<i>89</i>
<i>4.9.5 Monitoramento da umidade e maturação do composto .....</i>	<i>90</i>
<i>4.9.6 Análises físicas e químicas para acompanhamento do processo.....</i>	<i>92</i>
<i>4.9.7 Peneiramento .....</i>	<i>93</i>
<b>4.10 Teste de Germinação .....</b>	<b>93</b>
<b>4.11 Estratégias e procedimentos estatísticos.....</b>	<b>98</b>
<i>4.11.1 Análise de gráfico boxplot.....</i>	<i>99</i>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>101</b>
<b>5.1 Temperatura .....</b>	<b>101</b>
<b>5.2 Resultados físicos e químicos .....</b>	<b>106</b>
<i>5.2.1 Análise descritiva dos resultados físicos e químicos .....</i>	<i>106</i>
<i>5.2.1.1 Umidade .....</i>	<i>107</i>

5.2.1.2 Carbono orgânico total .....	109
5.2.1.3 Nitrogênio total.....	109
5.2.1.4 Relação C/N.....	111
5.2.1.5 pH .....	112
5.2.1.6 Condutividade.....	114
<i>5.2.2 Comparação dos resultados físicos e químicos entre os tratamentos.....</i>	<i>115</i>
<b>5.3 Teste de germinação .....</b>	<b>118</b>
<i>5.3.1 Comparação entre os tratamentos aos 65 dias de compostagem.....</i>	<i>118</i>
<i>5.3.2 Comparação do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem .....</i>	<i>124</i>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO A – Caracterização do local do experimento conforme IDE-Sisema (2018)....</b>	<b>148</b>
<b>A.1 – Classificação do bioma .....</b>	<b>148</b>
<b>A.2 – Classificação do solo .....</b>	<b>149</b>
<b>A.3 – Classificação do índice de umidade.....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO B – Análises dos resíduos utilizados no processo de compostagem .....</b>	<b>151</b>
<b>B.1 – Lodo de ETE de cervejaria (LC) .....</b>	<b>151</b>
<b>B.2 – Resíduo ruminal bovino (RRB) .....</b>	<b>152</b>
<b>B.3 – Lodo de ETE indústria de chips de batata e milho (LBM).....</b>	<b>153</b>
<b>B.4 – Lodo de ETE laticínio (LL).....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO C – Planilhas de acompanhamento da compostagem .....</b>	<b>155</b>
<b>C.1 – Leiras do tratamento A – Sem adição de inóculo de microrganismos.....</b>	<b>155</b>
<b>C.2 – Tratamento B – com adição de inóculo de microrganismos .....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXO D – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS .....</b>	<b>158</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a agricultura moderna tem dependido cada vez mais de fertilizantes minerais para atender às demandas de nutrientes das plantas. Isso contribuiu para o aumento acentuado da produção agrícola. No entanto, práticas de gestão ineficientes têm degradado os solos, esgotando seus conteúdos de matéria orgânica e nutrientes a tal ponto de torná-los improdutivos. Sem contar a poluição das águas superficiais e subterrâneas causada pela lixiviação destes nutrientes (FAO, 2018). As projeções apontam que a população global deverá ultrapassar 9 bilhões até 2050, aumentando a demanda por alimentos e a pressão sobre o solo e outros recursos naturais, o que coloca em risco a sustentabilidade a longo prazo do setor agrícola e a segurança alimentar global (FAO, 2015).

O Brasil é apontado como um dos países com maior potencial de produção agrícola do mundo, podendo contribuir significativamente com o aumento da oferta de alimentos (FAO, 2011). Porém, é o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes minerais, sendo muito dependente de importações. Em 2017 foram importadas mais de 26 mil toneladas o que correspondeu a cerca 76% do total de fertilizante mineral utilizado no país (CONAB, 2018a).

Ao mesmo tempo, o setor agroindustrial gera quantidades significativas de resíduos sólidos orgânicos, tais como cascas, bagaços e palhas agrícolas, esterco bovinos, suínos e de aviário, lodos de estações de tratamento de efluentes, dentre vários outros. Estima-se que as agroindústrias associadas as principais culturas brasileiras e à pecuária geram mais de 291 milhões e 1,7 bilhões de toneladas de resíduos sólidos orgânicos por ano, respectivamente (SCHNEIDER, *et al.* 2012). Sem contar nos resíduos sólidos orgânicos urbanos que correspondem em mais de 94 mil toneladas por dia (BRASIL, 2012).

Diante deste cenário, a compostagem surge como uma estratégia interessante para o tratamento e aproveitamento da matéria orgânica e nutrientes destes resíduos, pois permite transformá-los em composto orgânico que pode complementar a utilização dos fertilizantes minerais, reduzindo a dependência de insumos importados para fertilização das culturas e os custos de produção, e melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A compostagem é uma tecnologia de baixo custo operacional que permite o processamento integrado de vários resíduos orgânicos, transformando-os em composto humificado, através da degradação microbológica, que se dá de forma controlada. No entanto, dentre as principais limitações do processo, está o tempo gasto para se obter um composto orgânico que possa ser aplicado no solo de forma segura e que não prejudique as plantas (KIEHL, 2001; PEREIRA NETO, 2007; BELLAVAR; KONZEN, 2013).

De acordo com a literatura clássica da área, este requisito é atendido com um tempo médio de 90 a 120 dias (KIEHL, 1985), podendo chegar a 180 dias (JIMÉNEZ; GARCIA, 1988), o que depende muito da matéria prima utilizada (SILVA *et al.*, 2009) e do controle dos principais fatores intervenientes do processo, nomeadamente umidade, aeração e relação C/N (MATOS *et al.*; 1998; PEREIRA NETO; LELIS, 1999; TIQUIA, 2010; GUO *et al.*, 2012).

Muitas usinas tentando acelerar o processo de compostagem negligenciam a etapa de maturação, o que resulta em compostos imaturos e mal estabilizados que podem apresentar efeitos negativos associados à inibição da germinação de sementes e crescimento das plantas (TIQUIA; TAM, 1998; CUNHA-QUEDA, 2010).

Assim, há necessidade de inovação dos processos de compostagem para produção de composto orgânico em menor tempo, otimizando o processo, reduzindo os requisitos de área e os custos de produção, mas que igualmente produza um composto que possa ser aplicado de forma segura no solo.

Algumas pesquisas demonstraram que a inoculação de microrganismos denominados “Microrganismos Eficazes” (EM) pode aumentar a degradação de resíduos reduzindo o tempo de compostagem (GREGÓRIO *et al.*, 2004; OLIVEIRA; LIMA; ALBERTI, 2013; SHARMA *et al.*, 2014; PAREDES FILHO; FLORENTINO, 2016).

Os EM são microrganismos benéficos encontrados naturalmente no solo que coexistem em um meio líquido, sendo este formado principalmente por: actinomicetos, leveduras, bactérias produtoras de ácido láctico e fotossintéticas. Entretanto, não existe uma definição clara de quais são os microrganismos que compõem o EM, pois isso depende muito do ecossistema e das condições ambientais em que foram capturados e da forma como foram inoculados (HIGA; WIDIDANA, 1991).

Uma vez que o EM pode ser útil para intensificar o processo de degradação, o presente estudo teve como objetivo produzir um inóculo de microrganismos e avaliar a sua eficiência na compostagem de resíduos sólidos orgânicos de geração relevante nas agroindústrias, mas pouco estudados, como lodo dos sistemas de tratamento de efluentes de laticínio, indústria de chips de batata e milho e indústria de cerveja, resíduo ruminal bovino e película prateada do café. Para verificar a maturidade do composto foram monitorados os parâmetros físico-químicos: temperatura, umidade, pH, condutividade elétrica, nitrogênio total, carbono orgânico total e relação C/N, e biológico: testes de germinação com alface mimosa (*Lactuca sativa*).

Cabe destacar que o teste de germinação é realizado com extrato aquoso do composto orgânico, sendo um método rápido, simples e econômico que tem sido muito utilizado para

confirmar a maturidade do composto e a presença de substâncias fitotóxicas, garantindo uma aplicação segura no solo independentemente do tempo de compostagem, pois avalia o efeito agudo do composto sobre as plantas (HELFRICH *et al.*, 1998; TIQUIA, 2010; JAKUBUS, 2012).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência da inoculação de microrganismos como aceleradores no processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para que o principal objetivo fosse alcançado, foi necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- i. Comparar a eficiência da redução do tempo do processo de compostagem convencional com a compostagem utilizando o inóculo de microrganismos eficazes.
- ii. Monitorar os parâmetros: temperatura, condutividade elétrica, pH, umidade, nitrogênio total, carbono orgânico total e relação C/N, em ambos os processos comparando os resultados obtidos.
- iii. Avaliar a maturidade por meio da análise da fitotoxicidade dos compostos produzidos em ambos os processos, comparando os resultados obtidos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A importância da matéria orgânica para o solo

O manejo sustentável da matéria orgânica do solo é fundamental para manutenção da sua capacidade produtiva a longo prazo (CIOTTA *et al.*, 2003). A matéria orgânica é considerada como um indicador-chave da qualidade do solo (CONCEIÇÃO, *et al.*, 2005), apresentando influência direta sobre as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como redução da densidade aparente, melhora da estruturação, consistência, aeração e drenagem, aumento da fertilidade, capacidade de retenção de água e de troca catiônica, controle de toxicidez e pH, aumento da biologia do solo, dentre outros (KIEHL, 1985).

Bayer e Bertol (1999), Ciotta *et al.* (2003) e Costa *et al.* (2004) realizaram experimentos de longa duração, demonstrando que é possível conciliar práticas agrícolas com a conservação do solo, através de um sistema de manejo adequado. Os sistemas de plantio direto demonstraram um aumento do teor de matéria orgânica que foi diretamente relacionado com melhorias nas propriedades do solo, como o aumento da capacidade de troca catiônica (BAYER; BERTOL, 1999; CIOTTA *et al.*, 2003), aumento da estabilidade de agregados (COSTA *et al.*, 2004) e aumento do teor dos nutrientes carbono, nitrogênio, cálcio, potássio e fósforo (BAYER; BERTOL, 1999).

Os solos são a base para a agricultura e o funcionamento do ecossistema, sendo responsáveis por 95% da produção de nossos alimentos (FAO, 2015). No entanto, os nutrientes deles retirados pela agricultura não são devolvidos na mesma proporção, o que tem esgotado os nutrientes do solo em muitos países, causando cada vez mais a dependência de fertilizantes minerais para a produção de alimentos. Em alguns casos, onde o estado nutricional do solo é alto, não há problema imediato, mas, para muitos países onde os solos já estão altamente esgotados de nutrientes, uma perda adicional pode levar a uma degradação irreversível do solo prejudicando seriamente a segurança alimentar mundial (SHELDRIK; SYERS; LINGARD, 2002).

A deterioração da fertilidade do solo está diretamente relacionada com a perda de matéria orgânica e degradação física causadas pelo desmatamento e intensificação de atividades agrícolas sem a utilização de práticas de manejo sustentável (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999; DIACONO; MONTERMURRO, 2010). Um estudo realizado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2011), utilizando o conjunto de dados globais do Global Land Degradation Information – GLADIS (Sistema Global de

Informações sobre Degradação dos Solos), revelou um dado preocupante: 33 % dos solos do mundo encontram-se degradados, sendo o uso e manejo do solo as causas principais da degradação.

Os fertilizantes minerais podem até elevar a fertilidade do solo, porém, são incapazes de melhorar as propriedades físicas, fato que, é peculiar à matéria orgânica (KIEHL, 1985).

Diacono e Montemurro (2010) revisaram vários experimentos de longo prazo (3 a 60 anos) sobre os efeitos da aplicação regular de matéria orgânica no solo através de resíduos orgânicos brutos ou compostados, demonstrando que o processo de degradação do solo pode ser revertido e sua fertilidade recuperada. Entretanto, a maioria dos efeitos evoluem lentamente necessitando de aplicações repetidas. Dentre os efeitos observados destaca-se: aumento do carbono orgânico do solo, melhoria das propriedades físicas do solo, principalmente melhorando a estabilidade do agregado e diminuindo a densidade do solo; aumento do rendimento da safra, melhoria das funções biológicas do solo com aumento do carbono da biomassa microbiana e da atividade enzimática.

### **3.2 Resíduos sólidos orgânicos**

De acordo com a NBR ABNT 10.004 (2004, p.1) os resíduos sólidos são assim definidos:

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.

Os resíduos sólidos recebem as seguintes classificações de acordo com a NBR ABNT 10.004 (2004):

- Resíduos classe I – Perigosos: São aqueles que apresentam periculosidade podendo apresentar risco à saúde pública e riscos ao meio ambiente quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou que apresente alguma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- Resíduos classe II A – Não perigosos e Não inertes: São aqueles que podem ter propriedades, tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes.

- Resíduos classe II B – Não perigosos e Inertes: São aqueles que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Os resíduos sólidos orgânicos são resíduos que apresentam biodegradabilidade, e, portanto, recebem a classificação: classe II A – não perigosos e não inertes, de acordo com a NBR ABNT 10.004 (2004). São constituídos basicamente por restos vegetais ou animais e são gerados em diversas atividades, tais como as domésticas ou urbanas, agrícolas, pecuárias e industriais. De acordo com Matos (2014), os resíduos orgânicos de maior importância são os gerados em agroindústrias, resíduos de culturas agrícolas, dejetos de animais, bem como o lodo do tratamento de águas residuárias orgânicas.

A Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelecendo as diretrizes relativas ao gerenciamento dos resíduos sólidos, incluiu formas de destinação final ambientalmente adequada como sendo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético. No inciso V do artigo 36 responsabiliza os serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido (BRASIL, 2010).

Entretanto, dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos apontam que do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, os orgânicos correspondiam em mais de 50%, o equivalente a 94.335 toneladas por dia. Sendo que deste total a grande maioria era encaminhado para disposição final inadequada como aterros controlados e lixões, e apenas 1,6% era encaminhado para compostagem (BRASIL, 2012).

### **3.2.1 Resíduos sólidos orgânicos das agroindústrias**

O conceito do agronegócio surgiu da necessidade de expansão das atividades agrícolas, saindo do meio rural e passando a ser um complexo de atividades interdependentes (sociais, agronômicas, zootécnicas, agroindustriais, econômicas, administrativas, mercadológicas, logísticas e outras) até que o produto chegue ao consumidor (ARAÚJO, 2007). Foi analisando esse processo complexo que Davis e Goldberg (1975) criaram o termo agribusiness (traduzido no Brasil para agronegócio ou sistema agroindustrial) definindo-o como:

[...] o conjunto de todas as operações e transações envolvidas desde a fabricação dos insumos agropecuários, das operações de produção nas

unidades agropecuárias, até o processamento e distribuição e consumo dos produtos agropecuários '*in natura*' ou industrializados (RUFINO, 1999 *apud* ARAÚJO, 2007, p.16).

O agronegócio tem um importante papel na economia do Brasil e vem se firmando como um dos principais fornecedores de alimentos no mercado externo. O Brasil é o terceiro maior produtor agrícola do mundo, destaque em exportações de commodities vegetais e proteína animal (ROQUETTI FILHO, 2016).

De acordo com as projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o agronegócio no Brasil, a pressão do mercado interno e externo para suprir a demanda de alimentos serão os principais fatores de crescimento dos produtos do agronegócio nos próximos 10 anos. A projeção para 2026/27 em relação a 2016/17 estima que a produção de carnes (bovina, suína e aves) deverá aumentar em 7,5 milhões de toneladas o que representa um acréscimo de 28%, a produção de grãos deverá aumentar em 56,0 milhões de toneladas o que representa um acréscimo de 24,2%, a área total plantada com lavouras deverá passar de 74,0 milhões de hectares para 84,0 milhões e a produção de leite deverá passar de 34,5 bilhões de litros para valores entre 43,0 e 48,0 bilhões de litros (BRASIL, 2017).

Um dos problemas ambientais decorrentes do avanço do setor agroindustrial é a geração de grande quantidade de resíduos orgânicos potencialmente poluidores. Ao longo das cadeias produtivas das agroindústrias são gerados diversos resíduos orgânicos como resíduos de culturas (casca, palha, sabugo, bagaço, etc.), dejetos de animais, carcaças, vísceras, sebo, substâncias estomacais, lodo dos sistemas de tratamento de efluentes dentre outros (MATOS, 2014). Estima-se que as agroindústrias associadas as principais culturas brasileiras geram mais de 291 milhões de toneladas de resíduos sólidos orgânicos por ano e as agroindústrias associadas à pecuária geram mais de 1,7 bilhões de toneladas por ano, conforme é apresentado nas Tabelas 3.1 e 3.2 (SCHNEIDER, *et al.* 2012).

Tabela 3.1 – Estimativa de geração de resíduos sólidos orgânicos nas agroindústrias associadas às principais culturas brasileiras, ano base 2009

<b>Agroindústrias associadas às principais culturas</b>	<b>t/ano</b>
Soja	41.862.129
Milho	29.432.678
Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro)	201.418.487
Feijão	1.847.984
Arroz	2.530.355
Trigo	3.033.315
Café	1.220.029
Cacau	83.025
Banana	99.640
Laranja	8.825.276
Coco-da-baía	405.009
Castanha-de-caju	80.484
Uva	300.459
<b>TOTAL</b>	<b>291.138.870</b>

Fonte: SCHNEIDER, *et al.* (2012).

Tabela 3.2 – Estimativa de geração de resíduos sólidos orgânicos da pecuária e agroindústrias associadas, ano base 2009

		(Continua)
<b>Setor</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Total de resíduos (t/ano)</b>
<b>Pecuária</b>		
	Dejetos de criação de galinhas (aves de postura)	11.782.568
	Dejetos de criação de frangos de corte	16.243.286
	Dejetos de criação de bovinos de leite	316.909.675
	Dejetos de criação de bovinos de corte	1.338.458.709
	Dejetos de criação de suínos	20.379.732
	Subtotal	1.703.773.970
<b>Abatedouros de aves</b>		
	Penas	535.226
	Vísceras cruas	752.210
	Cabeças	202.518
	Pés	43.397
	Peles	43.397
	Gorduras	8.679
	Ossos	173.587
	Restos de carcaças	526.547
	Resíduos de cama de aviário	28.931
	Borra do flotador	260.380
	Subtotal	2.574.873

Tabela 3.2 – Estimativa de geração de resíduos sólidos orgânicos da pecuária e agroindústrias associadas, ano base 2009

		(Conclusão)
Setor	Resíduo	Total de resíduos (t/ano)
<b>Abatedouros de bovinos</b>		
	Esterco	21.667
	Material não comestível para graxaria	457.415
	Conteúdo estomacal e intestinal	1083351,74
	<b>Subtotal</b>	<b>1.562.434</b>
<b>Abatedouros de suínos</b>		
	Esterco	49492,528
	Pelos	30932,83
	Partículas de couro	30932,83
	Material não comestível para graxaria	556790,94
	Conteúdo estomacal e intestinal	83518,641
	<b>Subtotal</b>	<b>751667,769</b>
	<b>Total</b>	<b>1.708.662.945</b>

Fonte: SCHNEIDER, *et al.* (2012).

Todas as projeções apontam para o Brasil como sendo a grande reserva de fornecimento de alimentos para o mundo demonstrando o grande potencial do agronegócio em contribuir com o desenvolvimento econômico do País (BRASIL, 2017). Entretanto, traz uma séria preocupação ambiental tanto na questão de prover recursos naturais como de absorver os impactos causados pela disposição inadequada dos diversos resíduos gerados pelas atividades agroindustriais, caso não recebam tratamento e destinação final adequada, podendo comprometer a qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

Neste contexto para viabilizar a sustentabilidade e o crescimento das atividades agroindustriais, faz-se necessário a adoção de técnicas que permitam o aproveitamento ou reciclagem dos resíduos agroindustriais (MATOS, 2005).

### 3.2.1.1 Resíduos utilizados no experimento

#### 3.2.1.1.1 Resíduo ruminal bovino

De forma resumida o processo dos abatedouros de bovinos inicia-se com o atordoamento (abate), em seguida o boi é pendurado, pela traseira, em um transportador aéreo passando pelas etapas de sangria, esfolia (retirada de cabeça, couro, chifres, cascos), evisceração, cortes e desossa. Durante essas etapas são geradas grandes quantidades de resíduos

sólidos, sendo a maioria aproveitados como subproduto no setor de graxaria. O sebo e gordura são processados para servir de matéria-prima para a indústria farmacêutica e cosmética. Sangue, ossos, cascos, chifres, aparas de carne e de vísceras são processados para produção de farinhas ricas em proteínas, gorduras e minerais que são utilizadas para produção de ração animal. (CETESB, 2008).

Um caso à parte é o resíduo gerado na etapa de evisceração durante a limpeza do rúmen/intestino, cujo volume produzido é muito grande, e por outro lado o seu destino incerto. Nesta etapa, a carcaça é aberta com serra elétrica manual e as vísceras são retiradas e encaminhadas via esteira ao setor de bucharia onde são limpas para o seu posterior aproveitamento. O rúmen (bicho) é aberto para esvaziamento e limpeza, gerando o resíduo ruminal bovino (RRB), que na verdade é o bolo alimentar em várias fases de digestão que permaneceu no rúmen do animal mesmo após a dieta líquida de 24 horas antes do abate. (MELO, *et al.*, 2004; MACHADO, 2011).

O processo de remoção do RRB pode ser por via úmida caso seja feita sob água corrente, onde é descarregado sobre uma peneira e bombeado para um reservatório, ou pode ser por via seca, quando a remoção da maior parte é feita manualmente sem água e transportado para uma área de coleta podendo ou não ser juntado ao esterco recolhido das áreas de recepção dos animais e posteriormente o excesso é retirado com água. Geralmente após ser coletado o RRB ainda passa por processo de desaguamento, como por exemplo, através de prensas desaguadoras com o objetivo de redução do seu volume para facilitar o seu armazenamento, transporte e destinação final (CETESB, 2008).

De acordo com Matos (2014), para cada animal abatido são gerados de 20 a 30 Kg de RRB. Segundo dados do IBGE (2018), no 4º trimestre de 2017 (outubro-dezembro), foram abatidos no Brasil 8,02 milhões de cabeças de bovinos, o que provavelmente resultou em uma geração de mais de 200 milhões de toneladas deste resíduo.

O RRB apresenta-se como um excelente inoculam-te em processos de compostagem, uma vez que contem a microbiota ruminal que promove a digestão de alimentos fibrosos e grosseiros consumidos pelo boi, podendo ser transformado em um fertilizante rico em nutrientes (KIEHL, 1985).

Ainda de acordo com Kehl (1985) para o sucesso da compostagem de resíduos intestinais de abatedouros, estes devem ser misturados com materiais ricos em carbono como serragens ou restos vegetais, pois apresentam relação C/N (carbono/nitrogênio) geralmente inferior a 10/1. Entretanto, em estudos mais recentes, Morales (2006) e Machado (2011) caracterizaram o RRB como um resíduo com alta relação C/N, encontrando os valores de 47/1

e 32/1 respectivamente, e elevados teores de hemicelulose e lignina, o que confere uma característica de degradação lenta ao resíduo.

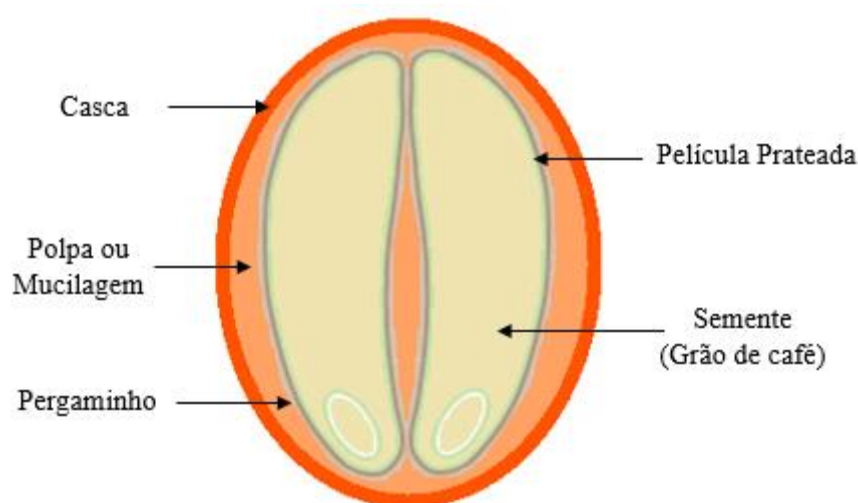
### 3.2.1.1.2 Resíduos do processamento do café

O Brasil é o maior produtor de café no mundo. Em 2017 foi responsável pelo beneficiamento de 2,7 milhões de toneladas das espécies arábica e conilon e as estimativas apontam um crescimento entre 21,1 a 30,1% para o ano de 2018, o que representa em média 3,4 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2018b).

Como consequência deste grande mercado, o setor cafeeiro é responsável por gerar grandes quantidades de resíduos. No processo de beneficiamento pós-colheita do café, cerca de 55% da massa seca dos frutos colhidos resultam em grãos e o restante em resíduos, sendo 29% polpa, 12% pergaminho e 4% mucilagem (BRESSANI, 1978). No processo de torrefação do café cerca de 4,2% do peso dos grãos correspondem em resíduo denominado de película prateada, um tegumento fino que envolve o grão de café (BALLESTEROS; TEIXEIRA; MUSSATTO, 2014).

O processamento do café pode ocorrer por via seca ou úmida, cada qual com geração de diferentes resíduos. Mas, para melhor esclarecer acerca destes resíduos, primeiramente é preciso entender a estrutura de um fruto de café conforme é demonstrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Estrutura de fruto de café em corte longitudinal



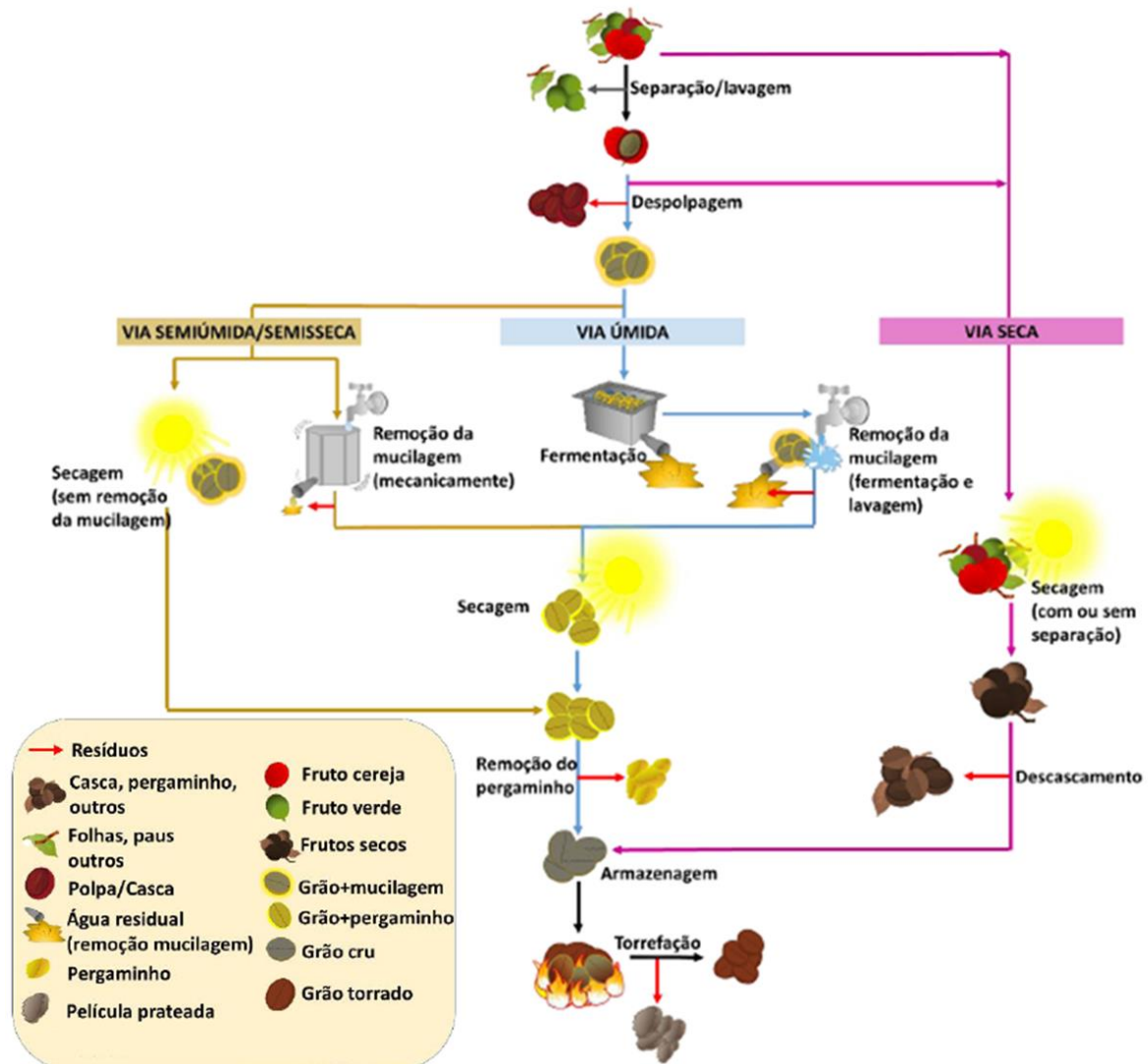
Fonte: Adaptado de Bressani (1978).

O processo por via seca ainda é a forma mais predominante no Brasil, os frutos colhidos são espalhados uniformemente em terreiros ficando expostos ao sol ou são colocados em secadores mecânicos, obtendo-se o chamado café em coco que posteriormente é descascado e beneficiado. Como resíduo se obtém a casca, que na verdade é a casca mais a polpa e o pergaminho, pois o fruto é seco integralmente. A película prateada permanece aderida ao grão até o processo de torrefação, onde será removida durante a torra do grão (SILVA *et al.*, 2001).

No processo por via úmida os frutos colhidos passam por equipamentos mecânicos que utilizam grande quantidade de água para despolar e desmucilar os grãos. Na etapa de despolamento a casca e a polpa dos frutos maduros são retiradas por pressão, aproveitando sua qualidade lubrificante, gerando o resíduo denominado de polpa que na verdade contém a casca e a polpa do café. Na etapa de degomagem ou desmucilagem ocorre a remoção da mucilagem ou goma, uma secreção vegetal viscosa rica em polissacarídeos que ainda fica aderida ao pergaminho, a remoção pode ser realizada biologicamente ou mecanicamente. Ao final deste processo obtém-se o chamado café cereja despulpado, que na verdade é o grão envolvido pelo pergaminho e a película prateada. Opcionalmente o café pode ser apenas descascado e não passar pela etapa de remoção da mucilagem, neste caso é chamado de café cereja descascado, pois ainda contém a mucilagem (SILVA *et al.*, 2001; SILVA, 2016).

O café cereja despulpado ou descascado é enviado para a etapa de secagem que pode ocorrer em terreiro ou em secador mecânico aquecido a lenha ou movido por energia elétrica para atingir o teor de umidade adequado ao beneficiamento e armazenamento (SILVA *et al.*, 2001). Posteriormente o grão seco passa pela etapa de beneficiamento, onde será removido o pergaminho seguindo para a indústria de torrefação, onde então será removida a película prateada durante a torra do grão (Ballesteros; Teixeira; Mussatto, 2014). Na Figura 3.2 é apresentado um resumo sobre os resíduos gerados nos diferentes processos de beneficiamento do café.

Figura 3.2 – Resíduos gerados no processamento do café



Fonte: Adaptado de Durán *et al.* (2017).

A película prateada é um material com altos teores de lignina, açúcar e fibras dietéticas e possui interessantes propriedades funcionais, incluindo capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de óleo, atividade e estabilidade de emulsão e potencial antioxidante (BALLESTEROS; TEIXEIRA; MUSSATTO, 2014).

Apesar de existirem vários estudos recentes com abordagens interessantes para a utilização dos resíduos do processamento do café (BLINOVÁ *et al.*, 2017; ECHEVERRIA; NUTI, 2017), como por exemplo a produção de bioetanol e compostos voláteis aromáticos através da polpa e mucilagem (MUSSATO *et al.*, 2012; BONILLA-HERMOSA; DUARTE; SCHWAN, 2014), utilização do pergaminho para a produção de carvão ativado (BRUM *et al.*, 2008) e produção de pellets de combustível com casca de café e película prateada (FARIA *et al.*, 2016), estes resíduos ainda são utilizados em grande maioria para disposição direta no solo,

que ocorre geralmente de forma não controlada, impactando negativamente o meio ambiente, pois estes resíduos apresentam elevada relação C/N e compostos recalcitrantes à biodegradação como lignina e tanino (ECHEVERRIA; NUTI, 2017).

Alguns estudos de processos de compostagem controlada para produção de composto de casca de café (DZUNG; DZUNG; KHANH, 2013) e a polpa de café (ULSIDO; MENG LI, 2016) juntamente com outros resíduos demonstraram efeitos benéficos, entretanto não foram encontradas publicações sobre a utilização da película prateada na compostagem.

### 3.2.1.1.3 Lodo de ETE de indústrias de alimentos e bebidas

As indústrias de Alimentos e Bebidas utilizam um grande volume de água em seus processos produtivos e na limpeza de equipamentos, gerando efluentes com elevada concentração de matéria orgânica em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), que precisam ser previamente tratados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) antes de serem lançados nos cursos d'água (SANTOS; 2005, MAGANHA; 2006).

Os tipos de tratamento de efluentes industriais contemplam uma série de processos e operações unitárias combinadas que variam muito em razão das características do efluente gerado, da disponibilidade de área e da viabilidade econômica. De maneira abreviada os processos são classificados em:

- Tratamento preliminar – consiste em processos físicos para remoção de sólidos grosseiros.
- Tratamento primário – consiste na remoção de gorduras, óleos e graxas (quando houver) e na redução da concentração de DBO através de processos físicos, químicos ou biológicos com o objetivo de facilitar a degradação biológica.
- Tratamento secundário – consiste na remoção da matéria orgânica através de processos biológicos que podem ser anaeróbios ou aeróbios (VON SPERLING, 1996).

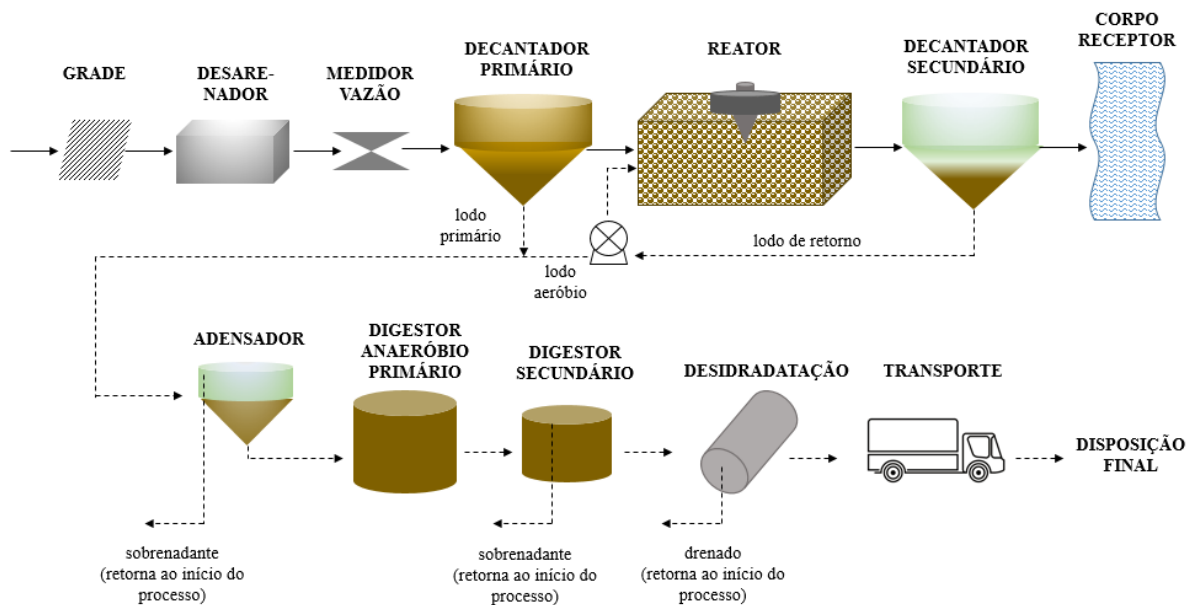
Como consequência do tratamento dos efluentes, são gerados resíduos semissólidos pastosos, denominados de lodo. A quantidade e características dos lodos produzidos em ETES variam em função do ramo industrial, do tipo de matéria-prima, dos insumos utilizados no processo e do tipo de sistema de tratamento de efluentes empregado (ALEM SOBRINHO, 2000; MATOS, 2014).

Os processos físico-químicos são responsáveis pela geração de grande quantidade de lodo, principalmente aqueles que utilizam coagulantes e floculantes para remoção de DBO particulada. Geralmente são instalados para adequação ou ampliação de projetos de plantas antigas. Quanto aos processos biológicos, existem muitas variações entre sistemas aeróbios e

anaeróbios. A produção de lodo depende da carga orgânica e da vazão aplicada, da taxa de crescimento da biomassa e do seu tempo de permanência no sistema (GONÇALVES; LUDUVICE, 2000).

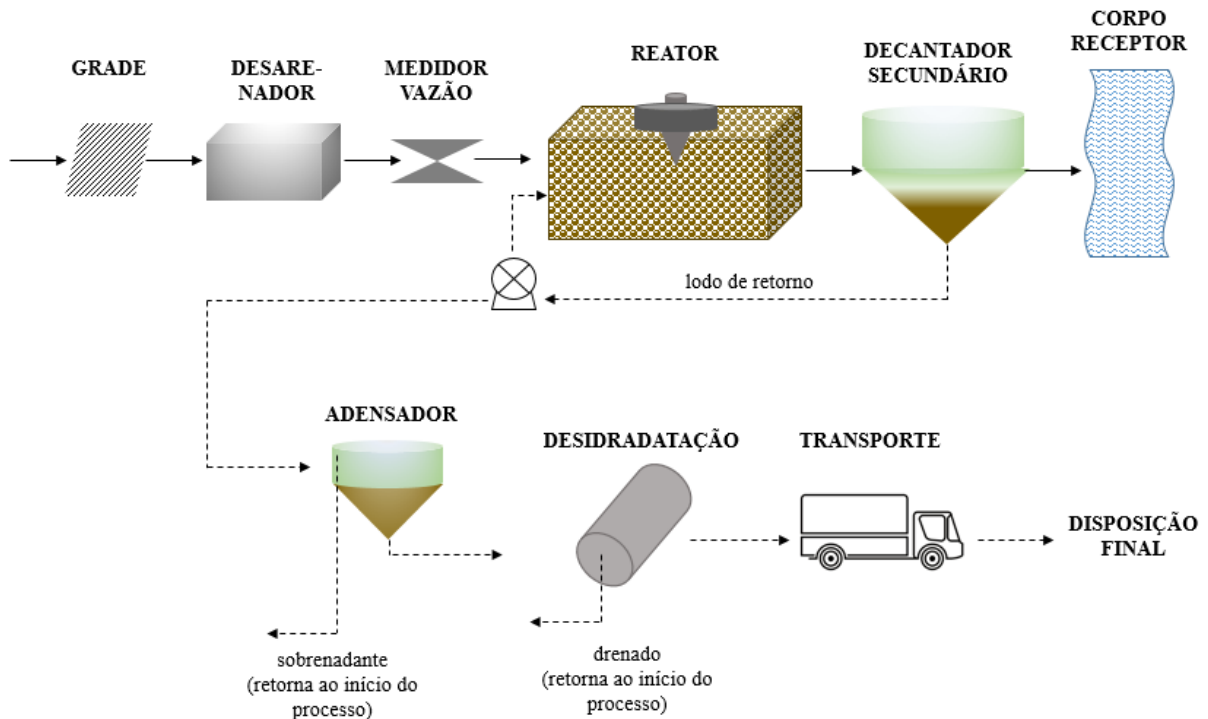
O sistema de tratamento por lodos ativados é um processo aeróbio bastante utilizado no mundo para tratamento de efluentes sanitários e industriais. O oxigênio é introduzido através de equipamentos eletromecânicos como aeradores e difusores de ar com elevado consumo de energia elétrica. No tanque de aeração desenvolve-se uma biomassa ativa e diversificada que realiza o processo de oxidação bioquímica da matéria orgânica. No decantador secundário esta biomassa se sedimenta no fundo, formando o “lodo ativado”. Parte deste lodo é recirculado ao tanque de aeração para acelerar as reações bioquímicas e o restante é encaminhado à unidade de desaguamento ou desidratação para descarte. Este sistema favorece a aplicação de baixa carga e elevada idade do lodo, o que favorece o metabolismo endógeno das bactérias, forçando-as a utilizarem o seu próprio protoplasma celular como substrato e resultando em menor produção de lodo. No sistema convencional a idade do lodo é na ordem de 4 a 10 dias, enquanto na modalidade de aeração prolongada pode chegar até 30 dias. Nas Figuras 3.3 e 3.4 são apresentados os fluxogramas típicos das duas modalidades incluindo as etapas de tratamento do lodo, podendo estes sofrer alterações (VON SPERLING, 2016).

Figura 3.3 – Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016).

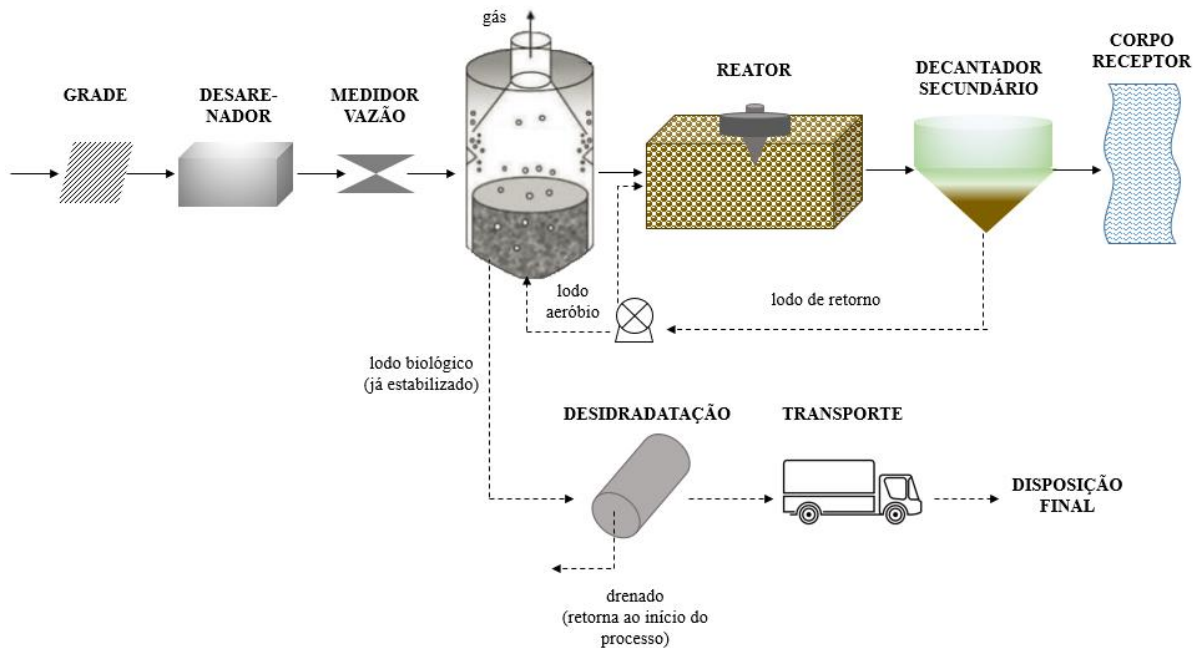
Figura 3.4 – Fluxograma típico do sistema de lodos ativados de aeração prolongada



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016).

No Brasil, tem-se utilizado muito a combinação de processos anaeróbios e aeróbios, como por exemplo reator anaeróbio de fluxo ascendente tipo UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) seguido por lodo ativado. Neste caso, o reator UASB atua como tratamento primário removendo grande parte da DBO solúvel e particulada com baixa geração de lodo. As vantagens dessas combinações são: redução da produção de lodo, economia de produtos químicos, economia de energia e disponibilidade energética devido à produção de biogás (GONÇALVES; LUDUVICE, 2000). O lodo excedente do tratamento secundário é encaminhado ao reator UASB para ser digerido antes de ser desidratado, o que permite uma redução na média de 50% do lodo produzido no sistema de lodos ativados (VON SPERLING, 2016). Na Figura 3.5 é apresentado o fluxograma desta configuração.

Figura 3.5 – Fluxograma composto por reator UASB seguido por lodos



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016).

Alguns projetos mais recentes têm buscado customizar os reatores UASB para aumentar a eficiência de remoção de DBO e reduzir ainda mais a produção de lodo. O Reator Anaeróbico de Circulação Interna (IC), por exemplo, consiste basicamente na instalação de dois reatores UASB sobrepostos (Figura 3.6). O seu diferencial é que o biogás resultante da degradação anaeróbica é coletado em dois estágios dentro do reator, sendo que o gás coletado no primeiro estágio proporciona o arraste (“*gas-lift*”) de efluente e lodo anaeróbico para o topo do reator de onde são separados e internamente recirculados à parte inferior do reator, permitindo um efetivo contato entre o efluente e os microrganismos resultando em uma alta atividade da biomassa, o que possibilita a aplicação de elevados carregamentos orgânicos com boa eficiência de conversão e baixa produção de lodo (SERENO FILHO, *et al.* 2013).

Figura 3.6 – Reator anaeróbio de circulação interna



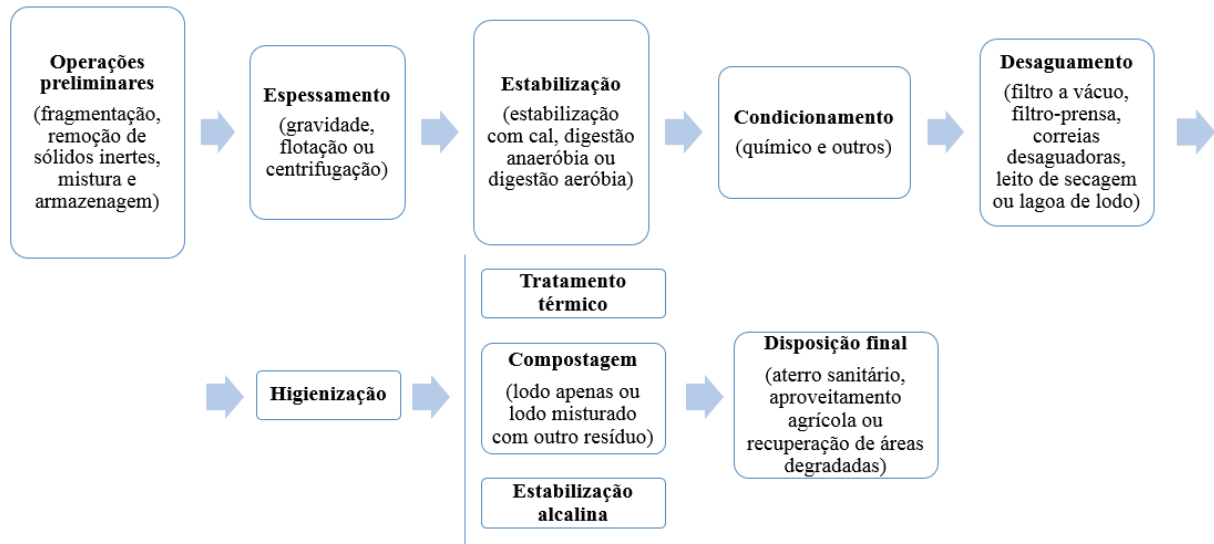
Fonte: Adaptado de Better World Solution (2018).

Outra maneira de minimizar o volume de lodo produzido nas ETEs e os custos com transporte e destinação é através de operações e processos unitários para processamento e tratamento do lodo, sendo as principais:

- Adensamento: visa a separação de parte da fração líquida do lodo para aumentar o seu conteúdo de sólidos reduzindo o seu volume. A separação pode ser física (gravidade), por flotação (injeção de ar) ou por centrifugação (mecânica).
- Estabilização: visa a estabilização do lodo e a redução de maus odores. Pode ser realizada através da adição de substâncias químicas, como cloro ou cal, através da digestão anaeróbia ou aeróbia ou ainda por tratamento térmico.
- Desidratação ou desaguamento: visa a redução do volume de lodo através da remoção de parte do seu conteúdo de água. Pode ser realizado através de processos naturais como leito de secagem ou através de equipamentos mecânicos como centrífuga, prensa desaguadora e filtro prensa, utilizando-se produtos químicos auxiliares como coagulantes ou floculantes (GONÇALVES; LUDUVICE, 2000; MATOS, 2014).

Na Figura 3.7 é apresentada uma sequência de operações unitárias que podem ser utilizadas para o processamento, tratamento e destinação final do lodo gerado em estações de tratamento de efluentes.

Figura 3.7 – Possibilidades de operações para processamento, tratamento e destinação final de lodo.



Fonte: Adaptado de Matos (2014).

### 3.2.2 Gerenciamento e destinação final de resíduos orgânicos agroindustriais

Os resíduos orgânicos agroindustriais podem ser dispostos em aterros sanitários, usados para cogeração de energia através de queima ou produção do biogás, incinerados, usados na alimentação animal e incorporados em solos agrícolas na forma *in natura* ou após o resíduo ser submetido à compostagem. Mas, por serem estes resíduos ricos em nutrientes, toda e qualquer técnica que vislumbre seu aproveitamento na alimentação animal ou agrícola é recomendável (MATOS, 2005).

O interesse da incorporação de resíduos orgânicos ao solo está fundamentado na possibilidade de reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes nestes contidos, que causam uma melhoria das propriedades físicas e químicas do solo e, conseqüentemente, aumentam a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, bem como reduz os custos de produção, já que permite a economia de fertilizantes minerais, tornando-se uma opção promissora (ABREU JÚNIOR *et al.*, 2005; MATOS, 2014).

O solo tem uma capacidade considerável para tratar e assimilar os resíduos orgânicos. O problema é que nos últimos anos, tem havido um crescente interesse no descarte de resíduos

a taxas muito superiores às taxas agronômicas tradicionais. Estas dosagens superestimadas têm causado problemas de salinização e contaminação do solo e das plantas (KHALEEL; REDDY; OVERCAS, 1981; MATOS, 2014).

Dentre as técnicas para tratamento e disposição dos resíduos sólidos orgânicos, uma de grande alcance, em vista da sua praticidade, dos resultados alcançados e de sua viabilidade econômica, é a compostagem. A compostagem é um processo controlado de degradação dos resíduos orgânicos produzindo um composto orgânico humificado, que ao ser incorporado ao solo também melhora as suas características físicas, químicas e biológicas (KIEHL, 1985; FERNANDES E SILVA, 1999; MATOS, 2005, 2014; PEREIRA NETO 2007).

Dentre as vantagens da compostagem em relação a incorporação *in natura* no solo podem ser citadas: possibilidade de maior conservação de macro e micronutrientes, eliminação de grande parte das fitotoxinas produzidas na decomposição natural dos resíduos vegetais no solo, as quais podem inibir o crescimento de algumas plantas e inibição de patógenos responsáveis por algumas doenças em plantas, animais e seres humanos (MATOS, 2014).

### 3.3 Compostagem

A compostagem é considerada uma forma de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, conforme menciona a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 no inciso VII do artigo 3º:

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, **a compostagem**, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes [...] de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (Brasil, 2010, grifo nosso).

Mas, também pode ser considerada um método de tratamento e reciclagem dos resíduos sólidos, uma vez que “ocorre a transformação do material orgânico em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhes deu origem” (KIEHL, 1985, p. 235). Ainda de acordo com a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 no inciso XIV do artigo 3º a reciclagem é definida como: “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010).

Utilizada desde os primórdios, a compostagem simula o processo de decomposição da matéria orgânica que ocorre naturalmente na natureza, porém de forma controlada e com condições favoráveis, otimizando a eficiência e o tempo de decomposição e minimizando os

problemas ambientais que podem surgir eventualmente. Apesar de ser considerado um método simples, envolve uma complexa série de processos bioquímicos, que somente a pouco tempo começamos a compreender (KIEHL, 1985; RODRIGUES, *et al.* 2006).

Fernandes e Silva (1999, p.8) definiram a compostagem como: “uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO<sub>2</sub> (gás carbônico), água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável”. Segundo Pereira Neto (2007) a compostagem é um processo aeróbio controlado de degradação, mineralização e humificação de resíduos orgânicos cujo produto final é o composto orgânico. Para Matos (2014, p.144), embora não exista uma definição universal, a compostagem pode ser definida como o “processo por meio do qual se obtém a decomposição biológica controlada de resíduos orgânicos, transformando-os em material parcialmente humificado”.

Apesar de o processo aeróbio ser o mais utilizado e mais eficaz, pois a decomposição da matéria orgânica pode atingir a completa estabilização; a compostagem pode ocorrer também de forma anaeróbia, quando a massa de resíduos está muito encharcada e impossibilita a entrada de oxigênio. Nessas condições a temperatura pouco se eleva e há formação de gás ácido sulfídrico, além de ácidos orgânicos e mercaptanos com odor desagradável, este processo é mais demorado e a matéria orgânica não consegue atingir a completa estabilização (KIEHL, 1985). Por este motivo, neste trabalho considerar-se-á a compostagem como um processo aeróbio, conforme é demonstrado na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Esquema simplificado do processo de compostagem aeróbia



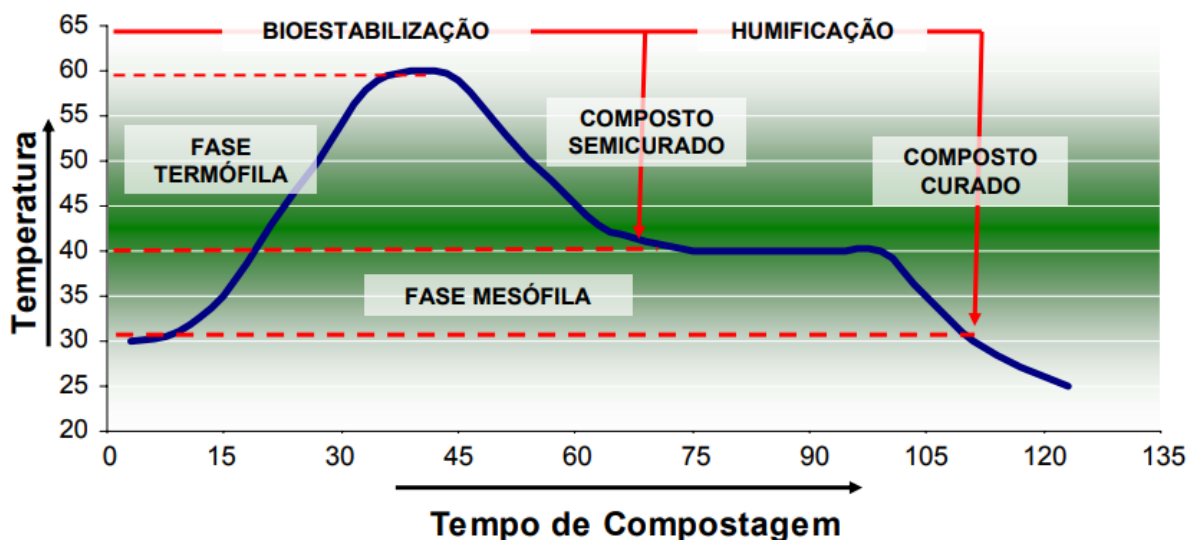
Fonte: Adaptado de FERNANDES; SILVA (1999).

A compostagem pode ser dividida em duas fases principais, sendo a primeira a fase de degradação ativa ou bioestabilização e a segunda a fase de maturação, cura ou humificação. Logo que as leiras são formadas inicia-se o processo de degradação dos compostos imediatamente degradáveis, pelos microrganismos mesófilos, a medida em que se multiplicam aumentam a atividade de degradação elevando a temperatura para faixas termófilas (acima de 45 °C), dando início a fase de degradação ativa ou bioestabilização. Nesta fase predominam os microrganismos termófilos, que são extremamente ativos e iniciam o ataque aos

polissacarídeos, como o amido, a celulose, e as proteínas, transformando-os em subprodutos como açúcares simples e aminoácidos, que são utilizados por várias outras espécies de microrganismos. Ao final desta fase o composto se torna escuro e não apresenta odor, sendo considerado estabilizado ou semicurado (KIEHL, 1985; FERNANDES; SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007).

À medida que a matéria orgânica é estabilizada, exaurindo as fontes de carbono mais imediatas, a temperatura diminui para a faixa de 40°C, dando início a fase de maturação, cura ou humificação. A população de microrganismos termófilos é sucedida pelos microrganismos mesófilos novamente. Principalmente fungos e actinomicetos, atacam as substâncias mais resistentes como a celulose e a lignina. Nesta fase predominam-se as transformações químicas e a polimerização de moléculas orgânicas, levando a produção de húmus, por meio, especialmente da condensação entre ligninas e proteínas. Ao final desta fase, o composto é considerado humificado ou curado, estando pronto para utilização no solo como fertilizante orgânico (KIEHL, 1985; FERNANDES; SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007). A evolução das diferentes fases do processo de compostagem é apresentada na Figura 3.9.

Figura 3.9 – Fases da compostagem



Fonte: Carvalho e Guerra (2018).

De acordo com Matos (2014), a fase de bioestabilização tem duração de 5 a 60 dias e a fase de maturação de 60 a 90 dias. Na opinião de Jiménez e Garcia (1988), a maturação completa do composto somente é atingida entre 150 a 180 dias. Diferentes tempos de compostagem foram relatados por diversos autores, o que depende muito de como o processo

é conduzido e do método de compostagem utilizado. Brito *et al.* (2008) avaliou a maturação aos 168 dias de compostagem, Silva *et al.* (2009) aos 120 dias, Costa *et al.* (2009) e Monaco *et al.* (2013) aos 90 dias, Bernal, Albuquerque e Moral (2009) aos 70 dias, Tiquia (2010) aos 56 dias.

Para Kiehl (1985), dificilmente se consegue um composto estabilizado antes de 30 a 60 dias, ou humificado antes de 90 a 120 dias, o que irá depender da inter-relação entre os fatores que influenciam o processo como temperatura, umidade, aeração, pH, relação C/N e tipos de nutrientes disponíveis, conforme será abordado a seguir.

### ***3.3.1 Fatores que influenciam o processo de compostagem***

#### ***3.3.1.1 Temperatura***

A temperatura é um dos parâmetros mais importantes na compostagem, pois é um indicativo do equilíbrio biológico e da eficiência do processo (MATOS, 2014). Na decomposição aeróbia a massa de resíduos se aquece devido ao metabolismo exotérmico dos microrganismos, alcançando temperaturas mesófilas, até cerca de 40°C logo no início da compostagem, prosseguindo a elevação, e rapidamente alcançando temperaturas termófilas, podendo chegar a cerca de 80°C (KIEHL, 1985).

Embora a elevação da temperatura seja desejável e necessária para a estabilização da matéria orgânica, eliminação de sementes de plantas daninhas, ovos de parasitas e microrganismos patogênicos, deve ser controlada para não ultrapassar os 65°C, pois acima desse valor ocorre a inativação dos microrganismos mineralizadores, responsáveis pela degradação da matéria orgânica, podendo prolongar o tempo de compostagem (FERNANDES; SILVA, 1999; PERERIA NETO, 2007). De acordo com Kiehl (1985), valores acima de 70°C podem insolubilizar as proteínas hidrossolúveis, provocar alterações químicas indesejáveis e desprendimento de amônia, principalmente se o material possuir baixa relação C/N. Há autores que consideram a faixa de temperatura ideal entre 50 a 60°C (KIEHL, 1985). Para Fernandes e Silva (1999), a faixa de temperatura que permite a máxima intensidade de atividade microbiológica é de 55 a 65°C. Pereira Neto (2007) considera 55°C como o valor médio ideal.

Ao final da fase de bioestabilização ou degradação ativa ocorre o resfriamento, caracterizado por temperaturas mesófilas, entre 30 a 45°C, indicando o início da fase de maturação (PEREIRA NETO, 2007), geralmente mais longa que a fase anterior. Quando a temperatura baixar ainda mais, mantendo-se próxima ou igual à temperatura ambiente significa

que foi atingida a cura completa do composto, estando a matéria orgânica humificada (KIEHL, 1985).

De acordo com Fernandes e Silva (1999), se a leira apresentar a temperatura entre 40°C a 60°C no segundo ou terceiro dia do processo, significa que existe equilíbrio biológico e que a compostagem tem todas as chances de ser bem-sucedida. Caso contrário, os fatores necessários para o processo podem não estar sendo respeitados, devendo ser ajustados (pH, relação C/N e umidade). Se a temperatura ultrapassar 65°C, a aeração poderá ser usada para dissipar o calor liberado no processo, controlando a temperatura para os valores ótimos (FERNANDES; SILVA, 1999).

Na Figura 3.9 (seção 3.3) está representada uma curva padrão da temperatura ao longo do processo de compostagem. De acordo com Kiehl (1985), pode-se estabelecer uma correlação entre a temperatura do processo e o grau de decomposição, quando tudo correr normalmente, isto é, se a temperatura não baixar por falta de água ou por encharcamento, pode-se considerar que após a fase termófila o composto esteja semicurado ou bio-estabilizado e, após a fase mesófila, esteja completamente curado ou humificado.

#### 3.3.1.2 Aeração

A compostagem por ser dar em ambiente aeróbio ou anaeróbio. No entanto, Kiehl (1985) recomenda que seja realizada em ambiente aeróbio, pois a presença de oxigênio dá melhores condições para a condução do processo, além de ser essencial para a rápida oxidação da matéria orgânica e para evitar mau cheiro.

A aeração tem por finalidade suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica (PEREIRA NETO, 2007), mas dada a dificuldade de se realizar esta determinação, deve ser controlada em função de outros fatores como temperatura, evitando que ultrapasse 65°C conforme já comentado anteriormente, e umidade, quando acima de 55 ou 60% (KIEHL, 1985).

Outro fator a ser considerado é a granulometria da massa de resíduos. O lodo, por exemplo, apresenta granulometria muito fina, o que dificulta a difusão do ar, portanto, devendo ser misturado a outro resíduo de granulometria mais grosseira, capaz de atuar como agente estruturante na mistura, permitindo assim a criação dos espaços vazios necessários à difusão do ar (FERNANDES; SILVA, 1999).

A aeração pode ser realizada por meio de processos naturais (reviramento manual) ou por processos artificiais (mecânicos). Pereira Neto (2007) recomenda que no caso de processos

simplificados a aeração seja realizada em média duas vezes por semana, através do revolvimento da leira, seja de forma manual ou mecânica, com o auxílio de pá carregadeira ou de trator específico.

De acordo com Fernandes e Silva (1999), seja qual for a tecnologia utilizada, a aeração da mistura é fundamental no período inicial da compostagem, na fase de degradação ativa, onde a atividade microbiana é intensa. Já na fase de maturação, a atividade microbiana é pouco intensa, logo a necessidade de aeração é bem menor.

### 3.3.1.3 pH

O pH não é considerado um parâmetro crítico para a compostagem. De acordo com Pereira Neto (2007) o processo pode se desenvolver em uma ampla faixa, entre 4,5 a 9,5, pois, os microrganismos por meio da degradação dos compostos orgânicos produzem subprodutos ácidos ou básicos que regulam o pH do meio. Entretanto, consideram-se valores próximos a neutralidade como sendo ideais para o desenvolvimento dos microrganismos, pois níveis de pH extremamente baixos ou altos podem reduzir ou até mesmo inibir a atividade microbiana (FERNANDES; SILVA, 1999; MATOS, 2014).

Ao longo do processo de compostagem o pH sofre alterações. Inicialmente na fase mesófila, ocorre uma queda sensível, devido a produção de ácidos orgânicos e na fase termófila ocorre uma elevação devido a hidrólise de proteínas e liberação de amônia (FERNANDES; SILVA, 1999). De acordo com Kiehl (1985), quanto mais alcalino estiver o meio, maior será a perda de nitrogênio, quando o pH alcança valores acima de 8,0 ou 9,0, grande parte do nitrogênio orgânico já se transformou em amoniacal, podendo se perder na atmosfera, o que irá resultar em menos teor de nitrogênio no composto orgânico. Por este motivo, o autor não recomenda utilizar matérias-primas muito alcalinas, como por exemplo cinzas ou calcários, na mistura de resíduos, pois, o meio ficaria desde o início muito alcalinizado.

### 3.3.1.4 Umidade

A umidade é um dos parâmetros que devem ser monitorados durante a compostagem para que o processo se desenvolva satisfatoriamente, pois a água é fundamental para a atividade microbiológica (FERNANDES; SILVA, 1999). Do ponto de vista teórico, o teor de umidade ideal para a decomposição orgânica é 100%. Nesta condição, se fosse fornecido oxigênio artificialmente à massa de resíduos, a decomposição aeróbia ocorreria satisfatoriamente,

entretanto, na prática é necessário manter uma porosidade adequada na massa de resíduos para passagem do ar e oxigenação (PEREIRA NETO, 2007). Se a massa de resíduos é saturada por água, todos os espaços vazios serão tomados pela água não restando espaço para o ar, ao contrário, se a massa for desidratada, todos os espaços vazios serão ocupados pelo ar. Portanto torna-se necessário encontrar o valor ideal que atenda ambas as necessidades de água e oxigênio (KIEHL, 1985).

De um modo geral, o teor de umidade recomendado para que ocorra uma eficiente degradação, situa-se entre 40 a 60% (KIEHL, 1985; TRAUTMANN; KRASNY, 1997; FERNANDES; SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007; MATOS, 2014). Abaixo de 40% a atividade biológica é reduzida, abaixo de 30% torna-se um fator limitante para a decomposição e abaixo de 12% cessa praticamente toda a atividade biológica, tornando o processo de compostagem extremamente lento (KIEHL, 1985). Valores acima de 65% fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose (FERNANDES; SILVA, 1999; MATOS, 2014).

Pereira Neto e Lelis (1999) com o objetivo de comparar o grau de estabilização da matéria orgânica com os diferentes teores de umidade, montaram cinco experimentos, na forma de pilhas de compostagem, cada qual mantido sob diferentes faixas de umidade (20 a 30%, 30 a 40%, 40 a 50%, 50 a 60% e acima de 60%) e um controle, o qual não se procedeu à correção da umidade, realizando um criterioso monitoramento durante 90 dias, constatando que a maior velocidade de degradação ocorre quando a matéria orgânica é compostada com teores de umidade situados entre 40 e 60%, onde a redução do teor de sólidos voláteis foi consideravelmente maior. O material submetido a teores entre 30 e 40% apresentou resultados satisfatórios, entretanto demandou um maior período de compostagem. As pilhas mantidas sob umidade da ordem de 20 a 30%, além de apresentarem uma velocidade de degradação mais lenta, apresentaram o inconveniente de desprender uma grande quantidade de material particulado quando do seu reviramento. Quanto ao experimento no qual o teor de umidade controlado foi superior a 60%, a compostagem se processou, a maior parte do tempo, sob condições anaeróbias, gerando lixiviados (chorume) e odor e fez com que o material apresentasse temperaturas termófilas por um reduzido período de tempo, aumentando o teor de patógenos.

No entanto, a medida em que a matéria orgânica sofre decomposição, a necessidade de umidade reduz, pois, além da atividade microbiológica ser menor as dimensões das partículas

diminuem, aumentando a superfície de exposição, e em consequência a capacidade de retenção de água do composto se eleva (KIEHL, 1985).

O teor de umidade da massa de resíduos é influenciado pelo tamanho e composição das partículas das matérias-primas e pela sua capacidade de resistir a compactação (KIEHL, 1985). Resíduos de granulometria fina como o lodo apresentam tendência a se compactar facilmente devendo passar previamente por processo de desaguamento ou desidratação para eliminar o excesso de água e misturados a outros resíduos de granulometria grossa para conferir porosidade à massa de resíduos (FERNANDES; SILVA, 1999).

Durante o revolvimento o calor é liberado para o meio ambiente na forma de vapor de água, reduzindo o teor de umidade do composto ao longo do processo de compostagem. Caso seja necessária sua correção para evitar que o composto seque antes que a decomposição seja concluída, deve ser feita preferencialmente durante o revolvimento por meio da distribuição uniforme de água na massa de compostagem de modo a repor apenas a perda de água no sistema (PEREIRA NETO, 2007).

O controle da umidade deve estar associado com outros parâmetros, como por exemplo a temperatura e a relação C/N, para se ter certeza do estágio de maturação do composto, pois em muitos casos, a queda do teor de umidade, leva a uma queda de temperatura, que é interpretada erroneamente, como fim do processo de compostagem, o que leva à produção de composto orgânico mal estabilizado, podendo trazer diversos prejuízos quando utilizado na agricultura (PEREIRA NETO; LELIS, 1999).

#### 3.3.1.5 Relação Carbono/Nitrogênio

Os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia para suas atividades vitais e de nitrogênio para síntese de proteínas e reprodução celular. Existe um consenso entre vários autores de que a relação C/N ideal para se desenvolver um processo de compostagem rápido e eficiente é em torno de 30 (KIEHL, 1985; TRAUTMANN; KRASNY, 1997; FERNANDES; SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007; MATOS, 2014). Isto porque, os microrganismos absorvem os elementos carbono e nitrogênio em uma proporção de trinta partes de carbono para uma parte de nitrogênio. O carbono é utilizado como fonte de energia, sendo vinte partes eliminadas como gás carbônico, e dez partes incorporadas ao protoplasma celular junto com uma parte de nitrogênio (KIEHL, 1985).

Bertoldi, Vallini e Pera (1983) consideram a relação C/N 25 como sendo ótima. Kiehl (1985) e Matos (2014) consideram os limites de 26 a 35 e 25 a 35 respectivamente, como sendo

as relações C/N mais recomendadas para uma compostagem rápida e eficiente. Já Pereira Neto (2007) considera a faixa ideal de 30 a 40. Fernandes e Silva (1999) por sua vez, dizem que a relação C/N pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato, porém a decomposição poderá ocorrer de forma limitada.

Os lodos de estações de tratamento de efluentes geralmente possuem baixa relação C/N, devendo ser misturados a resíduos de alta relação C/N, como os resíduos agrícolas e agroindustriais (palha, cavacos de madeira, cascas, etc.) para que a mistura apresente relação em torno de 20 a 30, possibilitando uma rápida degradação (FERNANDES; SILVA, 1999; MATOS, 2014).

Quando a mistura de resíduos apresenta relação C/N muito alta, falta nitrogênio para os microrganismos realizarem a síntese de proteínas, limitando o seu desenvolvimento. O carbono vai sendo consumido e eliminado, enquanto o nitrogênio vai sendo reciclado, na medida em que os microrganismos morrem, até reduzir a proporção elevada de carbono em relação ao nitrogênio, o que torna o processo mais demorado (KIEHL, 1985).

Quando a relação C/N for muito baixa haverá perda de nitrogênio amoniacal por volatilização, reduzindo o teor de nitrogênio do composto final. Isto porque, os microrganismos tendo à disposição alto teor de nitrogênio, utilizam todo o carbono disponível e eliminam o excesso de nitrogênio na forma amoniacal. Estas perdas são mais acentuadas na fase termófila e com pH alcalino que favorece a volatilização da amônia, e pode ser facilmente percebido pelo cheiro característico (KIEHL, 1985). A Tabela 3.3 demonstra a influência da relação C/N inicial no teor de nitrogênio do composto final.

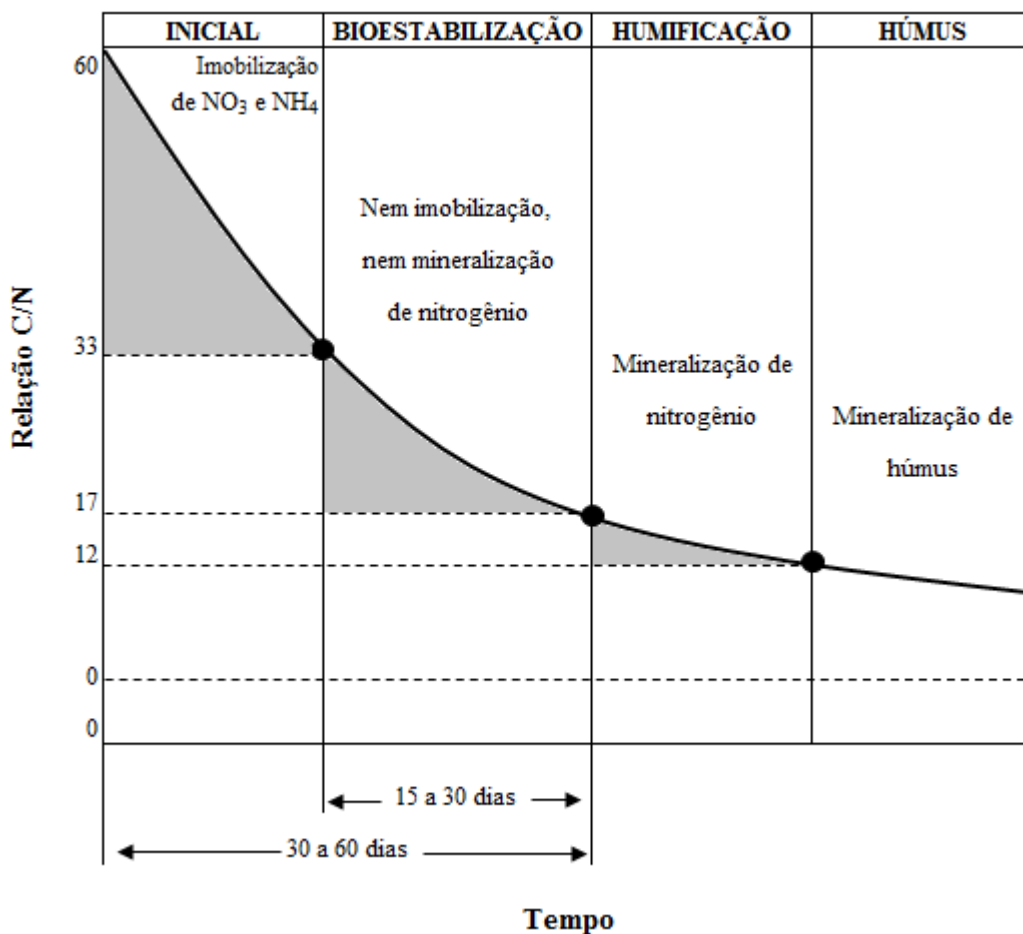
Tabela 3.3 – Nitrogênio retido no composto de acordo com a relação C/N inicial

<b>Relação C/N inicial</b>	<b>% de nitrogênio final (base seca)</b>	<b>% de nitrogênio retido</b>
20	1,44	61,2
22	1,63	85,2
30	1,21	99,5
35	1,32	99,5
76	0,86	108

Fonte: Adaptado de Kiehl (1985).

A Figura 3.10 demonstra como ocorrem as fases de decomposição da matéria orgânica, conforme a relação C/N. Percebe-se que resíduos com alta relação C/N, acima de 33, levam mais tempo para serem bioestabilizados, entre 30 a 60 dias, e nestas condições promovem a imobilização do nitrogênio para equilibrar a sua falta. Se a relação for 33 o prazo para bioestabilização será de 15 a 30 dias, não ocorrendo nem imobilização e nem mineralização do nitrogênio. A relação C/N igual a 17 indica o final da fase de bioestabilização e o início do processo de mineralização do nitrogênio (KIEHL, 1985).

Figura 3.10 – Fases de decomposição da matéria orgânica conforme a relação C/N



Fonte: Adaptado de Kiehl (1985).

### 3.2.1.6 Granulometria ou tamanho da partícula

A granulometria ou dimensão adequada das partículas é um fator muito importante para eficiência do processo de compostagem, pois interfere em vários fatores tais como homogeneização da massa de compostagem, melhoria da porosidade, menor compactação,

maior capacidade de aeração, aumento da área superficial para degradação e menor tempo de compostagem (PEREIRA NETO, 2007).

De maneira geral, pode ser considerado o limite de 10 a 75 mm, para o tamanho das partículas da massa de compostagem. As faixas ótimas variam um pouco entre os autores, para Kiehl (1985) e Pereira Neto (2007) deve situar entre 10 a 50 mm, para Fernandes e Silva (1999) entre 25 e 75 mm e para Matos (2014) entre 30 a 50 mm.

Partículas com dimensões muito grosseira apresentam menor exposição à decomposição e menor disponibilidade do carbono, como é o caso de lascas de madeira, por exemplo, podendo tornar o processo muito demorado, o que pode ser corrigido através de moagem, trituração ou peneiramento prévio. Teoricamente, quanto mais fina é a granulometria, maior é a área superficial em contato com o oxigênio e à atividade microbiana, o que promove o aumento das reações bioquímicas (KIEHL, 1985; TRAUTMANN; KRASNY, 1997; FERNANDES; SILVA, 1999).

Entretanto, partículas extremamente finas podem reduzir a porosidade, levando a compactação da leira, faltando espaços intersticiais entre as partículas, dificultando a circulação do ar atmosférico e a liberação dos gases desprendidos. Ocorrendo uma diminuição do oxigênio disponível, pode ocorrer a decomposição anaeróbia. Por este motivo, materiais com granulometria muito fina como o lodo, devem ser combinados com outros resíduos de granulometria mais grossa conferindo estrutura porosa à mistura (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; FERNANDES; SILVA, 1999; MATOS, 2014).

#### 3.3.1.7 Microrganismos

Diferentes comunidades de microrganismos predominam durante as várias fases de compostagem, sendo os principais as bactérias, fungos e actinomicetos que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. O aquecimento da massa de resíduos é resultado do metabolismo exotérmico das bactérias durante a fermentação aeróbia, sendo que cada grupo de microrganismo se desenvolve em uma faixa de temperatura ótima, conforme demonstrado na Tabela 3.4 (KIEHL, 1985).

Tabela 3.4 – Temperaturas mínimas, ótimas e máximas para os microrganismos

<b>Microrganismos</b>	<b>Temperatura mínima</b>	<b>Temperatura ótima</b>	<b>Temperatura máxima</b>
Mesófilos	15 a 25°C	25 a 40°C	43°C
Termófilos	25 a 45°C	50 a 55°C	85°C

Fonte: Adaptado de Kiehl (1985).

A decomposição inicial é realizada por bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos, que quebram rapidamente os compostos solúveis, facilmente degradáveis. O calor produzido por eles faz com que a temperatura suba rapidamente. À medida que a temperatura se eleva acima dos 40° C, os microrganismos mesófilos tornam-se menos competitivos e são substituídos por actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes. Esta elevação de temperatura e consequente alteração da flora microbiana são influenciadas, em grande parte, pelo aumento da disponibilidade de oxigênio. Passada a fase termófila, o composto vai perdendo calor e retornando a fase mesófila; fungos e bactérias caracteristicamente mesófilos reaparecem, esta segunda fase mesófila é geralmente mais longa, em relação à termófila; quando a temperatura se torna próxima ou igual a do ambiente podem ser encontrados protozoários, nematóides, formigas, miriópodes, vermes e insetos diversos (KIEHL, 1985).

#### 3.3.1.7.1 Bactérias

As bactérias são microrganismos unicelulares e estruturados como bacilos em forma de bastonete, cocos esféricos ou espirilos. São responsáveis pela maior parte da decomposição da matéria orgânica na compostagem. Durante os estágios iniciais se multiplicam rapidamente, à medida que degradam os compostos simples prontamente disponíveis, como açúcares e amidos, o que resulta no aquecimento da massa de compostagem. Na fase mesófila predominam bactérias oxidantes de hidrogênio, oxidantes de enxofre, nitrificantes e fixadoras de nitrogênio. Na fase termófila as bactérias dominantes são do gênero *Bacillus*. A diversidade de espécies de bacilos é bastante alta em temperaturas de 50-55 °C, mas diminui drasticamente a 60 °C ou acima. Quando as condições se tornam desfavoráveis, os bacilos sobrevivem formando endosporos, esporos de paredes espessas que são altamente resistentes ao calor, ao frio, à secura ou à falta de alimentos. Eles são onipresentes por natureza e tornam-se ativos novamente sempre que as condições ambientais voltam a ser favoráveis (TRAUTMANN; KRASNY, 1997).

### 3.3.1.7.2 Actinomicetos

Os actinomicetos são organismos que se assemelham muito a fungos, mas na verdade são bactérias filamentosas. O cheiro característico de terra do solo é causado por eles. Como outras bactérias, eles não possuem núcleos, mas cultivam filamentos multicelulares como fungos. Suas colônias são visíveis a olho nu, em razão da cor esbranquiçada conferida as partículas situadas a aproximadamente 15 cm de profundidade da superfície da leira (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; PEREIRA NETO, 2007).

Apresentam habilidade para se reproduzirem em ambientes com baixo teor de umidade e altas temperaturas. Na compostagem, eles desempenham um papel importante na degradação de compostos orgânicos complexos, como celulose, lignina, quitina e proteínas. Algumas espécies aparecem durante a fase termófila e outras se tornam importantes durante a fase de maturação, quando somente os compostos mais resistentes permanecem nos últimos estágios de formação do húmus (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; PEREIRA NETO, 2007).

### 3.3.1.7.3 Fungos

Os fungos incluem bolores e leveduras e coletivamente são responsáveis pela decomposição de muitos polímeros vegetais complexos (TRAUTMANN; KRASNY, 1997) e na degradação de compostos carbonáceos, como a celulose a lignina, entre outros (PEREIRA NETO, 2007). Os mais típicos são os bolores, que formam massa visível, chamada micélio, composto por longos filamentos (PEREIRA NETO, 2007). Eles se espalham e crescem vigorosamente produzindo muitas células e filamentos, e podem atacar resíduos orgânicos muito secos, ácidos ou com baixo teor de nitrogênio para decomposição bacteriana. A maioria dos fungos é classificada como saprófitos porque realizam a decomposição de matéria orgânica de plantas e animais mortos. As espécies de fungos são numerosas durante as fases mesófilas e termófilas da compostagem. Mas, a maioria dos fungos vive na camada externa do composto quando as temperaturas são altas (TRAUTMANN; KRASNY, 1997).

### 3.4 Inoculantes microbiológicos

Os inoculantes microbiológicos são materiais capazes de disseminar os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica por toda a leira de compostagem para o desenvolvimento satisfatório do processo (KIEHL, 2001).

Geralmente os resíduos orgânicos são naturalmente colonizados com grande número de microrganismos, os quais apresentam propriedades para degradar vários compostos orgânicos, e se multiplicarão facilmente, desde que lhes sejam proporcionadas condições favoráveis (PEREIRA NETO, 2007).

Na opinião de Kiehl (1985) e Faure (1991), não se faz necessário o uso de culturas puras de laboratório ou produtos comerciais contendo microrganismos na compostagem. No caso de resíduos pobres em microrganismos, como por exemplo, vegetais palhosos, podem ser compostados empregando-se resíduos considerados como inoculantes, por conterem grande quantidade de microrganismos, caso do resíduo ruminal bovino, esterco e camas de animais, lodo de esgoto e outros materiais que entram em fermentação espontânea (KIEHL, 1985).

Já na opinião de Golueke (1989) *apud* Gomes (2001), misturas de várias culturas puras, produzidas em laboratório e especializadas na decomposição da matéria orgânica podem ser usadas como inoculantes na compostagem, introduzindo um ou vários tipos de microrganismos mais eficientes do que os nativos, capazes de quebrar complexas ligações de um resíduo específico e aumentar a degradação.

Alguns inoculantes microbiológicos denominados de “Microrganismos Eficazes” – EM, tem sido relatados em trabalhos de compostagem de maneira generalizada, para denominar grupos de microrganismos não identificados, capturados no solo e cultivados em substratos diversos (OLIVEIRA; LIMA; ALBERTI, 2013), ou para consórcio de microrganismos isolados e cultivados em laboratório (SHARMA *et al.*, 2014) ou ainda para produtos comerciais “aceleradores de compostagem” (NORD, 2014).

O termo “Microrganismos Eficazes” – EM foi desenvolvido no Japão pelo professor Teruo Higa em 1971, quando em busca de métodos alternativos para agricultura orgânica, explorou diferentes microrganismos benéficos de ocorrência natural no solo, tais como os fungos lignocelulolíticos, bactérias celulolíticas, bactérias do ácido láctico, leveduras e bactérias fotossintéticas, e desenvolveu inoculantes contendo culturas mistas destes microrganismos que demonstraram melhorar a qualidade do solo, influenciando o processo de decomposição da matéria orgânica, aumentando o teor de húmus e nutrientes e o crescimento e o rendimento das culturas (HIGA; WIDIDANA, 1991; HIGA; PARR, 1994).

Os EM podem ser cultivados em substratos compostos por farelo de arroz, torta de óleo e farinha de peixe (HIGA; PARR, 1994). Bonfim *et al.* (2011), relata um método de captura, que consiste basicamente em deixar uma porção de arroz cozido na mata por 10 a 15 dias e depois adicioná-lo a um caldo de água e melado, semelhante a um método muito conhecido na agricultura como Bokashi, podendo ser preparado com diversos substratos (FERREIRA; SOUZA; GOMES, 2013).

Entretanto, não existe uma definição clara ou um consenso de quais são os microrganismos que compõem o EM, como cultivá-los e como eles atuam, até mesmo porque o crescimento e o desenvolvimento destes microrganismos estão intimamente relacionados com o ecossistema, com as condições ambientais em que foram capturados e com a forma em que foram inoculados (HIGA; WIDIDANA, 1991).

Desde então, foram realizadas várias pesquisas com o EM na agricultura, comprovando a teoria dos seus efeitos benéficos sobre a qualidade do solo e o aumento na produtividade das culturas (HUSSAIN *et al.*, 1999; DALY; STEWART, 1999; VALARINI *et al.*, 2003; NUNES *et al.*, 2006; FERREIRA; SOUZA; GOMES, 2013; HU; QI, 2013).

O EM, também tem sido relatado para potencializar a degradação de resíduos reduzindo o tempo de compostagem, sendo indicado principalmente para resíduos de decomposição lenta, como resíduos com alta relação C/N (partes lenhosas da planta, troncos, galhos, palhadas), gramíneas, gorduras e óleos (BONFIM *et al.*, 2011). No entanto não foram encontrados trabalhos publicados no Brasil para substanciar essas alegações. Gregório *et al.* (2004), Oliveira, Lima e Alberti (2013), Paredes Filho e Florentino (2016) foram inconclusivos em relação à eficácia do EM na aceleração da compostagem, devido à falta de resultados que confirmam a maturidade do composto.

Gregório *et al.* (2004) avaliou a eficiência da utilização de diferentes combinações de EM e Bokashi com a prática de revolvimento de leiras no processo de compostagem de resíduos orgânicos e restos de poda de vegetais urbanos. Segundo o autor, o período de compostagem foi reduzido de 120 para 75 dias com o EM, porém baseou-se apenas nos resultados de temperatura, que demonstrava uma continuidade do processo aos 75 dias, não sendo conclusivo em relação à aceleração da compostagem.

Oliveira, Lima e Alberti (2013) comparou a compostagem de esterco e palhada com diferentes tipos de preparo de EM e sem o uso de EM. No período de 46 a 60 dias todos os compostos com os diferentes preparos de EM apresentaram maior decomposição em relação ao composto sem o EM, sendo que os preparados com vinagre e caldo de cana-de-açúcar e vinagre, caldo de cana-de-açúcar e farelo de arroz foram os que apresentaram os melhores resultados.

No entanto, a maturidade foi determinada através do tato e da visão, sendo as observações enquadradas numa escala de 0 a 10, onde os compostos com a aplicação de EM receberam pontuação 8, enquanto que o composto sem o uso de EM recebeu pontuação 4,25.

Paredes Filho e Florentino (2016) utilizaram EM preparado através de iogurte, farinha de trigo, açúcar e fermento de pão, na compostagem de diversos resíduos agroindustriais (pó de serra, bagaço de cana, palha de café, aparas de sabão, lodo desidratado de ETE e outros), obtendo redução do período de compostagem de 60 a 90 dias para as leiras com EM contra 90 a 120 dias para as leiras sem EM. No entanto, a comprovação deu-se apenas através do teste da mão.

Sharma *et al.* (2014), cultivou os EM, que são comumente encontrados em conjunto pelo método tradicional de captura na mata, desenvolvendo um consórcio de microrganismos: *Candida tropicalis* isolada de frutos podres, *Phanerochaete chrysosporium* isolado de solo contaminado com óleo de uma refinaria, *Streptomyces globisporous* isolado de mostarda degradada e *Lactobacillus sp.* isolado a partir de couve, enriquecidos com inóculo bacteriano fotossintético, com o objetivo de acelerar o processo de compostagem de resíduos de palha de arroz e cama de frango. Aos 60 dias de compostagem o composto produzido com o EM foi considerado maduro, o que foi comprovado através da análise de vários parâmetros físico-químicos (relação C/N, pH, húmus e condutividade elétrica) que foram correlacionados com a atividade das enzimas microbianas.

Jusoh, Manaf e Latiff (2013), utilizaram o EM no processo de compostagem de palha de arroz com esterco de cabra e resíduos verdes durante 90 dias. Apesar de não ter avaliado a influência do EM no período de compostagem, encontrou uma diferença significativa no conteúdo de macro e micronutrientes entre o composto com EM e sem EM, principalmente para N, P e K, sugerindo que a aplicação de EM pode aumentar a mineralização do composto.

Por outro lado, Mupondi, MnKenji e Brutsch (2006), Park (2011) e Nord (2014), não notaram influência da utilização de EM sobre a redução do período de compostagem e qualidade do composto. Mupondi, MnKenji e Brutsch (2006), utilizaram EM na compostagem de casca de pinus com esterco de cabra e lodo de esgoto, avaliando a maturidade através da temperatura, pH, condutividade elétrica, relação C/N, teor de tanino e nitrogênio nas formas de amônia e nitrato. Park (2011) utilizou EM na compostagem de restos alimentares e estrume de aves, avaliando a maturidade através de testes de germinação. Nord (2014) utilizou EM na compostagem de folhas secas, bagaço de cana e restos alimentares, avaliando a maturidade através da temperatura, DQO e relação C/N.

### 3.5 Métodos de compostagem

De acordo com Fernandes e Silva (1999), desde que os resíduos sejam adequados e o processo biológico ocorra em boas condições, o processo de compostagem pode ser realizado de forma eficiente através de sistemas simples de forma manual até sistemas mais complexos altamente tecnificados, onde todos os parâmetros do processo são monitorados e controlados com precisão. Os processos de compostagem podem ser divididos em três grandes grupos: Sistema de leiras revolvidas (*windrow*), Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*) e Sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*). Cada um apresenta vantagens e desvantagens em relação um ao outro, devendo a escolha ser feita considerando-se critérios técnicos e econômicos.

#### 3.5.1 Sistema de leiras revolvidas (*windrow*)

De todos, este é o método de compostagem mais simples e de menor custo. A massa de resíduos é colocada em pátios na forma de montes cônicos conhecidos como “pilhas de compostagem”, quando em pouca quantidade, ou na forma prismática conhecidos como “leiras de compostagem”, quando em grande quantidade, sendo periodicamente revolvidos de modo que a massa de resíduos entre em contato com o oxigênio presente na atmosfera (PEREIRA NETO, 2007).

O reviramento pode ocorrer de forma manual, através de pá e enxada, ou através de tratores e máquinas (Figura 3.11) especificamente construídas para este fim. Devido à brusca elevação da temperatura e a grande demanda de oxigênio no início da fase de degradação ativa, recomenda-se que durante os 30 primeiros dias de compostagem, o reviramento seja realizado a cada três dias, passando a ser realizado a cada cinco dias até os 60 dias. Neste processo a maturação completa da matéria orgânica geralmente ocorre após 90 a 120 dias (MATOS, 2014).

Figura 3.11 – Sistema de compostagem por leiras revolvidas



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

### **3.5.2 Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*)**

Neste método o oxigênio é introduzido à massa de resíduos por meio de ventilação forçada de ar. A leira permanece estática até o final da fase de bioestabilização durante 25 a 30 dias, não havendo revolvimento (MATOS, 2014). Ao final dessa fase, a leira pode ser desmontada, sendo o material colocado em pátio para maturação por 60-90 dias (MATOS, 2014).

O oxigênio pode ser fornecido através de ventilação natural, quando a leira é montada sobre um túnel de ventilação em estrutura de madeira em formato trapezoidal com aberturas laterais e superior para a aeração da massa de compostagem, conforme demonstrado nas Figuras 3.12 e 3.13 (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

Figura 3.12 – Túnel de ventilação



Figura 3.13 – Sistemas de leiras estáticas aeradas através de ventilação natural



Fonte: Teixeira *et al.* (2004).

Ou então o oxigênio pode ser introduzido através de sistema de injeção de ar sob pressão ou por sucção, onde a leira é montada sobre uma tubulação perfurada conectada a um soprador industrial que distribui o ar por baixo das leiras, promovendo a aeração homogênea e contínua da massa de resíduos, conforme demonstrado na Figura 3.14 (MATOS, 2014). A necessidade de aeração pode variar bastante, de acordo com o teor de umidade e temperatura e de acordo com a fase de compostagem, sendo bem maior na fase termófila do que na mesófila. Em função desta grande variação de demanda de oxigênio alguns sistemas instalam dispositivos eletrônicos que permite regular a intensidade e a frequência de acionamento dos sopradores (FERNANDES; SILVA, 1999).

Figura 3.14 – Sistema de leiras estáticas aeradas com injeção de ar



Fonte: Paixão (2003).

### ***3.5.3 Sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel)***

Neste método os resíduos são colocados dentro de reatores biológicos (Figura 3.15), que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem, este método também é conhecido por compostagem acelerada, devido à fase termófila ser bastante reduzida, ocorrendo entre 7 a 20 dias dentro dos reatores, mas, ainda assim, o composto deve passar por um período de maturação de mais ou menos 60 dias fora dos reatores (FERNANDES; SILVA, 1999).

De modo geral os vários tipos de reatores se enquadram em três grandes categorias: Reatores de fluxo vertical, Reatores de fluxo horizontal e Reatores de batelada. Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo percorrendo o trajeto da entrada até a saída do reator, com tempo de detenção suficiente para a realização da fase termófila, o composto então é descarregado e transportado ao pátio para maturação. O terceiro caso difere dos anteriores pelo fato do composto ficar confinado no mesmo local, sem se deslocar. O reator recebe uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a fase termófila chega ao seu final, o reator é aberto, descarregado em batelada, recomeçando-se o processo com novos resíduos (FERNANDES; SILVA, 1999).

Figura 3.15 – Reator biológico para compostagem acelerada



Fonte: Bellaver e Konzen (2013).

### 3.6 Qualidade do composto

De acordo com Sullivan e Miller (2001), os fatores mais críticos de qualidade do composto dependem do uso final pretendido. Por exemplo, para compostos usados em hortaliças de alto valor, uma alta qualidade é requerida, mas pode ser que para outros usos nem tanto (WANG *et al.*, 2004).

Segundo Bernal *et al.* (1998) a estabilidade e maturidade, são os principais requisitos para um composto ser utilizado com segurança no solo, o que implica em um teor de matéria orgânica estável e a ausência de compostos fitotóxicos.

Os termos estabilidade e maturidade do composto são frequentemente usados de forma idêntica, porque estão muito relacionados, uma vez que os compostos fitotóxicos são produzidos pelos microrganismos em compostos instáveis. No entanto, cada um deles se refere a propriedades específicas. A estabilidade refere-se à resistência da matéria orgânica à degradação, estando relacionada com a atividade microbiana do composto (IANNOTTI *et al.*, 1993). Enquanto a maturidade é um termo geral que descreve a adequação do composto para um uso final particular (SULLIVAN; MILLER, 2001), estando associada ao potencial de crescimento das plantas ou à fitotoxicidade (IANNOTTI *et al.*, 1993) e pode ser entendida como o grau de integridade do processo de compostagem (CCQC, 2001).

Compostos imaturos e mal estabilizados podem apresentar efeitos negativos associados à diminuição do rendimento, inibição da germinação de sementes e crescimento das plantas (TIQUIA *et al.*, 1996). Esses efeitos podem resultar de vários fatores como falta de oxigênio devido à elevada atividade microbiana, deficiência de nitrogênio devido à imobilização do

nitrogênio do solo pelos microrganismos para compensar o déficit resultante da aplicação do composto com alta relação C/N, introdução de compostos fitotóxicos, tais como compostos fenólicos e óxido de etileno, amônia, ácidos orgânicos, que são sintetizados durante a decomposição do composto imaturo no solo e inibem ou retardam a germinação e o crescimento das plantas (IANNOTTI *et al.*, 1993; BERNAL *et al.*, 1998; FUCHS, 2002). Cabe ressaltar que, mesmo compostos maduros podem conter substâncias fitotóxicas, como metais pesados, sais e resíduos de pesticidas contidos em suas matérias-primas originais (TRAUTMANN; KRASNY, 1997).

Muitas usinas de compostagem confundem um composto estabilizado com maduro, isso porque ao final da fase de degradação ativa, ele se torna escuro e não apresenta odor, parecendo estar “pronto”, quando na verdade está longe disso, ainda precisa passar pela fase de maturação, um período lento de alterações químicas, que poderão durar vários meses para que a amônia, o ácido acético e outros produtos intermediários de decomposição sejam transformados em substâncias que não suprimam a germinação de sementes, prejudiquem as raízes ou retardem o crescimento das plantas (TRAUTMANN; KRASNY, 1997).

Outras simplesmente negligenciam a etapa de maturação tentando acelerar o processo de compostagem (PEREIRA NETO, 2007). Um artifício empregado para dar a falsa ideia de que o composto está curado consiste em desidratá-lo, interrompendo a decomposição, porém, quando receber água, voltará a fermentar e se aquecer, fato que não acontece com o composto curado (KIEHL, 1985).

Geralmente, as regulamentações determinam padrões para avaliação da qualidade do composto, mas não existe uma padronização, sendo muito divergentes entre países (BELTRAME; CARVALHO, 2006). No Brasil, por exemplo, os limites de contaminantes admitidos nos fertilizantes orgânicos foram estabelecidos somente há pouco tempo pela Instrução Normativa do Ministério da Agricultura nº 27 de 05 de junho 2006, e dizem respeito a apenas alguns metais pesados e coliformes termotolerantes, conforme será abordado na seção 3.5 (BRASIL, 2006). Já em outros países como Áustria, Alemanha, Itália, Luxemburgo, Reino Unido, Austrália e Nova Zelândia, além de padrões de contaminantes, são exigidos testes em plantas que avaliam o grau de maturidade ou a presença de alguma substância fitotóxica no composto (BELTRAME; CARVALHO, 2006).

Nos Estados Unidos, o Conselho de Qualidade de Composto da Califórnia (CCQC, 2001), propôs um sistema de avaliação (Tabela 3.5) através de métodos de determinação da estabilidade e maturidade do composto. A avaliação consiste em primeiro determinar a relação C/N do composto e em seguida realizar pelo menos um teste do grupo A, que estão mais

relacionados com a estabilidade do composto, e um teste do grupo B, que estão mais relacionados com a maturidade do composto.

Tabela 3.5 – Sistema de avaliação do CCQC para determinação do índice de maturidade do composto

Passo 1: Realizar a medição da relação C/N, se $\leq 25$ aceitável	
Passo 2: Escolher um método de cada grupo	
<b>GRUPO A (estabilidade)</b>	<b>GRUPO B (maturidade)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxa de Absorção de Oxigênio (OUR Test)</li> <li>• Taxa de Absorção de Oxigênio Específica (SOUR test)</li> <li>• Taxa de Evolução de Dióxido de Carbono</li> <li>• Taxa de respiração</li> <li>• Teste de Auto-Aquecimento (Dewar)</li> <li>• Teste Solvita®</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxa de amônia/nitrato</li> <li>• Concentração de amônia</li> <li>• Ácidos Orgânicos Voláteis</li> <li>• Teste de plantas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Testes de germinação</li> <li>Teste de semeadura direta</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: Adaptado de CCQC (2001).

Através do cruzamento dos resultados de cada grupo se determina o índice de maturidade do composto em: muito maduro, maduro ou imaturo, onde para cada um é indicado o melhor uso. Por exemplo, um composto muito maduro pode ser usado para cultivo de mudas em vasos, um composto maduro é indicado para pastagem e culturas de linha, já um composto imaturo pode ser usado para pousio do solo ou como matéria prima para a compostagem.

Essas classificações foram baseadas em padrões estabelecidos por especialistas analíticos experientes, mas a interpretação exata de um índice de maturidade ainda não é universalmente aceita. Além disso, a maturidade do composto e/ou o índice de maturidade do CCQC nunca devem ser o único indicador para determinar o uso final do composto, devendo ser considerados outros parâmetros analíticos (relação C/N, pH, teor de nutrientes, teor de metais, patógenos, etc.), e o mais importante: se é apropriado para o uso final em particular (CCQC, 2001).

O teste de germinação, inclusive proposto pelo CCQC (2001), é amplamente aceito e recomendado na literatura para determinação da fitotoxicidade e maturidade de compostos

orgânicos, sendo identificado como o parâmetro mais sensível para determinar níveis de toxicidade que podem afetar a germinação e o crescimento das raízes das plantas (HELFRICH *et al.*, 1998; GÓMEZ-BRANDÓN; LAZCANO; DOMÍNGUEZ, 2008; TIQUIA, 2010; GOPINATHAN; THIRUMURTHY, 2012; JAKUBUS, 2012).

O teste consiste basicamente em colocar as sementes em um extrato aquoso preparado com o composto e em água destilada como controle, e após determinado tempo, que varia de acordo com a semente utilizada, avaliar a porcentagem de germinação das sementes e crescimento das raízes para se calcular o índice de germinação (GI), que permite classificar o nível de fitotoxicidade ou maturidade do composto (TIQUIA, 2010).

Muitas espécies, incluindo repolho, alface, cenoura, pepino, tomate, aveia, arroz, feijão verde e agrião de jardim, têm sido recomendadas para o teste de fitotoxicidade, devido à taxa de crescimento rápido, alta sensibilidade, padrão de crescimento regular, período curto de germinação, importância econômica e disponibilidade de fontes de sementes (TIQUIA, 2000), sendo que o agrião de jardim (*lepidium sativum*), tem sido a mais utilizada (BERNAL *et al.*, 1998; GÓMEZ-BRANDÓN; LAZCANO; DOMÍNGUEZ, 2008; CUNHA-QUEDA *et al.*, 2010; TIQUIA, 2010; SELIM; ZAYED; ATTA, 2012).

As vantagens deste teste resultam de se tratar de um método simples, rápido, confiável e reprodutível (TIQUIA *et al.*, 1996). A desvantagem é que ele não permite identificar quais contaminantes específicos estão causando a fitotoxicidade observada, o que muitas vezes também não é viável analisar quimicamente (TRAUTMANN; KRASNY, 1997). Mas o nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ) parece ter sido o mais reportado como a principal causa da fitotoxicidade observada pelo teste de germinação, estando diretamente relacionado com o GI (TIQUIA; TAM, 1998; TIQUIA, 2010; GAO *et al.*, 2010).

Não há uma unanimidade para classificar o resultado do GI, existindo diferentes opiniões entre autores. Um composto que indica uma inibição de germinação moderada e que pode ser aplicado no solo de forma segura, para Pera *et al.* (1991) e Gómez-Brandón, Lazcano e Domínguez (2008) deve ter o  $\text{GI} > 60\%$ , já para Helfrich *et al.* (1998) deve ser  $\geq 70\%$ . Na opinião de Tiquia, Tam e Hodgkiss (1996), Tiquia e Tam (1998), Trautmann e Krasny (1997), Tiquia *et al.* (2010), um  $\text{GI} \geq 80\%$ , indica que o composto está livre de fitotoxinas podendo ser aplicado de forma segura no solo. As classificações do GI para níveis de fitotoxicidade e maturidade são apresentadas nas Tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3.6 – Classificação do índice de germinação para fitotoxicidade do composto

Índice de Germinação (%)	Classificação de fitotoxicidade
> 100	Potencia a germinação e o crescimento da raiz
80 - 100	Nenhuma inibição do crescimento das plantas
60 - 80	Inibição leve
40 - 60	Forte inibição
< 40	Inibição severa

Fonte: Trautmann e Krasny (1997).

Tabela 3.7 – Classificação do índice de germinação para maturidade do composto

Índice de Germinação (%)	Classificação de maturidade
> 90	Muito maduro
80 - 90	Maduro
<80	Imaturo

Fonte: Brinton (200); CCQC (2001).

### 3.7 Fertilizante orgânico e mineral

Quando o produto final da compostagem satisfaz à legislação em termos de concentrações de nutrientes, exigida pelas normas brasileiras, o produto é então denominado fertilizante orgânico (PEREIRA NETO 2007). O fertilizante orgânico é constituído de compostos orgânicos de origem natural, vegetal ou animal, enquanto o fertilizante mineral é desprovido de carbono, ou seja, é constituído de compostos inorgânicos minerais. A mistura dos dois, resulta em fertilizante organomineral (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998).

É importante diferenciar a capacitação e limitações de cada um. O fertilizante mineral contém nutrientes em concentrações muito mais altas que o fertilizante orgânico, portanto, necessitando de aplicações muito menores no solo (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998). Ele disponibiliza os nutrientes de forma imediata, suprimindo a carência nutricional das plantas mais rapidamente, mas podendo ser facilmente perdidos por volatilização ou lixiviação (SEVERINO *et al.*, 2004).

O fertilizante orgânico disponibiliza os nutrientes de maneira gradual, sendo liberados lentamente durante um longo período de tempo, ficando disponíveis para as raízes das plantas a uma taxa mais lenta quando comparado ao fertilizante mineral, portanto, sendo menos

propensos a lixiviar do solo (PACE; MILLER; FARRELL-POE, 1995). Alguns autores (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; ISHERWOOD, 2000), não consideram o fertilizante orgânico capaz de suprir a exigência total de nutrientes das plantas, e recomendam que seja suplementado com fertilizante mineral.

De fato, o fertilizante orgânico, apresenta baixa concentração de nutrientes quando comparado ao fertilizante mineral, e, portanto, deve ser aplicado em doses bem maiores e de forma constante. Mas, o seu maior benefício reside em sua capacidade de aumentar os níveis de matéria orgânica do solo, o que lhe dá atributos que extrapolam a simples transferência de nutrientes, funcionando como condicionador do solo, promovendo melhorias em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que serão percebidas a longo prazo (KHALEEL, REDDY; OVERCAS, 1981; KIEHL, 1985; FERNANDES; SILVA, 1999; SEVERINO *et al.*, 2004; MATOS, 2014; SEDIYAMA, *et al.* 2016).

Seja qual for o tipo de fertilizante usado, para que se consigam os benefícios esperados no solo, deve ser estabelecida a sua dosagem correta, levando-se em consideração as exigências nutricionais da cultura, as características do solo e fatores climáticos, associada às práticas conservacionistas de controle de erosão. Do contrário, os nutrientes disponibilizados em excesso no solo, não absorvidos pelas plantas, podem se acumular causando impactos ambientais adversos (MATOS, 2014).

Dentre estes impactos, pode-se destacar a eutrofização, fenômeno de enriquecimento dos mananciais causado pela lixiviação de nitrato e fosfato do solo fertilizado, o que favorece o crescimento exagerado de algas. Como consequência, estas algas ao morrerem, se depositam no fundo, servindo de alimento para um grande número de microrganismos, que consomem o oxigênio disponível na água para realizar a decomposição, provocando a morte dos organismos aquáticos e o desequilíbrio do ecossistema (RESENDE, 2002).

Outro impacto relevante é o acúmulo de metais potencialmente perigosos no solo e nas plantas, que podem estar presentes em fertilizantes minerais como produtos secundários de sua produção ou como contaminantes indesejados de forma não intencional (GUILHERME; MARCHI, 2007), caso do cádmio presente em fertilizantes fosfatados, que em níveis altos pode ser tóxico (ISHERWOOD, 2000). Não obstante, esses metais também podem ser encontrados em fertilizantes orgânicos, dependendo da matéria-prima que os constituiu e da eficiência do processo de compostagem. Daí o cuidado em se realizar uma adequada caracterização inicial dos resíduos que são utilizadas como matérias primas na compostagem, bem como avaliar a qualidade do composto final (TIQUIA, 2010; JAKUBUS, 2012).

### 3.8 Legislação Brasileira sobre fertilizantes orgânicos

A obrigatoriedade da inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes e outros produtos destinados à agricultura pelo MAPA é estabelecida desde 1980 através da Lei nº 6.894 que era regulamentada pelo Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982 (BRASIL, 1980, 1982).

Mas, somente em 2004 é que houve um avanço a respeito dos padrões de qualidade dos fertilizantes, quando o Decreto nº 4.954 (BRASIL, 2004a), revogou o anterior e deu fundamento para a publicação das várias Instruções Normativas que orientam cada segmento dos setores de produção e comercialização dos fertilizantes. Na Tabela 3.8 é apresentado um breve resumo a respeito das principais normas sobre fertilizantes orgânicos.

Tabela 3.8 – Resumo da legislação sobre fertilizantes orgânicos

(Continua)

ANO	NORMA	ASSUNTO
1980	Lei Federal nº 6.894	Inclui a obrigatoriedade da inspeção e fiscalização não somente do comércio, mas também da produção dos fertilizantes, corretivos, inoculantes e estimulantes ou biofertilizantes destinadas à agricultura. Revoga a Lei nº 6.138/1974 Alterações: Lei nº 6.934/1981 e Lei nº 12.890/2013
2004	Decreto Federal nº 4.954	Regulamenta a Lei 6.894 estabelecendo normas gerais que estão divididas em seus 12 capítulos e dizem respeito a registro de estabelecimento e produto no MAPA; classificação dos estabelecimentos; requisitos para embalagem e rotulagem, propaganda, comércio, armazenamento e transporte; inspeção e fiscalização; medidas cautelares (apreensão e embargo); infrações, sanções e processos administrativos. Revoga o Decreto nº 86.955/1982 Alterações: Decreto nº 8.059/2013 e Decreto nº 8.384/2014
2006	IN MAPA nº 27	Estabelece as concentrações máximas de contaminantes presentes em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

Tabela 3.8 – Resumo da legislação sobre fertilizantes orgânicos

(Conclusão)

ANO	NORMA	ASSUNTO
2007	IN MAPA n° 24	Reconhece os métodos analíticos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas.
2009	IN MAPA n° 25	Aprova as normas sobre as especificações e garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Revoga a IN MAPA n° 23/2005
2013	IN MAPA n° 53	Estabelece as disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro de estabelecimento e produto, cadastro de prestadores de serviços, critérios para embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes e materiais. Revoga a IN MAPA n° 10/2004
2015	IN MAPA n° 3	Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios em amostras oriundas do controle oficial de fertilizantes e corretivos, constantes do Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos indexado ao International Standard Book Number (ISBN) sob o número 978-85-7991-081-4, cuja adoção será obrigatória pelos laboratórios integrantes da Rede Nacional de Laboratórios Agropecuários do Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária, a partir de fevereiro de 2015. Revoga a IN MAPA n° 28/2007

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

### 3.8.1 Definições e classificações

A Lei n° 6.894 de 16 de dezembro de 1980 definiu de forma abrangente os fertilizantes como toda substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas (BRASIL, 1980). Mais tarde, o Decreto n° 4.954 de 14 de janeiro de 2004, em seu artigo 2° trouxe outras definições mais detalhadas conforme suas características de produção:

[...] b) fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais; [...]

fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;

fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos [...] (BRASIL, 2004a).

Deste modo, entende-se que as matérias-primas, no caso os resíduos, de forma isolada podem ser enquadrados como fertilizantes orgânicos simples. Quando ocorre a mistura de mais de uma destas matérias-primas, sem que as mesmas passem por algum processo de transformação, são enquadradas como fertilizante orgânico misto. E quando essa mistura é submetida a um processo de transformação, como por exemplo, a compostagem, a denominação passa ser de fertilizante orgânico composto.

Em relação às formas de aplicações dos fertilizantes a Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009, em seu artigo 1º, traz as seguintes definições:

[...] IV - fertilizante orgânico e organomineral foliar: produto de natureza fundamentalmente orgânica que se destina à aplicação na parte aérea das plantas;

V - fertilizante orgânico e organomineral para fertirrigação: produto de natureza fundamentalmente orgânica que se destina à aplicação via sistemas de irrigação;

VI - fertilizante orgânico e organomineral para hidroponia: produto de natureza fundamentalmente orgânica, que se destina à aplicação em sistemas de cultivo sem solo ou hidropônico;

VII - fertilizante orgânico e organomineral para sementes: produto de natureza fundamentalmente orgânica que se destina à aplicação via tegumento de sementes;

VIII - fertilizante orgânico e organomineral em solução para pronto uso: produto de natureza fundamentalmente orgânica, em solução verdadeira já diluída e em condições de pronto uso por aspersão na parte aérea das plantas ou como solução nutritiva para hidroponia ou cultivo em vaso;

IX - fertilizante orgânico e organomineral fluido: produto de natureza fundamentalmente orgânica cuja natureza física é líquida, quer seja solução ou suspensão;

X - fertilizante orgânico e organomineral em solução: produto de natureza fundamentalmente orgânica fluido, sem partículas sólidas;

XI - fertilizante orgânico e organomineral em suspensão: produto de natureza fundamentalmente orgânica, fluido, com partículas sólidas em suspensão, podendo ser apresentado com fases distintas, no caso de suspensões

heterogêneas, ou sem fases, no estado líquido, no caso de suspensões homogêneas;

XII - fertilizante orgânico e organomineral complexado: produto de natureza fundamentalmente orgânica que contém em sua composição Cálcio, Magnésio ou micronutrientes ligados quimicamente a um ou mais agentes complexantes;

XIII - fertilizante orgânico e organomineral quelatado: produto de natureza fundamentalmente orgânica que contém em sua composição Cálcio, Magnésio ou micronutrientes ligados quimicamente a um ou mais agentes quelantes [...] (BRASIL, 2009).

Ainda de acordo com a Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009, os fertilizantes orgânicos são classificados também de acordo as matérias-primas utilizadas em sua produção, conforme demonstrado na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Classificação dos fertilizantes orgânicos de acordo com as matérias-primas utilizadas em sua produção

CLASSE	DESCRIÇÃO
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;
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;
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;
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.

Fonte: Brasil (2009).

### 3.8.2 Padrões de qualidade

Atualmente para serem comercializados no Brasil, os fertilizantes orgânicos devem atender a padrões de qualidade estabelecidos nas Instruções Normativas do MAPA, que dizem respeito a especificações de granulometria, valores mínimos de nutrientes e valores máximos para substâncias contaminantes.

As especificações físicas e químicas para garantia da qualidade dos fertilizantes orgânicos são estabelecidas pela IN nº 25 de 23 de julho de 2009. As especificações quanto à natureza física são apresentadas na Tabela 3.10. Porém, os produtos que não atenderem estas especificações podem inserir a expressão: “Produto sem especificação granulométrica”, no rótulo ou etiqueta de identificação (BRASIL, 2009).

Tabela 3.10 – Especificações granulométricas para fertilizantes orgânicos sólidos

Natureza Física	Especificação Granulométrica		
	Peneira	Passante	Retido
Granulado	4 mm (ABNT nº 5)	95% mínimo	5% máximo
	1 mm (ABNT nº 18)	5% máximo	95% mínimo
	2,0 mm (ABNT nº 10)	100%	0%
Pó	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo	30% máximo
	0,3 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo	50% máximo
Farelado	3,36 mm (ABNT nº 6)	95% mínimo	5% máximo
	0,5 mm (ABNT nº 35)	25% máximo	75% mínimo
Farelado Grosso	4,8 mm (ABNT nº 4)	100%	0%
	1,0 mm (ABNT nº 18)	20% máximo	80% mínimo

Fonte: Brasil (2009).

Em relação as especificações químicas, os fertilizantes orgânicos devem garantir no mínimo os valores de macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes, apresentados nas Tabelas 3.11 e 3.12.

Tabela 3.11 – Especificação dos teores mínimos de macronutrientes primários

Garantia (%)	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Umidade (máx.)	50	50	50	70
N total (mín.)	0,5	0,5	0,5	0,5
*Carbono orgânico (mín.)	15	15	15	15
*CTC <sup>(1)</sup>		Conforme declarado		
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0
Relação C/N (máx.)	20	20	20	20
Relação CTC/C <sup>(1)</sup>		Conforme declarado		
Outros nutrientes		Conforme declarado		

\* Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C. (1) É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Fonte: Brasil (2009).

Tabela 3.12 – Especificação dos teores mínimos de macronutrientes secundários e micronutrientes

Nutriente	Tipo do Fertilizante Orgânico			
	Teor Total Mínimo - %		Teor Solúvel em H <sub>2</sub> O	
	Aplicação no solo		Via Foliar, Fertirrigação e Hidroponia	
	Sólido	Fluido	Sólido	Fluido
Cálcio (Ca)	1	0,5	0,5	0,3
Magnésio (Mg)	1	0,5	0,5	0,3
Enxofre (S)	1	0,5	0,5	0,3
Boro (B)	0,03	0,01	0,02	0,01
Cloro (Cl)	0,1	0,1	0,1	0,1
Cobalto (Co)	0,005	0,005	0,005	0,005
Cobre (Cu)	0,05	0,05	0,05	0,05
Ferro (Fe)	0,2	0,1	0,1	0,02
Manganês (Mn)	0,05	0,05	0,1	0,02
Molibdênio (Mo)	0,005	0,005	0,02	0,005
Níquel (Ni)	0,005	0,005	0,005	0,005
Silício (Si)	1	0,5	0,5	0,05
Zinco (Zn)	0,1	0,05	0,1	0,005

Fonte: Brasil (2009).

Os limites máximos de contaminantes admitidos nos fertilizantes orgânicos são estabelecidos pela IN nº 27 de 05/06/2006 conforme é apresentado na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg/Kg)	20,00
Cádmio (mg/Kg)	3,00
Chumbo (mg/Kg)	150,00
Cromo (mg/Kg)	200,00
Mercurio (mg/Kg)	1,00
Níquel (mg/Kg)	70,00
Selênio (mg/Kg)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/ g de MS)	1000,00

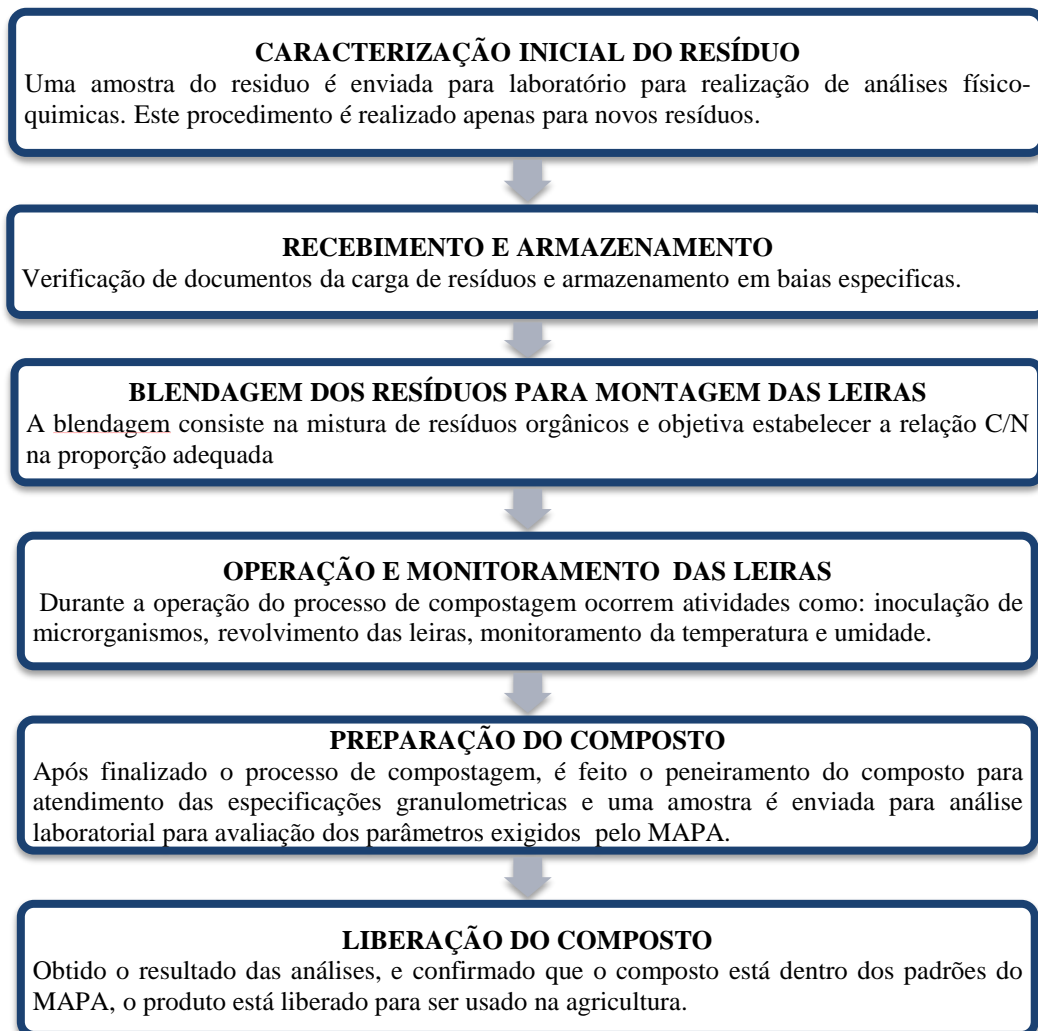
Fonte: Brasil (2006).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização do local do experimento

O presente trabalho foi desenvolvido na usina de compostagem Biocomp Soluções Ambientais Ltda no período de fevereiro a agosto de 2017. A Biocomp é uma empresa especializada em gestão, tratamento e destinação final de resíduos orgânicos classe II A<sup>1</sup>, atuando no ramo desde 2012. Na Figura 4.1 é apresentado o fluxograma de operação da usina de compostagem.

Figura 4.1 – Fluxograma de operação da usina de compostagem da Biocomp



Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

<sup>1</sup> Classificação conforme NBR ABNT 10004: 2004 para resíduos não perigosos e não inertes.

Através do processo de compostagem, os resíduos de diferentes ramos industriais são transformados em fertilizante orgânico classe A, para uso sem restrições na adubação agrícola, comercializado com a marca AdubaMais, devidamente registrado no MAPA sob o número MG 91081 10000-4.

A Usina de compostagem está situada na Fazenda Estribeira, no município de Papagaios, região Centro-oeste de Minas Gerais, coordenadas geográficas de latitude Y - 19.442562° e de longitude X -44.724914° conforme Figura 4.2.

Figura 4.2 – Imagem de satélite da Usina de Compostagem



Fonte: Adaptado de IDE-Sisema (2018).

De acordo com a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IDE-Sisema (2018), o bioma da região é classificado por Cerrado, o solo por Latossolo Vermelho Distrófico e o índice de umidade por B1 – úmido, conforme pode ser observado nos anexos A1 a A3.

Nas regiões de clima B1- úmido, o índice de umidade de Thornthwaite (Iu) varia entre 20 e 40, a precipitação pluvial total média anual é em torno de 1.500 mm e a temperatura média anual oscila entre 18 a 23°C (SCOLFORO; CARVALHO; OLIVEIRA, 2008).

Na Tabela 4.1 são apresentadas as médias climatológicas a partir de uma série de dados de 30 anos observados (1981-2010), que representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano no município de Papagaios.

Tabela 4.1 – Médias climatológicas do município de Papagaios (1981 – 2010)

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	19	26	255
Fevereiro	19	26	167
Março	18	25	166
Abril	17	25	54
Maiο	15	25	27
Junho	14	25	10
Julho	14	25	7
Agosto	15	25	12
Setembro	17	25	40
Outubro	19	25	85
Novembro	19	25	185
Dezembro	19	25	265
MÉDIA	17	25	1273

Fonte: Climatempo (2018).

## 4.2 Preparação do inóculo de microrganismos

### 4.2.1 Captura dos microrganismos

Considerando que o solo contém microrganismos benéficos importantes na decomposição de materiais orgânicos e na reciclagem de nutrientes e que a diversidade destes microrganismos está relacionada com a qualidade do solo (HIGA; WIDIDANA, 1991, HIGA; PARR, 1994), o local escolhido para a captura dos microrganismos foi em uma mata situada a uma distância de aproximadamente 400 metros da usina de compostagem, de coordenadas geográficas de latitude Y – 19.44333° e de longitude X – 44.72851, conforme é apresentado nas Figuras 4.3 e 4.4.

Figura 4.3 – Local de captura dos microrganismos



Fonte: Adaptado de IDE-Sisema (2018).

Figura 4.4 – Vista interna da mata onde foram coletados os microrganismos



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

Para captura dos microrganismos utilizou-se o método descrito por Bonfim *et al.* (2011). Como substrato foi utilizado 3 Kg de arroz cozido em água sem sal. O arroz foi colocado em uma bandeja de plástico e deixado por 10 dias debaixo da serapilheira da mata. Após os 10 dias

foi possível perceber mudanças na coloração do arroz indicando a presença de microrganismos decompositores, conforme é apresentado na Figura 4.5.

Figuras 4.5 – Arroz contendo os microrganismos capturados



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

#### **4.2.2 Ativação do inóculo de microrganismos**

O método de ativação descrito Bonfim *et al.* (2011), consiste em adicionar melão ou caldo de cana-de-açúcar e água sem cloro ao arroz, mantendo essa mistura em recipiente fechado à sombra, por 10 a 20 dias para fermentação anaeróbia, devendo ser aberto de 2 em 2 dias para liberação do gás formado. Portanto o método desenvolve microrganismos anaeróbios, o que não é desejável para o processo de compostagem, por este ser predominantemente aeróbio<sup>2</sup>. Devido a este motivo o método foi adaptado para que fossem desenvolvidos microrganismos aeróbios e em maior escala.

O arroz contendo os microrganismos capturados foi processado em liquidificador com 1 litro de água sem cloro e em seguida foi transferido para um reator aeróbio. O reator foi montado utilizando uma caixa d'água de polietileno com capacidade de 3.000 litros e instalado um sistema de recirculação, composto de uma bomba com pré-filtro para piscina modelo PF-17, marca Weg e tubulação PVC  $\frac{3}{4}$ , de modo que o inóculo de microrganismos fosse recirculado

---

<sup>2</sup> O conceito de compostagem aeróbia vem sendo adotado ao longo da dissertação, mas também existem métodos de compostagem anaeróbia.

constantemente no sistema, mantendo a homogeneização e aeração do líquido, conforme Figura 4.6.

Figura 4.6 – Montagem do reator aeróbio



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

Como meio de cultivo para os microrganismos foi utilizado melaço de cana-de-açúcar em pó, por este conter grande quantidade de açúcares fermentescíveis, constituindo-se uma boa fonte de carbono e nutrientes importantes para o metabolismo celular como nitrogênio, fosfato, cálcio, magnésio, zinco, manganês, cobre e ferro (CAZETTA; CELLIGOI, 2005) e fertilizante orgânico foliar fluido, classe A da marca comercial JK, constituído por 20% de carbono orgânico, 1,0% de nitrogênio e 1,0% de cálcio.

Foram introduzidos 2 Kg de melaço de cana em pó a cada 2 dias durante 40 dias, totalizando 80 Kg de melaço e 5 litros do fertilizante orgânico, considerando o tempo de aclimação de 40 dias.

Após o período de aclimação considerado de 40 dias, ocorreu a manutenção do reator, acrescentando uma vez por mês 3 kg de arroz com os microrganismos capturados e 5 litros do fertilizante orgânico. Além disso, duas vezes por semana eram acrescentados 2kg de melaço de cana em pó, sendo completado ou repostado o volume de água sempre que necessário. Na Figura 4.7 é apresentado o inóculo de microrganismos pronto para utilização.

Figura 4.7 – Reator aeróbio com o inóculo de microrganismos pronto para utilização na compostagem



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

### 4.3 Caracterização do inóculo de microrganismos

Foram coletadas amostras do inóculo de microrganismos após os 40 dias de aclimação, para caracterização físico-química e microbiológica.

Para caracterização físico-química foram realizadas análise de pH, nitrogênio total, fósforo total, DQO (demanda química de oxigênio) e SST (sólidos em suspensão totais) apresentado os resultados apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Caracterização físico-química do inóculo de microrganismos

Parâmetro	Método	Resultado*
pH	APHA 4500-H <sup>+</sup> B	7,09
Nitrogênio Total (mg/l)	APHA 4500-NH <sub>3</sub> D	24
Fósforo Total (mg/l)	APHA 4500-P E	42,6
DQO (mg/l)	APHA 5220 D	9240
SST (mg/l)	APHA 2540 D	4200

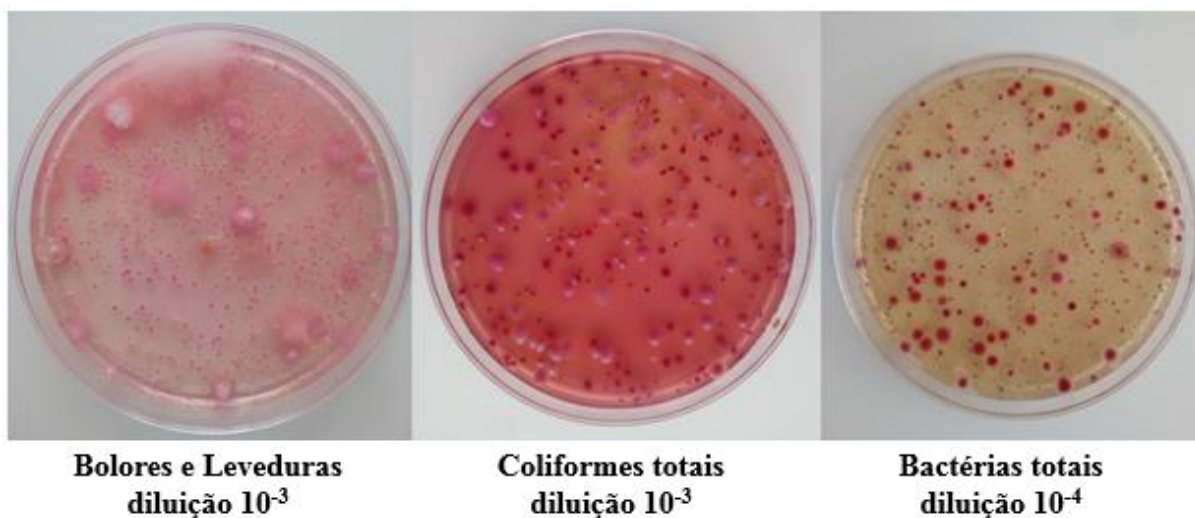
Nota: \*Corresponde à média dos resultados de três repetições.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Para caracterização microbiológica do inóculo de microrganismos, procedeu-se diluições de  $10^{-2}$   $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ . Em seguida foram pipetadas alíquotas de 1 mililitro de cada diluição para placas de Petri esterilizadas e coberto com o meio de cultura específico e agitadas em movimentos circulares para promover a homogeneização. Esperou-se o tempo de solidificação para serem invertidas e incubadas em estufa.

Para determinação de bolores e leveduras o meio de cultura utilizado foi o *Dichloran Rose Bengal Chlortetracycline* (Ágar DRBC) e a incubação a  $25^{\circ}\text{C}$  por 5 dias. Para determinação de bactérias totais o meio de cultura utilizado foi o *Plate Count Agar* (Ágar PCA) e a incubação foi a  $35^{\circ}\text{C}$  por 48 horas. Para determinação de coliformes totais o meio de cultura utilizado foi o *Violet Red Bile* (Ágar VRB) e a incubação foi a  $32^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Após os períodos de incubação, foram observados o crescimento em placa e procedeu-se a contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) para quantificação dos microrganismos, conforme é apresentado na Figura 4.8 e Tabela 4.3.

Figura 4.8 – Caracterização microbiológica do inóculo de microrganismos



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

Tabela 4.3 – Resultados de análise microbiológica do inóculo de microrganismos

<b>Microrganismo</b>	<b>Resultado (UFC/ml)</b>
Bolores	14 x 10 <sup>3</sup>
Leveduras	588 x 10 <sup>3</sup>
Bactérias totais	Incontável*
Coliformes totais	294 x 10 <sup>3</sup>

\* Mesmo com a diluição a 10<sup>-4</sup> não foi possível realizar a contagem de bactérias totais devido à grande quantidade.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

#### **4.4 Descrição dos resíduos utilizados na compostagem**

##### **4.4.1 Resíduo ruminal bovino (RRB)**

É o resíduo gerado em abatedouro bovino, na etapa de evisceração durante a limpeza do rúmen, constituído, principalmente, por fibras ingeridas pelos animais. O processo de remoção do RRB ocorre manualmente por via seca, caindo em um coletor de onde é transportado para uma prensa desaguadora para redução de umidade e volume e então é encaminhado à compostagem. A usina de compostagem recebe em média 200 toneladas de RRB por mês. Na Figura 4.9 é demonstrado o RRB armazenado na baia da usina de compostagem.

Figura 4.9 – Baia de resíduo ruminal bovino (RRB)



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

#### ***4.4.2 Película prateada do café (PPC)***

É o resíduo gerado na indústria do café durante a torra do grão. A PPC é um tegumento fino que envolve o grão de café, caracterizada por altos teores de lignina, açúcar e fibras dietéticas, no processo de torrefação corresponde em 4,2% do peso dos grãos (BALLESTEROS; TEIXEIRA; MUSSATTO, 2014). A usina de compostagem recebe em média 350 toneladas de PPC por mês. Na Figura 4.10 é apresentado a PPC armazenada na baia da usina de compostagem.

Figura 4.10 – Baia de película prateada do café (PPC)



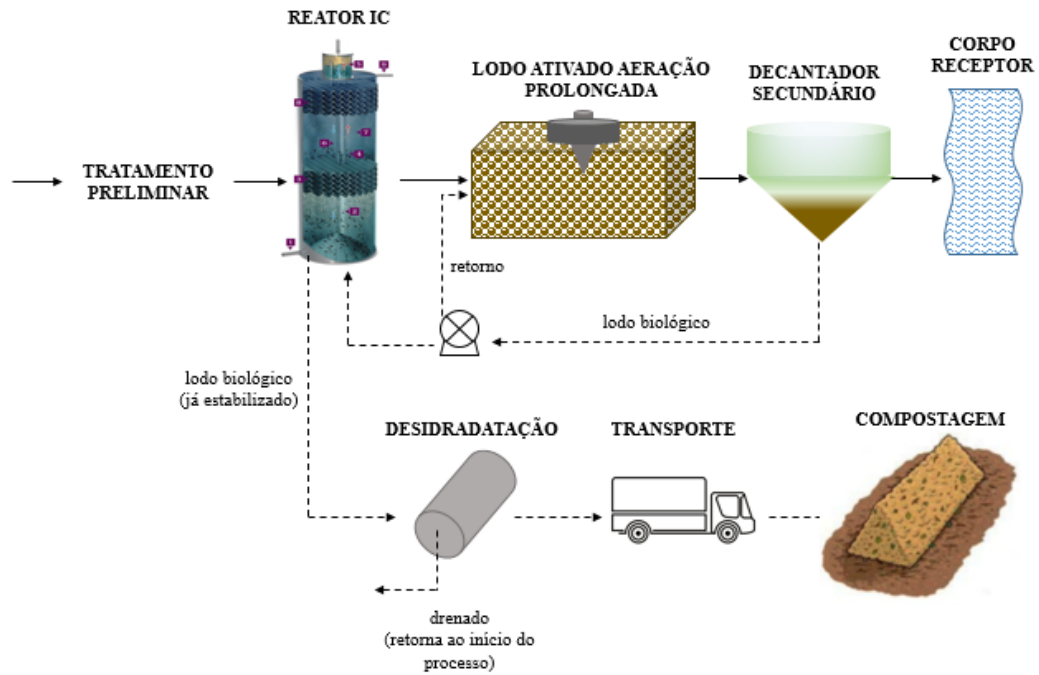
Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

#### ***4.4.3 Lodo de ETE de cervejaria (LC)***

É o lodo gerado no tratamento biológico da ETE de uma cervejaria que trata em média 450 m<sup>3</sup>/hora, composta por reator anaeróbio de recirculação interna (IC) seguido por lodo ativado de aeração prolongada. O reator IC remove grande parte da DBO solúvel e particulada facilitando a degradação aeróbia no reator de lodo ativado. O lodo excedente do reator de lodo ativado é encaminhado ao reator IC para ser digerido antes de ser desidratado, o que permite uma redução significativa na produção de lodo. A desidratação ou desaguamento ocorre mecanicamente através de centrífuga com auxílio de produto químico floculante. Na Figura

4.11 é apresentado o fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes da cervejaria.

Figura 4.11 – Fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes da cervejaria



Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

A usina de compostagem recebe em média 550 toneladas de LC por mês. Na Figura 4.12 é apresentado o lodo armazenado na baia da usina de compostagem.

Figura 4.12 – Baía de lodo de ETE de cervejaria (LC)



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

#### ***4.4.4 Lodo de indústrias de alimentos***

É a mistura dos lodos físico-químico e biológico gerados em dois sistemas de tratamento de efluentes distintos, o primeiro de uma indústria de chips de batata e milho (LBM) e o segundo lodo de um laticínio (LL). A usina de compostagem recebe em média 150 toneladas de LBM e 150 toneladas de LL por mês.

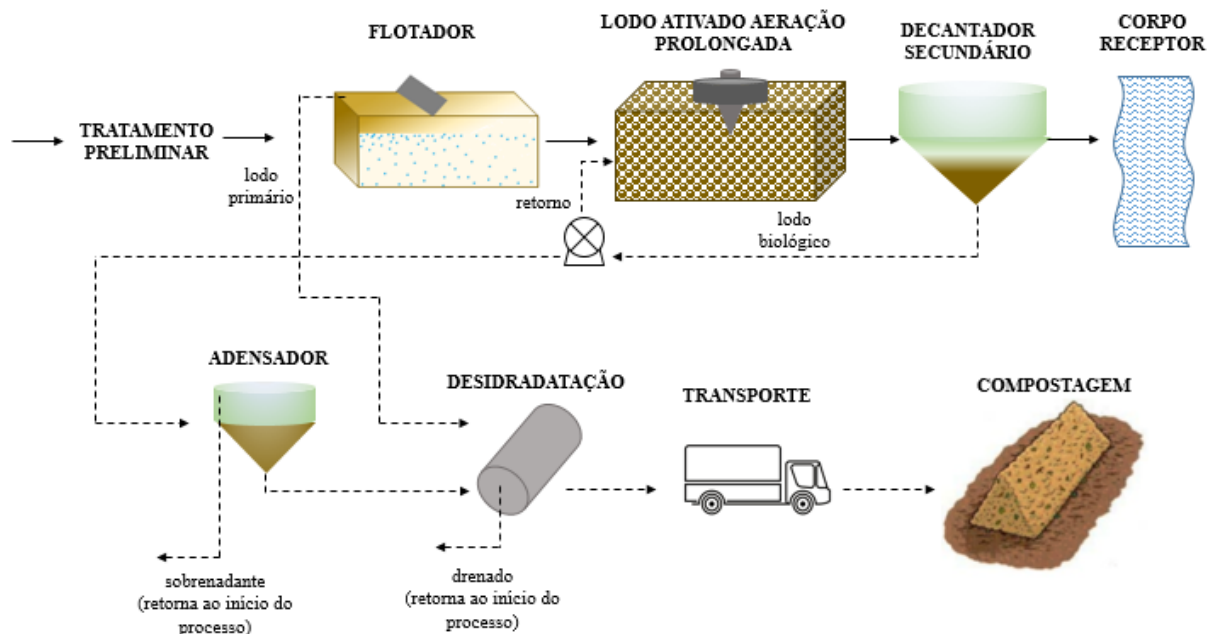
Os sistemas de tratamento das duas indústrias possuem a mesma configuração, porém com vazões de tratamento diferentes. A ETE da indústria de chips de batata e milho trata em média 50 m<sup>3</sup>/hora e a ETE da indústria de laticínios trata em média 70 m<sup>3</sup>/hora. O tratamento primário é realizado através de flotador físico-químico com o emprego de ar dissolvido e produtos químicos (coagulantes e floculantes) para remoção de lipídios (gorduras, óleos e graxas) e sólidos em suspensão presentes nestes efluentes, facilitando o tratamento secundário biológico que é realizado por lodo ativado de aeração prolongada.

O flotador é uma unidade fundamental em sistemas que tratam efluentes contendo lipídios, caso dos efluentes de laticínios que contem gordura do leite e da indústria de chips de batata e milho que contém óleo proveniente de fritura. Os lipídios são definidos como moléculas orgânicas insolúveis em água e extraíveis por solventes não polares, altamente resistentes à biodegradação (DINEL; SCHINITZER; MEHUYS, 1990), e contribuem com 30-40% da matéria orgânica presente nestes efluentes, se não forem removidos na etapa primária, podem

se acumular nos reatores de lodos ativados formando um filme lipídico na interface, o que dificulta as trocas gasosas, prejudicando a transferência de oxigênio, e contribuindo para a aglomeração de gorduras no interior dos flocos biológicos, fazendo com estes sejam arrastados do sistema, comprometendo a qualidade do efluente final (MENDES, *et al.*, 2005).

O lodo físico-químico gerado no flotor é encaminhado diretamente para a etapa de desidratação ou desaguamento através de centrífuga com auxílio de produto químico floculante. O lodo biológico excedente gerado no reator de lodo ativado passa primeiramente pelo adensador para aumentar o seu conteúdo de sólidos e então é encaminhado à etapa de desidratação ou desaguamento. A Figura 4.13 apresenta o fluxograma simplificado das ETEs.

Figura 4.13 – Fluxograma dos sistemas de tratamento de efluentes das indústrias de alimentos



Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Por apresentarem características muito semelhantes o LBM e o LL são armazenados em uma mesma baía, conforme é demonstrado na Figura 4.14.

Figura 4.14 – Baía de armazenamento de lodo de indústrias de alimentos (LBM + LL)



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

#### 4.5 Caracterização química dos resíduos utilizados na compostagem

Todos os resíduos utilizados como substrato no processo de compostagem do presente trabalho foram previamente caracterizados através de análises físico-químicas, exceto a PPC, a qual buscou-se valores referenciados na literatura, conforme apresentado na Tabela 4.4. Os laudos analíticos encontram-se disponíveis nos anexos B1 a B4.

Tabela 4.4 – Caracterização físico-química dos resíduos utilizados na compostagem

(Continua)

Parâmetros	Unid.	Método	Resíduo				
			LC	LBM	LL	RRB	PPC*
N total	%	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	1,75	2,98	2,17	0,22	2,99 ± 0,10
P2O5	%	IN SDA 3 Cap III, E.2	8,45	3,18	2,13	2,94	1,2 ± 0,00**
K <sub>2</sub> O Água	%	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	0,35	0,4	0,33	0,43	21,100 ± 0,00**
Ca Total	%	IN SDA3 Cap III, E.7.2.2	4,87	1,94	2,93	1,83	9,400 ± 0,01**
Mg Total	%	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	0,3	0,1	0,2	0,2	3,100 ± 0,00**
S Total	%	IN SDA3 Cap III, E.8	0,2	0,3	0,4	0,3	-

Tabela 4.4 – Caracterização físico-química dos resíduos utilizados na compostagem

(Conclusão)

Parâmetros	Unid.	Método	Resíduo				
			LC	LBM	LL	RRB	PPC*
B Total	%	IN SDA 3 Cap III, E.9	0,014	0,004	0,014	0,016	-
Cu Total	%	IN SDA 3 Cap III, E.10.2	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	63,30 ± 1,00**
Fe Total	%	IN SDA 3 Cap III, E.10.2	0,63	0,13	0,2	0,68	-
Mn Total	%	IN SDA 3 Cap III, E.10.2	0,04	0,01	0,01	0,05	50,00 ± 0,60**
Zn Total	%	IN SDA 3 Cap III, E.10.2	0,02	<0,01	0,01	0,05	22,30 ± 0,10**
Umidade Atual	%	IN SDA 17 Cap 2	87,9	82,3	82,2	72	6,8
Cond. Elétrica 25°C	mS/cm	IN SDA 3 Cap II, D.13	5,5	5,9	3	3	-
pH	-	IN SDA 17 Cap 5	6,1	5	7,5	9,3	-
Matéria Orgânica	%	IN SDA 3 Cap III, E.13	44,5	75,1	70,1	60,4	-
C Orgânico Total	%	IN SDA 3 Cap IV, D.16	25,8	43,6	40,7	35	43,09***
Cap Troca Cátions	mmol/ Kg	IN SDA 3 Cap III, E.15	980	895	1160	590	-
Relação C/N	-	IN SDA 3 Cap III, G	14,7	14,6	18,8	159,3	14,41 ± 0,10
Relação CTC/C	-	IN SDA 3 Cap III, F	38	20,6	28,5	16,8	-
Al	%	Absorção Atômica	1,84	1,75	1,57	0,58	470,60 ± 13,90**

LC: Lodo de ETE de cervejaria; LBM: Lodo de ETE da indústria de chips de batata e milho; LL: Lodo de ETE de laticínio; RRB: Resíduo ruminal bovino; PPC: Película prateada do café.

\*Os resultados foram obtidos de Ballesteros, Teixeira e Mussatto (2014) e os métodos de análise não correspondem aos citados na Tabela.

\*\* Resultado em (mg/kg de material seco)

\*\*\* Valor calculado de acordo com o valor de N total e da relação C/N.

#### 4.6 Determinação da mistura dos resíduos

A *blendagem* ou mistura dos resíduos é uma etapa fundamental no processo de compostagem, pois permite a homogeneização da massa de resíduos e o equilíbrio da umidade e da relação C/N para que o processo de compostagem ocorra satisfatoriamente. Uma vez tendo o percentual de carbono, nitrogênio e umidade de cada resíduo, pode-se determinar a relação C/N e a umidade do *blend* de resíduos através das equações 1 e 2.

Equação 4.1 – Determinação da relação C/N do *blend* de resíduos

$$C/N = \frac{M_1[C_1x(100-U_1)] + M_2[C_2x(100-U_2)] + M_3[C_3x(100-U_3)] + \dots}{M_1[N_1x(100-U_1)] + M_2[N_2x(100-U_2)] + M_3[N_3x(100-U_3)] + \dots}$$

Onde:

$C/N$  = relação carbono/nitrogênio da mistura de resíduos

$M_n$  = massa do material (peso)

$C_n$  = teor de carbono do material (%)

$N_n$  = teor de nitrogênio do material (%)

$U_n$  = teor de umidade do material (%)

Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1997).

Equação 4.2 - Determinação do teor de umidade do *blend* de resíduos

$$U = \frac{(M_1 \times U_1) + (M_2 \times U_2) + (M_3 \times U_3) + \dots}{M_1 + M_2 + M_3 + \dots}$$

Onde:

$U$  = Teor de umidade (%)

$M_n$  = massa do material (peso)

$U_n$  = teor de umidade do material (%)

Fonte: Adaptado de Trautmann e Krasny (1997).

Deste modo, com base nos valores de carbono, nitrogênio e umidade de cada resíduo (Tabela 4.4) foram aplicados nas equações 1 e 2 até se encontrar a proporção mais adequada para o *blend*, considerando que cada leira seria composta por 40 toneladas de resíduos. Devido os lodos gerados nas indústrias de alimentos (LBM e LL) serem armazenados juntos e apresentarem características e volumes de geração muito semelhantes, considerou-se a média dos valores destes resíduos nos cálculos. Conforme pode ser observado na Tabela 4.5, a relação C/N do *blend* foi de 19 e a umidade de 66,8%.

Tabela 4.5 – Determinação da mistura de resíduos utilizada nas leiras de compostagem

<b>Resíduo</b>	<b>CO total</b> %	<b>N total</b> %	<b>Relação</b> C/N	<b>Umidade</b> %	<b>Quantidade</b> T	<b>Proporção</b>
LC	25,8	1,75	15	87,9	12	30%
LBM + LL	42,2	2,58	16	82,3	12	30%
RRB	35,0	0,22	159	72,0	8	20%
PPC	43,1	2,99	14	6,8	8	20%
<b>BLEND</b>	<b>36,0</b>	<b>1,94</b>	<b>19</b>	<b>66,8</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>

Onde: C total: Carbono Orgânico total; N total: Nitrogênio total; LC: Lodo de ETE de cervejaria; LBM: Lodo de ETE da indústria de chips de batata e milho; LL: Lodo de ETE de laticínio; RRB: Resíduo ruminal bovino; PPC: Película prateada do café.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018)

Apesar de próximos, houve dificuldade em se ajustar a relação C/N e umidade conforme os valores ideais indicados por Fernandes e Silva (1999), sendo mínimo de 20 para relação C/N e máximo de 65% de umidade, devido principalmente à falta de disponibilidade de resíduos secos e de elevada relação C/N. Por exemplo, se fosse aumentada a proporção de PPC, resíduo com baixa umidade, o teor de umidade da massa de resíduos poderia chegar a faixa ideal de 50-60% recomendada por Kiehl (1985), Trautmann e Krasny (1997), Fernandes e Silva (1999), Pereira Neto (2007) e Matos (2014). Mas, a relação C/N ficaria ainda mais baixa. Do contrário, se fosse aumentada a proporção de RRB, resíduo com elevada relação C/N, a umidade da mistura de resíduos ficaria ainda mais elevada. Portanto, procurou-se encontrar a proporção de resíduos que ficasse o mais próximo possível dos valores ideais, levando-se também em consideração a experiência da operação da usina de compostagem, que devido ao alto volume de lodo recebido opera as leiras com condições iniciais mais úmidas e com a relação C/N ligeiramente mais baixa.

Para o ajuste dos valores de relação C/N e umidade, o ideal seria que a usina de compostagem encontrasse um outro resíduo para ser utilizado como material estruturante e redutor de umidade da mistura, pois os lodos de estações de tratamento de efluentes apresentam baixa relação C/N, devendo ser misturados a resíduos de alta relação C/N, como os resíduos agrícolas e agroindustriais como palha, cavacos de madeira, cascas, etc. (FERNANDES; SILVA, 1999; MATOS, 2014).

#### 4.7 Montagem das Leiras

A montagem das leiras ocorreu no dia 27 de abril de 2017. A *blendagem* dos resíduos foi realizada com o auxílio de uma pá carregadeira e uma carretinha, com capacidade de 4.000 Kg. Assim, em cada carretinha colocou-se 1200 Kg de LC (30%), 1200 Kg de LBM + LL (30%), 800 Kg de RRB (20%) e 800 Kg de PPC (20%), respeitando-se a proporção demonstrada na Tabela 4.5 para se obter uma relação C/N de 19 e umidade de 66,8% na mistura. Nas Figuras 4.15 e 4.16 são apresentadas as operações de *blendagem* e montagem das leiras.

Figura 4.15 – Operação de *blendagem* dos resíduos



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

Figura 4.16 – Operação de montagem das leiras de compostagem



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

Ao todo, foram montadas 10 leiras, cada uma com 40 toneladas, o equivalente a 10 carretinhas. Mas, devido a mistura de resíduos apresentar característica bem pastosa (Figura 4.17) não foi possível realizar o levantamento das leiras no mesmo dia, sendo necessário aguardar 3 dias para redução da umidade para em torno de 50%, para que a pá carregadeira conseguisse realizar o levantamento das leiras, que ocorreu no dia 30 de abril de 2017 (Figura 4.18). Cada leira apresentou aproximadamente 20 metros de extensão, 1,2 metros de altura e 1,0 metros de base.

Figura 4.17 – Montagem das leiras no dia 27/4/2017



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

Figura 4.18 – Levantamento das leiras no dia 30/04/2017

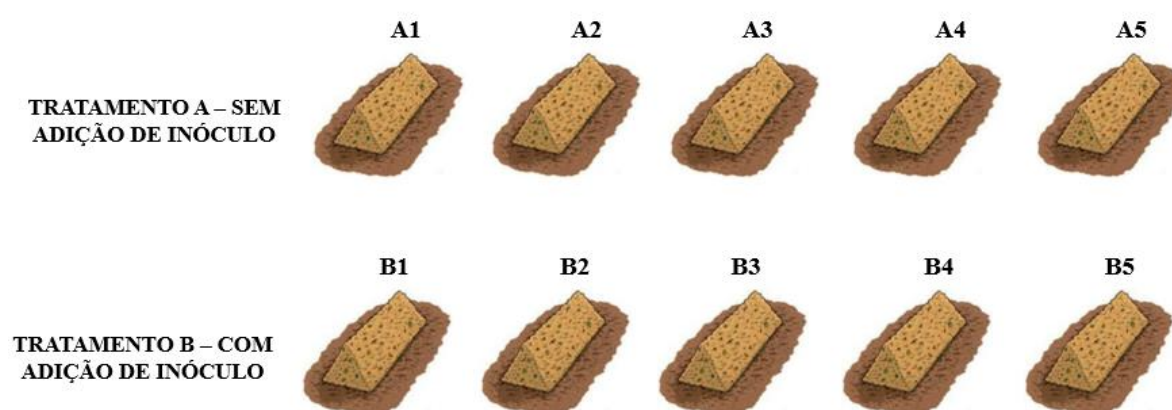


Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

## 4.8 Composição dos tratamentos

Foram utilizados 2 tratamentos com 5 repetições, sendo o tratamento A sem adição de inóculo de microrganismos e o tratamento B com adição de inóculo de microrganismos. As leiras do tratamento A foram denominadas: A1, A2, A3, A4 e A5; as leiras do tratamento B foram denominadas: B1, B2, B3, B4 e B5, conforme Figura 4.19.

Figura 4.19 – Composição dos tratamentos.



Fonte: Karina Alves Máximo (2018)

## 4.9 Manejo e monitoramento do processo de compostagem

### 4.9.1 Método de compostagem

O método de compostagem utilizado foi o sistema de leiras revolvidas (*windrow*), considerado o mais simples e de menor custo, mas muito eficiente (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 2007). O reviramento ocorreu de forma mecânica através de revolvedor de leiras da marca ECO Renova -2,5, conforme Figuras 4.20 e 4.21.

Figuras 4.20 e 4.21 – Operação de revolvimento mecânico das leiras de compostagem



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

#### ***4.9.2 Revolvimentos***

A frequência de revolvimento das leiras de compostagem foi de duas vezes por semana, durante os primeiros 30 dias considerados mais críticos em termos de demanda de oxigênio na fase de degradação ativa (MATOS, 2014) e após este período a frequência foi de uma vez por semana.

#### ***4.9.3 Aplicação do inóculo de microrganismos***

As leiras do tratamento B receberam 15 litros do inóculo de microrganismos puro duas vezes por semana durante 30 dias. Para a aplicação foi utilizado um tambor adaptado com uma mangueira no revolvedor de leiras, de modo que a aplicação fosse homogênea em toda a extensão e profundidade das leiras (Figuras 4.22 e 4.23). Como o revolvimento dos dois tratamentos ocorria no mesmo dia, tomou-se o cuidado de sempre revolver primeiramente as leiras do tratamento A, e em seguida as leiras do tratamento B para não haver contaminação pelo inóculo de microrganismos. Após sua utilização, o revolvedor de leiras era lavado com água limpa para então ser guardado.

Figura 4.22 – Equipamento para aplicação do inóculo de microrganismo durante o revolvimento das leiras.



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

Figura 4.23 – Aplicação do inóculo de microrganismos durante o revolvimento das leiras do tratamento B



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

#### ***4.9.4 Monitoramento da temperatura***

As determinações de temperatura foram efetuadas uma vez por semana, um dia após o revolvimento das leiras, através de termômetro digital por infravermelho da marca Caution, que era introduzido na parte central da leira a uma profundidade de cerca de 50 cm, conforme apresentado na Figura 4.24.

Figura 4.24 – Medição da temperatura na parte central da leira



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

#### ***4.9.5 Monitoramento da umidade e maturação do composto***

A umidade foi monitorada 1 vez por semana através do “teste da mão” conforme EMBRAPA (2009). Trata-se de um teste empírico, ou seja, baseado na experiência e observação, mas muito usado por agricultores para produção de composto orgânico em pequena escala. Consiste em pegar com a mão um pouco de material do interior da leira e comprimi-lo com bastante força. Durante a fase inicial da compostagem o ponto ideal da umidade é quando a água começa a verter entre os dedos, sem escorrer, o que indica que provavelmente está na faixa de 50 a 60%. Ao longo do processo, a umidade tende a diminuir naturalmente, entretanto o composto nunca deverá estar totalmente seco. Por tratar-se de um método empírico também foram realizadas análises do teor de umidade em laboratório, conforme descrito na seção 4.9.6.

O teste da mão também foi usado para avaliar o estado de maturação do composto. Quando se comprime a massa nas palmas das mãos, esfregando uma contra a outra por alguns segundos, observa-se que se o material se soltar facilmente e as palmas das mãos ficarem praticamente limpas o composto está cru. Se pequena parte da amostra permanecer nas palmas das mãos, colorindo-as como se nelas tivesse despejado café, indica que o composto está semicurado. Se as palmas das mãos ficarem bastante sujas com aspecto de graxa preta devido

a presença de húmus, o composto está curado (KIEHL, 1985). A Figura 4.25 apresenta a realização do teste da mão.

Figura 4.25 – Teste da mão para verificação de umidade e maturação do composto



Onde: A: Coleta do composto; B: Compressão do composto com a mão para avaliação da umidade; C: Avaliação do estado de maturação do composto após esfregar uma mão contra a outra.

Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

Para confirmação da maturação do composto foram realizados testes de germinação conforme descrito na seção 4.10.

De acordo com as observações do “teste da mão”, quando necessário foi realizada a correção da umidade, por meio da distribuição uniforme de água com a utilização de caminhão pipa, conforme apresentado na Figura 4.26. Cada leira era regada com aproximadamente 2.500 litros de água e em seguida era revolvida.

Figura 4.26 – Operação de rega das leiras para correção da umidade



Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

#### ***4.9.6 Análises físicas e químicas para acompanhamento do processo***

Durante a compostagem foram realizadas coletas nas leiras para a determinação de análises de umidade, pH, condutividade, carbono orgânico total e nitrogênio total, para avaliação da eficiência do processo e maturação do composto. As coletas foram realizadas nas duas extremidades e no meio de cada leira e em seguida homogeneizadas para compor uma amostra única e representativa de cada leira conforme NBR ABNT 10007 (2004).

As coletas ocorreram durante a fase de degradação ativa, maturação e ao final do processo quando o composto foi considerado pronto devido a estabilização da temperatura das leiras, observação das características do composto através do “teste da mão” e experiência prática dos operadores da usina de compostagem. Assim, nas leiras do tratamento A foram coletadas amostras aos 5, 30, 65 e 120 dias, quando estas foram consideradas prontas. E nas leiras do tratamento B foram coletadas amostras aos 5, 30 e 65 dias, quando estas foram consideradas prontas.

As análises físicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa *Campus Florestal*, conforme (EMBRAPA, 1997). Primeiramente as amostras foram preparadas sendo colocadas em tabuleiro de madeira em local ventilado e seco até completa dessecação ao ar e posteriormente foram destorroadas e encaminhadas para realização das análises. A umidade foi determinada em estufa a 105-110°C. O pH foi determinado por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: água na proporção 1:25; a condutividade elétrica foi determinada através de condutivímetro por leitura direta imerso em suspensão solo: água na proporção 1:25; o nitrogênio total foi determinado pelo método

Kjeldahl por destilação; o carbono orgânico total foi determinado por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

#### **4.9.7 Peneiramento**

Ao final do processo de compostagem, os compostos orgânicos foram peneirados em uma peneira rotativa dimensionada para atender as especificações granulométricas de fertilizantes em pó, estabelecidas pela IN nº 25 de 23 de julho de 2009 conforme Figura 4.27.

Figura 4.27 – Peneira rotativa para atender as especificações granulométricas de fertilizante em pó



Fonte: Karina Alves Máximo (2017).

#### **4.10 Teste de Germinação**

O teste de germinação foi conduzido nos Laboratórios de Solos e Sementes da Universidade Federal de Viçosa, *Campus Florestal*, e teve como objetivo avaliar o grau de maturação e a fitotoxicidade dos compostos orgânicos. Os fatores analisados foram: dois tempos de maturação dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas leiras A (65 e 120 dias) e um tempo de maturação do fertilizante orgânico produzido pelas leiras B (65 dias). O tempo 65 dias para o tratamento A foi analisado para comparação com o tratamento B, pois como já mencionado anteriormente os compostos produzidos pelo tratamento B foram considerados

prontos aos 65 dias, enquanto os produzidos pelo tratamento A foram considerados prontos aos 120 dias.

A espécie inicialmente escolhida para realização do teste foi o agrião de jardim (*Lepidium sativum*), por ser a mais referenciada na literatura para execução do teste de germinação, entretanto as sementes não foram encontradas nos estabelecimentos comerciais na região onde foram executados os experimentos, e, portanto, a espécie escolhida foi a alface mimosa (*Lactuca sativa*), também referenciada por apresentar alta sensibilidade e por ser muito popular e de fácil disponibilidade (TIQUIA, 2000).

A execução experimental do teste consistiu em avaliar a germinação de sementes de alface mimosa (*Lactuca sativa*) em extratos aquosos das amostras de compostos orgânicos. O método utilizado foi adaptado de Tiquia (2010). Os extratos aquosos utilizados nos testes de germinação foram preparados na proporção de 1:10 (p/v) adicionando-se 5 gramas das amostras em 50 ml de água destilada. As suspensões foram agitadas a 200 rpm em incubadora (Shaker) por 1 hora à temperatura ambiente. Posteriormente foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. As frações líquidas obtidas após centrifugação foram filtradas em papel filtro qualitativo de 9 cm de diâmetro, gramatura de 80g/cm<sup>2</sup> e porosidade de 3 micras.

Para o teste de germinação, foi colocado um papel filtro qualitativo em cada placa de Petri e umedecido com 5 ml do extrato aquoso. Como controle (testemunha) utilizou-se o mesmo volume de água destilada. Em cada placa de Petri foram distribuídas 10 sementes de *Lactuca sativa*. As placas foram incubadas em estufa *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) a 20°C ± 2 na ausência de luz por 48 horas. As condições experimentais do teste encontram-se resumidas na Figura 4.28 e Tabela 4.6.

Figura 4.28 – Resumo da execução do teste de germinação



Onde: 01: Preparação do extrato aquoso; 02: Agitação em incubadora shaker; 03: Extrato aquoso após centrifugação; 04: Filtração do extrato aquoso; 05: Extrato pronto para o teste de germinação; 06: Placa de Petri com o extrato aquoso e sementes.

Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

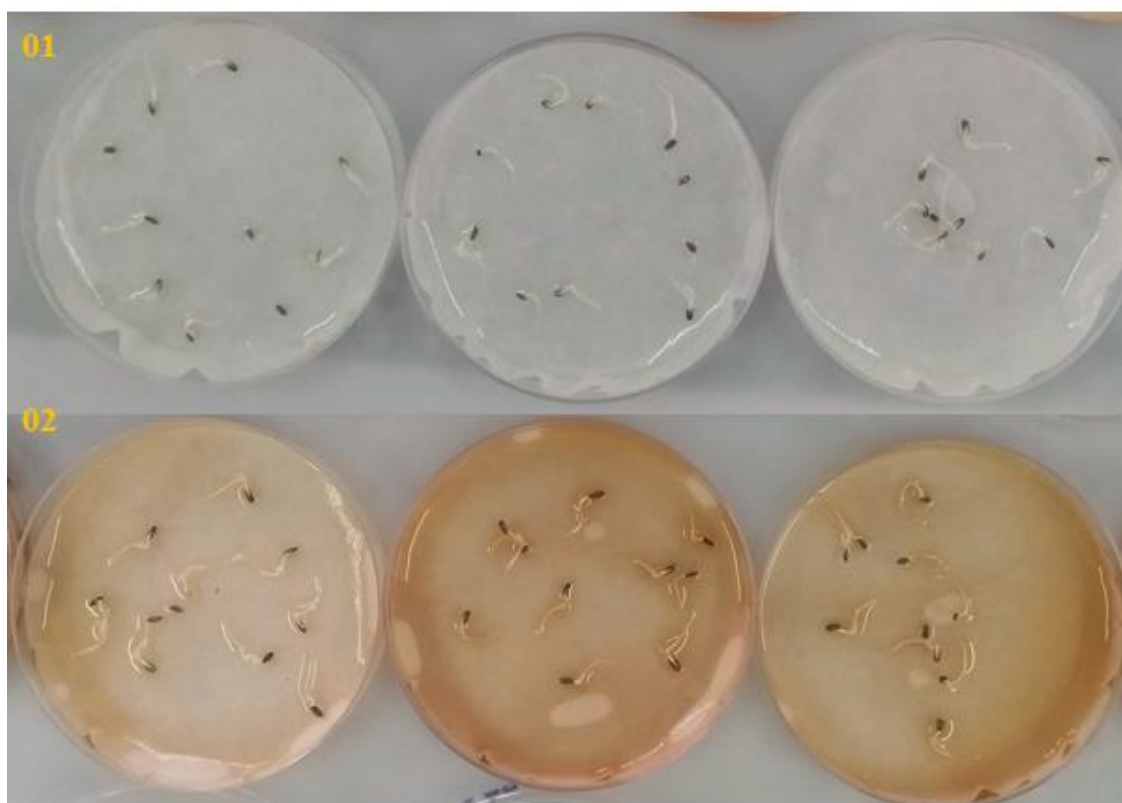
Tabela 4.6 – Resumo das condições do teste de germinação

	Alface mimosa ( <i>Lactuca sativa</i> )
	Marca comercial: Isla
	Lote:106624-008-92
Semente	Germinação: 98%
	Data análise: mar/17
	Data validade: mar/19
	Pureza: 99,9%
	Proporção 1:10 (p/v)
	Agitar em shake a 200 rpm por 1 hora
	Centrifugar a 3000 rpm por 10 min
Preparação do extrato aquoso	Filtrar em papel filtro qualitativo
	Diâmetro: 9 cm; Gramatura: 80g/cm <sup>2</sup> ;
	Porosidade: 3 micras.
Recipiente de ensaio	Placas de Petri de 10 cm de diâmetro
	Papel filtro qualitativo
Papel filtro	Diâmetro: 9 cm; Gramatura: 80g/cm <sup>2</sup> ;
	Porosidade: 3 micras.
Volume do teste	5 ml
Número de sementes	10
Número de réplicas	3
Controle	Água destilada
Temperatura de incubação	20°C ± 2
Luz	Não
Duração do teste	48 horas

Fonte: Karina Alves Máximo (2018)

Após as 48 horas, registrou-se o número de sementes germinadas (NSG) em cada placa de Petri e efetuou-se a medição do comprimento das raízes das sementes germinadas (LR) com auxílio de um paquímetro (Figura 4.29). As sementes consideradas germinadas foram aquelas que apresentarem raiz primária  $\geq 5\text{mm}$  (TIQUIA, 2010). Esses dados permitiram calcular a porcentagem relativa de germinação (RSG), através da equação 4.3, a porcentagem relativa do comprimento das raízes (RRG), através da equação 4.4 e o índice de germinação (GI), através da equação 4.5.

Figura 4.29 – Teste de germinação com *lactuca sativa* após 48 horas de incubação



Onde: 01: Réplicas dos controles (branco) com água destilada; 02: Réplicas dos extratos aquosos de composto orgânico

Fonte: Karina Alves Máximo (2017)

Equação 4.3 – Porcentagem relativa de germinação

$$RSG (\%) = \frac{NSG_{\text{extrato aquoso}}}{NSG_{\text{controle}}} \times 100$$

Onde

RSG = Porcentagem relativa de germinação

NSG = Número de sementes germinadas  $\geq 5\text{mm}$

Fonte: Adaptado de Tiquia (2010).

Equação 4.4 – Porcentagem relativa do comprimento das raízes

$$RRG (\%) = \frac{\text{Média } LR_{\text{extrato aquoso}}}{\text{Média } LR_{\text{controle}}} \times 100$$

Onde

RRG = Porcentagem relativa do comprimento das raízes

LR = Comprimento das raízes

Fonte: Adaptado Tiquia (2010).

Equação 4.5 – Índice de germinação

$GI = \frac{RSG \times RRG}{100}$
<p>Onde</p> <p>GI = Índice de Germinação</p>

Fonte: Adaptado de Tiquia (2010).

No presente trabalho considerou-se a classificação do GI proposta por Trautmann e Krasny (1997), conforme demonstrado na Tabela 3.6 da seção 3.6, onde um  $GI \geq 80\%$  indica que o composto está livre de fitotoxinas.

#### 4.11 Estratégias e procedimentos estatísticos

Para descrever as variáveis quantitativas do estudo foram utilizadas medidas de tendência central, dispersão e posição.

Para verificar o efeito dos dias de compostagem e do tipo de tratamento sobre a temperatura de forma multivariada foi utilizada uma regressão linear com erros padrões robustos para a matriz de covariância dos coeficientes estimados (WHITE, 1980).

Em alguns modelos é comum encontrar problemas de heterocedasticidade dos dados, o que faz com que as suposições do modelo de regressão linear sejam violadas. Essa violação faz com que os erros-padrões não sejam estimados corretamente, o que gera estimativas inconsistentes no modelo. Quando isso ocorre, é necessário utilizar estimadores robustos para a matriz de covariância para que as estimativas sejam consistentes. Nos últimos anos, muitos métodos para heterocedasticidade consistente (HC) foram sugeridos na literatura, o que fez com que eles se tornassem populares agora (WHITE, 1980).

A verificação da distribuição de normalidade dos dados foi realizada através do teste de Shapiro Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965), confirmando que os dados não atendem aos pressupostos da distribuição normal (WHITE, 1980).

Para comparar as variáveis quantitativas do estudo entre os tratamentos e os dias de compostagem foram utilizados os testes U de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis (HOLLANDER; WOLFE; CHICKEN, 1999), que é uma generalização do teste U de Mann-Whitney para quando se tem mais que dois grupos. Assim, suas hipóteses são apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Hipóteses usadas para os testes estatísticos

Teste U de Mann-Whitney	Teste de Kruskal-Wallis
H <sub>0</sub> : Não existe diferença entre os dois grupos.	H <sub>0</sub> : Não existe diferença entre os “n” grupos.
H <sub>1</sub> : Existe diferença entre os dois grupos.	H <sub>1</sub> : Existe pelo menos uma diferença entre os “n” grupos.

**Nota:** “n” é a quantidade de hipotética de grupos.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Os testes não-paramétricos realizados neste estudo permitiram avaliar os resultados dos dois tratamentos, comparando os seus valores medianos, utilizando  $\alpha = 0,05$ . A realização desta análise permite obter um valor de  $p$  para um nível de significância pretendido,  $\alpha$ . Neste trabalho considerou-se um nível de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ). Quando o valor de  $p$  obtido é superior a  $\alpha$ , aceita-se a hipótese nula ( $H_0$ ) e conclui-se (neste caso com 95% de confiança) que os tratamentos são semelhantes. Pelo contrário, se o valor de  $p$  obtido for inferior a  $\alpha$ , significa que os tratamentos são estatisticamente diferentes.

O valor-p é uma estatística utilizada para sintetizar o resultado de um teste de hipóteses, sendo definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, assumindo como verdadeira a hipótese nula. Como geralmente define-se o nível de significância em 5%, uma valor-p menor que 0,05, gera evidências para rejeição da hipótese nula do teste (HOLLANDER; WOLFE; CHICKEN, 1999).

O software utilizado nas análises dos dados foi o R (versão 3.5.0).

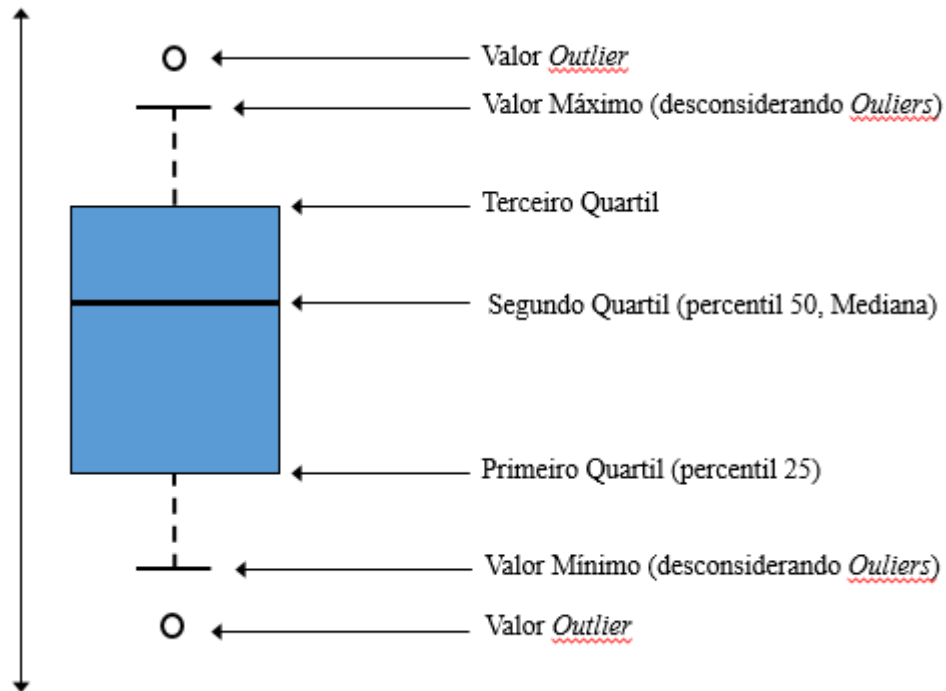
#### 4.11.1 Análise de gráfico *boxplot*

Para auxiliar a análise dos resultados, algumas observações efetuadas foram representadas em diagramas de caixa-e-bigodes (*boxplot*), as quais são muito úteis em comparações gráficas entre conjuntos de dados, pois permite visualizar a distribuição e valores discrepantes (*outliers*), fornecendo assim um meio complementar para desenvolver uma perspectiva sobre o caráter dos dados (MONTGOMERY, 2009).

O gráfico *boxplot* deve ser analisado conforme é demonstrado na Figura 4.30. Onde a haste vertical começa (de baixo para cima) indica o mínimo (excetuando algum possível valor extremo ou *outlier*) e, onde a haste termina indica o máximo (também excetuando algum possível *outlier*). O retângulo no meio dessa haste possui três linhas horizontais: a linha de baixo, que é o próprio contorno externo inferior do retângulo, indica o primeiro quartil. A de

cima, que também é o próprio contorno externo superior do retângulo, indica o terceiro quartil. A linha interna indica o segundo quartil ou mediana. Os pontos indicam os valores discrepantes, extremos ou *outliers* (MONTGOMERY, 2009).

Figura 4.30 – Como interpretar um gráfico *boxplot*.



Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Temperatura

A evolução da temperatura na compostagem é reflexo da atividade metabólica dos microrganismos, e por isso é considerada o fator mais indicativo do equilíbrio biológico e da eficiência do processo (KIEHL, 1985).

Na Tabela 5.1 é apresentada a análise descritiva da variável temperatura onde verifica-se que no tratamento A, a temperatura média foi de 42,72°C com um desvio padrão de 12,10°C, variando de 20,30 a 62,00°C. No tratamento B, a temperatura média foi de 48,66°C com um desvio padrão de 11,77°C, variando de 20,10 a 64,90°C.

Tabela 5.1 – Análise descritiva da variável temperatura

Variável	Tratamento	N	Média	D.P.	Min.	Q1	Q2	Q3	Máx.
Temperatura °C	A	105	42,72	12,10	20,30	32,10	42,20	54,90	62,00
	B	80	48,66	11,77	20,10	41,05	54,35	57,30	64,90

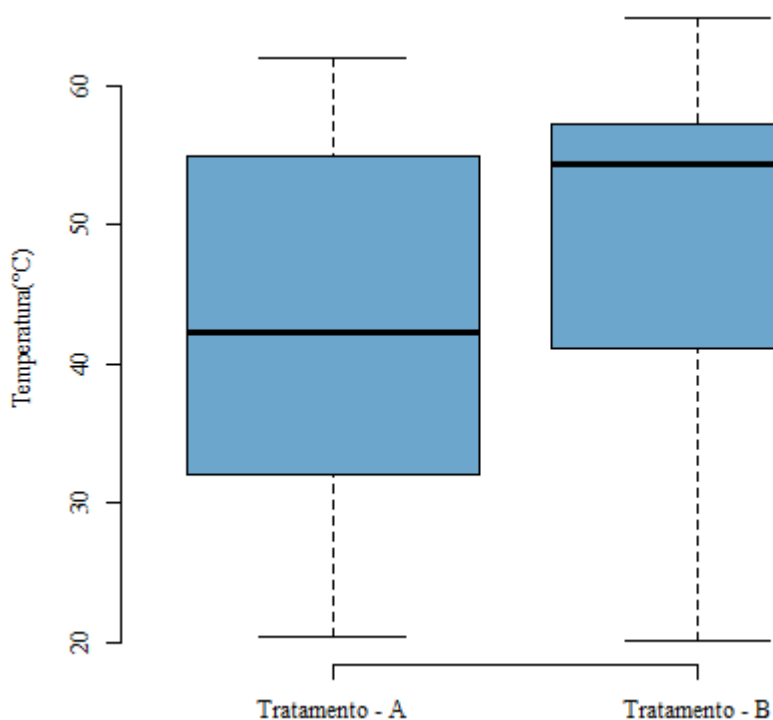
**Notas:** N é o número de amostras e corresponde nas observações das 5 repetições de cada tratamento, sendo 4 coletas para o tratamento A e 3 coletas para o tratamento B.

D.P. é o desvio padrão; Q1 é o 1º quartil; Q2 é o 2º quartil (mediana); Q3 é o 3º quartil.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.1 é apresentado um gráfico boxplot comparando a temperatura nos dois tratamentos, onde é possível evidenciar a forte assimetria positiva na distribuição das leiras do tratamento B e que as temperaturas médias e medianas foram superiores às leiras do tratamento A. Tal fato, fornece evidências de que o inóculo de microrganismos proporcionou maior atividade biológica ao tratamento B, resultando em maior aquecimento da massa de resíduos. Além disso, percebe-se que a variabilidade da temperatura das amostras do tratamento A foi um pouco superior à variabilidade das amostras do tratamento B.

Figura 5.1 – Comparação da temperatura entre os tratamentos



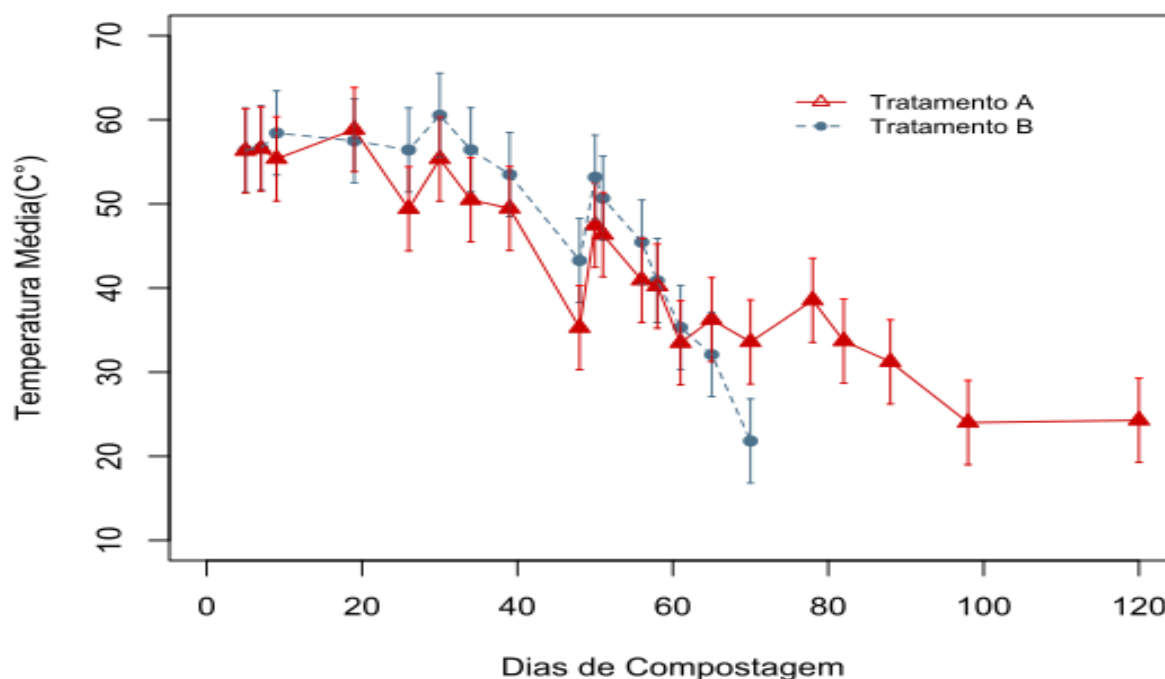
Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.2 é apresentado o comportamento da temperatura no interior das leiras dos dois tratamentos ao longo do processo de compostagem. Ambos os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes ao relatado por Kiehl (1985), Kiehl (2001) e Pereira Neto (2007), onde na fase de degradação ativa predominam temperaturas termófilas, na fase de maturação predominam temperaturas mesófilas e quando ocorre a completa cura do composto a temperatura se estabiliza a valores próximos à temperatura ambiente.

O fato da umidade inicial da massa de resíduos (66,8%) estar ligeiramente acima do limite de 65% recomendado como ótimo por Fernandes e Silva (1999), não foi impeditivo para o bom desempenho do processo, pois os dois tratamentos apresentaram temperaturas termófilas ( $> 45^{\circ}\text{C}$ ) logo nos primeiros dias de compostagem, indicando que o *blend* de resíduos apresentou condições satisfatórias para o equilíbrio biológico, pois do contrário a massa de resíduos não se aqueceria (FERNANDES; SILVA, 1999).

Pode-se observar que o tratamento B apresentou temperaturas mais elevadas em quase todos os dias de compostagem, entretanto isso não influenciou no tempo de duração da fase de degradação ativa, pois em ambos os tratamentos a duração desta fase foi de aproximadamente 50 dias.

Figura 5.2 – Comportamento da temperatura ao longo do processo de compostagem



**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Resultados semelhantes foram encontrados por Van Fan *et al.* (2018), onde o tratamento com inóculo de microrganismos mostrou uma melhor capacidade de elevar a massa de resíduos a temperaturas termófilas ( $>45^{\circ}\text{C}$ ) e manteve a temperatura ligeiramente maior durante a fase de degradação ativa quando comparado com o tratamento sem o inóculo de microrganismos.

Ao final da fase de degradação ativa, após os 50 dias de compostagem ocorreu o resfriamento, caracterizado por temperaturas mesófilas, entre 30 a  $45^{\circ}\text{C}$ , indicando o início da fase de maturação nos dois tratamentos (PEREIRA NETO, 2007).

Quando a temperatura baixar ainda mais, mantendo-se próxima ou igual à ambiente significa que foi atingida a cura completa do composto, estando a matéria orgânica humificada (KIEHL, 1985). As leiras do tratamento B atingiram temperatura ambiente aos 65 dias, enquanto as leiras do tratamento A, atingiram temperatura ambiente aos 98 dias mantendo-se constante até os 120 dias.

De acordo com Kiehl (1985), pode-se estabelecer uma correlação entre a temperatura do processo de compostagem e o grau de decomposição, quando tudo correr normalmente, isto é, se a temperatura não baixar por falta de água ou por encharcamento, pode-se considerar que

após a fase termófila o composto esteja semicurado ou bio-estabilizado e, após a fase mesófila, esteja completamente curado ou humificado.

Considerando a correlação da temperatura com o grau de decomposição, pode-se supor que as leiras do tratamento B completaram a fase de maturação aos 65 dias de compostagem, quando a temperatura manteve-se próxima a ambiente.

Ainda na Figura 5.2 observa-se um decaimento brusco da temperatura no tratamento A, registrado aos 26 dias de compostagem, o que foi associado à chuva ocorrida no dia anterior, entretanto não se observou o mesmo para o tratamento B, que manteve sua temperatura quase constante. Tal fato se repetiu aos 48 dias, quando novamente foi registrado um decaimento da temperatura, também associado à chuva ocorrida no dia anterior, em ambos os tratamentos, mas, sendo menos intenso no tratamento B, fornecendo evidências de que a adição do inóculo de microrganismos pode ter proporcionado maior equilíbrio biológico tornando o tratamento B mais resistente a efeitos externos do que o tratamento A, o que também pode explicar a menor variabilidade da temperatura do tratamento B observada na Figura 5.1.

Já o resfriamento das leiras de ambos os tratamentos aos 61 dias de compostagem foi associado à baixa umidade (indicado pelo “teste da mão”, ver seção 4.10.5), o que foi corrigido através de rega com água no mesmo dia. Entretanto, nota-se que as leiras do tratamento A voltaram a se aquecer, enquanto que as leiras do tratamento B diminuíram ainda mais a temperatura, levando a compreensão de que as leiras do tratamento B haviam completado a fase de maturação, pois não voltaram a se aquecer, enquanto que as leiras do tratamento A não haviam completado a fase de maturação, pois voltaram a se aquecer.

Para confirmar a hipótese de que a inoculação de microrganismos possa ter acelerado o processo de degradação bioquímica das leiras do tratamento B, foi realizada uma análise multivariada através da equação 5.1 para as variáveis dias de compostagem e tratamento, e a interação dias de compostagem versus tratamento que exerceram influência sobre a temperatura, onde o grupo de referência, foi o tratamento A, sem adição de inóculo de microrganismos.

Equação 5.1 - Modelo de análise multivariada

$$\text{Temperatura/Tratamento A} = 59,81 - 0,33 \times \text{dias de compostagem}$$

$$\text{Temperatura/Tratamento B} = 59,81 + 5,81 - 0,10 \times \text{dias de compostagem}$$

Os dados da análise multivariada são apresentados na Tabela 5.2, onde pode-se destacar que houve influência significativa (valor-p = 0,000) do tratamento sobre a temperatura, sendo

que no tratamento A, a cada dia de compostagem que se aumenta espera-se uma redução média de -0,33 graus na temperatura. Já no tratamento B, a cada dia de compostagem que se aumenta, espera-se uma redução média de -0,43 graus na temperatura. As variáveis dias de compostagem, tratamento e a interação dos dias de compostagem versus tratamento conseguiram explicar 65,3% da variabilidade da temperatura.

Tabela 5.2 – Análise multivariada das variáveis que exerceram influência sobre a temperatura

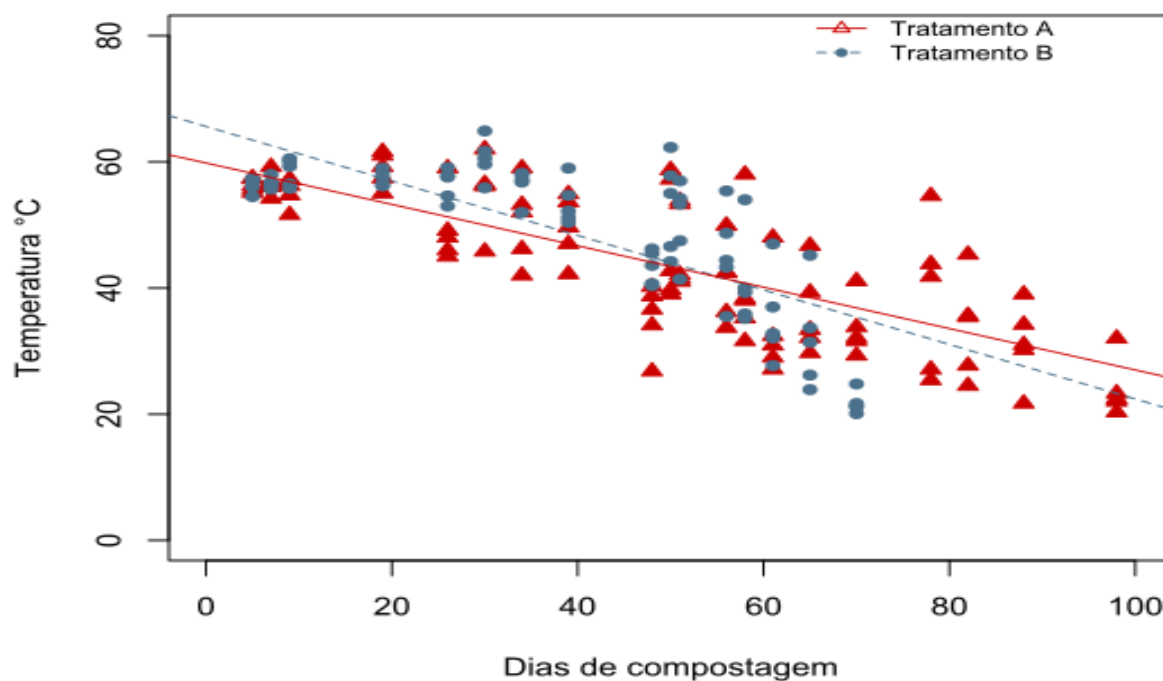
Variáveis	B	E.P.	I.C. - 95%	Valor- p
Intercepto	59,81	0,93	[57,98; 61,64]	0,000
Dias de compostagem	-0,33	0,02	[-0,36; -0,30]	0,000
Tratamento B	5,81	1,77	[2,33; 9,28]	0,001
Dias de compostagem x tratamento B	-0,10	0,05	[-0,19; -0,01]	0,026
R <sup>2</sup>	65,30%			

**Notas:**  $\beta$  é o coeficiente Beta, E.P. é o erro padrão, I.C. é o intervalo de confiança e R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.3 pode-se observar que a temperatura do tratamento B é superior ao tratamento A, o que é um indicativo de uma maior atividade microbológica, representando ao final uma aceleração do processo de degradação bioquímica com redução mais rápida da temperatura.

Figura 5.3 – Modelo das variáveis que exerceram influência na temperatura



**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

## 5.2 Resultados físicos e químicos

### 5.2.1 Análise descritiva dos resultados físicos e químicos

A Tabela 5.3 apresenta a análise estatística descritiva das variáveis quantitativas: umidade (%), carbono orgânico total (%), nitrogênio total (%), relação C/N, pH e condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que serão discutidos na sequência.

Tabela 5.3 – Descritiva das variáveis físicas e químicas

Variáveis	Trat.	N	Média	D.P	Min	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Máx
<b>Umidade (%)</b>	A	61	34,61	14,04	12,70	25,20	31,20	44,80	66,80
	B	46	35,60	12,82	16,20	25,30	31,75	45,50	66,80
<b>Carbono Orgânico Total (%)</b>	A	31	21,67	4,78	15,24	18,41	20,38	24,07	36,00
	B	16	23,86	4,30	18,19	21,07	23,65	25,79	36,00
<b>Nitrogênio Total (%)</b>	A	61	1,79	0,21	1,28	1,64	1,80	1,94	2,22
	B	46	1,85	0,19	1,31	1,75	1,82	1,99	2,15
<b>Relação C/N</b>	A	31	12,07	1,84	9,00	11,00	12,00	13,00	19,00
	B	16	12,50	1,86	11,00	12,00	12,00	13,00	19,00
<b>pH</b>	A	20	8,68	0,47	7,70	8,35	8,80	8,95	9,40
	B	15	8,97	0,45	7,80	8,90	9,00	9,20	9,60
<b>Condutividade (µS/cm)</b>	A	20	1420,15	1091,14	318,00	387,00	1204,00	2395,00	3260,00
	B	15	1685,60	1057,65	290,00	343,50	2070,00	2470,00	3040,00

**Notas:** N é o número de amostras e corresponde nas observações das 5 repetições de cada tratamento, sendo 4 coletas para o tratamento A e 3 coletas para o tratamento B.

D.P. é o desvio padrão; Q1 é o 1º quartil; Q2 é o 2º quartil (mediana); Q3 é o 3º quartil.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018)

### 5.2.1.1 Umidade

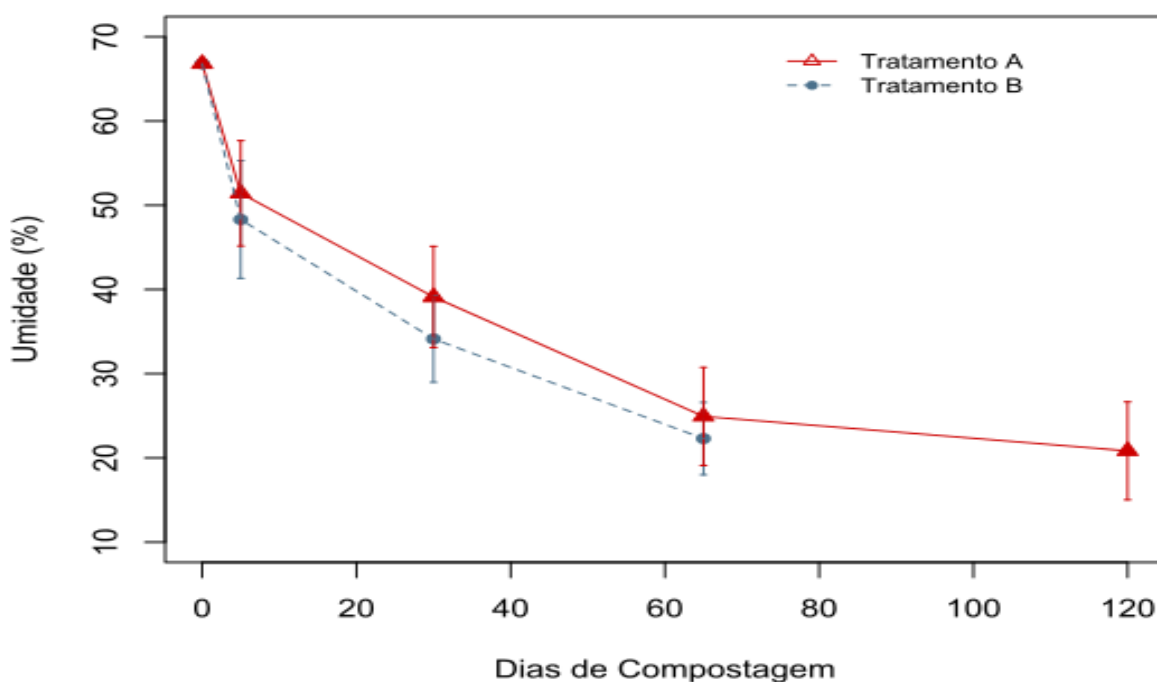
Na Figura 5.4 é apresentado a evolução da umidade nos dois tratamentos ao longo do processo de compostagem, de acordo com os resultados obtidos em laboratório. Pode-se observar que os resultados de umidade das leiras de ambos os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes, iniciando altos (acima de 65%), e decaindo ao longo do processo de compostagem até em torno de 20%. Porém, nota-se que os resultados de umidade das leiras do tratamento B apresentaram-se ligeiramente mais baixos que os das leiras do tratamento A durante o período de 65 dias, o que pode estar associado com uma maior atividade metabólica, devido a inoculação de microrganismos no tratamento B, resultando em maior aquecimento da

massa de resíduos, como consequência ocorre uma maior liberação de vapor de água (PEREIRA NETO, 2007).

No entanto, considerou-se os dados de umidade apresentados na Figura 5.4 insuficientes para demonstrar a realidade durante o processo de compostagem, pois entre os intervalos das análises ocorreram eventos como chuvas e regas com água, que provavelmente ocasionaram em picos de umidade, e não estão demonstrados no gráfico, por terem sido determinadas por método empírico (teste da mão). Essas informações e observações durante o período de monitoramento são apresentadas nos Anexos C1 e C2.

O controle da umidade pelo “teste da mão” foi importante para acompanhamento e tomada de decisão rápida, entretanto a confirmação em laboratório torna-se importante, uma vez que o controle da umidade é essencial para a atividade microbiológica e eficiência do processo de compostagem.

Figura 5.4 – Evolução da umidade na compostagem



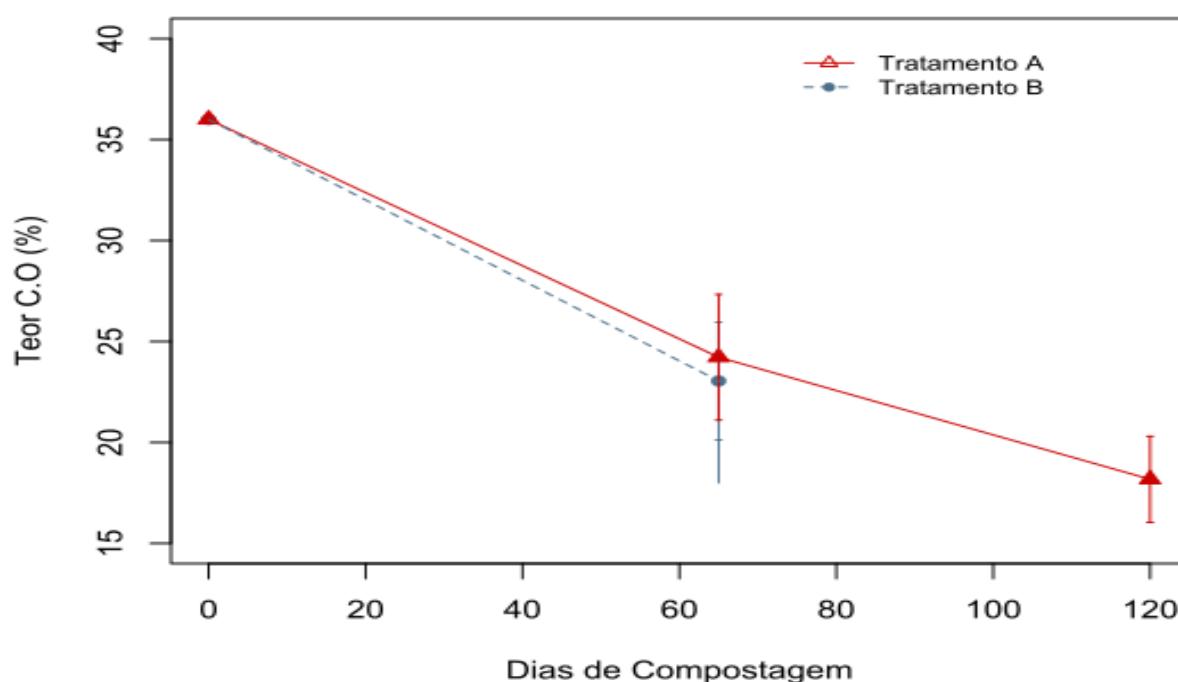
**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

### 5.2.1.2 Carbono orgânico total

Na Figura 5.5 é apresentado a evolução do carbono orgânico total ao longo do processo de compostagem, onde percebe-se o decréscimo exponencial na concentração em ambos os tratamentos, o que é inerente ao processo de compostagem, pois se deve, principalmente, à liberação de CO<sub>2</sub>, resultante da respiração dos microrganismos responsáveis pela transformação da matéria orgânica em húmus (KIEHL, 2001). O que também foi observado por Matos *et al.* (1998) e Monaco *et al.* (2013).

Figura 5.5 – Evolução do carbono orgânico total na compostagem



**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

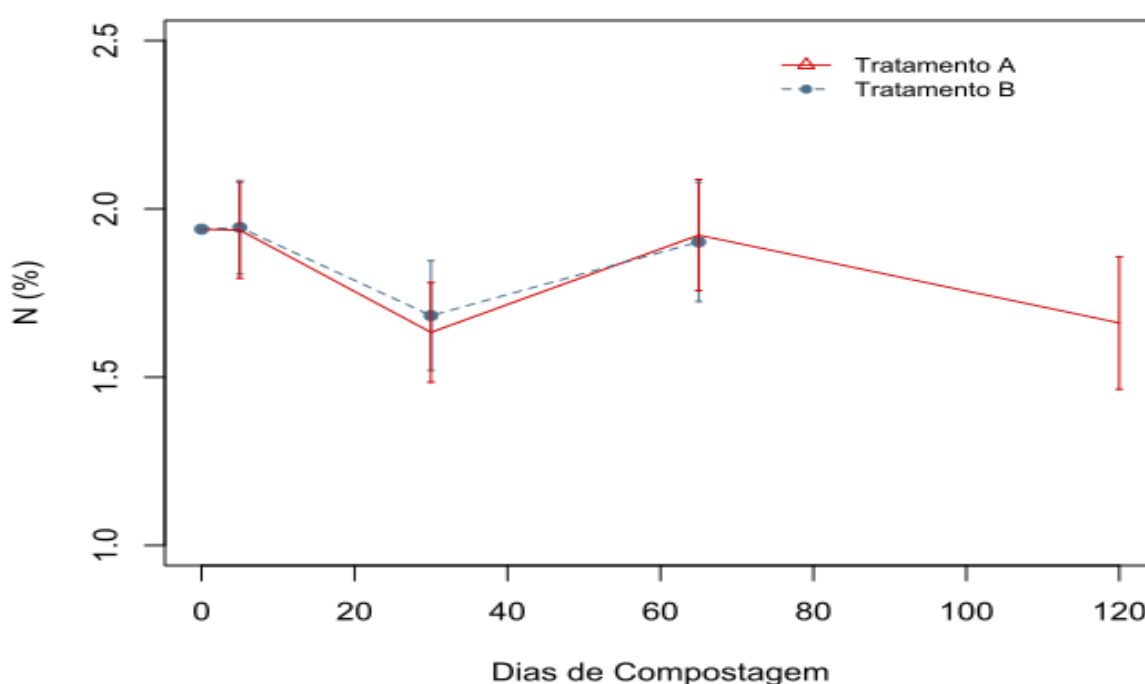
Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

### 5.2.1.3 Nitrogênio total

Na Figura 5.6 é apresentado a evolução do nitrogênio total ao longo do processo de compostagem. Ao contrário do que ocorreu em outros trabalhos, em que uma baixa relação C/N inicial implicou em grandes perdas de nitrogênio durante a compostagem em torno de 65% (MONACO *et al.*, 2013) e maior que 80% (NORD, 2014), as perdas de nitrogênio em ambos os tratamentos do presente trabalho foram dentro dos valores esperados (ver Tabela 3.3), apesar que o tratamento A teve uma perda de nitrogênio um pouco maior que o tratamento B.

De acordo com Kiehl (1985) para uma relação C/N inicial de 20 espera-se que 61,2 % do nitrogênio seja retido, apresentando-se ao final do processo em uma concentração de 1,44% (ver Tabela 3.3). Neste trabalho a relação C/N inicial foi de 19 e a porcentagem de nitrogênio retido foi de 67% para o tratamento A e 79% para o tratamento B. E a concentração final do nitrogênio foi de 1,66% para o tratamento A e 1,90% para o tratamento B, valores acima do relatado por Kiehl (1985).

Figura 5.6 – Evolução do nitrogênio total na compostagem



**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

O nitrogênio presente na matéria orgânica encontra-se principalmente, como componente das substâncias proteicas, na forma de nitrogênio orgânico. Durante a decomposição o nitrogênio passa dessa forma imobilizada, sob a ação de microrganismos, para a forma amoniacal. As perdas de nitrogênio registradas aos 30 dias de compostagem em ambos os tratamentos, podem estar associadas com as elevadas temperaturas das leiras e com o pH alcalino do meio, que favorecem a volatilização da amônia (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983; KIEHL, 1985).

Posteriormente nota-se um aumento do teor de nitrogênio, registrado aos 65 dias para ambos os tratamentos, o que pode estar associado com o processo de nitrificação onde a amônia

é oxidada às formas nítricas e novamente um decaimento com a continuidade do processo para o tratamento A, o que pode estar relacionado com o excesso de revolvimentos após a fase de degradação ativa (BRITO *et al.*, 2008).

Entretanto, para confirmar tais suposições, sugere-se para trabalhos futuros a realização de análise de nitrogênio em suas diferentes formas: orgânica, amoniacal e nítrica, o que também poderia ser um indicativo de maturação do composto, uma vez que, a presença de nitrogênio amoniacal indica que o fertilizante encontra-se, ainda, em fase de bioestabilização e a ausência de nitrogênio amoniacal e presença do nitrogênio na forma de nitrato indica que já ocorreu a mineralização do nitrogênio orgânico e o composto está humificado (KIEHL, 1985).

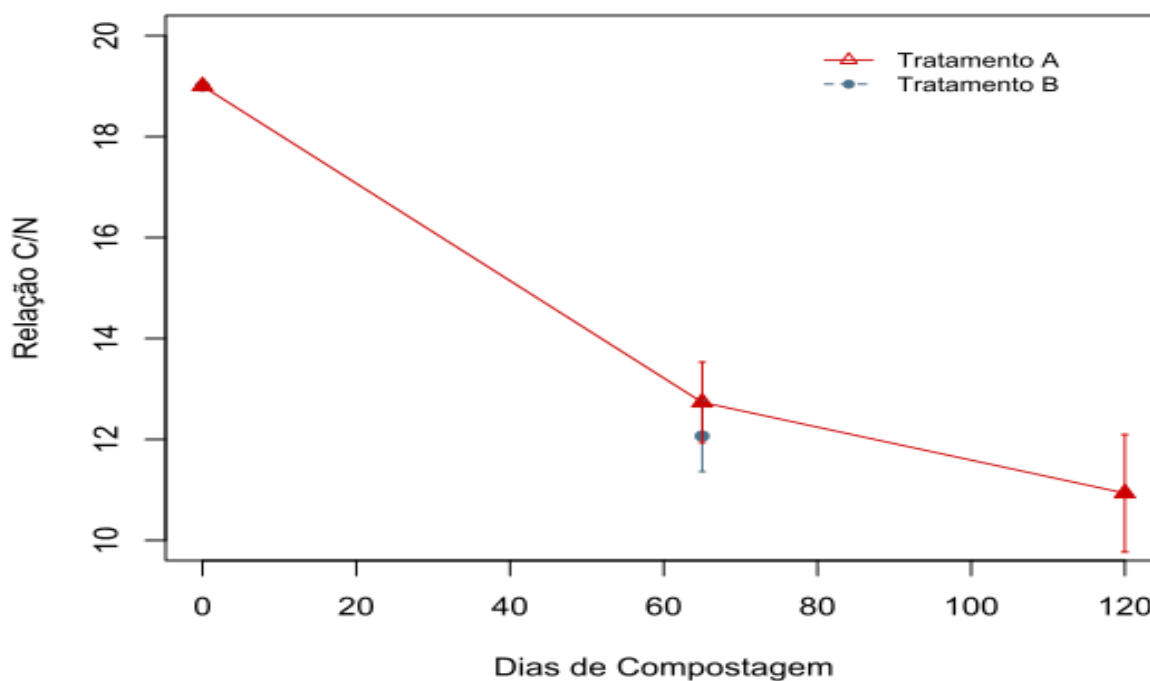
#### 5.2.1.4 Relação C/N

A relação C/N é um dos parâmetros mais importantes na determinação do grau de decomposição do composto e tem sido muito utilizada como indicador de maturação por diversos autores (MATOS *et al.*, 1998; KIEHL, 2001; BRITO, *et al.*, 2008; TIQUIA, 2010). Segundo Kiehl (2001), durante a compostagem a relação C/N decresce até tornar-se constante em torno de 10/1 a 12/1, onde nesse ponto, o composto está curado, ou convertido em húmus.

Entretanto, na opinião de Jiménez e Garcia (1989) a relação C/N do composto não pode ser usada como um indicador absoluto do estado de maturação, uma vez que a relação C/N encontrada em materiais bem compostados apresenta grande variabilidade devido, acima de tudo, ao tipo de material original.

Conforme espera-se em um processo de compostagem bem-sucedido, a relação C/N diminuiu ao longo do processo, devido a ação dos microrganismos, atingindo valores próximos a 12 aos 65 dias de compostagem em ambos os tratamentos, e próximo a 11 aos 120 dias de compostagem no tratamento A, o que pode ser observado na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Evolução da relação C/N na compostagem



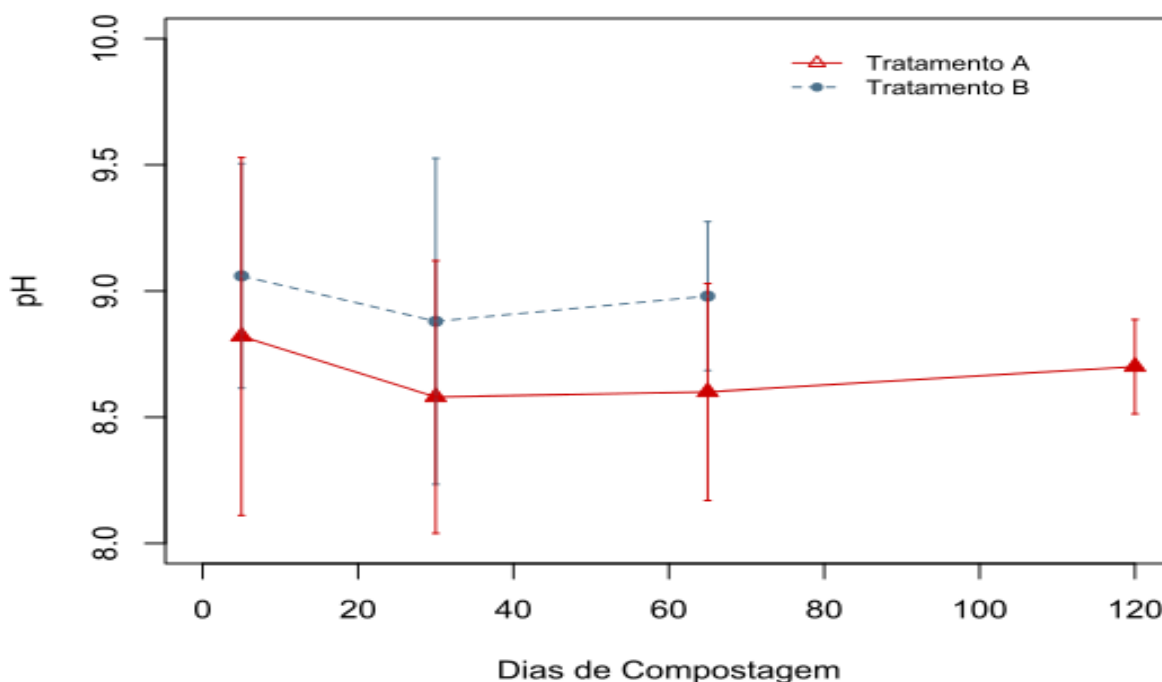
**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

### 5.2.1.5 pH

Na Figura 5.8 é apresentado o comportamento do pH ao longo do processo de compostagem. Observa-se que o pH foi sempre alcalino, mantendo-se na faixa de 8,5 a 9,1, não tendo grandes variações durante o processo, o que torna o composto um excelente condicionador do solo.

Figura 5.8 – Evolução do pH na compostagem



**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

O pH apresentou o mesmo comportamento em ambos os tratamentos, apesar de manter-se um pouco mais elevado no tratamento B. Nota-se uma queda inicial sensível, como consequência da atividade das bactérias formadoras de ácido que quebram o material carbonoso complexo em intermediários ácidos orgânicos (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983); seguida de elevação, devido à hidrólise de proteínas e liberação de amônia (FERNANDES; SILVA, 1999).

Resultados semelhantes foram encontrados por Brito *et al.* (2011), onde o pH das leiras de compostagem se mantiveram sempre alcalino com leves alterações durante o processo de compostagem, referindo que tal fato pode estar relacionado ao elevado poder tampão da matéria prima.

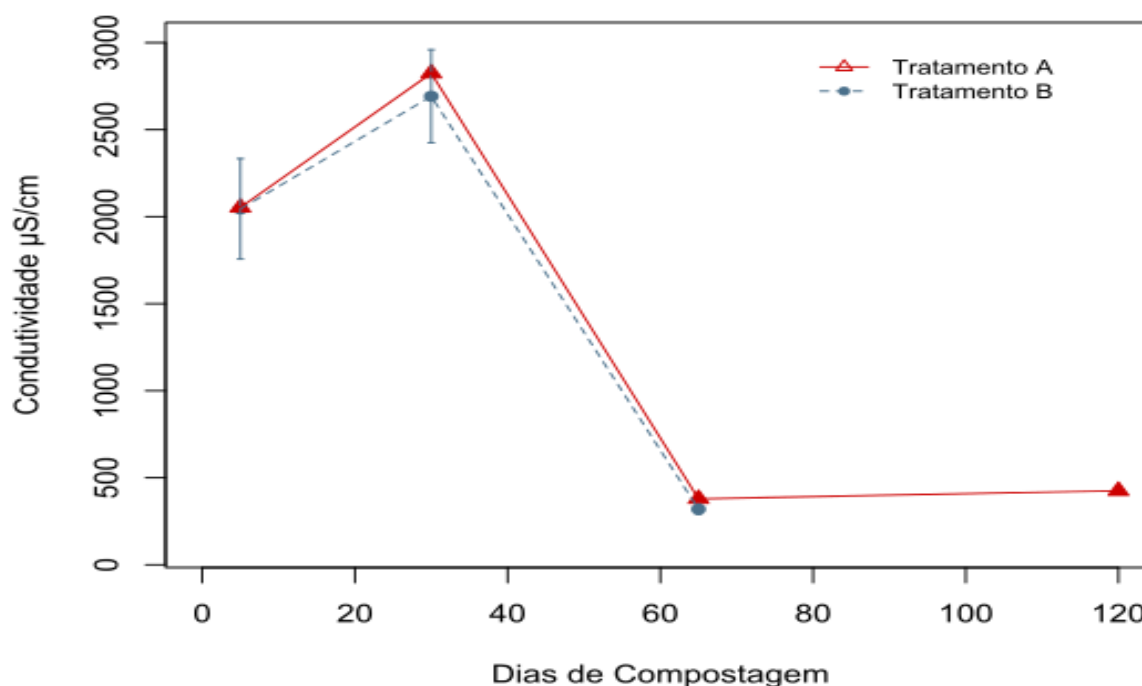
O pH depende principalmente das matérias primas utilizadas na compostagem (RASHAD; SALEH; MOSELHY, 2010) e na prática, não é muito fácil de ser alterado em uma leira de compostagem (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983). Mas, de acordo com Kiehl (1985), a matéria orgânica quando decomposta em condições aeróbias, deverá ter reação obrigatoriamente alcalina, devido aos humatos alcalinos que forma, concorrendo para elevar o

pH, e por isso este parâmetro pode fornecer uma boa informação sobre o estado de maturação do composto. No entanto, deve ser complementada por outras, como a relação C/N.

#### 5.2.1.6 Condutividade

A condutividade elétrica (CE) expressa a capacidade do meio de conduzir eletricidade sendo um indicativo da concentração de sais presentes no meio (FERMINO, *et al.*, 2010). Na Figura 5.9 é apresentada a evolução da CE ao longo do processo de compostagem, onde ambos os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento, observando-se um aumento da condutividade aos 30 dias de compostagem, que pode estar relacionado a maior concentração de sais causado pela perda de massa relacionado à oxidação da matéria orgânica e (SANCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2001) e à mineralização de nitrogênio e produção de ácidos orgânicos no início do processo (TIQUIA, 2010) e em seguida um decaimento, mantendo-se quase que constante a partir dos 65 dias.

Figura 5.9 – Evolução da condutividade elétrica na compostagem



**Nota:** Corresponde às cinco repetições de cada tratamento.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

A elevada concentração de sais pode ser fitotóxica e, por isso, a baixa condutividade eléctrica (CE) é um indicador de maturação do composto. Os compostos produzidos em ambos os tratamentos apresentaram valores de CE muito inferiores a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor referido por Soumaré *et al.* (2002) como limite para um composto ser aplicado ao solo como corretivo orgânico de forma segura.

Durante o processo de maturação do fertilizante, a fração mineral total aumenta, enquanto a condutividade eléctrica (presença de sais) diminui. O que também foi observado em experiências anteriores (BRITO *et al.*, 2008; 2010; 2011; TIQUIA, 2010; RASHAD *et al.*, 2011), podendo ser atribuído à redução de substâncias solúveis em água, à volatilização de amônia e à precipitação de sais minerais durante o processo de compostagem (RASHAD *et al.*, 2011).

### ***5.2.2 Comparação dos resultados físicos e químicos entre os tratamentos***

Na Tabela 5.4 são apresentadas as comparações das variáveis: nitrogênio total (%), umidade (%), carbono orgânico total (%), pH, condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e relação C/N entre os tratamentos.

É importante ressaltar que a distribuição dos dados não atendeu aos pressupostos da distribuição normal (valores-p para o teste de Shapiro Wilk, respectivamente: 0,095; 0,004; 0,014; 0,066; <0,001; <0,001). Dessa forma, recorreu-se aos métodos estatísticos não-paramétricos de comparações de medianas, U de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis.

O número de amostras “N” diferiu entre os tratamentos e variáveis, devido ao tratamento A ter se prolongado até os 120 dias, enquanto o tratamento B terminou o processo de compostagem aos 65 dias, portanto o número de amostras para o tratamento B são maiores. Para as variáveis de nitrogênio total, umidade e carbono orgânico total, foram realizadas 3 repetições das análises, já para pH e condutividade eléctrica não houve repetição. Os resultados de carbono orgânico total das amostras obtidas aos 5 e aos 30 dias foram descartados, pois a metodologia analítica estava incorreta, sendo consideradas apenas os resultados das amostras obtidas aos 65 e 120 dias. Os resultados brutos (sem tratamento estatístico) são apresentados no Anexo D.

Tabela 5.4 – Comparação das variáveis quantitativas entre os tratamentos

Variáveis	Trat.	N	Média	E.P	Q1	Q2	Q3	Valor-p <sup>1</sup>
<b>Nitrogênio Total (%)</b>	A	61	1,79	0,03	1,64	1,80	1,94	0,234
	B	46	1,85	0,03	1,75	1,82	1,99	
<b>Umidade (%)</b>	A	61	34,61	1,80	25,20	31,20	44,80	0,617
	B	46	35,60	1,89	25,30	31,75	45,50	
<b>Carbono Orgânico Total (%)</b>	A	31	21,67	0,86	18,41	20,38	24,07	0,113
	B	16	23,86	1,07	21,07	23,65	25,79	
<b>pH</b>	A	20	8,68	0,11	8,35	8,80	8,95	0,027*
	B	15	8,97	0,12	8,90	9,00	9,20	
<b>Condutividade</b>	A	20	1420,15	243,99	387,00	1204,00	2395,00	1,000
	B	15	1685,60	273,08	343,50	2070,00	2470,00	
<b>Relação C/N</b>	A	31	12,07	0,33	11,00	12,00	13,00	0,578
	B	16	12,50	0,47	12,00	12,00	13,00	

**Nota:** N é o número de amostras e corresponde nas observações das 5 repetições de cada tratamento. E.P. é o erro padrão; Q1 é o primeiro quartil; Q2 é o segundo quartil (mediana); Q3 é o terceiro quartil.

<sup>1</sup> representa o valor-p do teste U de Mann-Whitney.

\* representa um valor-p significativo (<0,05).

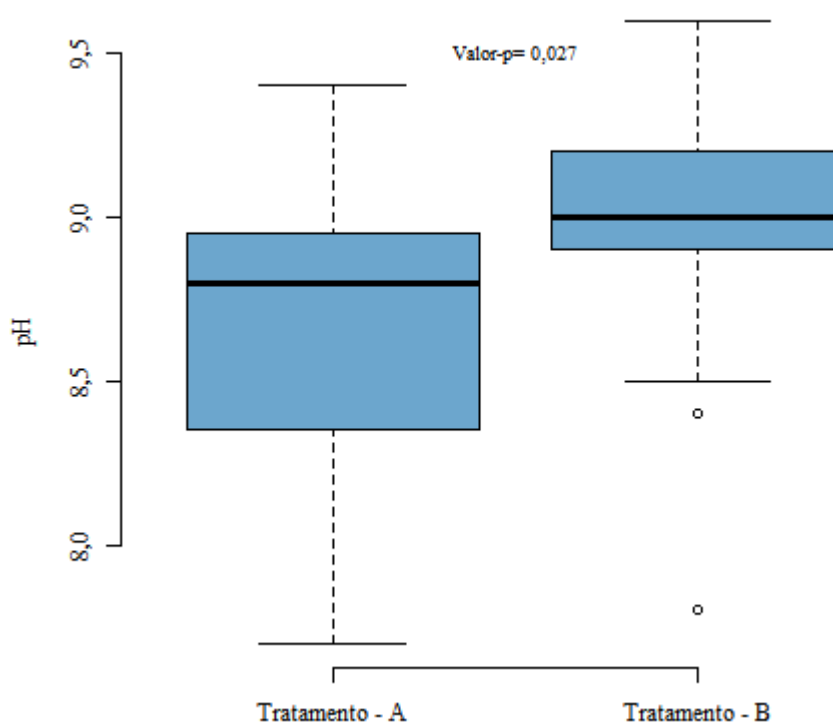
Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Pode-se observar na Tabela 5.4 que apesar da diferença significativa do pH (valor-p=0,027) entre os tratamentos, não houve diferença significativa para os parâmetros nitrogênio total (%), umidade (%), carbono orgânico total (%), condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e relação C/N. Tal fato, fornece evidências de que o tratamento B, com adição de inóculo de microrganismos produziu composto orgânico com qualidades similares ao tratamento A, mas com 55 dias a menos, no período total de compostagem.

Gregório *et al.* (2004), demonstrou que os inoculantes microbiológicos favoreceram o processo fermentativo, reduzindo o tempo de compostagem sem comprometimento das características químicas e da qualidade do produto final obtido.

Entretanto, houve diferença significativa (valor-p=0,027) do pH entre os tratamentos, sendo que o tratamento B apresentou um maior pH quando comparado ao tratamento A, conforme pode ser observado na Figura 5.10.

Figura 5.10 – Comparação do pH entre os tratamentos



Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Uma vez que ambos os tratamentos tiveram a mesma composição de matéria-prima, pode-se supor que a maior atividade biológica no tratamento B proporcionada pela adição de inóculo de microrganismos, provocou uma reação mais alcalina no meio, o que também foi observado por Nord (2014) para os tratamentos com inóculo de microrganismos. Benites *et al.* (2004) associou o pH elevado com a formação de grupos fenólicos durante o processo de biotransformação da lignina durante a compostagem.

Cabe ressaltar os benefícios de um composto com pH alcalino, pois este funciona como condicionador do solo contribuindo para correção do pH de solos ácidos e aumentando o poder tampão do solo, ou seja, sua capacidade de resistir a uma mudança brusca de pH.

### 5.3 Teste de germinação

Conforme relatado anteriormente o teste de germinação teve como objetivo avaliar o grau de maturação e a fitotoxicidade dos compostos orgânicos produzidos nos tratamentos em diferentes dias de compostagem, através do cálculo do índice de germinação (GI), sendo realizados conforme a metodologia experimental descrita na seção 4.12.

Para comparar as variáveis quantitativas relativas ao teste de germinação e verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, foram utilizados os testes U de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis (HOLLANDER; WOLFE, 1999).

Assim procedeu-se duas comparações. Sendo a primeira entre o tratamento A e B aos 65 dias de compostagem com o objetivo de verificar se as amostras do tratamento B apresentariam maior GI do que as amostras do tratamento A, devido a aplicação de inóculo de microrganismos. E a segunda comparação foi das amostras do tratamento A obtidas em diferentes tempos de compostagem, aos 65 e 120 dias, com o objetivo de verificar se o tempo de compostagem influenciaria no GI dos compostos.

Importante ressaltar que as comparações com o controle foram realizadas apenas para as variáveis NSG e LR, porque para as variáveis RSG e RRG são utilizados os valores de NSG e LR do controle como a base de cálculo, conforme pode ser observado nas equações apresentadas na seção 4.12.

#### *5.3.1 Comparação entre os tratamentos aos 65 dias de compostagem*

Na Tabela 5.5 é apresentada a comparação das variáveis do teste de germinação aos 65 dias de compostagem entre os tratamentos A e B e controle. Podendo ser observado que não houve diferença significativa para LR e GI entre os tratamentos, no entanto, houve diferença significativa para NSG (valor-p=0,009), RSG (valor-p=0,002) e RRG (valor-p=0,000) entre os tratamentos.

Tabela 5.5 – Comparação das variáveis numéricas do teste de germinação entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem

Variáveis	Trat.	N	Média	E.P	Q1	Q2	Q3	Valor-P
NSG	A	150	8,27	0,09	7,00	9,00	9,00	0,009 <sup>1*</sup>
	B	150	8,73	0,07	8,00	9,00	9,00	
	Controle	30	8,67	0,09	8,00	9,00	9,00	
LR (cm)	A	150	0,81	0,03	0,70	0,90	1,10	0,127 <sup>1</sup>
	B	150	0,81	0,03	0,70	0,90	1,00	
	Controle	30	0,92	0,07	0,70	1,05	1,20	
RSG (%)	A	150	95,47	1,06	81,00	104,00	104,00	0,002 <sup>2*</sup>
	B	150	100,67	0,80	92,00	104,00	104,00	
RRG (%)	A	150	93,87	0,58	88,00	96,00	99,00	0,000 <sup>2*</sup>
	B	150	87,07	0,86	78,00	84,00	99,00	
GI (%)	A	150	89,20	0,96	79,00	91,00	96,00	0,505 <sup>2</sup>
	B	150	88,20	1,36	73,00	82,00	104,00	

**Nota:** LR é o comprimento médio das raízes; NSG é o número de sementes germinadas; RSG é a porcentagem relativa de germinação; RRG é porcentagem relativa do comprimento das raízes; GI é o índice de germinação; N é o número das amostras; E.P. é o erro padrão; Q1 é o primeiro quartil; Q2 é o segundo quartil (mediana); Q3 é o terceiro quartil.

<sup>1</sup> representa o valor-p do Teste de Kruskal-Wallis.

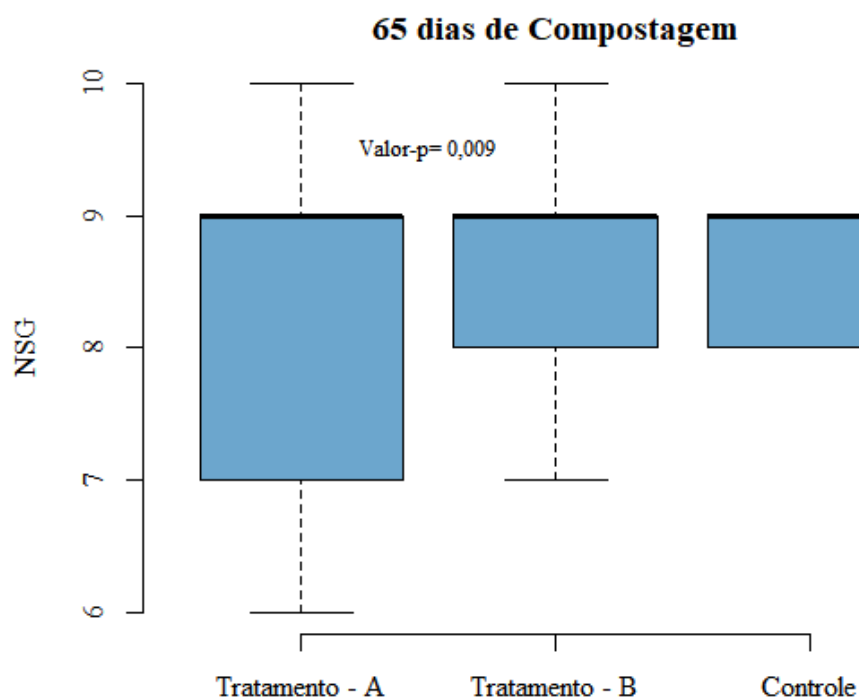
<sup>2</sup> representa o valor-p do teste U de Mann-Whitney.

\* representa um valor-p significativo.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.11 é apresentada a comparação do NSG entre os tratamentos A e B e controle aos 65 dias de compostagem. Apesar de apresentarem diferença significativa (valor-p=0,009), observa-se que ambos os tratamentos apresentaram medianas idênticas ao controle, sendo 9 sementes germinadas por placa, e que o tratamento B apresentou NSG relativamente maior que o tratamento A e controle.

Figura 5.11 – Comparação do NSG entre os tratamentos A e B e controle aos 65 dias de compostagem

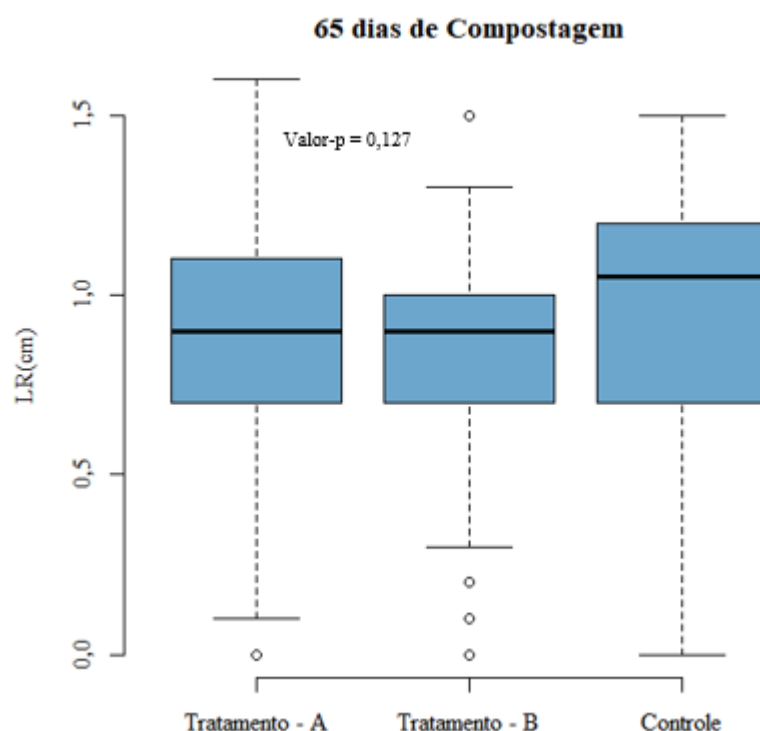


**Notas:** NSG é o número de sementes germinadas.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.12 é apresentada a comparação do LR entre os tratamentos A e B e controle aos 65 dias de compostagem. Podendo observar que os tratamentos e controle foram estatisticamente iguais (valor-p > 0,05). Sendo que os tratamentos A e B apresentaram valores medianos para LR idênticos (0,90 cm), entretanto o controle foi o que apresentou o maior LR.

Figura 5.12 – Comparação do LR entre os tratamentos A e B e o controle aos 65 dias de compostagem



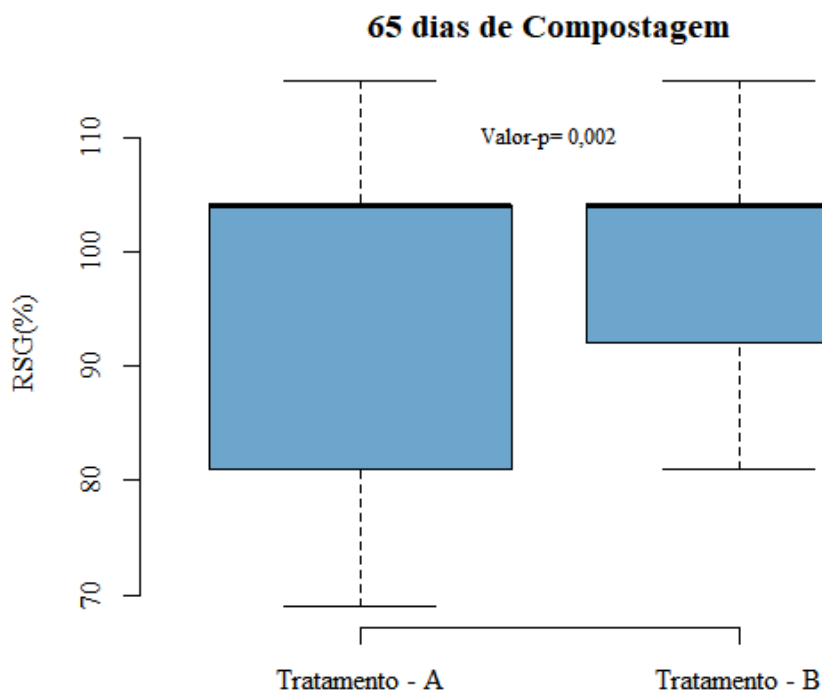
**Notas:** LR é o comprimento das raízes.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.13 é apresentada a comparação da RSG entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem. Podendo observar que ambos os tratamentos apresentaram uma alta porcentagem de germinação, mas o tratamento B apresentou maior RSG que o tratamento A, sendo todos os valores maiores que 80%.

Apesar da RSG entre os tratamentos ser estatisticamente diferente ( $\text{valor-p} < 0,05$ ), os valores medianos foram idênticos e maiores que 100%, o que indica que os compostos produzidos nos tratamentos A e B favoreceram a germinação das sementes em relação ao controle.

Figura 5.13 – Comparação da RSG entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem



**Notas:** RSG é a porcentagem relativa de germinação das sementes.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

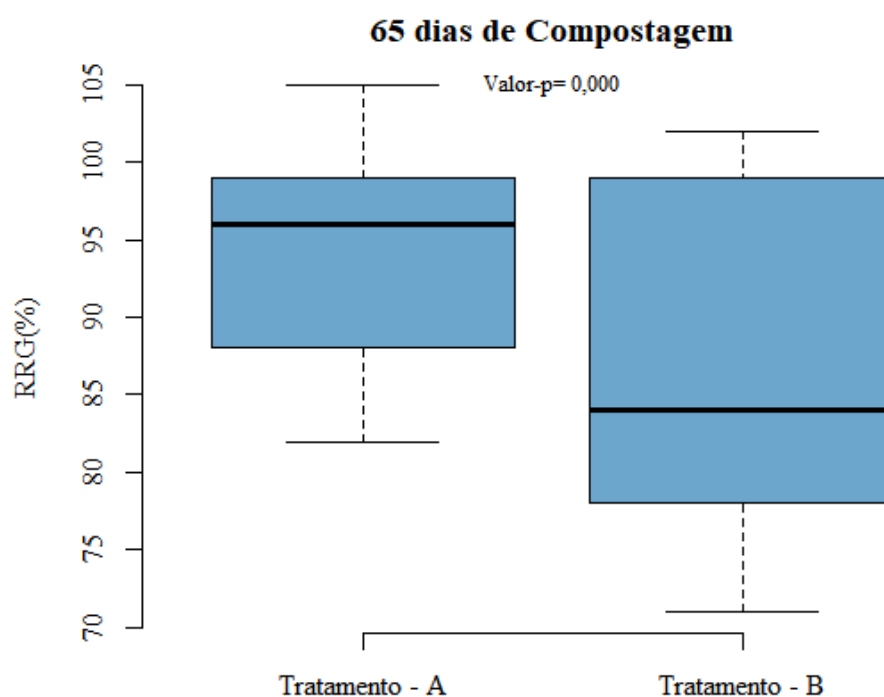
Na Figura 5.14 é apresentada a comparação da RRG entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem, podendo observar que a RRG entre os tratamentos foi estatisticamente diferente (valor-p < 0,05) e que os valores medianos foram diferentes sendo que o tratamento A apresentou maior RRG que o tratamento B, com todos os valores maiores que 80%.

Devido ao tratamento B ter apresentando RSG maior que o tratamento A, esperava-se que ocorresse o mesmo com o RRG. No entanto, os tratamentos apresentaram resultados de RSG e RRG inversamente proporcionais, sendo que o tratamento B apresentou maior RSG que o A, e o tratamento A apresentou maior RRG que o B. Estes resultados podem ser consequência de vários fatores, e podem variar dependendo do estágio de desenvolvimento da plântula, não sendo possíveis de serem determinados pelo teste de germinação (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008).

Para trabalhos futuros, sugere-se determinar algumas substâncias potencialmente fitotóxicas, que podem estar presentes nos extratos aquosos e correlacioná-las com as variáveis do teste de germinação (RSG, RRG e GI). Seria interessante determinar a concentração de nitrogênio presente nos extratos aquosos nas suas diferentes formas (orgânica, nítrica e amoniacal), pois é o nutriente que mais interfere no crescimento vegetativo da alface (SHER, 1975).

Em sua forma nítrica é um nutriente limitante para o crescimento, Castro e Ferraz Júnior (1998) e Alvarenga *et al.* (2000) observaram que a ausência de nitrato reduziu o crescimento e a produção de massa seca de alface. Por outro lado, Tiquia e Tam (1998); Tiquia (2010) e Gao *et al.* (2010) reportaram a amônia como sendo a principal causa da fitotoxicidade observada em testes de germinação.

Figura 5.14 – Comparação da RRG entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem

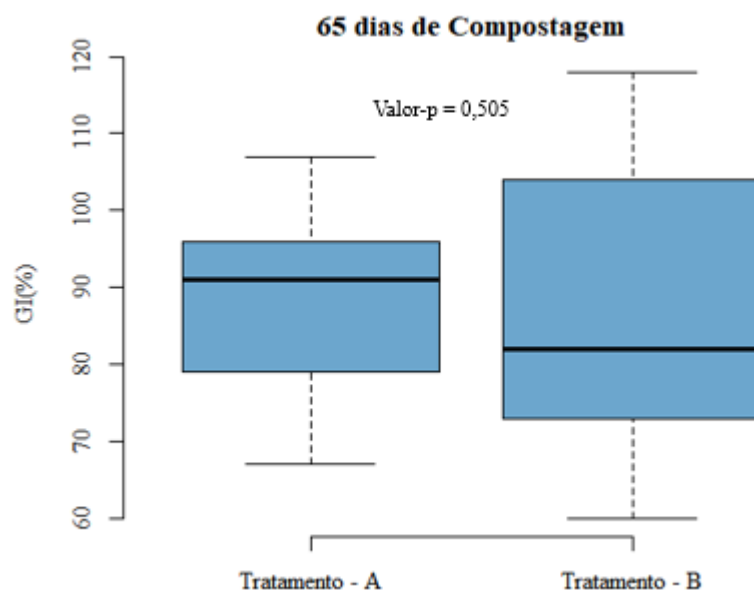


**Notas** RRG é a porcentagem relativa do comprimento das raízes.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.15 é apresentada a comparação do GI entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem. Podendo observar que os tratamentos foram estatisticamente iguais (valor-p > 0,05), apresentando valores de GI médios de 89,20% no tratamento A e 88,20 % no tratamento B, indicando o desaparecimento da fitotoxicidade (TIQUIA; TAM; HODGKISS, 1996; TRAUTMANN; KRASNY,1997; TIQUIA; TAM, 1998; TIQUIA *et al.*, 2010).

Figura 5.15 – Comparação do GI entre os tratamentos A e B aos 65 dias de compostagem



**Notas** GI é o índice de germinação.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

### 5.3.2 Comparação do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem

Na Tabela 5.6 é apresentada a comparação das variáveis do teste de germinação para o tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem. Podendo ser observado que houve diferença significativa para NSG (valor-p=0,000), RSG (valor-p=0,000), LR (valor-p=0,000), RRG (valor-p=0,000) e GI (valor-p=0,000) entre os dias de compostagem. Sendo que aos 120 dias de compostagem todas as variáveis foram maiores que aos 65 dias.

Tabela 5.6 – Comparação das variáveis numéricas do teste de germinação no tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem

Variáveis	Trat.	N	Média	E.P	Q1	Q2	Q3	Valor-P
NSG	120	150	9,27	0,06	9,00	9,00	10,00	0,000 <sup>1*</sup>
	65	150	8,27	0,09	7,00	9,00	9,00	
	Controle	30	8,67	0,09	8,00	9,00	9,00	
LR (cm)	120	150	1,03	0,03	0,90	1,10	1,20	0,000 <sup>1*</sup>
	65	150	0,81	0,03	0,70	0,90	1,10	
	Controle	30	0,92	0,07	0,70	1,05	1,20	
RSG (%)	120	150	106,73	0,72	104,00	104,00	115,00	0,000 <sup>2*</sup>
	65	150	95,47	1,06	81,00	104,00	104,00	
RRG (%)	120	150	107,47	1,20	100,00	110,00	117,00	0,000 <sup>2*</sup>
	65	150	93,87	0,58	88,00	96,00	99,00	
GI (%)	120	150	114,60	1,32	104,00	114,00	130,00	0,000 <sup>2*</sup>
	65	150	89,20	0,96	79,00	91,00	96,00	

LR é o comprimento médio das raízes; NSG é o número de sementes germinadas; RSG é a porcentagem relativa de germinação; RRG é porcentagem relativa do comprimento das raízes; GI é o índice de germinação; N é o número das amostras; E.P. é o erro padrão; Q1 é o primeiro quartil; Q2 é o segundo quartil (mediana); Q3 é o terceiro quartil.

<sup>1</sup> representa o valor-p do Teste de Kruskal-Wallis.

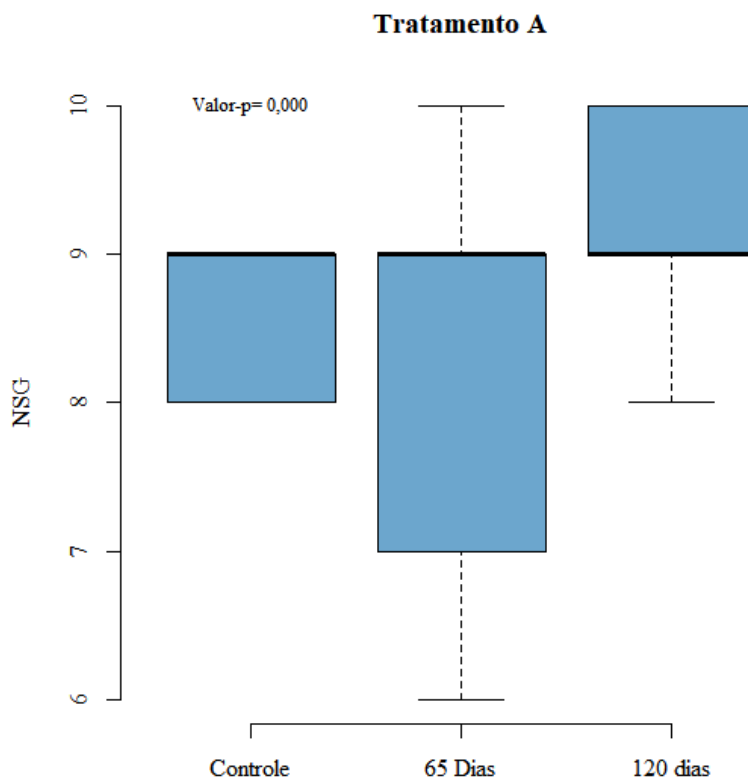
<sup>2</sup> representa o valor-p do teste U de Mann-Whitney.

\* representa um valor-p significativo.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.16 é apresentada a comparação do NSG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem. Podendo observar que a o tempo de compostagem influenciou positivamente na germinação das sementes, pois a média do NSG aos 120 dias foi maior que aos 65 dias e controle.

Figura 5.16 – Comparação do NSG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem

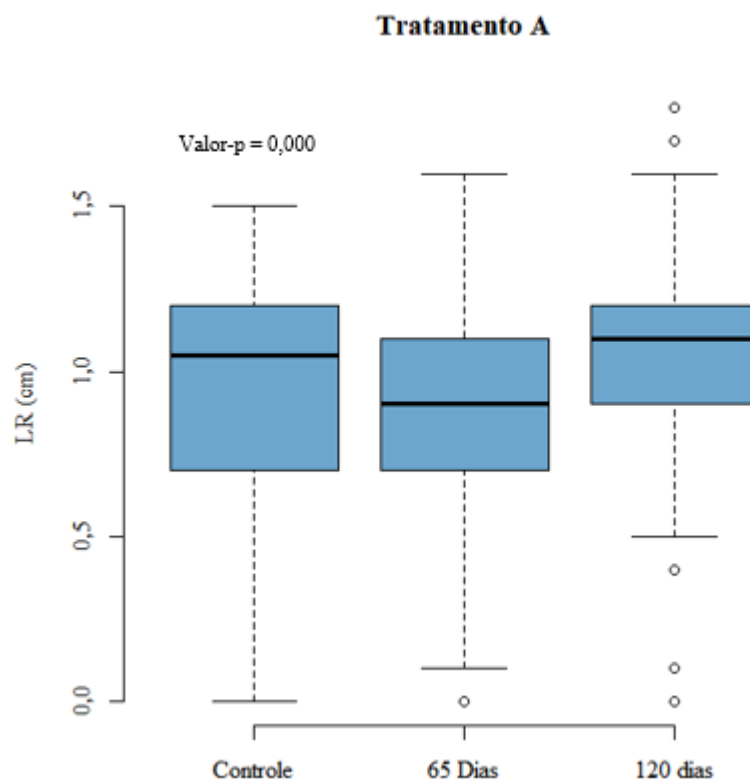


**Notas** NSG é o número de sementes germinadas.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.17 é apresentada a comparação do LR do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem. Podendo observar que a o tempo de compostagem influenciou positivamente no comprimento das raízes, pois a média do LR aos 120 dias foi maior que aos 65 dias e controle.

Figura 5.17 – Comparação do LR do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem

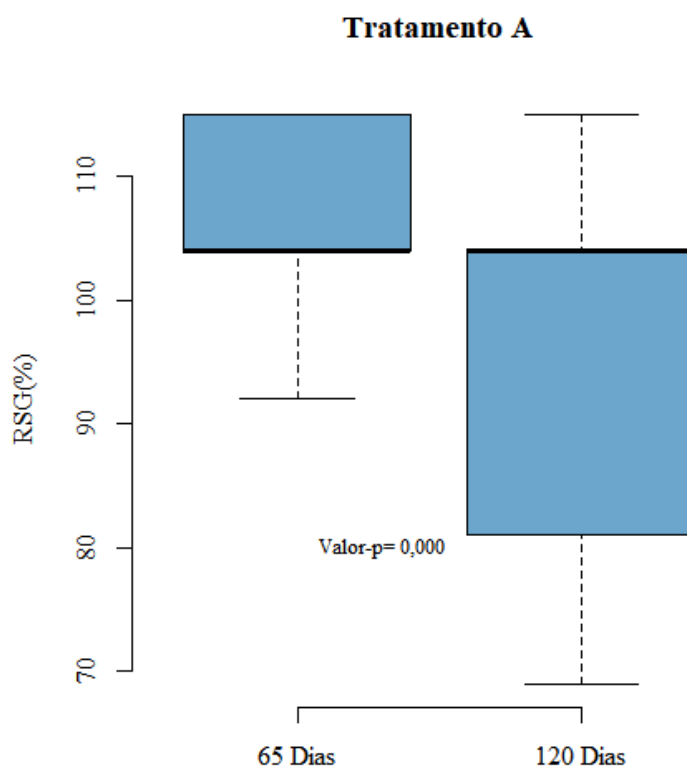


**Nota:** LR é o comprimento das raízes

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.18 é apresentada a comparação da RSG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem. Podendo observar que a amostra de composto obtida aos 120 dias de compostagem potenciou a germinação das sementes, pois a RSG média foi  $> 100\%$ .

Figura 5.18 – Comparação da RSG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem

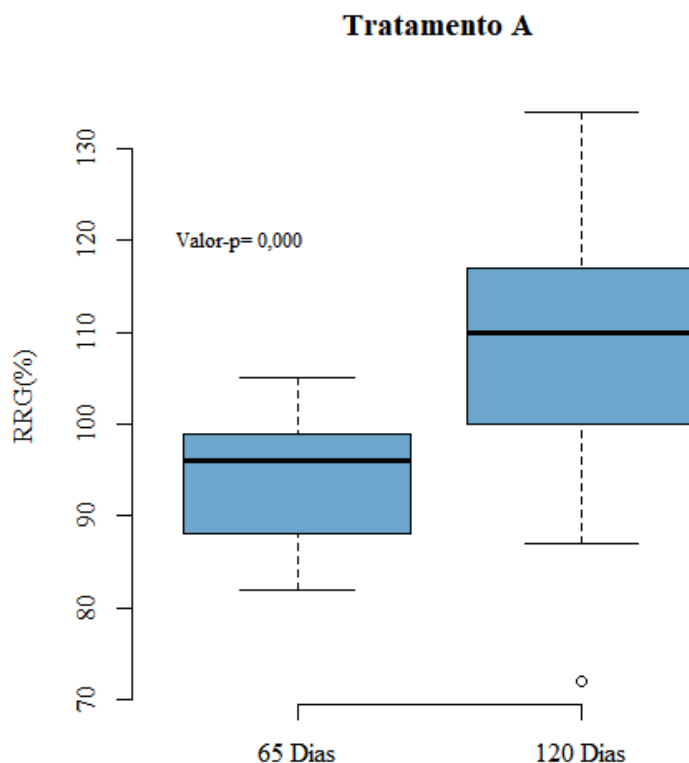


**Nota:** RSG é a porcentagem relativa de germinação.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

Na Figura 5.19 é apresentada a comparação da RRG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem. Podendo observar que a amostra de composto obtida aos 120 dias de compostagem potenciou o crescimento das raízes, pois a RRG média foi  $> 100\%$ .

Figura 5.19 – Comparação da RRG do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem



**Nota** RRG é a porcentagem relativa do comprimento das raízes.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018)

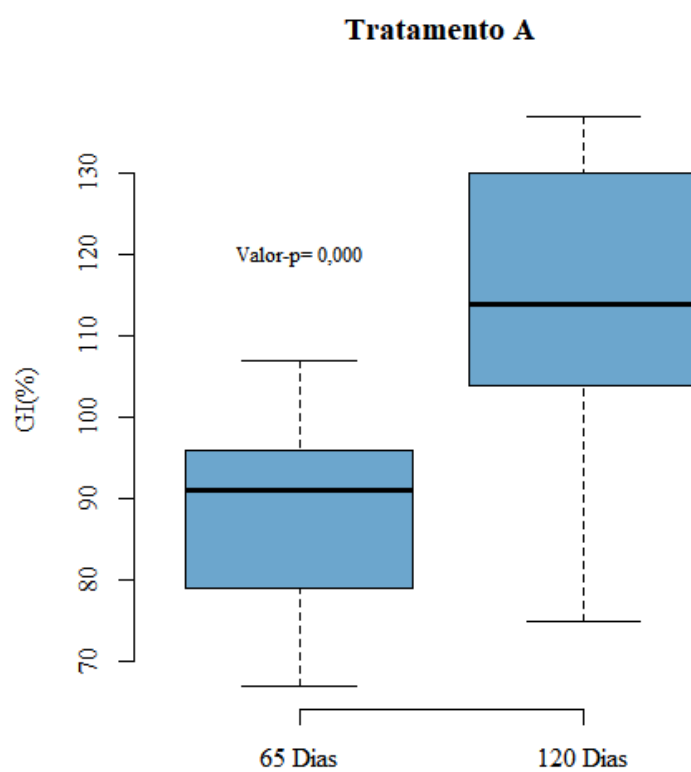
Na Figura 5.20 é apresentada a comparação do GI do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem.

Podendo observar que, apesar do composto aos 65 dias de compostagem ter apresentado o seu GI médio  $> 80\%$ , e portanto sendo considerado livre de fitotoxicidade, o composto aos 120 dias de compostagem demonstrou potencializar a germinação das sementes e o crescimento das raízes, pois, o seu GI médio foi  $> 100\%$ .

Tal fato corrobora com o experimento realizado por Tiquia (2010) que constatou o desaparecimento da fitotoxicidade aos 56 dias de compostagem, mas observou que os índices de germinação (GI) obtidos para cada leira aumentavam à medida que a compostagem prosseguia, demonstrando claramente uma tendência de diminuição da fitotoxicidade com o tempo de compostagem.

A toxicidade geralmente tende a aumentar na fase inicial da compostagem, devido à intensa biodegradação dos materiais facilmente decomponíveis, que liberam metabólitos tóxicos. Após a metabolização de substâncias tóxicas, a fitotoxicidade decresce até desaparecer completamente ao final do processo (BATISTA; BATISTA, 2007).

Figura 5.20 – Comparação do GI do tratamento A aos 65 e 120 dias de compostagem



**Nota** GI é o índice de germinação.

Fonte: Karina Alves Máximo (2018).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise multivariada de regressão linear com erros padrões robustos demonstrou que houve influência significativa (valor-p = 0,000) do inóculo de microrganismos sobre a temperatura durante todo o processo de compostagem, o que fornece evidências de uma maior atividade biológica, e por consequência uma aceleração do processo de degradação bioquímica com redução mais rápida da temperatura quando comparado ao tratamento sem adição de inóculo de microrganismos. Sendo que o tratamento com inóculo de microrganismos (B) atingiu temperaturas ambientes aos 65 dias de compostagem, enquanto o tratamento sem inóculo (A) atingiu temperaturas próximas a ambiente a partir dos 98 dias de compostagem, sendo o processo finalizado aos 120 dias.

Os testes não paramétricos U de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis demonstraram não haver diferença estatisticamente significativa para os parâmetros nitrogênio total (%), umidade (%), carbono orgânico total (%), condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e relação C/N, indicando que o tratamento B, com adição de inóculo de microrganismos produziu composto orgânico com qualidades similares ao tratamento A, porém com 46% a menos de tempo.

No entanto, houve diferença estatisticamente significativa (valor-p=0,027) do pH entre os tratamentos, sendo que o tratamento B apresentou um maior pH quando comparado ao tratamento A. Desta forma pode-se inferir que a maior atividade biológica proporcionada pela adição de inóculo de microrganismos provocou uma reação mais alcalina no meio, o que é uma característica desejável do composto para correção de acidez do solo.

Em relação ao teste de germinação, os valores de GI dos tratamentos A e B foram estatisticamente iguais e maiores que 80% aos 65 dias de compostagem, indicando de acordo com a classificação de fitotoxicidade proposta por Trautmann e Krasny (1997), que o composto está livre de substâncias fitotóxicas que possam inibir o crescimento das plantas.

Segundo a classificação da maturidade proposta por Brinton (2000) e CCQC (2001) valores de GI entre 80 e 90% indicam a maturidade do composto. Entretanto, ressalta-se que o tratamento A manteve-se com temperaturas na faixa mesófila até os 98 dias de compostagem, demonstrando portanto, que a fase de maturação não havia sido concluída aos 65 dias de compostagem.

Uma observação interessante deste trabalho foi que a associação dos fatores: baixa relação C/N, altas temperaturas e pH alcalino, não proporcionaram grandes perdas de nitrogênio conforme foi observado por outros autores (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983; KIEHL, 1985). Para trabalhos futuros sugere-se o monitoramento das diferentes formas de nitrogênio

(orgânico, amoniacal e nítrico), que possam suportar melhor esta questão, bem como a avaliação da fitotoxicidade e maturidade do composto através do teste de germinação, ao longo de todo o processo de compostagem.

Além disso, sugere-se que a análise de umidade pelo “teste da mão” seja complementada com a análise em laboratório pelo menos uma vez por semana, pois considera-se que os dados de umidade obtidos neste trabalho foram insuficientes para demonstrar as variações deste parâmetro ao longo do processo de compostagem.

Por fim, considera-se que este trabalho, apesar das limitações relatadas, contribuiu com o estado da arte apresentando um avanço em relação aos trabalhos anteriormente publicados no Brasil sobre a utilização de inóculo de microrganismos eficazes na compostagem (GREGÓRIO *et al.*, 2004; OLIVEIRA; LIMA; ALBERTI, 2013; NORD, 2014; PAREDES FILHO; FLORENTINO, 2016), demonstrando indícios de que a inoculação desses microrganismos é capaz de acelerar, e conseqüentemente reduzir o tempo total do processo de compostagem, merecendo portanto, a realização de estudos mais aprofundados em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.
- ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.391-470, 2005.
- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. **Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA**, São Paulo, 3. ed. (Boletim Técnico, 3), 1998. 35 p. Disponível em: < [http://www.anda.org.br/multimedia/boletim\\_03.pdf](http://www.anda.org.br/multimedia/boletim_03.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **IMPACTO AMBIENTAL DO USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.
- ALVARENGA, M.A.R.; SILVA, E.C., SOUZA, R.J.; CARVALHO, J.G. Efeito de doses de nitrogênio aplicadas no solo e níveis de cálcio aplicados via foliar sobre o teor e o acúmulo de micronutrientes em alface americana. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.4, p.905-916, 2000.
- APHA, AWWA, WEF, 2005. **Standard Methods, for the examination of water and wastewater**. 21. ed., American Public Health Association, Washington, D. C., 2005.
- ARAÚJO, M. J. **Fundamentos de Agronegócios**. 2ª Edição. São Paulo: Atlas S.A, 2007. 160 p.
- BALLESTEROS, L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. **Food and Bioprocess Technol**, v. 7, n. 12, p. 3493–3503, jun. 2014. Disponível em:< [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31900/1/document\\_17872\\_1.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31900/1/document_17872_1.pdf) >. Acesso em: 05. Mai. 2018.
- BATISTA, João Guilherme Ferreira; BATISTA, Edite Romana Bessa. **Compostagem: Utilização de compostos em horticultura**. Universidade dos Açores-CITA-A, 2007.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas. Vol. 23, n. 3, p. 687-694, 1999. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/172952/000299617.pdf?sequence=1>. Acesso em 20 jun. 2018

BELLAVER, C.; KONZEN, E. A. Possibilidades da compostagem acelerada. **A Granja**, n° 780, Ano 69, p 38-39, dez. 2013.

BELTRAME, K. G.; CARVALHO, F. J. P. C. Comparação de padrões de qualidade de composto orgânico entre diferentes países. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. 319 p.

BENITES, V. M. et al. Produção de adubos orgânicos a partir da compostagem dos resíduos da manutenção da área gramada do aeroporto internacional do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2004.

BERNAL, M. P. et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource technology**, v. 63, n. 1, p. 91-99, 1998.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.

BERTOLDI, M.; VALLINI, G; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, v. 1, n. 2, p. 157-176, 1983. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Giovanni\\_Vallini/publication/262637663\\_The\\_Biology\\_of\\_Composting\\_A\\_Review/links/004635384c3434645b000000/The-Biology-of-Composting-A-Review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Giovanni_Vallini/publication/262637663_The_Biology_of_Composting_A_Review/links/004635384c3434645b000000/The-Biology-of-Composting-A-Review.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

BETTER WORLD SOLUTION. 2018. **BIOPAQ® IC bioreactor for biogas production**. Disponível em: <<https://www.betterworldsolutions.eu/portfolio/biopaq-ic-bioreactor-for-biogas-production/>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

BLINOVÁ, L. *et al.* Utilization of Waste From Coffee Production. **Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology**, v. 25, n. 40, p. 91-101, 2017. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/rput.2017.25.issue-40/rput-2017-0011/rput-2017-0011.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BONFIM, F. P. G. *et al.* **Caderno dos Micro-organismos Eficientes (EM): Instruções práticas sobre o uso ecológico e social do EM**. 2. Ed. Viçosa: 2011.

BONILLA-HERMOSA, V. A.; DUARTE, W. F.; SCHWAN, R. F. (2014). Utilization of coffee by-products obtained from semi-washed process for production of value-added compounds. **Bioresour technology**, Department of Biology, Federal University of Lavras (UFLA), MG, Brasil, v. 166, p. 142-150, mai. 2014.

BRASIL, Decreto n° 8.059, de 26 de julho de 2013. Altera o Anexo ao Decreto n° 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei n° 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 29 jul. 2013b. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL, Decreto n° 8.384 de 29 de dezembro de 2014. Altera o Anexo ao Decreto n° 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei n° 6.894, de 16 de dezembro de

1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 30 dez. 2014. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Revoga o Decreto 86.955 de 18 de fevereiro de 1982. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 15 jan. 2004a. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Decreto nº 86.955, de 18 de Fevereiro de 1982. Regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº 6934, de 13 de julho de 1981, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 18 fev. 1982. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 10, de 06 de maio de 2004. Dispõe sobre a classificação e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 12 mai. 2004b. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. Aprova as definições e 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. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 08 set. 2005. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 24, de 20 de junho de 2007. Reconhece os métodos analíticos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 21 jun. 2007. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações, as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Revoga a Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 28 jul. 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 09 jun. 2006. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios em amostras oriundas do controle oficial de fertilizantes e corretivos

**Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 31 jul. 2007. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 3, de 26 de janeiro de 2015. Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios em amostras oriundas do controle oficial de fertilizantes e corretivos. Revoga a Instrução Normativa 28, de 27 de julho de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 27 jan. 2015. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013. Revoga a Instrução Normativa nº 10, de 06 de maio de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 24 out. 2013c. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 11 dez. 2013a. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 6.138, de 11 de novembro de 1974. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 11 nov. 1974. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Revoga a Lei 6.138 de 11 de novembro de 1974. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 17 dez. 1980. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 março 2018.

BRASIL. Lei nº 6.934, de 13 de julho de 1981. Altera a Lei n.º 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 15 jul. 1981. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em 10 mar. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27**. Brasília, 2017. 103 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf/view>>. Acesso em: 2 mar. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de Resíduos Orgânicos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestao-de-residuos-orgânicos>>. Acesso em: 09 de abril 2018b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília-DF, agosto de 2012. Disponível em: <[http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

BRESSANI, R. Subproductos del Fruto de Café. In: BRAHAN, J. E.; BRESSANI, R. **Pulpa de café: composición tecnología y utilización**. Panamá: INCAP, 1978. 152 p.

BRINTON, W. F. Compost quality standards and guidelines. **Final Report by Woods End Research Laboratories for the New York State Association of Recyclers**, 2000.

BRITO, L. M. et al. Compostagem da fração sólida do chorume com palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) ou tojo (*Ulex europaeus* L.). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 267-276, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2010000100028](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2010000100028)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

BRITO, L. M. *et al.* Evolução das características físico-químicas e dinâmica dos nutrientes durante a compostagem da fração sólida do chorume. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 68-79, 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2011000200007](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2011000200007)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

BRITO, L. M. *et al.* Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/1802/180214065017.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2018.

BRUM, S. S. *et al.* Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, jul. 2008. Disponível em: <<http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n5/18-AR07140.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2018.

CARVALHO, S. T.; GUERRA, M. A. S. L. **Compostagem**. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10\\_Compostagem\\_Cenibra.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_Compostagem_Cenibra.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2018.

CASTRO, S.R.P.de.; FERRAZ JUNIOR, A.S.L. Teores de nitrato nas folhas e produção de alface cultivada com diferentes fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.16, n.1, p.65-68, 1998.

CAZETTA, M. L.; CELLIGOI, M. A. P. C. Aproveitamento do melaço e vinhaça de cana-de-açúcar como substrato para produção de biomassa protéica e lipídica por leveduras e bactéria. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 26, n. 2, p. 105-112, 2005.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia técnico ambiental de abate (bovino e suíno) - série P + L**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/abate.pdf>>. Acesso em: 14. abr. 2018.

CIOTTA, M. N. *et al.* Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência rural**. Santa Maria. Vol. 33, n. 6 (nov./dez. 2003), p. 1161-1164, 2003. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/22497/000435433.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 jun. 2018

CLIMATEMPO, 2018. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/2691/papagaios-mg>>. Acesso em: 20 jun.2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Principais indicadores do setor de fertilizantes:** 2018a. Disponível em: [http://www.anda.org.br/estatistica/Principais\\_Indicadores\\_2018.pdf](http://www.anda.org.br/estatistica/Principais_Indicadores_2018.pdf). Acesso em: 11 abr. 2018.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café.** v. 5 – Safra 2018, n.1- Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-73, jan. 2018b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 05. Mai. 2018.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, 2005. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/1802/180214037013/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

COSTA, F. S. *et al.* Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência rural**, Santa Maria. Vol. 34, n. 2 (mar./abr. 2004), p. 587-589, 2004. Disponível em< <http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n2/a41v34n2>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

COSTA, M. S. S. M. et al. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 100-107, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/70891/2-s2.0-59149101941.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 5 jun. 2018.

CUNHA-QUEDA, C. et al. Caracterização de compostos e de materiais orgânicos para a formulação de substratos para viveiros. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 367-375, 2010.

DALY, M. J.; STEWART, D. P. C. Influence of “effective microorganisms”(EM) on vegetable production and carbon mineralization—a preliminary investigation. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 14, n. 2-3, p. 15-25, 1999. Disponível em: <http://www.eminfo.nl/wp-content/uploads/2013/08/Influence-of-effective-microorganisms-EM-on-vegetable-production-and-carbon.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, V. 2, p. 401-422, 2010. Disponível em: < <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/886539/filename/hal-00886539.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

DINEL, H.; SCHINITZER, M.; MEHUYS, G. R. Soil lipids: origin, nature, contend, decomposition and effect on soil physical properties. In: BOLLAG, J.; STOTZKY, G. **Soil biochemistry**, v. 6, Marcel Dekker, New York, 1990, p. 397-429.

DURÁN, C. A. A. *et al.* Café: aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida. *Revista Virtual de Química*. Rio de Janeiro, RJ. v. 9, n. 1, p. 107-134, Nov. 2016. Disponível em: . Acesso em 24 de maio de 2017.

DZUNG, N. A.; DZUNG, T. T.; KHANH, V. T. P. Evaluation of coffee husk compost for improving soil fertility and sustainable coffee production in rural central highland of Vietnam. **Resources and Environment**, v. 3, n. 4, p. 77-82, 2013. Disponível em: < <http://article.sapub.org/10.5923.j.re.20130304.03.html>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

ECHEVERRIA, M. C.; NUTI, M. Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations. **The Open Waste Management Journal**, v. 10, n. 1, 2017. Disponível em: < <https://benthamopen.com/FULLTEXT/TOWMJ-10-13>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Circular técnica 59. Aracaju, SE Dezembro, 2009. Disponível: <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2010/ct\\_59.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf)>. Acesso em 15 mar. 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **2ª ed. Rio de Janeiro**, 1997.212 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Healthy soils are the basis for healthy food production**, Rome 2015. 4 p. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk**. Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London, 2011. 285 Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Nitrogen inputs to agricultural soils from livestock manure: new statistics**. Integrated crop management. Rome, vol. 24, 2018. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/I8153EN/i8153en.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FARIA, W. S. *et al.* Transformação dos resíduos lignocelulósicos da cafeicultura em pellets para geração de energia térmica. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 137-147, mar. 2016. Disponível em:< [https://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/viewFile/1050/pdf\\_15](https://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/viewFile/1050/pdf_15) >. Acesso em: 10 mai. 2018.

FAURE, D.; DESCHAMPS, A. M. The effect of bacterial inoculation on the initiation of composting of grape pulps. **Bioresource Technology**, v. 37, n. 3, p. 235-238, 1991.

FERMINO, M. H. *et al.* Aproveitamento dos resíduos da produção de conserva de palmito como substrato para plantas. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 282-286, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/hb/v28n3/v28n3a07>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. São Paulo: PROSAB, 1999.

FERREIRA, S.; SOUZA, R. J.; GOMES, L. A. A. Produtividade de brócolis de verão com diferentes doses de bokashi. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 2, 2013.

FUCHS, J. G. Practical use of quality compost for plant health and vitality improvement. In: **Microbiology of composting**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. p. 435-444.

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. 311-400, 2008.

GAO, M., Liang F., Yu, A., Li, B., Yang, L. Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. **Chemosphere**, v. 78, n. 5, p. 614-619, 2010.

GOLUEKE, Clarence G.; DIAZ, Luis F. Biological treatment for hazardous wastes. **BioCycle: journal of waste recycling**, v. 30, n. 12, p. 58-63, 1989.

GOMES, A. P. **Fundamentos da compostagem de resíduos sólidos**. 2001. 229 p. Tese de Doutorado em Ciências aplicadas ao Ambiente. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2001.

GÓMEZ-BRANDÓN, M.; LAZCANO, C.; DOMÍNGUEZ, J. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. **Chemosphere**, v. 70, n. 3, p. 436-444, 2008.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **IMPACTO AMBIENTAL DO USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

GOPINATHAN, M.; THIRUMURTHY, M. Evaluation of phytotoxicity for compost from organic fraction of municipal solid waste and paper & pulp mill sludge. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 59, n. 1, p. 47-51, 2012.

GREGÓRIO, M. Z. *et al.* **Eficiência do EM e do Bokashi no controle da temperatura em processo de biotransformação de resíduos orgânicos e restos de poda de vegetais urbanos**. In: ICTR 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Costão do Santinho, Florianópolis, SC, 3969-3976. 2004.

GUILHERME L. R. G.; MARCHI, G. Metais em fertilizantes inorgânicos: avaliação de risco à saúde após a aplicação. **Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA**, São Paulo, 2007. 154 p. Disponível em: <[http://www.anda.org.br/multimidia/metais\\_em\\_fertilizantes\\_inorganicos.pdf](http://www.anda.org.br/multimidia/metais_em_fertilizantes_inorganicos.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2018.

GUO, R. et al. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. **Bioresource Technology**, v. 112, p. 171-178, 2012.

HELFRICH, P. *et al.* A novel method for determining phytotoxicity in composts. **Compost science & utilization**, v. 6, n. 3, p. 6-13, 1998. Disponível em: <<http://departments.agri.huji.ac.il/soils/chefetz/pubfile-25.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, WM da. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, 1999. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/1802/180218280019/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

HIGA, T.; PARR, J. F. **Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment**. Atami: International Nature Farming Research Center, 1994.

HIGA, T.; WIDIDANA, G. N. The concept and theories of effective microorganisms. In: **Proceedings of the first international conference on Kyusei nature farming. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA**. 1991. p. 118-124. Disponível em: <[http://infrc.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C1-5-015.pdf](http://infrc.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C1-5-015.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2018.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A.; CHICKEN, E. **Nonparametric statistical methods**. John Wiley & Sons, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565350700848X>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

HU, C.; QI, Y. Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China. **European Journal of Agronomy**, v. 46, p. 63-67, 2013. Disponível em: <[https://byhaver.dk/wp-content/uploads/2015/07/EM\\_\\_hvedeproduktion\\_Kina.pdf](https://byhaver.dk/wp-content/uploads/2015/07/EM__hvedeproduktion_Kina.pdf)> . Acesso em: 20 jun.2018.

HUSSAIN, T. *et al.* Rice and wheat production in Pakistan with effective microorganisms. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 30-36, 1999.

IANNOTTI, D. A. *et al.* A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. **Compost Science & Utilization**, v. 1, n. 3, p. 52-65, 1993. Disponível em:<<http://infohouse.p2ric.org/ref/29/28860.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

IBGE. **Indicadores IBGE: Estatística de Produção Pecuária**, p. X, mar. 2018. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/default.shtm#animal>> Acesso em: 9 abr. 2018.

INDEX, Compost Maturity. California Compost Quality Council (CCQC). **Nevada City Google Scholar**, 2001.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IDE-SISEMA. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>>. Acesso em 26 março 2018.

*Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. (2012). Plano nacional de resíduos sólidos: diagnostico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores (Comunicado IPEA, Vol. 145). Brasília: IPEA. Relatório de Pesquisa.*

ISHERWOOD, K. F. Mineral fertilizer use and the environment by International Fertilizer Industry Association. **Revised Edition, Paris**, 2000. 51 p. Disponível em:<[http://globalpnetwork.net/sites/default/files/IFA-UNEP%20\(2000\)%20Mineral%20Fertilizer%20Use%20and%20the%20Environment.pdf](http://globalpnetwork.net/sites/default/files/IFA-UNEP%20(2000)%20Mineral%20Fertilizer%20Use%20and%20the%20Environment.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2018.

JAKUBUS, M. Phytotoxicity and speciation of copper and nickel in composted sewage sludge. **Journal of Elementology**, v. 17, n. 1, p. 43-562, jan. 2012.

JIMÉNEZ, E. I.; GARCÍA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. **Biological Wastes**, n 27, p 115 – 142, England, 1989.

JUSOH, M. L. C.; MANAF, L. A.; LATIFF, P. A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. **Iranian journal of environmental health science & engineering**, v. 10, n. 1, p. 17, 2013.

KHALEEL, R.; REDDY, K. R.; OVERCASH, M. R. Changes in Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review 1. **Journal of Environmental Quality**, v. 10, n. 2, p. 133-141, 1981.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres”, 1985. 492p.

KIEHL, J. de C. Produção de composto orgânico e vermicomposto. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 22, n. 212, p. 40-42, 2001.

MACHADO, R. J. T. **Uso de resíduo do rúmem bovino como fonte de nutrientes na agricultura: benefícios agronômicos e conhecimento popular**. 2011. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Mato Grosso, 2011. Disponível em: <[http://www.unemat.br/prppg/ppgca/docs2011/dissertacao\\_raquel\\_joana.pdf](http://www.unemat.br/prppg/ppgca/docs2011/dissertacao_raquel_joana.pdf)>. Acesso em: 14. Abr. 2018.

MAGANHA, M. F. B. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos. Série P + L. **São Paulo: CETESB**, 2006. 95p. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENTAIS/guia\\_laticinios.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_laticinios.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2018.

MATOS, A. T. de. Tratamento de resíduos agroindustriais. In: CURSO SOBRE TRATAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS, 2005, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>> Acesso em: 15 abr. 2018.

MATOS, A. T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. 240 p.

MATOS, A. T. *et al.* Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.

MELO, G. C. B. de *et al.* **Resíduos sólidos em indústrias de abate frigorífico**. In: Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR. Abstracts of the Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável; 2004; Florianópolis, Brasil. Florianópolis: ICTR; 2004. p. 3555-67. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ict/2004/ARQUIVOS%20PDF/03/03-048.pdf>>. Acesso em: 14. abr. 2018.

MENDES, A. A. *et al.* Application of lipases for wastewater treatment containing high levels of lipids. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 296-305, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422005000200022&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422005000200022&script=sci_arttext)>. Acesso em 29 jun. 2018.

MONACO, P. A. V. L. *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. **Revista Engenharia na agricultura – REVENG**, v. 21, n.6, p. 563-573, 2013.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. John Wiley & Sons (New York), 2009.

MORALES, M. M. **Avaliação dos resíduos sólidos e líquidos num sistema de abate de bovinos**. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90460/morales\\_mm\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90460/morales_mm_me_botfca.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 14. Abr. 2018.

MUPONDI, L. T.; MNKENI, P. N. S.; BRUTSCH, M. O. The effects of goat manure, sewage sludge and effective microorganisms on the composting of pine bark. **Compost science & utilization**, v. 14, n. 3, p. 201-210, 2006.

MUSSATTO, S. I *et al.* Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffe industry wastes hydrolysates. **Applied Energy**, Oklahoma, v.92, p. 763-768, abr. 2012. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22490/1/1-s2.0-S0306261911005162-main.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

NORD, E. Qualidade química na compostagem de resíduos urbanos com inoculação biológica. **Revista de Estudos Sociais**, v. 15, n. 30, p. 149-174, 2014. Disponível em: <[http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/viewFile/1971/pdf\\_1](http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/viewFile/1971/pdf_1)>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NUNES, M. U. C. Eficiência de aceleradores biológicos de compostagem na qualidade nutricional de substratos à base de resíduos agroindustriais e no desenvolvimento de mudas de tomateiro. In: Congressos Brasileiros de Olericultura, 46., 2006, Goiânia. Anais...Goiânia: Associação Brasileira de Horticultura (ABH), 2006. 4 p.

OLIVEIRA, G. A.; LIMA, D. S.; ALBERTI, R. S. Compostagem com diferentes tipos de produção de microorganismos eficazes. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.

PACE, M. G.; MILLER, B. E.; FARRELL-POE, K. L. The composting process. Utah State University Extension, Logan, Utah, USA, 1995. Disponível em: <[https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1047&context=extension\\_histal](https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1047&context=extension_histal)>. Acesso em: 20 mai. 2018.

PAIXÃO, R. E. **Avaliação química e espectroscópica do grau de maturidade do composto de resíduos de podas e lodo de esgoto industrial em escala de laboratório**. 2003. 82 p. Dissertação (Mestre em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PAREDES FILHO, M. V.; FLORENTINO, L. A. Utilização de microrganismos eficazes no processo de compostagem. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 4, p. 375-382, 2016.

PARK, K. Composting of food waste and mixed poultry manure inoculated with effective microorganisms. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 4, n. 4, p. 106-111, 2011.

PERA, A. et al. Co-composting for managing effluent from thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste. **Environmental technology**, v. 12, n. 12, p. 1137-1145, 1991.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81 p. - Série Soluções.

PEREIRA NETO, J. T.; LELIS, M. P. N. Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 3**. ABES, 1999. p. 1-9.

RASHAD, F. M.; SALEH, W. D.; MOSELHY, M. A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 15, p. 5952-5960, 2010.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. 1ª Ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p.

RODRIGUES, M. S. *et al.* Compostagem: Reciclagem de Resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. 319 p.

ROQUETTI FILHO, D. Nutrientes para a vida: o fertilizante reconhecido. David Roquetti Filho: entrevista [fevereiro de 2016]. **A Granja**, Porto Alegre, RS: Centaurus, ano 72, n. 806, fev. 2016. p 39.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource technology**, v. 78, n. 3, p. 301-308, 2001. Disponível em: <[https://ac.els-cdn.com/S0960852401000311/1-s2.0-S0960852401000311-main.pdf?\\_tid=99b3c5a8-2ded-429a-8761-8ab1ceac0bc3&acdnat=1531618514\\_6bea9e7f6270f042265ebe9b4017bae0](https://ac.els-cdn.com/S0960852401000311/1-s2.0-S0960852401000311-main.pdf?_tid=99b3c5a8-2ded-429a-8761-8ab1ceac0bc3&acdnat=1531618514_6bea9e7f6270f042265ebe9b4017bae0)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. Cervejas e refrigerantes (Série P + L). **São Paulo: CETESB**, 2005. 59 p. Disponível em : < [https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas\\_refrigerantes.pdf](https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2018.

SCOLFORO, J. R. *et al.* Clima. In: SCOLFORO, J. R. ; DE CARVALHO, L. M. T; OLIVEIRA. Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico. Lavras: Editora UFLA, 2008. p. 89–102.

SEDIYAMA, Maria Aparecida Nogueira et al. Uso de Fertilizantes orgânicos no cultivo de alface americana (*Lactuca sativa* L.) 'Kaiser'. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 6, n. 2, p. 66-74, 2016. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Maira\\_Marques\\_Fonseca/publication/307869803\\_USO\\_DE\\_FERTILIZANTES\\_ORGANICOS\\_NO\\_CULTIVO\\_DE\\_ALFACE\\_AMERICANA\\_Lactuca\\_sativa\\_L\\_'KAISER'/links/5820639908ae40da2cb4e131.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maira_Marques_Fonseca/publication/307869803_USO_DE_FERTILIZANTES_ORGANICOS_NO_CULTIVO_DE_ALFACE_AMERICANA_Lactuca_sativa_L_'KAISER'/links/5820639908ae40da2cb4e131.pdf)> Acesso em: 20 jun.2018.

SELIM, S. M.; ZAYED, M. S.; ATTA, H. M. Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process. **Nature and science**, v. 10, n. 2, p. 69-77, 2012.

SERENO FILHO, J. A. *et al.* Tratamento de efluentes da indústria de bebidas em reator aneróbio de circulação interna (IC) ; **Revista Internacional de Ciências** v.3 - n.1 · jan./jun. 2013. Disponível em: < <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/7065/5072>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

SEVERINO, L. S. *et al.* Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de biologia e ciências da terra**, Paraíba, v. 5, n. 1, 2004. Disponível em: < <http://www.redalyc.org/pdf/500/50050105.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

SCHNEIDER, V. E. *et al.* 2012. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília. 134 p. Disponível em:< [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917\\_relatorio\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2018.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SHARMA, A. *et al.* Insights into rapid composting of paddy straw augmented with efficient microorganism consortium. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3, n. 2, p. 54, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40093-014-0054-2.pdf>>. Acesso em 23 jun.2018.

SHEAR, C.B. Calcium related disorders of fruits and vegetables. **Hort Science**, Staley EA, v.10, n.4, p361-365, 1975.

SHELDRIK, W. F.; SYERS, J. K.; LINGARD, J. A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, v. 62, n. 1, p. 61-72, 2002. Disponível em: <[file:///C:/Users/kmaximo/Downloads/art3A10.10232FA3A1015124930280%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/kmaximo/Downloads/art3A10.10232FA3A1015124930280%20(2).pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

SILVA, F. A. M. *et al.* Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2009.

SILVA, J. S. *et al.* Secagem e armazenagem de café: tecnologias e custos. Edição 1. Viçosa: **CBP&D – Café**,. Jard Editora, 2001. 162 p.

SILVA, J. S. Processamento do Café por Via Úmida. **Youtube**, 12 mar. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YzYztlM7a54>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

SOUMARÉ, M. *et al.* Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. **Bioresource Technology**, v. 81, n. 2, p. 97-101, 2002. Disponível em: <[https://ac.els-cdn.com/S0960852401001250/1-s2.0-S0960852401001250-main.pdf?\\_tid=cc1fceeb-bcc9-4d32-accb-2580299d4c18&acdnat=1531615427\\_c7a0f889044cc606d35845f73c269f24](https://ac.els-cdn.com/S0960852401001250/1-s2.0-S0960852401001250-main.pdf?_tid=cc1fceeb-bcc9-4d32-accb-2580299d4c18&acdnat=1531615427_c7a0f889044cc606d35845f73c269f24)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SULLIVAN, D. M.; MILLER, R. O. Compost quality attributes, measurements, and variability. In: STOFFELLA, P. J.; KAHN, B. A. **Compost utilization in horticultural cropping systems**. Lewis Publishers, New York, 2001, 112 p.

TEIXEIRA, L. B. *et al.* Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural. **Embrapa Amazônia Oriental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2004. Disponível em: <[http://agriculturaurbana.org.br/boas\\_praticas/textos\\_compostagem/compostagem\\_aeracao\\_natural\\_embrapa33.pdf](http://agriculturaurbana.org.br/boas_praticas/textos_compostagem/compostagem_aeracao_natural_embrapa33.pdf)>. Acesso em 24 mai. 2018.

THEODORO, V. C. de. A.; CAIXETA, I. F. **Bases para a produção de café orgânico**. Lavras:UFLA, 1999. 68p. (Boletim Técnico de Extensão, 38).

TIQUIA, S. M. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system. In: **Proceedings of the International Composting Symposium, CBA Press Inc. Truro, NS**. 2000. p. 625-647.

TIQUIA, S. M. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. **Chemosphere**, Department of Natural Sciences, University of Michigan, Dearborn, MI 48128, USA, v. 79, n. 5, p. 506-512, 2010.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. **Bioresource Technology**, v. 65, n. 1-2, p. 43-49, 1998.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. **Environmental Pollution**, v. 93, n. 3, p. 249-256, 1996.

TRAUTMANN, N. M.; KRASNY, M. E. **Composting in the classroom**: scientific inquiry for high school students. Cornell University, 1997. Disponível em: <<https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/3338/?sequence=1>>. Acesso em 10 abr. 2018.

ULSIDO, M. D.; LI, M. Effect of organic matter from coffee pulp compost on yield response of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) in Ethiopia. **Engineering for Rural Development**, p. 1339-1347, 2016. Disponível em:< <http://tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N269.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

VALARINI, P. J. *et al.* Assessment of soil properties by organic matter and EM-microorganism incorporation. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 27, n. 3, p. 519-525, 2003. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832003000300013&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832003000300013&script=sci_arttext). Acesso em: 20 jun. 2018

VAN FAN, Y. et al. Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. **Journal of environmental management**, v. 216, p. 41-48, 2018.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 452p.

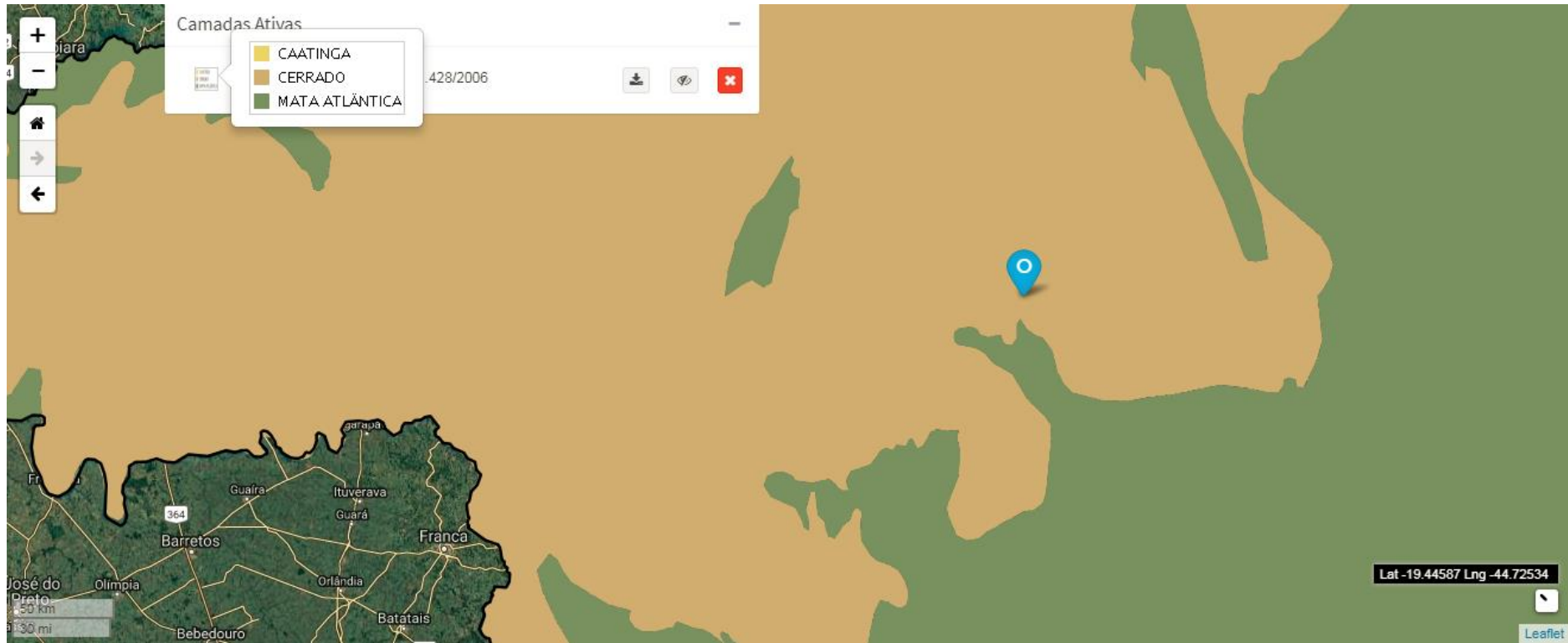
VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Vol. 4. Lodos Ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. 4 ed. 461 p.

WANG, Ping *et al.* Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 5, p. 767-776, 2004.

WHITE, H. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 817-838, 1980.

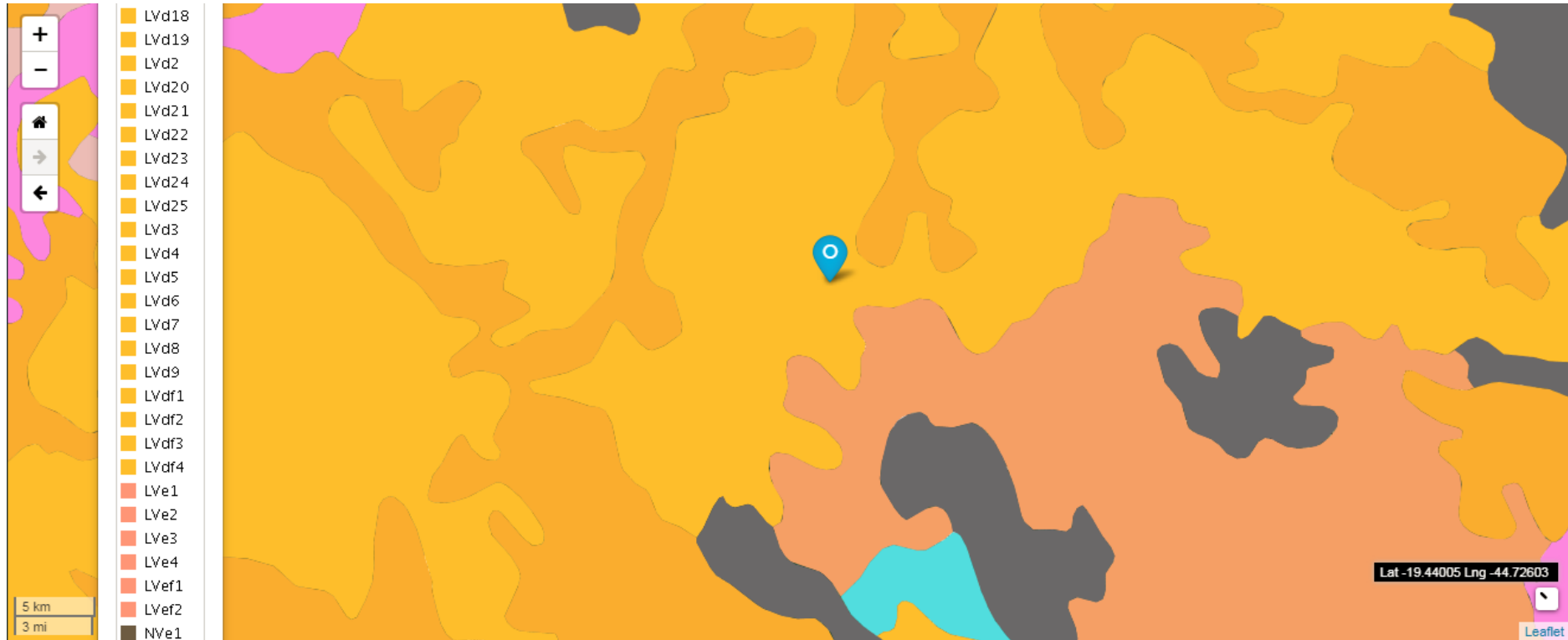
## ANEXO A – Caracterização do local do experimento conforme IDE-Sisema (2018).

### A.1 – Classificação do bioma



Fonte: IDE-SISEMA (2018).

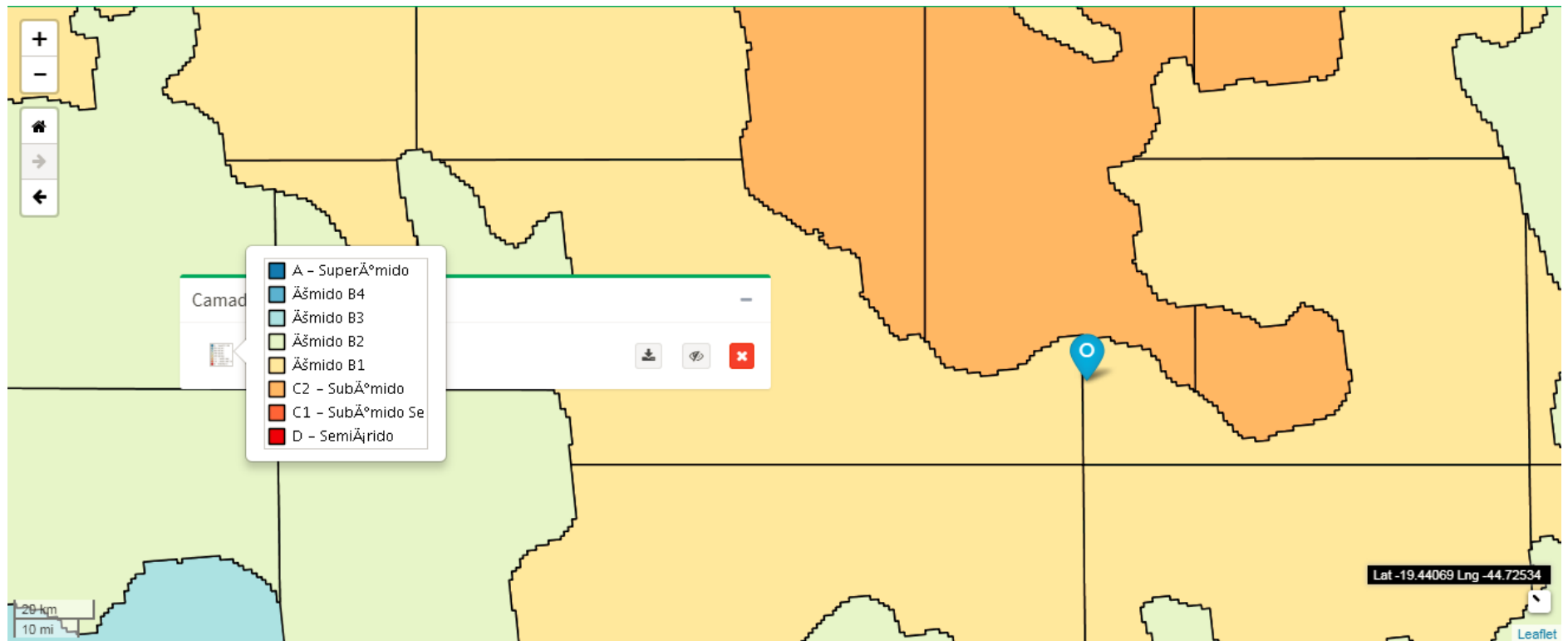
## A2 – Classificação do solo



\*Lvd - Latossolo vermelho distrófico

Fonte: IDE-SISEMA (2018).

### A.3 – Classificação do índice de umidade



Fonte: IDE-SISEMA (2018).

## ANEXO B – Análises dos resíduos utilizados no processo de compostagem

## B.1 – Lodo de ETE de cervejaria (LC)



## RELATÓRIO DE ENSAIOS



RELATÓRIO DE ENSAIO No: 20017481-174

REVISÃO: 0.0

Cliente: BIOCAMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTDA - ME

Solicitante: BIOCAMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTD

Endereço: FAZ. ESTRIBEIRA, S/N

Telefone: (31) 9965 7753

Município: PAPAGAIOS

EP:

Email: israel@biocomp.com.br

## DADOS DA AMOSTRA

Material amostrado: Fertilizantes

Código da amostra: 20133974

Identificação da amostra: LOTE LODO CERVEJA

Data de emissão do relatório: 25/08/2015

Data de entrada no laboratório: 14/08/2015

## INFORMAÇÕES DA COLETA

Data da coleta: 04/08/2015

Quantidade: Ton

Descrição: COMPOSTO ORGANICO

Produc.:04/08/15

Nota: A descrição da amostra coletada é de inteira responsabilidade do cliente.

Ofício: /0

## RESULTADO DOS ENSAIOS

Parâmetros	Resultados	Unidade	L.Q.	VR	Método	Data ensaio
N Total	1,75	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	20/08/2015
P2O5 Total	8,45	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.2	20/08/2015
K2O Agua	0,35	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	20/08/2015
Ca Total	4,87	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
Mg Total	0,3	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
S Total	0,2	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.8	20/08/2015
B Total	0,014	%	0,001	---	IN SDA 3 Cap III, E.9	20/08/2015
Cu Total	<0,01	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Fe Total	0,63	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Mn Total	0,04	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Zn Total	0,02	%	0,01	---	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Umidade Atual	87,9	%	0,1	---	IN SDA 17 Cap 2	20/08/2015
Cond. Eletrica 25 °C	5,5	mS/cm	0,1	---	IN SDA 3 Cap II, D.13	20/08/2015
pH	6,1	---	2 - 13	---	IN SDA 17 Cap 5	20/08/2015
Materia Organica	44,5	%	0,1	---	IN SDA 3 Cap III, E.13	20/08/2015
C Organico Total	25,8	%	0,1	---	IN SDA 3 Cap IV, D.16	20/08/2015
Cap Troca Cations	980,0	mmol/Kg	1	---	IN SDA 3 Cap III, E.15	20/08/2015
Relação C/N	14,7	-	0,1	---	IN SDA 3 Cap III, G	20/08/2015
Relação CTC/C	38,0	-	0,1	---	IN SDA 3 Cap III, F	20/08/2015
Al	1,84	%	0,01	---	Absorção Atômica	20/08/2015
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---

## LEGENDA

LQ; Limite de Quantificação

VR: Valor de referência conforme legislação adequada.

Os resultados deste laudo se restringem as amostras ensaiadas.  
A reprodução do mesmo poderá ser realizada apenas em sua totalidade.

VINÍCIOS MARGATO  
Gerente de Laboratório CRO: 02406025

1 / 1

ANTONIO PADUA DE LIMA  
Responsável Técnico CRO: 04412410

Versão 4.8

RUA JOSE BONIFACIÓ 1067 - CIDADE JARDIM - 38030-140 - UBERABA/MG - 034 33143980 - labfert@labfer.agr.br

## B.2 – Resíduo ruminal bovino (RRB)



## RELATÓRIO DE ENSAIOS



RELATÓRIO DE ENSAIO No: 20017481-175

REVISÃO: 0.0

Cliente: BIOCAMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTDA - ME

Solicitante: BIOCAMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTD

Endereço: FAZ. ESTRIBEIRA, S/N

Telefone: (31) 9965 7753

Município: PAPAGAIOS

EP:

Email: israel@biocomp.com.br

## DADOS DA AMOSTRA

Material amostrado: Fertilizantes

Código da amostra: 20133975

Identificação da amostra: LOTE RESÍDUO RUMINAL BOVINO

Data de entrada no laboratório: 14/08/2015

Data de emissão do relatório: 25/08/2015

## INFORMAÇÕES DA COLETA

Data da coleta: 04/08/2015

Quantidade: Ton

Descrição: COMPOSTO ORGANICO

Produc.:04/08/15

Nota: A descrição da amostra coletada é de inteira responsabilidade do cliente.

Ofício: /0

## RESULTADO DOS ENSAIOS

Parâmetros	Resultados	Unidade	L.Q.	VR	Método	Data ensaio	
N Total	0,22	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	20/08/2015
P2O5 Total	2,94	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.2	20/08/2015
K2O Água	0,43	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	20/08/2015
Ca Total	1,83	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
Mg Total	0,2	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
S Total	0,3	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.8	20/08/2015
B Total	0,016	%	0,001	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.9	20/08/2015
Cu Total	0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Fe Total	0,68	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Mn Total	0,05	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Zn Total	0,05	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Umidade Atual	72,0	%	0,1	---	X	IN SDA 17 Cap 2	20/08/2015
Cond. Elétrica 25 °C	3,0	mS/cm	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap II, D.13	20/08/2015
pH	9,3	---	2 - 13	---	X	IN SDA 17 Cap 5	20/08/2015
Materia Organica	60,4	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.13	20/08/2015
C Organico Total	35,0	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap IV, D.16	20/08/2015
Cap Troca Cations	590,0	mmol/Kg	1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.15	20/08/2015
Relação C/N	159,3	-	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, G	20/08/2015
Relação CTC/C	16,8	-	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, F	20/08/2015
Al	0,58	%	0,01	---	X	Absorção Atômica	20/08/2015
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

## LEGENDA

LQ; Limite de Quantificação

VR: Valor de referência conforme legislação adequada.

Os resultados deste laudo se restringem as amostras ensaiadas.  
A reprodução do mesmo poderá ser realizada apenas em sua totalidade.

VINÍCIOS MARGATO  
Gerente de Laboratório CRO: 02406025

1 / 1

ANTONIO PADUA DE LIMA  
Responsável Técnico CRO: 04412410

Versão 4.8

RUA JOSE BONIFACIÓ 1067 - CIDADE JARDIM - 38030-140 - UBERABA/MG - 034 33143980 - labfert@labfer.agr.br

## B.3 – Lodo de ETE indústria de chips de batata e milho (LBM)



# RELATÓRIO DE ENSAIOS



RELATÓRIO DE ENSAIO No: 20017481-176

REVISÃO: 0.0

Cliente: BIOCOMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTDA - ME

Solicitante: BIOCOMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTD

Endereço: FAZ. ESTRIBEIRA, S/N

Telefone: (31) 9965 7753

Município: PAPAGAIOS

EP:

Email: israel@biocomp.com.br

## DADOS DA AMOSTRA

Material amostrado: Fertilizantes

Código da amostra: 20133976

Identificação da amostra: LOTE LODO BATATA

Data de emissão do relatório: 25/08/2015

Data de entrada no laboratório: 14/08/2015

## INFORMAÇÕES DA COLETA

Data da coleta: 04/08/2015

Quantidade: Ton

Descrição: COMPOSTO ORGANICO

Produc.:04/08/15

Nota: A descrição da amostra coletada é de inteira responsabilidade do cliente.

Ofício: /0

## RESULTADO DOS ENSAIOS

Parâmetros	Resultados	Unidade	L.Q.	VR	Método	Data ensaio	
N Total	2,98	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	20/08/2015
P2O5 Total	3,18	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.2	20/08/2015
K2O Agua	0,4	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	20/08/2015
Ca Total	1,94	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
Mg Total	0,1	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
S Total	0,3	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.8	20/08/2015
B Total	0,004	%	0,001	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.9	20/08/2015
Cu Total	<0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Fe Total	0,13	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Mn Total	0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Zn Total	<0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Umidade Atual	82,3	%	0,1	---	X	IN SDA 17 Cap 2	20/08/2015
Cond. Eletrica 25 °C	5,9	mS/cm	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap II, D.13	20/08/2015
pH	5,0	---	2 - 13	---	X	IN SDA 17 Cap 5	20/08/2015
Materia Organica	75,1	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.13	20/08/2015
C Organico Total	43,6	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap IV, D.16	20/08/2015
Cap Troca Cations	895,0	mmo/Kg	1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.15	20/08/2015
Relação C/N	14,6	-	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, G	20/08/2015
Relação CTC/C	20,6	-	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, F	20/08/2015
Al	1,75	%	0,01	---	X	Absorção Atômica	20/08/2015
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

## LEGENDA

LQ: Limite de Quantificação

VR: Valor de referência conforme legislação adequada.

Os resultados deste laudo se restringem as amostras ensaiadas.  
A reprodução do mesmo poderá ser realizada apenas em sua totalidade.

VINÍCIOS MARGATO  
Gerente de Laboratório CRO: 02406025

1 / 1

ANTÔNIO PADUA DE LIMA  
Responsável Técnico CRO: 04412410

Versão 4.8

RUA JOSE BONIFACIÓ 1067 - CIDADE JARDIM - 38030-140 - UBERABA/MG - 034 33143980 - labfert@labfert.agr.br

## B.4 – Lodo de ETE laticínio (LL)



## RELATÓRIO DE ENSAIOS



RELATÓRIO DE ENSAIO No: 20017481-178

REVISÃO: 0.0

Cliente: BIOCAMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTDA - ME

Solicitante: BIOCAMP SOLUCOES AMBIENTAIS LTD

Endereço: FAZ. ESTRIBEIRA, S/N

Telefone: (31) 9965 7753

Município: PAPAGAIOS

EP:

Email: israel@biocomp.com.br

## DADOS DA AMOSTRA

Material amostrado: Fertilizantes

Código da amostra: 20133978

Identificação da amostra: LOTE LODO LATICINIO

Data de entrada no laboratório: 14/08/2015

Data de emissão do relatório: 25/08/2015

## INFORMAÇÕES DA COLETA

Data da coleta: 04/08/2015

Quantidade: Ton

Descrição: COMPOSTO ORGANICO

Produc.:04/08/15

Nota: A descrição da amostra coletada é de inteira responsabilidade do cliente.

Ofício: /0

## RESULTADO DOS ENSAIOS

Parâmetros	Resultados	Unidade	L.Q.	VR	Método	Data ensaio	
N Total	2,17	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	20/08/2015
P2O5 Total	2,13	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.2	20/08/2015
K2O Agua	0,33	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	20/08/2015
Ca Total	2,93	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
Mg Total	0,2	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	20/08/2015
S Total	0,4	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.8	20/08/2015
B Total	0,014	%	0,001	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.9	20/08/2015
Cu Total	<0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Fe Total	0,2	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Mn Total	0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Zn Total	0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	20/08/2015
Umidade Atual	82,2	%	0,1	---	X	IN SDA 17 Cap 2	20/08/2015
Cond. Eletrica 25 °C	3,0	mS/cm	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap II, D.13	20/08/2015
pH	7,5	---	2 - 13	---	X	IN SDA 17 Cap 5	20/08/2015
Materia Organica	70,1	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.13	20/08/2015
C Organico Total	40,7	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap IV, D.16	20/08/2015
Cap Troca Cations	1160,0	mmo/Kg	1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.15	20/08/2015
Relação C/N	18,8	-	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, G	20/08/2015
Relação CTC/C	28,5	-	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, F	20/08/2015
Al	1,57	%	0,01	---	X	Absorção Atômica	20/08/2015
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

## LEGENDA

LQ: Limite de Quantificação

VR: Valor de referência conforme legislação adequada.

Os resultados deste laudo se restringem as amostras ensaiadas.  
A reprodução do mesmo poderá ser realizada apenas em sua totalidade.

VINÍCIOS MARGATO  
Gerente de Laboratório CRO: 02406025

1 / 1

ANTONIO PADUA DE LIMA  
Responsável Técnico CRO: 04412410


Versão 4.8

RUA JOSE BONIFACIO 1067 - CIDADE JARDIM - 38030-140 - UBERABA/MG - 034 33143980 - labfert@labfer.agr.br

## ANEXO C – Planilhas de acompanhamento da compostagem

## C.1 – Leiras do tratamento A – Sem adição de inóculo de microrganismos

(continua)

		<b>PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DA COMPOSTAGEM</b>	
Identificação da leira:	A - Sem aplicação de inóculo de microrganismos		
Ingredientes:	LC (30%), LBM + LL (30%), RRB (20%), PPC (20%)		
Umidade da mistura	66,80%	Relação C/N da mistura:	19
Data de montagem da leira:	27/04/2017	Data do primeiro revolvimento:	01/05/2017

Data	Temperatura				
	A1	A2	A3	A4	A5
02/05/2017	57,4	55,1	55,6	56,2	57,3
04/05/2017	56,5	59,2	56,0	54,2	56,8
06/05/2017	57,2	54,7	51,6	57,1	56,2
-	-	-	-	-	-
16/05/2017	61,6	59,2	55,0	57,4	61,0
23/05/2017	59,0	45,0	48,0	46,0	49,1
27/05/2017	62,0	56,2	56,2	45,8	56,5
31/05/2017	59,0	52,0	42,0	46,2	53,2
05/06/2017	54,9	49,6	47,0	42,2	53,6
14/06/2017	40,2	34,1	38,7	26,8	36,6
16/06/2017	58,7	42,7	39,0	39,7	57,2
17/06/2017	53,8	42,1	41,5	41,0	53,3
22/06/2017	42,4	42,4	36,2	33,7	49,9
24/06/2017	38,3	38,0	35,2	31,6	58,0
27/06/2017	29,0	32,4	30,9	27,1	48,0
01/07/2017	32,1	39,3	33,4	29,7	46,7


Data	Operação			
	Revolveu	Inóculo	Molhou	Observações
01/05/2017	x			
-				
05/05/2017	x			
10/05/2017	x			
15/05/2017	x			
22/05/2017	x			22/5/17 27 mm de chuva
26/05/2017	x			
30/05/2017	x			
04/06/2017	x			
10/06/2017	x			13/6/17 25 mm de chuva
15/06/2017	x			
-				
21/06/2017	x			
-				
26/06/2017	x		x	Umidade baixa
30/06/2017	x			

(conclusão)

Data	Temperatura				
	A1	A2	A3	A4	A5
06/07/2017	31,6	32,1	33,8	29,3	41,1
14/07/2017	41,8	43,8	27,1	25,4	54,6
18/07/2017	35,6	35,4	27,7	24,5	45,3
24/07/2017	39,0	30,2	31,0	21,7	34,2
03/08/2017	22,0	23,3	22,4	20,3	32,0
25/08/2017	24,1	26,6	22,5	21,0	27,2

Data	Operação			
	Revolveu	Inóculo	Molhou	Observações
05/07/2017	x		x	Umidade baixa
13/07/2017	x			
-			x	Umidade baixa
23/07/2017	x			
02/08/2017	x		x	Umidade baixa
20/08/2017	x			

## C.2 – Tratamento B – com adição de inóculo de microrganismos

		<b>PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DA COMPOSTAGEM</b>	
Identificação da leira:	B - Com aplicação de inóculo de microrganismos		
Ingredientes:	LC (30%), LBM + LL (30%), RRB (20%), PPC (20%)		
Umidade da mistura	66,80%	Relação C/N da mistura:	19
Data de montagem da leira:	27/04/2017	Data do primeiro revolvimento:	01/05/2017

Data	Temperatura				
	B1	B2	B3	B4	B5
02/05/2017	54,5	57,4	57,1	56,9	56,0
04/05/2017	56,7	56,6	58,0	55,7	56,2
06/05/2017	60,5	60,1	56,5	55,8	59,3
16/05/2017	59,0	56,4	56,2	58,3	57,6
23/05/2017	57,8	53,0	54,6	57,6	59,1
27/05/2017	64,9	55,9	59,6	60,6	61,7
31/05/2017	58,0	52,0	56,8	58,2	57,2
05/06/2017	51,2	50,4	54,7	52,2	59,0
14/06/2017	45,5	40,7	43,6	40,4	46,2
16/06/2017	55,0	44,2	46,6	57,8	62,3
17/06/2017	54,2	41,4	47,5	53,3	57,0
22/06/2017	43,3	35,5	44,4	48,7	55,4
24/06/2017	35,9	35,2	39,3	40,0	54,0
27/06/2017	27,7	32,1	37,0	32,8	47,0
01/07/2017	23,9	26,2	31,4	33,7	45,2
06/07/2017	20,1	21,2	21,3	21,7	24,8

Data	Operação			
	Revolveu	Inóculo	Molhou	Observações
01/05/2017	x	x		
-				
05/05/2017	x	x		
10/05/2017	x	x		
15/05/2017	x	x		
22/05/2017	x	x		22/5/17 27 mm de chuva
26/05/2017	x	x		
30/05/2017	x	x		
04/06/2017	x			
10/06/2017	x			13/6/17 25 mm de chuva
15/06/2017	x			
-				
21/06/2017	x			
-				
26/06/2017	x		x	Umidade baixa
30/06/2017	x			

## ANEXO D – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

(continua)

Data da coleta	Dias de compostagem	Trat.	Repetição do tratamento /Análise	N %	Umidade %	Teor C.O. %	pH	Condutividade $\mu\text{S/cm}$	Relação C/N
27/4/17	0*	A	-	1,94	66,80	36,00	-	-	19
27/4/17	0*	B	-	1,94	66,80	36,00	-	-	19
2/5/17	5	A	A1/1	1,897	45,0	-	9,0	1898	-
2/5/17	5	A	A1/2	1,972	44,5	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A1/3	1,900	45,0	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A2/1	2,006	58,2	-	9,4	2015	-
2/5/17	5	A	A2/2	2,024	58,6	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A2/3	2,024	58,2	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A3/1	2,196	57,8	-	9,4	2230	-
2/5/17	5	A	A3/2	1,968	57,9	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A3/3	2,215	57,9	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A4/1	1,791	51,6	-	8,6	1995	-
2/5/17	5	A	A4/2	1,882	51,7	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A4/3	1,862	51,6	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A5/1	1,750	44,4	-	7,7	2126	-
2/5/17	5	A	A5/2	1,820	44,8	-	-	-	-
2/5/17	5	A	A5/3	1,744	44,0	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B1/1	2,129	54,9	-	9,0	1690	-
2/5/17	5	B	B1/2	1,988	54,9	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B1/3	2,138	55,0	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B2/1	1,862	53,5	-	9,6	1819	-
2/5/17	5	B	B2/2	1,881	53,7	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B2/3	1,931	53,3	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B3/1	2,147	51,0	-	9,3	2301	-
2/5/17	5	B	B3/2	1,994	51,1	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B3/3	2,004	51,1	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B4/1	1,779	46,0	-	9,0	2070	-
2/5/17	5	B	B4/2	1,907	45,4	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B4/3	2,078	45,5	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B5/1	1,710	36,4	-	8,4	2345	-
2/5/17	5	B	B5/2	1,853	36,1	-	-	-	-
2/5/17	5	B	B5/3	1,773	36,7	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A1/1	1,619	30,8	-	8,8	2650	-
27/5/17	30	A	A1/2	1,653	30,5	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A1/3	1,671	30,1	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A2/1	1,864	40,0	-	9,2	3260	-
27/5/17	30	A	A2/2	1,789	40,2	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A2/3	1,803	39,5	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A3/1	1,555	47,3	-	8,8	2560	-

## ANEXO D – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

(continua)

Data da coleta	Dias de compostagem em	Trat.	Repetição do tratamento /Análise	N %	Umidade %	Teor C.O. %	pH	Condutividade e $\mu\text{S/cm}$	Relação C/N
27/5/17	30	A	A3/2	1,560	47,2	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A3/3	1,523	47,5	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A4/1	1,514	42,9	-	8,3	2910	-
27/5/17	30	A	A4/2	1,455	42,2	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A4/3	1,442	42,4	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A5/1	1,444	35,1	-	7,8	2740	-
27/5/17	30	A	A5/2	1,808	35,5	-	-	-	-
27/5/17	30	A	A5/3	1,793	35,4	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B1/1	1,815	31,6	-	9,0	2570	-
27/5/17	30	B	B1/2	1,801	31,9	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B1/3	1,797	31,1	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B2/1	1,682	41,7	-	9,5	2520	-
27/5/17	30	B	B2/2	1,690	41,3	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B2/3	1,546	41,7	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B3/1	1,766	38,4	-	9,2	2420	-
27/5/17	30	B	B3/2	1,854	38,1	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B3/3	1,756	38,5	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B4/1	1,733	28,6	-	8,9	2910	-
27/5/17	30	B	B4/2	1,751	28,4	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B4/3	1,782	28,7	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B5/1	1,605	30,2	-	7,8	3040	-
27/5/17	30	B	B5/2	1,308	30,5	-	-	-	-
27/5/17	30	B	B5/3	1,361	31,2	-	-	-	-
1/7/17	65	A	A1/1	1,843	18,6	23,38	8,8	318	13
1/7/17	65	A	A1/2	1,936	18,8	23,73	-	-	12
1/7/17	65	A	A1/3	1,843	18,8	23,57	-	-	13
1/7/17	65	A	A2/1	2,130	26,8	28,19	9,0	349	13
1/7/17	65	A	A2/2	2,054	26,6	28,58	-	-	14
1/7/17	65	A	A2/3	2,076	26,5	28,53	-	-	14
1/7/17	65	A	A3/1	1,927	29,9	26,67	8,9	384	14
1/7/17	65	A	A3/2	1,947	30,0	25,31	-	-	13
1/7/17	65	A	A3/3	2,034	30,0	25,50	-	-	13
1/7/17	65	A	A4/1	1,639	31,2	19,27	8,3	436	12
1/7/17	65	A	A4/2	1,629	31,8	19,54	-	-	12
1/7/17	65	A	A4/3	1,664	31,2	19,18	-	-	12
1/7/17	65	A	A5/1	2,042	17,8	24,29	8,0	407	12
1/7/17	65	A	A5/2	2,016	18,0	23,85	-	-	12
1/7/17	65	A	A5/3	2,048	17,9	23,70	-	-	12
1/7/17	65	B	B1/1	1,815	19,8	23,01	9,2	290	13

## ANEXO D – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

(conclusão)

Data da coleta	Dias de compostagem em	Trat.	Repetição do tratamento /Análise	N %	Umidade %	Teor C.O. %	pH	Condutividade e $\mu\text{S/cm}$	Relação C/N
1/7/17	65	B	B1/2	1,925	19,6	23,33	-	-	12
1/7/17	65	B	B1/3	1,935	19,0	23,97	-	-	12
1/7/17	65	B	B2/1	2,153	28,2	25,95	9,1	322	12
1/7/17	65	B	B2/2	2,147	28,5	25,62	-	-	12
1/7/17	65	B	B2/3	2,086	28,2	25,19	-	-	12
1/7/17	65	B	B3/1	2,010	25,0	25,51	9,2	300	13
1/7/17	65	B	B3/2	2,072	25,1	26,27	-	-	13
1/7/17	65	B	B3/3	2,023	25,3	26,61	-	-	13
1/7/17	65	B	B4/1	1,789	22,2	21,72	8,9	322	12
1/7/17	65	B	B4/2	1,817	22,1	22,38	-	-	12
1/7/17	65	B	B4/3	1,796	22,1	20,42	-	-	11
1/7/17	65	B	B5/1	1,643	16,6	19,06	8,5	365	12
1/7/17	65	B	B5/2	1,623	16,2	18,46	-	-	11
1/7/17	65	B	B5/3	1,699	16,6	18,19	-	-	11
25/8/17	120	A	A1/1	1,546	16,1	18,26	8,7	385	12
25/8/17	120	A	A1/2	1,601	15,6	18,55	-	-	12
25/8/17	120	A	A1/3	1,637	16,6	18,19	-	-	11
25/8/17	120	A	A2/1	1,923	22,1	20,07	8,9	380	10
25/8/17	120	A	A2/2	1,845	21,7	20,22	-	-	11
25/8/17	120	A	A2/3	1,802	21,5	21,16	-	-	12
25/8/17	120	A	A3/1	1,748	25,2	20,69	8,8	461	12
25/8/17	120	A	A3/2	1,799	25,7	20,38	-	-	11
25/8/17	120	A	A3/3	1,751	25,5	19,80	-	-	11
25/8/17	120	A	A4/1	1,346	27,6	15,84	8,4	510	12
25/8/17	120	A	A4/2	1,360	28,1	15,24	-	-	11
25/8/17	120	A	A4/3	1,276	28,0	15,33	-	-	12
25/8/17	120	A	A5/1	1,743	13,0	16,43	8,7	389	9
25/8/17	120	A	A5/2	1,726	12,7	16,22	-	-	9
25/8/17	120	A	A5/3	1,810	13,1	16,18	-	-	9

**Nota:** \*Corresponde à mistura dos resíduos. A umidade foi determinada em estufa a 105-110°C. O pH foi determinado por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água na proporção 1:25; a condutividade elétrica foi determinada através de condutivímetro por leitura direta imerso em suspensão solo:água na proporção 1:25; o nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl por destilação; o carbono orgânico total foi determinado por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico.