



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA-UEPB
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**COMPORTAMENTO DE ENTEROBACTÉRIAS EM SISTEMAS DE
TRATAMENTO AERÓBIO DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
ORGÂNICOS DOMICILIARES**

IVANISE GOMES

CAMPINA GRANDE-PB
2019

IVANISE GOMES

**COMPORTAMENTO DE ENTEROBACTÉRIAS EM SISTEMAS DE
TRATAMENTO AERÓBIO DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
ORGÂNICOS DOMICILIARES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) em cumprimento às exigências para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Monica Maria Pereira da Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Adrienne Teixeira Barros

**CAMPINA GRANDE - PB
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

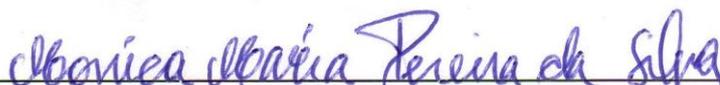
G633c Gomes, Ivanise.
Comportamento de enterobactérias em sistemas de tratamento aeróbio descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares [manuscrito] / Ivanise Gomes. - 2019.
129 p. : il. colorido.
Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.
"Orientação : Profa. Dra. Monica Maria Pereira da Silva ,
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
"Coorientação: Profa. Dra. Adrianne Teixeira Barros ,
Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."
1. Compostagem. 2. Sistema de tratamento. 3.
Enterobactérias. 4. Tratamento de resíduos sólidos. I. Título
21. ed. CDD 363.728

IVANISE GOMES

**COMPORTAMENTO DE ENTEROBACTÉRIAS EM SISTEMAS DE
TRATAMENTO AERÓBIO DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
ORGÂNICOS DOMICILIARES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) em cumprimento as exigências para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

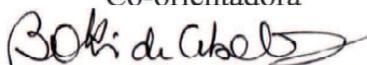
Aprovada em: 24/09/2019



Prof^a. Dr^a. Monica Maria Pereira da Silva (DB/CCBS/UEPB)
Orientadora



Prof^a. Dr^a. Adrienne Teixeira Barros (DB/CCBS/UEPB)
Co-orientadora



Prof^a. Dr^a. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos (DB/CCBS/UEPB)
Examinadora interna



Prof^a. Dr^a. Karla Patrícia de Oliveira Luna (DB/CCBS/UEPB)
Examinadora externa



Prof^a. Dr^a. Patrícia Maria de Freitas e Silva (DF/CCBS/UEPB)
Examinadora externa

**CAMPINA GRANDE – PB
SETEMBRO DE 2019**

DEDICATÓRIA

*Dedico a ti **Senhor** este trabalho, pois foi a tua mão que me sustentou e me fez chegar até aqui, foste a força, e o amigo nas horas que eu mais precisei.*

*Dedico também aos meus **amados pais, amigos e a minha orientadora e coorientadora**, que me ajudaram a trilhar essa jornada.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por me permitir chegar até aqui. Exatamente dia 15 de agosto de 2017, recebo o comunicado do departamento da Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para assumir a vaga que surgiu para o mestrado, foi um dia que ficou marcado, dando início a realização de um sonho. Deus sabe que não foi fácil, tive que escolher entre continuar em São Paulo, onde já residia e voltar para Campina Grande para fazer o mestrado. Chegando aqui, quanta batalha tive que travar para alcançar o sonho! Cheguei a pensar em desistir, mas tua mão me sustentou e foste comigo o tempo todo, colocando as pessoas certas e mostrando o caminho.

Tenho tanto a agradecer a todos os meus amigos que de alguma forma me ajudaram, muitas vezes, sem perceber, com palavras de incentivo, um abraço e até uns puxões de orelha. Agradeço aos meus amados pais, Helena Caetano Gomes e Pedro Gomes, por estarem sempre perto, por serem o meu abrigo quando eu precisei, principalmente, você, minha amada “mãe” sei que és o meu anjo aqui na terra, minha guerreira.

Meus sinceros agradecimentos à minha orientadora Monica Maria Pereira da Silva, e à minha coorientadora Adrienne Teixeira Barros, por terem aceitado me orientar, mesmo sem me conhecer direito, por cada palavra e pelo incentivo. Toda Gratidão a vocês! Obrigada, Monica Maria Pereira da Silva por ter me ajudado a vencer cada barreira levantada durante o mestrado. Admiro a sua garra, sou sortuda por tê-la como orientadora, pois aprendi muito com você.

Não poderia deixar de citar os nomes das pessoas que me ajudaram a concluir esse trabalho, da importância que vocês tiveram e têm para mim, porque sem vocês eu não teria conseguido sozinha. Meus sinceros agradecimentos à minha amiga e companheira de pesquisa Rosilene Gomes, que esteve comigo até o final; Fernando Luiz, que esteve sempre presente, me ajudando nas coletas, nas análises; Elaine Cristina de Araújo, mesmo sem ganhar nada em troca, se dispôs a ajudar e contribuir com seus conhecimentos. Agradeço ao meu amigo Josué, técnico do laboratório de microbiologia, que teve muita paciência comigo, me ajudando a fazer os meios de cultura, esterilizando minhas vidrarias. Foste fundamental na realização da minha pesquisa, pois me deste apoio quando muitos queriam que eu desistisse, porque não existia um laboratório específico para pesquisa de pós-graduação, apenas para graduação.

Agradeço também à Professora Patrícia Freitas, do Departamento de Farmácia, e coordenadora do laboratório de microbiologia, por permitir o acesso e me dar todas as ferramentas necessárias para concluir este trabalho. Sem a sua ajuda eu não teria conseguido. Obrigada pelos ensinamentos durante as minhas análises, pois foi fundamental o seu auxílio, tirando as minhas dúvidas.

Aos companheiros de coletas dos resíduos sólidos orgânicos, os catadores de materiais recicláveis associados à ARENSA, pela ajuda concedida na pesquisa. Agradeço especialmente ao meu amigo Antônio Pedro, por me incentivar e ouvir meus desesperos; por me ajudar no desenvolvimento das composteiras, ficando até de madrugada na minha casa, indo para o mercado comigo escolher os materiais, sei que sem a sua ajuda eu não teria conseguido. Belarmino, você com seu coração gigante, sempre dando apoio a todos que recorreram a você.

À banca examinadora, Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, Profa. Dra. Karla Patrícia de Oliveira Luna, Profa. Dra. Patrícia Maria de Freitas e Silva por aceitar avaliar este trabalho e contribuir com seus conhecimentos.

A CAPES por ter proporcionado o desenvolvimento desta pesquisa, contribuindo com a ajuda financeira.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) pela oportunidade e pelos conhecimentos adquiridos, meus sinceros agradecimentos.

Gratidão a todos que contribuíram direta e indiretamente para fechar mais um ciclo da minha vida!

GOMES, Ivanise. **Comportamento de enterobactérias em sistemas de tratamento aeróbio descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares**. 129f. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). UEPB. Campina Grande: UEPB, 2019.

RESUMO

A compostagem é uma tecnologia ambientalmente sustentável, envolve a ação de vários organismos, que por sua vez, contribuem para degradação da matéria orgânica *in natura* em matéria inorgânica, favorecendo a liberação de nutrientes aos organismos autotróficos. Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar o comportamento de enterobactérias em sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. O trabalho foi dividido em cinco etapas: contato com as famílias; estruturação e montagem da área experimental; desenvolvimento e/ou adaptação dos sistemas de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares; coleta dos resíduos sólidos orgânicos nas residências das famílias que aderiram ao projeto; monitoramento e avaliação do sistema de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares foram coletados segregados dos demais resíduos. Foram coletados 331 kg na área de estudo. Este tipo de resíduo apresenta altos valores de matéria orgânica e de umidade, além da presença de organismos patogênicos. Foram adotados dois modelos de composteiras em triplicata: CPC-composteira de polietileno cilíndrica e CAR- composteira de alumínio retangular, distintas em relação à configuração, ao acessório para aeração e homogeneização (manivela ou roda de leme) e ao tipo de material utilizado para confecção. Cada composteira foi alimentada com 26,6 kg de substratos triturados. Desse total, 80% foram os resíduos sólidos orgânicos domiciliares e 20% foram estruturantes (rejeito e farelo). A finalidade de adição de estruturantes foi favorecer a aeração, o teor de umidade adequado à ação dos organismos autóctones e ao equilíbrio da relação C/N. Os dois modelos de composteiras estudados atenderam aos principais objetivos previstos para a tecnologia foco deste trabalho: estabilização e higienização dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Durante o tratamento foi verificada considerável diversidade de enterobactérias. Foram identificados nove gêneros e quinze espécies: *Citrobacter* (25,9 %), *Enterobacter* (14,1%), *Escherichia* (11,7%), *Klebsiella* (5,9%), *Morganella* (1,2%) *Proteus* (35,4%), *Providencia* (1,2%), *Serratia* (2,3%), *Salmonella* (2,3%). Estas bactérias desempenham importante papel na degradação da matéria orgânica, favorecendo a estabilização do material em tratamento.

Constatou-se que as maiores taxas de crescimento das enterobactérias ocorreu na fase mesofílica. As variações na densidade e diversidade das enterobactérias seguiram em conformidade com as mudanças das características físicas e químicas do sistema. Conclui-se que há considerável diversidade de enterobactérias nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, atuando nas diferentes fases do sistema de compostagem, correlacionando positivamente e negativamente com as mudanças físicas e químicas.

Palavras- chave: Compostagem. Sistema de tratamento. Enterobactérias.

Gomes, Ivanise. **Enterobacterial behavior in decentralized aerobic treatment systems of household organic waste**. 2019. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, 2019.

ABSTRACT

Composting is an environmentally sustainable technology, involving the action of various organisms, which in turn contribute to the degradation of inorganic organic matter into inorganic matter, favoring the release of nutrients to autotrophic organisms. This research aimed to analyze the behavior of enterobacteria in aerobic treatment systems of household organic solid waste. The work was divided into five stages: contact with families; structuring and assembly of the experimental area; development and / or adaptation of aerobic biological treatment systems for household organic solid waste; collection of organic solid waste in the households of the families that joined the project; monitoring and evaluation of the aerobic biological treatment system of household organic solid waste. Household organic solid waste was collected segregated from other waste. We collected 331 kg in the study area. This type of residue presents high values of organic matter and humidity, besides the presence of pathogenic organisms. Two models of triplicate composters were adopted: CPC - Cylindrical Polyethylene Compounder and CAR - Rectangular Aluminum Compounder, distinct in configuration, aeration and homogenization accessory (crank or steering wheel) and the type of material used for making each compost was fed 26.6 kg of crushed substrates. Of this total, 80% were household organic solid waste and 20% were structuring (tailings and meal). The purpose of adding structurants was to favor aeration, the moisture content appropriate to the action of native organisms and the equilibrium of the C / N ratio. The two composter models studied met the main objectives predicted for the technology focus of this work: stabilization and sanitation of household organic solid waste. Considerable enterobacteria diversity was found during treatment. Nine genera and fifteen species were identified: *Citrobacter* (25.9%), *Enterobacter* (14.1%) *Escherichia* were identified. (11.7%), *Klebsiella* (5.9%), *Morganella* (1.2%) *Proteus* (35.4%), *Providencia* (1.2%), *Serratia* (2.3%), *Salmonella* (2.3%). These bacteria play an important role in the degradation of organic matter, favoring the stabilization of the material under treatment. It was found that the highest growth rates of enterobacteria were in the mesophilic phase. Variations in the density and diversity of enterobacteria followed in line with changes in the physical and chemical characteristics of the system. It is concluded that there is considerable diversity of enterobacteria in household organic solid

waste, acting in the different phases of the composting system, correlating positively and negatively with physical and chemical changes.

Keywords: Composting. Treatment system. Enterobacteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pirâmide hierárquica da gestão integrada de resíduos sólidos.	32
Figura 2. Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos coletados no Brasil.	33
Figura 3. Fases da compostagem relacionadas com a temperatura do composto.	37
Figura 4. Localização das ruas onde foram feitas as coletas dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares (bairro Malvinas, Campina Grande, PB).	57
Figura 5. Área experimental onde se localizam os sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	58
Figura 6. Esquema da composteira retangular confeccionada em alumínio e aço inoxidável (CAR).	59
Figura 7. Esquema da composteira (CAR), com as modificações na parte interna correspondente à manivela.	59
Figura 8. Esquema da composteira cilíndrica em polietileno (CPC).	60
Figura 9. Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos. A: trituração dos resíduos sólidos orgânicos coletados, B: homogeneização dos resíduos sólidos orgânicos triturados.	62
Figura 10. Procedimentos utilizados para contagem e isolamento de enterobactérias.	62
Figura 11. Esquema do método de quarteamento múltiplo aplicado às amostras de resíduo sólido orgânico domiciliar.	66
Figura 12 Composteiras confeccionadas em polietileno com configuração cilíndrica (CPC).	69
Figura 13. Material adotado para confecção do modelo de composteira móvel de polietileno com configuração cilíndrica.	69
Figura 14. Modelo da roda leme adotada para reviramento do substrato em composteira cilíndrica de polietileno.	70
Figura 15. Tampa com dobradiças para auxiliar no reviramento instalada na composteira cilíndrica de polietileno com roda de leme.	70
Figura 16. Confecção da tampa de polietileno acoplada à porta da composteira cilíndrica de polietileno com roda de leme para reviramento.	71
Figura 17. Dimensões da composteira cilíndrica de polietileno com roda de leme	72

para reviramento.

- Figura 18.** Estruturação da parte interna da composteira CAR correspondente à manivela Composteira. **73**
- Figura 19.** Adaptações da parte interna da composteira CAR. **73**
- Figura 20.** Adaptações aplicadas à estrutura interna da composteira CAR. **74**
- Figura 21.** Temperatura média registrada no sistema de tratamento de compostagem, composteiras de alumínio de alumínio retangular (CAR). **81**
- Figura 22.** Temperatura média registrada no sistema de tratamento de compostagem, composteiras de polietileno cilíndrica (CPC). **81**
- Figura 23.** Valores médios referentes ao teor de umidade dos sistemas de tratamento, composteiras de aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e composteiras de polietileno cilíndrica (CPC). **83**
- Figura 24.** Valores de pH ao longo do processo de compostagem dos sistemas de tratamento, composteiras de aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e composteiras de polietileno cilíndrica (CPC). **86**
- Figura 25.** Valores médios de STV (%ST) observados ao longo processo de compostagem para os sistemas de tratamento, composteiras de aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e composteiras de polietileno cilíndrica (CPC). **87**
- Figura 26.** Número de gêneros, quantitativamente mais representativos identificado no sistema de tratamento CAR. **91**
- Figura 27.** Número de gêneros, quantitativamente mais representativos, identificado no sistema de tratamento CPC. **91**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Unidades de disposição final de resíduos sólidos e rejeitos urbanos no Brasil e na região Nordeste.	25
Tabela 2. Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados pelas famílias participante da pesquisa.	74
Tabela 3. Caracterização física, química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares submetidos ao tratamento aeróbio biológico	76
Tabela 4. Valores médios da contagem do número de enterobactérias nos diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos orgânicos domiciliares ao longo das coletas de amostras.	88
Tabela 5. Total de gêneros de enterobactérias e o número de isolados de cada gênero ao longo das coletas realizadas nos sistemas de tratamento CAR e CPC na compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	90
Tabela 6. Diversidade de enterobactérias, por coleta no sistema CAR, ao longo do processo de compostagem.	98
Tabela 7. Diversidade de enterobactérias, por coleta no sistema CPC, ao longo do processo de compostagem.	98
Tabela 8. Correlação entre as enterobactérias e os parâmetros físico-químicos monitorados nos sistemas CPC e CAR.	99
Tabela 9. Valores médios referentes ao balanço de massa nos sistemas CPC e CAR.	101
Tabela 10. Características físicas, químicas e sanitárias do composto orgânico.	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação e origem dos resíduos sólidos segundo a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.	22
Quadro 2. Classificação dos resíduos sólidos de acordo com os riscos potenciais ao meio ambiente.	23
Quadro 3. Doenças e vetores relacionados à disposição inadequada de resíduos sólidos.	28
Quadro 4. Doenças e a resistência (em dias) de microrganismos patogênicos presentes nos resíduos sólidos.	30
Quadro 5. Benefícios da aplicação do composto resultante da compostagem no solo.	37
Quadro 6. Microrganismos identificados no processo de compostagem de acordo com diferentes autores.	46
Quadro 7. Dimensão das composteiras referentes aos sistemas de Tratamento Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares.	60
Quadro 8. Caracterização físico-química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	63
Quadro 9. Relação dos parâmetros físicos e químicos com a variação das espécies de enterobactérias identificadas semanalmente durante a compostagem no sistema de tratamento CAR.	96
Quadro 10. Relação dos parâmetros físicos e químicos com a variação das espécies de enterobactérias identificadas semanalmente durante a compostagem no sistema de tratamento CPC.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ARENSA	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Comunidade Nossa Senhora Aparecida
CAR	Composteira de Aço Inoxidável e Alumínio Retangular
CPC	Composteira de Polietileno Cilíndrica
GGEA	Grupo de Extensão e Pesquisa em Gestão e Educação Ambiental
GIRES	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Plano Nacional de Resíduo Sólido
RSOD	Resíduo Sólido Orgânico Domiciliar
STV	Sólidos Totais Voláteis
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 Geral	20
2.2 Específicos	20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4 METODOLOGIA	54
4.1 Caracterização do local da pesquisa	54
4.1.1 Local da amostragem	54
4.2. Etapas e instrumentos de coleta de dados	57
4.2.1 Contato com as famílias	57
4.2.2 Estruturação e montagem da área experimental	58
4.2.3 Desenvolvimento e aperfeiçoamento de Sistemas de Tratamento Biológico Aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	59
4.2.4 Coleta dos resíduos sólidos orgânicos nas residências selecionadas	61
4.3 Monitoramento dos Sistemas de Tratamento Biológico Aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	63
4.3.1 Análise das variáveis físicas dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	64
4.3.2 Análise das variáveis químicas dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	65
4.3.3 Caracterização biológica e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	66
4.3.4 Contagem e isolamento de bactérias da família <i>Enterobacteriaceae</i>	66
4.3.5 Análises dos dados	68
4.3.6 Considerações éticas	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1 Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares	69
5.2 Caracterização física, química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares	74
5.3 Desenvolvimento e adaptação de sistemas para tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos com um dispositivo de aeração mecânica	75
5.4 Tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em sistemas descentralizados	80
5.4.1 Análise físico-química dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares	81
5.4.2 Umidade	83
5.4.3 pH	86
5.5 Sólidos totais voláteis (STV)	86
5.6 Contagem de enterobactérias nos diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	88
5.7 Identificação das enterobactérias nos diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	90
5.8 Avaliação da diversidade de enterobactérias nos sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	97
5.9 Correlação entre enterobactérias e parâmetros físicos e químicos nos sistemas CAR e CPC.	98
6 Avaliação da qualidade agronômica do composto orgânico	100
7 CONCLUSÕES	104

8 RECOMENDAÇÕES	106
REFERÊNCIAS	107
ANEXOS	117
APÊNDICE	129

1 INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade do século XX, devido às mudanças no modelo de produção e consumo, a sociedade humana passou a gerar uma heterogeneidade de resíduos sólidos, resultando na sobrecarga dos recursos naturais com numerosos impactos negativos que ultrapassam a capacidade de suporte dos diferentes sistemas ambientais.

Nos últimos 11 anos, a população brasileira cresceu 0,9%, enquanto que a geração de resíduos sólidos aumentou em 29% (ABRELPE, 2003; 2014). Atribuem-se entre outros fatores, à economia global que tem como modelo de desenvolvimento a base da lógica consumista e de lucros excessivos, cujos padrões de produção e consumo crescentes são considerados sinônimos de sucesso (BRASIL, 2006; 2017).

A produção crescente de resíduos sólidos e a quantidade de matéria orgânica que é descartada produzem passivos ambientais capazes de colocar em risco e comprometer os recursos naturais, além de afetar as esferas sociais, econômicas e a saúde pública (HANSEN et al.; 2001; CAMPITELLI, 2010; VILLAMIZAR, 2014).

A disposição final de resíduos sólidos de forma inadequada acarreta diferentes tipos de poluição: da água e do solo através da lixiviação de resíduos sólidos biodegradáveis, e poluição do ar com a emissão de gases que constituem o efeito estufa (EJAZ et al.; 2010; HAMILTON et al.; 2013), além de problemas sanitários que favorecem a proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como: diarreias, amebíase, salmoneloses, helmintoses (BRASIL, 2007; YOADA et al., 2014).

Como forma de eliminar ou minimizar os impactos negativos causados pela crescente produção e disposição inadequada dos resíduos sólidos, destaca-se a gestão integrada, conceituada como um conjunto de ações voltadas para encontrar soluções para os resíduos sólidos, de forma que haja redução e/ou eliminação dos impactos adversos (OLIVEIRA; SILVA, 2007; BRASIL, 2010).

A implantação da Lei nº. 12.305/10 (BRASIL, 2010) que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tem como objetivos a não geração, redução de resíduos sólidos, seguida do aproveitamento da parcela reutilizável, reciclável ou compostável, de forma que apenas os rejeitos sejam dispostos nos aterros sanitários.

A separação dos resíduos sólidos na fonte geradora é indicada como o método mais apropriado e eficiente na realização de níveis mais elevados de reciclagem (MARGARITIS et al.; 2018). Através da reciclagem os resíduos sólidos orgânicos, que antes eram misturados

com os demais materiais e considerados “lixo,” passam a ser agregados valores e retornam ao ciclo reprodutivo através da sua conversão em composto mediado por diferentes organismos (MISHRA et al., 2003).

Torna-se evidente que o tratamento da fração orgânica é indispensável para eficiência da gestão ambiental das municipalidades brasileiras, tendo em vista os efeitos negativos sobre o meio ambiente e os problemas de saúde pública, quando estes resíduos são misturados e direcionados aos aterros sanitários e lixões.

Em cenário como este, Margaritis et al. (2018) ressaltam a importância da compostagem como ferramenta da gestão de resíduos sólidos urbanos para os municípios, o que pode ser adaptado para realidade brasileira. Segundo Giglotti et al. (2005) e Raut et al. (2008), além de ajudar na gestão de grandes quantidades de resíduos sólidos orgânicos de forma sustentável, é uma tecnologia de gestão utilizada para reciclagem da matéria orgânica em um produto útil e comerciável.

Ademais a vocação agrícola do país, o alto percentual de resíduos sólidos orgânicos, somada a necessidade de adoção de processos de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos de forma simples, eficientes e de baixo custo, torna a compostagem um processo de alta viabilidade para os municípios (BRITO, 2008), como estabelece a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

A compostagem é um processo biológico degradativo da matéria orgânica em condições aeróbias e controladas; realizado num período de tempo ajustado. Durante o processo ocorre o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, resultantes de produção calorífica de origem biológica, gerando um produto estabilizado. A compostagem origina um produto chamado de composto, que pode ser utilizado em solos como fonte de nutrientes e condicionador para conservar a sua umidade, reduzir a erosão e melhorar o escoamento superficial, além de ser benéfico à produtividade em hortas e jardins (CASTALDI et al.; 2008; VALENTE et al.; 2009; CAMPELLI, 2010; VILLAMIZAR, 2014).

No contexto de tratamento de resíduos sólidos orgânicos uma variedade de organismos aeróbios e anaeróbios facultativos, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, helmintos, protozoários e insetos foi amplamente identificada na literatura em compostos e em outros materiais orgânicos (TUOMELA et al., 2000; HANSSEN, et al.; 2001; CHANDNA et al.; 2013; ARAB et al.; 2017).

O processo de compostagem se não for monitorado corretamente, pode induzir a proliferação e dispersão de fungos, e mais importante, bactérias e helmintos potencialmente

patogênicos (HANSSEN, et al. 2001; SILVA, 2008; VILLAMIZAR, 2014; WANG et al. 2015). Entre os helmintos, o *Ascaris lumbricoides* requer mais atenção, devido a sua resistência e estrutura do ovo (SILVA, 2008; ARAUJO, 2018; AMOAH et al., 2018).

Entre as bactérias, *Escherichia coli* e outras dos gêneros *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*., *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Proteus* e *Serratia* podem emergir e causar infecções para os manipuladores dos resíduos sólidos orgânicos e contaminar o meio ambiente. Compreende-se que a disposição desses resíduos de forma imprópria, constitui um problema de saúde pública (MURRAY, 2011; CHANDNA et al.; 2013).

Diante do exposto, alguns questionamentos sobre a biotecnologia de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos fundamentaram a elaboração deste trabalho: Há diversidade de enterobactérias entre os sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares? Existe correlação entre a diversidade de enterobactérias e os parâmetros físicos e químicos relativos aos sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares? Quais são os gêneros ou espécies da família de enterobactérias que expressam riscos à saúde humana? Os sistemas em estudo provocarão a destruição dessas bactérias? Estes questionamentos constituem a hipótese estudada neste trabalho, de que durante o tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos, há diversidade de enterobactérias nas diferentes fases do tratamento, correlacionando-se com as mudanças físicas e químicas do substrato.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o comportamento de enterobactérias em sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

2.2 Específicos

- Analisar as características químicas, físicas e sanitárias dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares;
- Desenvolver e adaptar sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos com um dispositivo de aeração que favoreça o manejo, a estabilização e higienização;
- Analisar de forma comparativa as populações de enterobactérias presentes em diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos;
- Identificar os gêneros da família *Enterobacteriaceae* predominantes durante o processo de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares nos sistemas em estudo;
- Avaliar a correlação dos parâmetros físicos e químicos com a diversidade das enterobactérias;
- Verificar a qualidade agronômica e sanitária do composto resultante dos sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos: percepção, conceito, classificação e geração.

Ainda é comum observar nas cidades brasileiras a falta de comprometimento da sociedade com o ambiente que está inserido. Sendo destaque na paisagem urbana o acúmulo de resíduos sólidos nas ruas, calçadas, em terrenos baldios, e nos corpos hídricos (ANDRADE; FERREIRA, 2011). Esta paisagem poluída resulta da negligência dos gestores públicos, da população e da falta de incentivo aos trabalhos de educação ambiental que podem favorecer o processo de sensibilização, compreensão dos princípios de sustentabilidade e corresponsabilidade.

Segundo Crespo (2003, p. 66) “independentemente da classe social, da escolaridade, da cor, do sexo e da religião, os brasileiros consideram o meio ambiente como sinônimo de fauna e flora”. De acordo com Andrade e Ferreira (2011), ainda faz parte do perfil do brasileiro ter a percepção ambiental ingênua, que, além de não se sentir como pertencente ao meio, não reconhece que o ambiente é um espaço que reflete os próprios pensamentos e ações do ser humano.

A visão distorcida a respeito dos resíduos sólidos tem sido causa de diversos impactos negativos de responsabilidade ambiental, social e na saúde. Para o senso comum resíduo sólido é definido como lixo, no entanto, há conceitos e fins distintos.

Segundo o dicionário Aurélio (2001), lixo é “*aquilo que não presta e joga fora*”. Enquanto que o termo resíduo sólido é “*aquilo que resta de qualquer substancia; resto*” (FERREIRA, 2001). De acordo com a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), esses podem ser definidos como:

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

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira (NBR) nº. 10.004 de 2004, resíduos sólidos constituem:

Resíduos nos estados sólidos e semissólido que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços 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 seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Este tipo de pensamento é altamente danoso para sociedade e ambiente no qual está inserido. O conceito errado associado às atitudes egoístas tem levado o nosso planeta a exaustão dos seus recursos ambientais e como reflexos os desastres ambientais, acúmulo de lixo nas ruas e resurgimento de doenças antes erradicadas, como cólera, meningites e dengue.

A lista de resíduos sólidos resultantes das atividades antrópicas é bastante extensa, podendo estes causar diversos problemas para qualidade ambiental se forem geridos de forma inadequada. Dessa forma, para que ocorra a destinação apropriada dos resíduos sólidos é importante conhecê-los previamente, pois com base nas suas características, serão classificados (LOURENÇO, 2016).

Segundo a PNRS (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua origem (Quadro 1).

Quadro 1. Classificação e origem dos resíduos sólidos segundo a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.

Tipos	Conceito
Resíduos sólidos domiciliares	Resíduos sólidos resultantes de atividades domésticas em residências urbanas.
Resíduos de limpeza urbana	Resíduos sólidos gerados da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Resíduos sólidos urbanos	Resíduos sólidos originados de domiciliares e de limpeza urbana.
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Resíduos sólidos produzidos em estabelecimentos comerciais.
Resíduos de serviços públicos de saneamento básico	Resíduos sólidos originados de serviços de saneamento básico.
Resíduos industriais	Resíduos sólidos gerados nos processos produtivos e de instalações industriais.
Resíduos de serviços de saúde	Resíduos produzidos pelas atividades de unidades de serviços de saúde; hospitais, ambulatórios, postos de saúde, universidades e instituições de pesquisa.
Resíduos da construção civil	Resíduos sólidos produzidos nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
Resíduos agrossilvopastoris	Resíduos sólidos gerados de atividades agropecuárias e silviculturas, além de insumos utilizados nessas atividades.

Fonte: Brasil (2010)

Quadro 1. Classificação e origem dos resíduos sólidos segundo a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.

(Continuação...).

Tipos	Conceito
Resíduos de serviços de transportes	Resíduos Sólidos originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Resíduos de mineração	Resíduos Sólidos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: Brasil (2010)

De acordo com a norma NBR 10.004-ABNT (2004), os resíduos sólidos também podem ser classificados conforme os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública: resíduos classe I, os perigosos; resíduos classe II, os não inertes; e resíduos classe III, aqueles considerados inertes, conforme o quadro 2.

Quadro 2. Classificação dos resíduos sólidos de acordo com os riscos potenciais ao meio ambiente.

Tipos	Características e riscos
Resíduos de Classe I: Perigosos	Resíduos sólidos em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou de incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma imprópria.
Resíduos de Classe IIA: Não inertes	Resíduos sólidos que podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
Resíduos de Classe IIB: inertes	Resíduos sólidos que submetidos a testes de solubilização não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões de portabilidade de águas, excetuando-se os padrões: aspecto, cor, turbidez e sabor, a exemplo de rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Fonte: ABNT (2004)

Segundo Massukado (2004), a classificação dos resíduos sólidos é de grande relevância, pois permite que o gerador identifique com facilidade o seu potencial de risco e busque as melhores alternativas de tratamento e disposição final.

Os riscos potenciais à saúde, ao meio ambiente, produção e consumo em larga escala dos resíduos sólidos é um tema de fundamental importância, por provocar o aumento expressivo da extração de recursos ambientais e conseqüentemente, a degradação dos distintos sistemas ambientais. Recentemente, governos e organizações internacionais têm dado maior relevância a variável ambiental como um dos principais eixos de definição de suas políticas, com o intuito de adequar as demandas sociais aos limites naturais. No entanto,

ainda é um desafio sensibilizar uma sociedade de elevado padrão de produção de resíduos sólidos ao conceito de desenvolvimento sustentável (MASSUKADO, 2004).

O relatório do Banco Mundial (*WHAT A WASTE: A GLOBAL REVIEW OF SOLID WASTE MANAGEMENT*, 2012), reuniu dados sobre a produção e gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU), um dos mais importantes subprodutos gerados pelo estilo de vida da sociedade atual. A média de resíduos sólidos produzida no mundo pela população urbana é de 1,3 bilhão de toneladas por ano, ou 1,2 kg por dia. Há previsões que esse valor suba para 2,2 bilhões de toneladas em 2025 (HOORNWENG; BHADA-TATA, 2012).

A quantidade de resíduos sólidos gerada tem forte relação com o desenvolvimento econômico, crescimento urbano e mudanças de hábitos e cultura de cada local. Cerca da metade dos resíduos sólidos originada no mundo encontra-se nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCSE) que reúne 34 países (HOORNWENG; BHADA-TATA, 2012).

Os Estados Unidos, por exemplo, fazem parte dos 34 países com uma produção *per capita* de 2,5 kg/dia de resíduos sólidos por cada cidadão. Por serem os países que mais geram no mundo, devem obedecer cada vez mais aos critérios rígidos, a fim de proteger sua população dos efeitos nocivos desta produção (ANDRADE; FERREIRA, 2011; PORTAL DOS RESIDUOS SÓLIDOS, 2013).

Uma parte significativa dos resíduos sólidos pode ser reutilizada com valores agregados aos materiais, sendo alternativa viável para minimizar as implicações negativas causadas pelo manejo inadequado. Os países desenvolvidos, como Estados Unidos, Alemanha e Canadá têm desenvolvido estratégias para melhor gerenciar os seus resíduos, seguindo a Legislação Europeia que tem adotado regras bastante rígidas. A Alemanha é pioneira na adoção de medidas destinadas a equacionar a problemática que envolve os resíduos sólidos; segue o princípio de evitar e valorizar os resíduos antes de eliminar (JURAS, 2005; ZANG et al. 2013; APA, 2014). O Canadá tinha como estratégia reduzir 50% da quantidade de resíduos sólidos que entram nos aterros sanitários até 2015. Esta redução resultou de iniciativas do governo, das empresas e da comunidade, onde foram implantadas campanhas educativas para incentivar a população a aderir programas mais sustentáveis, como a coleta seletiva, reciclagem e compostagem (JURAS, 2005; ZANG et al. 2013; APA, 2014).

No cenário nacional, a Lei 12.305/10 regulamentada pelo decreto nº7.404/10 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada, incluindo os

perigosos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

A gestão integrada é conceituada como um conjunto de ações voltadas para solucionar os problemas relativos aos resíduos sólidos, de modo a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). Essa mesma lei tem como objetivo descrito no seu Art.7º- II- “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

A disposição ou destinação final dos resíduos sólidos urbanos consiste em uma das maiores preocupações dos administradores municipais, pressionados pelos segmentos sociais que detém compreensão dos impactos negativos acarretados ao meio ambiente e á própria sociedade humana. Dados do PNRS (2012) mostram que 29% dos municípios tem como disposição final os aterros sanitários; a maioria deles (71%) ainda dispõe os resíduos sólidos e rejeitos em aterros controlados e lixões. Mesmo depois de sancionada a lei que erradica a eliminação dos lixões

Com relação à quantidade de lixões, a região nordeste ainda possui 1.655 unidades, conforme mostram os dados expostos na tabela 1.

Tabela 1. Unidades de disposição final de resíduos sólidos e rejeitos urbanos no Brasil e na região Nordeste.

Fonte	Disposição final					
	Lixão		Aterro controlado		Aterro sanitário	
PNSB	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Brasil	4.642	2.906	1.231	1.310	931	1.723
Nordeste	2.273	1.655	142	116	77	157

Fonte: Brasil (2012)

Entre as diretrizes e estratégias presentes no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado em 2012, um dos pontos mais importantes, refere-se à disposição final ambientalmente adequada, tendo como diretriz específica a eliminação de lixões e aterros controlados até agosto de 2014. Para isso, foi proposto um conjunto de estratégias para o seu cumprimento, como aporte de recursos e linhas de financiamento, estabelecimento de linhas específicas destinadas à capacitação técnica e ao desenvolvimento institucional (GUERMANDI, 2015).

Foi aprovado em 01 de julho de 2015, um novo projeto de lei, nº 425/2014, que prorroga o prazo de erradicação dos lixões nos municípios brasileiros. Os novos prazos foram estabelecidos de acordo com a localização e a população dos municípios: capitais e regiões metropolitanas tiveram o prazo ampliado para julho/2018; municípios de fronteiras e os que têm mais de 100 mil habitantes, para julho/2019; entre 50 e 100 mil habitantes, para julho/2020; e os municípios com menos de 50 mil habitantes, podem ter lixões até julho/2021 (BRASIL, 2015).

Segundo a ABRELPE (2014), na Paraíba são geradas por dia 3.504 toneladas de resíduos sólidos, com uma geração *per capita* média de 0,758 kg/habitante.dia, dos quais, 81% são coletados. Do percentual coletado, 36,9% são destinados a aterros controlados, 32,2% são depositados em lixões e apenas 31% tem o aterro sanitário como destinação final.

Esses dados mostram que a Paraíba ainda precisa avançar no gerenciamento de resíduos sólidos, seguindo o perfil de outros estados brasileiros, principalmente em relação à coleta seletiva e à destinação final.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento – SNIS (2015), a geração *per capita* média de resíduos sólidos domiciliares dos campinenses é de 0,64 kg/habitante.dia. Segundo Silva (2016), atualmente, o município de Campina Grande possui iniciativas de coleta seletiva através das associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis (COTRAMARE, CATAMAIS; CAVI, ARENSA e CATACampina). Estas organizações de catadores de materiais recicláveis têm por finalidade o recolhimento dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis, de forma que estes materiais ganhem valorização e voltem ao ciclo produtivo.

A associação ARENSA e a cooperativa CATAMAIS recolhem por mês mais 15 toneladas de recicláveis que antes eram encaminhadas para a disposição final juntamente com os demais resíduos de forma indiferenciada (CAVALCANTE et al., 2012; SESUMA, 2014; JORNAL DA PARAIBA, 2017).

É evidente que a gestão dos resíduos sólidos é um desafio importante para o alcance de uma cidade sustentável. Tendo em vista a dificuldade de áreas para disposição final de resíduos sólidos e o enorme desperdício de materiais recicláveis que são depositados em lixões. Não se pode desconsiderar a existência de um quadro muito problemático, ou de crise como alguns preferem afirmar, quando se fala em resíduos sólidos, no uso insustentável de recursos naturais e na superação da capacidade de suporte do planeta (JACOB, 2012).

Quando não há mudanças de percepção da sociedade e investimento em educação ambiental, a gestão dos resíduos sólidos acaba não cumprindo seu papel, causando problemas ambientais e sanitários que tem se acentuado nos centros urbanos, inviabilizando a qualidade de vida da sociedade (SILVA, 2016).

Estes problemas causam diversos transtornos, como entupimento de bueiros com alagamentos de ruas, acúmulo de resíduos em mananciais, poluição do solo, do ar, proliferação de vetores que causam doenças, além da alteração na paisagem visual.

3.2 Problemas que envolvem a falta de Gestão de Resíduos Sólidos

Os problemas causados pelos resíduos sólidos quando não há a sua gestão são tão antigos quanto à humanidade. Desde os primórdios os impactos negativos sobre o meio ambiente já ocorriam, mesmo em menor intensidade, entretanto, na contemporaneidade as pessoas acumularam-se em centros urbanos com novos hábitos e estilo de vida, que ocasionalmente, levaram ao aumento na produção de resíduos sólidos (RUSSO, 2003; JACOB, 2012).

A sociedade moderna incentiva o descarte e a rápida substituição dos produtos tecnologicamente ultrapassados, reduzindo assim, a sua vida útil, contribuindo, desse modo, para geração de grandes quantidades de resíduos descartados na natureza (BESEN, 2006; DOMINGOS; BOEIRA, 2015; ARAUJO, 2016).

Os resíduos sólidos quando geridos deficientemente tem o poder de provocar impactos negativos de ordem social, como acúmulo em vias públicas, má destinação destes resíduos, além dos impactos negativos de ordem ambiental e sanitária: poluição visual, poluição do solo, do ar, da água, proliferação de macro e micro vetores de doenças (PERREIRA, 2011).

No aspecto ambiental, o setor de resíduos sólidos é responsável pelo quarto maior contributo no que diz respeito às emissões de gases que favorecem o efeito de estufa (GEE) na Europa, representando 2,9% das emissões da União Europeia. A sua importância em nível nacional é maior, tendo em 2011, representado 11,8% das emissões de GEE nacionais. Uma das principais causas são as emissões de metano geradas pela disposição de resíduos sólidos urbanos não tratados ou tratados indevidamente que contém altos teores de compostos orgânicos degradáveis (APA, 2013; FRICKE; PEREIRA, 2015).

Alguns componentes do gás de aterro sanitário podem ser tóxicos ou explosivos. Outros podem incluir amônia, sulfeto de hidrogênio e outros compostos de organossulfurados que produzem o odor desagradável característico (ZHANG et al., 2013).

Destacando ainda os impactos negativos, a falta de atenção ou omissão dos órgãos responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos nos municípios tem agravado ainda mais esta problemática. Embora exista alta cobertura da coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil, a existência da coleta seletiva é irrisória. Os resíduos sólidos são descartados misturados. Quando os resíduos sólidos são acondicionados ou dispostos inadequadamente contribuem para o desenvolvimento de agentes patogênicos responsáveis pela proliferação de diversas doenças, constituindo-se um problema de caráter sanitário (SILVA; LIPORONE, 2011).

A disposição em locais indevidos, como lixões, fomenta condições favoráveis à proliferação de vários vetores biológicos: moscas, mosquitos, baratas, ratos, além de facilitar a contaminação de animais domésticos. Esses vetores tem a capacidade de se multiplicar rapidamente, devido a grande quantidade de alimento, facilidade de abrigo, umidade e temperatura adequada. Como carregam, em seus corpos, microrganismos perigosos, esses vetores têm sido responsáveis pela disseminação de várias doenças entre a população, sobretudo, aquela que vive juntas ou próximas às áreas, acarretando sérios problemas de saúde pública (CHAYB, 2015).

No quadro 3 são enumeradas doenças transmitidas pelos vetores biológicos que fazem dos resíduos sólidos sua fonte de alimentação e abrigo.

Quadro 3. Doenças e vetores relacionados à disposição inadequada de resíduos sólidos.

Doenças	Vetores	Sintomas
Febre Tifoide	Moscas	Febre contínua, diarreia, manchas no tórax e abdome e cefaleia.
Amebíase	Moscas e Baratas	Disenteria (fezes com sangue)
Febre Amarela	Mosquito	Febre, vômito, cefaleia, calafrios.
Dengue	Mosquito	Febre, fadiga, dor de cabeça, manchas na pele.
Leptospirose	Rato	Cefaleia, hemorragia, coriza.
Peste Negra	Rato	Inflamação hemorrágica, baço-fígado-pulmão e sistema central.
Gastroenterites	Barata	Diarreia, vômito e febre.

Fonte: Brasil (2007; 2013)

Além dos riscos oferecidos por estes vetores, os resíduos sólidos apresentam uma série de agentes que podem oferecer risco biológico quando em contato com o ser humano. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 12.807/93, define resíduo sólido infectante como aquele gerado em serviço de saúde que, por suas características de maior virulência, infectividade e concentração de patógenos, apresentam risco potencial adicional à saúde pública (CUSSIOL; ROCHA; LANGE, 2006; BRASIL, 2009; SILVA; LIPORONE, 2011).

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos por uma variedade de materiais, muitos deles são similares aos resíduos de serviço de saúde (fezes, sangue, papel higiênico, absorventes, fraldas descartáveis, lenços de papel, preservativos, artigos perfurocortantes, curativos, luvas entre outros). Desta forma, tanto os resíduos sólidos urbanos como os resíduos de serviços de saúde podem conter alta concentração de microrganismos, de diferentes níveis de virulência, representando riscos biológicos para a saúde humana e para o ambiente (MACHADO, 2004; CUSSIOL; ROCHA; LANGE, 2006).

Embora haja estudos que apontem os riscos da disposição da fração infectante dos resíduos de serviço de saúde com resíduos sólidos urbanos, ainda existe carência de pesquisas sobre a amplitude e o comportamento de microrganismos patogênicos presentes nos resíduos sólidos urbanos e resíduos de serviços de saúde, quando dispostos em aterro sanitário e lixões (BIDONE, 2001; MACHADO, 2004).

Comumente, os catadores de matérias recicláveis não dispõem de equipamentos de proteção individuais (EPIs) que inviabilizem a sua contaminação com os resíduos sólidos no momento do seu manuseio, deixando-os expostos a risco de saúde. No entanto, são necessárias alternativas que promovam o desenvolvimento de organizações, cooperativas de catadores de matérias recicláveis, beneficiando as suas condições de trabalho e minimizando os impactos negativos sobre a saúde destes profissionais (SILVA, 2012).

No quadro 4 são apresentadas doenças e a resistência (em dias) de microrganismos patogênicos, geralmente presentes nos resíduos sólidos.

Quadro 4. Doenças e a resistência (em dias) de microrganismos patogênicos presentes nos resíduos sólidos.

Bactérias	Doenças	Resistência (dias)
<i>Salmonella typhi</i>	Febre Tifóide	29-70
<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratifoide	29-70
<i>Salmonella</i> sp.	Salmoneloses	29-70
<i>Shigella</i> sp.	Desintéria Bacilar	02-07
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterites	35
<i>Leptospira</i> sp.	Leptospirose	15-43
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculose	150-180
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	1-13
Vírus	Doença	Resistência (dias)
<i>Enterovírus</i>	Poliomielite	20-70
Helmintos	Doenças	Resistência (dias)
<i>Ascaris lumbricoides</i> (ovo)	Ascariíase	2000-2500
<i>Trichuris trichiura</i> (ovo)	Trichiuríase	1800
<i>Larvas de ancislostómos</i>	Ancilostomose	35
Protozoários	Doenças	Resistência (dias)
<i>Entamoeba histolytica</i> (cisto)	Amebíase	08-12

Fonte: Brasil, 2007

Segundo a Funasa (BRASIL, 2007), as medidas tomadas para a solução adequada dos problemas referentes aos resíduos sólidos têm, sob o aspecto sanitário, o objetivo comum a outras medidas de saneamento: de prevenir e controlar doenças a eles relacionadas. Deve haver também mudanças nos hábitos da sociedade, como não jogar resíduos sólidos na rua e incluir na sua rotina diária a separação desses resíduos, ou seja, na fonte geradora. Neste viés, a gestão integrada de resíduos sólidos é uma importante ferramenta para alcançar uma sociedade consciente e sustentável.

3.3 Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

A natureza complexa dos resíduos sólidos apresenta-se como um problema particular, pois estes percorrem um longo caminho: geração, descarte, coleta, tratamento e disposição final; e envolve diversos atores, de modo que o tratamento meramente técnico tem apresentado resultados pouco satisfatórios (MESQUITA Jr., 2007).

Para equacionar a problemática dos resíduos sólidos é necessário sensibilizar a população geradora, no intuito de reduzir o consumo, promover a reutilização e a reciclagem dos resíduos gerados, bem como, repensar nos efeitos da degradação ambiental (SILVA et al., 2005). Como alternativa, destaca-se a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, configurando-se numa importante ferramenta transformadora que envolve a participação e comprometimento de todos os membros da sociedade, visando à gestão adequada (SALVADOR; BETTIOL, 2012; ARAUJO, 2016).

Segundo Mesquita Jr. (2007) e Besen (2012), a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos pode ser entendida como uma maneira de “conceber, implementar e administrar sistemas de manejo de resíduos sólidos urbanos, considerando uma ampla participação dos setores da sociedade e tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável”. Na Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Gestão Integrada é concebida como um conjunto de ações que busca solucionar a problemática dos resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

A política menciona em seus artigos diversas ações para promover a efetivação de gestão de resíduos sólidos, destacando-se as formas de controle, produção, coleta, reciclagem, reutilização, aproveitamento energético, tratamento, destinação final, sensibilização e mobilização, a partir da Educação Ambiental, de forma a considerar os princípios de preservação da saúde pública, econômica, social e ambiental (BRASIL, 2010).

Segundo Oliveira Neto, Souza e Petter, (2014), a gestão integrada de resíduos sólidos corresponde ao conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que a administração municipal desenvolve, com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, segregar, tratar e dispor os resíduos de uma cidade.

O manejo ambientalmente correto desses resíduos deve ir além do simples depósito ou aproveitamento dos resíduos sólidos gerados. Devem ser estudadas e postas em prática, alternativas para resolver a causa fundamental do problema, procurando mudar os padrões não sustentáveis de produção e consumo. Isso implica na utilização do conceito de gestão

integrada dos resíduos sólidos, que representa oportunidade única de conciliar o desenvolvimento com a proteção ambiental (LOPES, 2006). Para atingir tal objetivo o planejamento precisa incorporar uma ordem ou hierarquia de prioridades conforme mostra a figura 1.

Figura1. Pirâmide hierárquica da gestão integrada de resíduos sólidos.



Fonte: Oliveira Neto; Souza; Petter (2014)

A problemática da eliminação dos resíduos sólidos é bem complexa e não existe uma única solução, tendo-se que analisar cada caso para a escolha da melhor opção dentro dos sistemas de gestão e tecnologias disponíveis (OLIVEIRA NETO; SOUZA; PETTER, 2014).

Os sistemas de gestão de resíduos sólidos nos países desenvolvidos, sobretudo, nos Estados Unidos, e nos países da União Europeia, são bem complexos e tem como estratégias o sistema hierárquico de etapas que seguem a seguinte ordem: minimização, reutilização, reciclagem, recuperação de energia da incineração e disposição final em aterros sanitários. Esses países adotam sistemas dessa complexidade, devido ao seu alto grau de organização e comprometimento tendo em vista as condições de vida da população, longo período de investimentos em infraestrutura urbana, boa disposição da população, no sentido de colaborar com a gestão de resíduos sólidos urbanos e com a proteção ambiental, elevado nível de instrução (PONSÁ, 2010; ANDRADE; FERREIRA, 2011). Países como o Japão e Austrália são bastante disciplinados quanto à questão dos resíduos sólidos. Tem um alto grau de

redução de resíduos sólidos, separação na fonte e reciclagem, estimuladas pela educação, por novas práticas e pela cobrança de taxas de coleta (SANTOS, 2016).

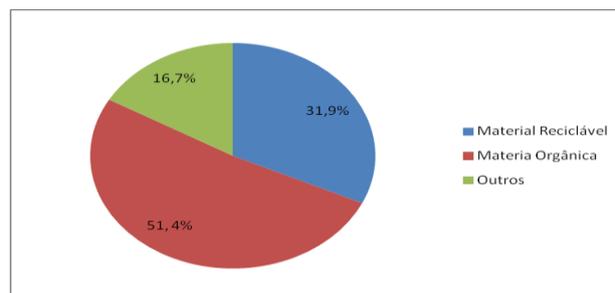
A gestão integrada de resíduos sólidos não constitui uma única solução, mas corresponde a um conjunto de alternativas: coleta seletiva, integração de catadores, tratamento e disposição final adequada (OLIVEIRA; SILVA, 2007; BRASIL, 2010; BESEN, 2012), como estabelece a Lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

A coleta seletiva apresenta-se como um dos caminhos para gestão de resíduos sólidos, pois o simples hábito de separar os reutilizáveis e recicláveis na fonte geradora cumpre um papel fundamental no cuidado com o meio ambiente. A adoção de tal medida facilita o aproveitamento e promove a Educação Ambiental voltada à redução do consumo e ao desperdício. Conseqüentemente, melhora a qualidade dos resíduos sólidos, especialmente dos orgânicos que são direcionados para a compostagem (ANDRADE; FERREIRA, 2011; SANTOS, 2016).

3.4 Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos

A composição física dos resíduos sólidos coletados no Brasil é bastante variável nas diferentes regiões, uma vez que está diretamente relacionada às condições econômicas e culturais da população local. Na composição dos resíduos sólidos há um elevado percentual de matéria orgânica, representando 51,4% do total coletado no Brasil (BRASIL, 2012). A fração orgânica desses pode ter diversas origens, como doméstica (restos de alimentos e podas), industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras (BRASIL, 2017). Na figura 2 são expostos os valores médios da composição dos resíduos sólidos no Brasil.

Figura 2. Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos coletados no Brasil.



Fonte: Brasil (2012); IPEA, (2012)

Os resíduos sólidos de origem orgânica gerados nas residências e restaurantes são constituídos por restos de alimentos, cascas de frutas, verduras, legumes e produtos deteriorados. Esses resíduos também têm em sua composição um elevado teor de umidade, que ao ser descartado em locais errados ou misturados com outros materiais, tornam-se um perigo ao meio ambiente e à saúde humana, visto que tende a se decompor naturalmente e neste processo geram líquidos, como o chorume ou percolato, que contamina o solo, os lençóis freáticos, e prejudica os cursos de água da região (BRASIL, 2012; IPEA, 2012; ZAMBON, 2017).

Além disso, resultados estatísticos mostram que as emissões de gases geradas pelos resíduos sólidos orgânicos são responsáveis por cerca de 5% das emissões globais de gases causadores do efeito estufa (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2013), como também, propiciam a proliferação de uma diversidade de vetores biológicos e microrganismos patogênicos prejudiciais à saúde da população.

Destaca-se que quando a matéria orgânica não é separada dos demais resíduos oferece condições para a proliferação de bactérias patogênicas, como a *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*, entre outros (HANDNA et al.; 2013; FUNASA, 2013; SOOBHANY, 2017).

Sabe-se que a PNRS (2010), exige um plano de gestão e o cumprimento de metas para desviar os resíduos sólidos orgânicos de aterros sanitários e lixões, no entanto, a maioria dos municípios ainda não cumpre o que estabelece a lei. Embora no mundo e também Brasil, exista grande variedade de tecnologias em uso em diferentes municípios, devem ser avaliadas considerando o contexto local.

As principais tecnologias adotadas pelos países desenvolvidos no tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbanos como alternativa aos aterros sanitários são a compostagem, a incineração para produção de energia e a biodigestão anaeróbia (IPCC, 2011).

Em 2011 na Alemanha, foram geradas 14 milhões de toneladas resíduos sólidos orgânicos, dentre os quais, 28% foram tratados via compostagem e digestão anaeróbia. Os resíduos sólidos tratados são oriundos da coleta conjunta de resíduos de jardins e alimentares e outros 36% são relativos aos resíduos de podas de parques e jardins. A maioria desses é tratada através da compostagem (UMWEALTH BUNDESAMT, 2016; ZAMBON, 2017).

As tecnologias usadas para tratamento dos resíduos sólidos urbanos na Suécia são a incineração, responsável pela destinação de 51% dos RSU em 2015, e a reciclagem,

responsável por 48% (MILIOS, 2013). Os Estados Unidos, considerado o país mais consumista do mundo, gerou em torno de 251 toneladas de resíduos sólidos em 2012 (USEPA, 2014). Desse total, 34,5% dos resíduos sólidos gerados foram tratados por meio da reciclagem e compostagem (USEPA, 2014).

No Brasil, apesar da massa de resíduos sólidos urbanos apresentar alto percentual de matéria orgânica, as experiências de compostagem ainda são incipientes. Do total estimado de resíduos sólidos orgânicos coletados (94.335,1 t/d), o que corresponde a 51,4%, apenas 1,6% (1.509 t/d) são encaminhados para compostagem. Em termos absolutos, tem-se 211 municípios brasileiros com unidades de compostagem, sendo que os Estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul possuem a maior concentração, 78 e 66 unidades, respectivamente (BRASIL, 2017). A separação dos resíduos sólidos na fonte é uma prática que viabiliza a destinação adequada, bem como valoriza os resíduos sólidos orgânicos, facilitando o processo de compostagem e garantindo a qualidade do produto final (SILVA, 2016).

A Lei 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê no art. 36, inciso V, a necessidade de implantação “de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos, articulação com os agentes econômicos e sociais, formas de utilização do composto produzido”. A implantação dos sistemas de compostagem para recuperação da fração orgânica, a partir da coleta seletiva, e a disposição final adequada dos rejeitos, fazem parte das diretrizes dos municípios (BRASIL, 2010).

O processo de compostagem transforma a matéria orgânica em adubo que também podem ser entendidos como processo de reciclagem, conforme as definições da PNRS, art. 3º, inciso XIV (BRASIL, 2010).

O tratamento aeróbio via compostagem e o tratamento anaeróbio são tecnologias consideradas promissoras na gestão dos resíduos sólidos orgânicos que propõem reduzir, até mesmo eliminar os impactos negativos causados pela disposição imprópria dos mesmos. Ambos são utilizados no processo de estabilização biológica da matéria orgânica.

A digestão anaeróbia é um processo biológico realizado na ausência de oxigênio molecular livre, tendo como principal produto o biogás que é utilizado como fonte de calor e energia (IPCC, 2006; FRIENDS OF EARTH, 2007; EPA, 2017; ZAMBON, 2017). Pode ser empregada uma variedade de resíduos sólidos orgânicos na digestão anaeróbia, incluindo papel, grama, sobras de comida, efluentes industriais, lodo de esgoto, desta forma, proporciona aumento na diversidade bacteriana capaz de converter os compostos orgânicos complexos em compostos mais simples (FRIENDS OF EARTH, 2007). A quantidade de gás que é produzida varia dependendo dos resíduos utilizados (ZAMBON, 2017).

A compostagem é um processo utilizado desde a antiguidade, que passou a chamar a atenção de pesquisadores, devido a sua capacidade em promover a estabilização da matéria orgânica e ter como produto final um material comerciável que ajudaria na recuperação de solos, além de ser utilizado na agroindústria como biofertilizante.

A compostagem é um processo biológico de decomposição aeróbia e de estabilização da matéria orgânica em condições controladas que permitem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, resultantes da atividade metabólica de microrganismos, com obtenção de um produto final suficientemente estável, sanitizado, rico em compostos húmicos, cuja utilização no solo, não oferece riscos ao meio ambiente (VALENTE et al., 2009; WEI et al., 2016) e à saúde pública. Este processo envolve sucessivas transformações complexas de natureza bioquímica, promovidas por diversos microrganismos que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono (BRITO, 2008).

Por tratar de processo aeróbio (LIANG; DAS; CLENDON, 2003) os organismos responsáveis pelas transformações das características físicas e químicas dos resíduos sólidos orgânico são aeróbios ou anaeróbios facultativos. Os principais produtos da compostagem são gás carbônico (CO₂), água (H₂O), íons minerais (P, N) e matéria orgânica estabilizada (húmus) (TUOMELA et al., 2000; WU et al., 2017).

Este material estável, denominado composto ou húmus, contém nutrientes que são assimilados pelas plantas que os utilizam para o seu desenvolvimento, além de ser um bom condicionante para o solo. Sanchez et al. (2017), relatam os benefícios e a importância da utilização da compostagem como uma tecnologia viável, sendo o composto final utilizado para diversos fins. Como mencionam os autores, o composto tem diversos benefícios de acordo com suas características físicas, químicas e microbiológicas, que ajudam na recuperação de solos (Quadro 5).

Como pode ser observado no quadro 5, os efeitos benéficos para o solo são evidentes, contribuem para diminuição do uso de fertilizantes sintéticos que podem acarretar impactos negativos (WHITE; BROWN, 2010; SANCHEZ et al.; 2017). É importante destacar também que a compostagem cumpre um papel fundamental na gestão de grandes quantidades de resíduos sólidos, o que reduz volume desses destinados ao aterro sanitário. São inúmeras as vantagens que fazem dessa tecnologia um dos principais pilares na gestão de resíduos sólidos.

A capacidade dos microrganismos para assimilar a matéria orgânica depende da sua habilidade de produzir as enzimas necessárias à degradação do substrato. Quanto mais complexo for o substrato (material decomposto), haverá maior necessidade de produção de

enzimas, como proteases, lípases, pectinases ou celulases através da atividade metabólica dos microrganismos presentes (TUOMELA et al., 2000).

Quadro 5. Benefícios da aplicação do composto resultante da compostagem no solo.

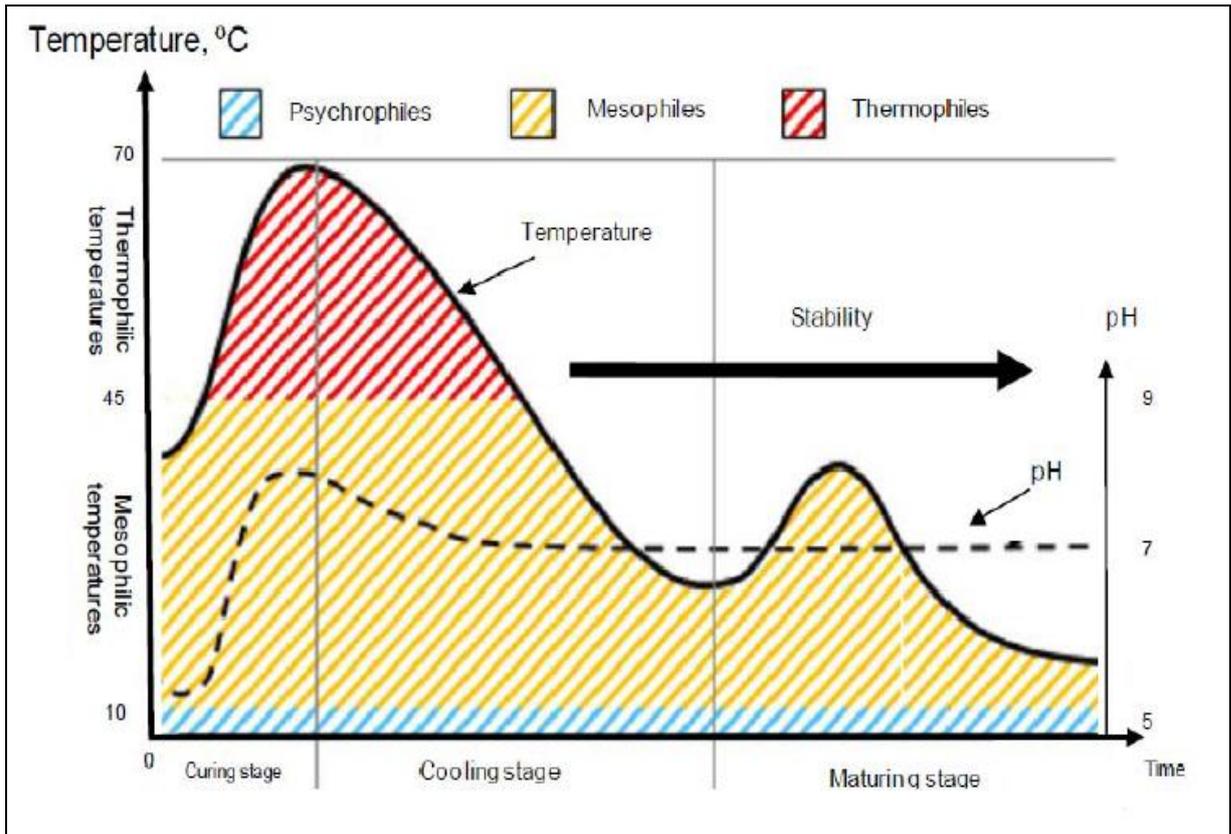
Aspecto	Benefício	Referências
Físico	O tamanho das partículas no composto contribuem para gerar espaços que facilitam a retenção de água e troca de ar	Bertoldi et al. (1983); Shilev et al. (2007).
	Melhoria da estrutura do solo ajudando a preservar o equilíbrio físico-químico e microbiológico no solo	Bertoldi et al. (1983); Mora (2006); Shilev et al. (2007);
	Aumento do horizonte A (camada de solo fértil)	Marosz (2012); Mora (2006).
	Melhoria do movimento de nutrientes no solo	Shilev et al. (2007)
Químico	Entrada de matéria orgânica no solo para melhorar sua fertilidade	Mora (2006)
	Estabilização e mineralização de matéria orgânica	Füleky;Benedek (2010); Sharma et al. (1997).
	Geração de precursores de substâncias húmicas	De Bertoldi et al. (1983); Füleky; Benedek, (2010), Zapata (2009).
	Redução da concentração de pesticidas no solo através da formação de ligações com moléculas orgânicas do composto	Mora (2006)
Microbiológico	Fornecimento de microrganismos que contribuem para a formação do solo e movimento de nutrientes	Bertoldi et al. (1983); Osorio (2009); Sarker et al. (2012); Xie et al. (2014);
	Crescimento aumentado de raízes e microrganismos na rizosfera	Donn et al. (2014); Labidi et al. (2007); Marosz (2012); Wickramatilake et al. (2011); ,Zayed; Abdel-Motaal (2005); Zhang et al.(2014).
	Biorremediação por microrganismos contribuindo para a degradação de agentes tóxicos	Shilev et al. (2007)
	Recuperação e prevenção da desertificação dos solos	Cellier et al. (2012)
	Fornecimento de microrganismos benéficos que controlam os agentes patogênicos das plantas	Kinkel et al. (2012); Shen et al. (2013); Shilev et al. (2007); Suárez-Estrella et al. (2013).

Fonte: Sanchez et al. (2017)

Em condições ideais, comumente a compostagem ocorre em três fases de temperatura: mesofílica, termofílica e de maturação (figura 3).

À medida que o substrato sofre as transformações bioquímicas, ocorrem diversas sucessões ecológicas, durante as fases da compostagem: proliferação de populações complexas de diversos grupos de organismos (bactérias, fungos, actinomicetos, e larvas de insetos) que sucedem de acordo com as características do meio (TUMOELA, 2000; SILVA, 2008; VALENTE et al., 2009; WEI et al., 2016; ARAÚJO, 2018).

Figura 3. Fases da compostagem relacionadas à temperatura do substrato.



Fonte: Ponsá (2010)

Como resultado da degradação da matéria orgânica por esses organismos, ocorre a liberação de nutrientes minerais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis aos organismos autótrofos (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Nas fases iniciais do processo, os microrganismos utilizam os compostos solúveis de fácil degradação e através do seu metabolismo exotérmico liberam energia na forma de calor, dessa forma, ocorre a elevação da temperatura no interior das leiras (KIEHL, 1985; SYMANSKI, 2005) ou sistemas.

À medida que a atividade metabólica aumenta, o processo atinge níveis de temperatura que variam de 45 °C a 65 °C alcança a fase termofílica em que a ação da microbiota atua com intensa degradação com liberação de calor e vapor de água (PEREIRA NETO, 1996). Terminada a fase termofílica, inicia-se a maturação com a diminuição da temperatura e colonização por novos microrganismos que atuarão na degradação das substâncias orgânicas recalcitrantes. A partir dessa fase, a digestão ocorre lentamente até atingir a estabilização do composto (BRASIL, 2017).

3.5 Fatores que influenciam no tratamento biológico aeróbio do resíduo sólido orgânico

Compostagem é um processo dinâmico e puramente biológico, cuja eficiência depende da ação e da interação dos organismos que obrigatoriamente necessitam de condições favoráveis, como o nível de temperatura, teor de umidade, aeração, pH, disponibilidade de nutriente; relação (C/N) e granulometria do material. Mudanças em qualquer desses fatores afeta a qualidade do composto, bem como o tempo necessário à compostagem (BIDONE, 2001; VALENTE et al., 2009; CHANDNA et al.; 2013).

A temperatura é considerada um dos principais parâmetros para monitorar o processo de compostagem (RAUT et al., 2008, CHEN et al., 2015). A temperatura dentro de uma pilha de compostagem resulta do metabolismo exotérmico dos organismos heterótrofos que degradam a matéria orgânica. É considerado também como um fator significativo na determinação da vantagem relativa de alguma população microbiana sobre outra. Isto pode ser atribuído ao efeito da temperatura sobre as características físico-químicas dos compostos e conseqüentemente na biodisponibilidade do substrato aos organismos da compostagem (SHEN et al., 2013).

As variações de temperatura durante o processo de compostagem podem ser identificadas em três fases (BERNAL et al., 1998; TRAUTMANN; OLYNCIW, 1996; OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008): mesófila, termófila e de maturação.

- Fase mesófila: predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C. Tem duração média de dois a cinco dias.
- Fase termófila: o material atinge temperaturas entre 40 e 65 °C; ocorre a máxima intensidade da atividade metabólica dos organismos. Esta fase pode ter duração de poucos dias a meses, de acordo com as características do material sendo compostado.
- Fase da maturação: caracterizada por uma queda na temperatura, resultado do processo de estabilização da matéria orgânica que tem como produto final um composto maturado, estabilizado e higienizado (CHUKWIDI et al., 2016).

Segundo Sundberg et al. (2004; 2010) e Chukwidi et al. (2016) a matéria orgânica compostável pode conter organismos patogênicos prejudiciais à saúde humana e animal. Dessa forma, temperaturas elevadas são essenciais para eliminação desses patógenos. De acordo com os autores, temperaturas acima de 55 °C favorecem a eliminação de parasitas, patógenos e garantem boas condições sanitárias. Entretanto, é preciso ter cuidado para que as temperaturas não elevem demais (maiores que 70 °C), a ponto de destruir as populações

microbianas e demais organismos que agem no processo, causando a estagnação do sistema (HUANG et al., 2004).

Durante a compostagem, os organismos degradam os compostos orgânicos para obter energia e realizar suas funções metabólicas e adquirir nutrientes (N, P, K) para geração de nova biomassa (SHEN et al., 2013). A diversificação do substrato compostado garante maior diversidade de organismos do ambiente, propiciando, maior eficiência do processo e melhor qualidade do composto produzido. Os principais elementos necessários aos organismos envolvidos na compostagem são C, N, P e K (PACE et al., 1995). O Carbono (C) é fonte de energia, o nitrogênio (N) é fonte básica para a síntese proteica (ALMEIDA; GARBELINI; PINHEIRO, 2013) e o fósforo (P) fundamental à síntese de ácidos nucleicos e ATP.

A relação C/N inicial ótima do substrato recomendado deve se situar em torno de 15/30 (HAUG, 1993; PONSÁ, 2010). Tanto a falta de nitrogênio quanto a de carbono limitam a atividade microbiológica. Se a relação C/N for muito baixa pode ocorrer perda de nitrogênio pela volatilização na forma de amônia, se for muito elevada não haverá N suficiente para a síntese de proteínas e os microrganismos terão seu desenvolvimento limitado, e como resultado, o processo de compostagem será mais lento. Independentemente da relação C/N inicial, no final da compostagem a relação C/N deve convergir para um mesmo valor, entre 10 e 20, devido às perdas maiores de carbono do que nitrogênio (KIEHL, 2004).

Os principais materiais de origem orgânica utilizados como matéria-prima na compostagem são de natureza ácida, como sucos vegetais, fezes, entre outros. No início da compostagem, a massa de resíduo está em temperatura ambiente e ligeiramente ácida. Fontes de carbono solúveis e facilmente degradáveis, tais como monossacarídeos, amido e lipídios, são utilizadas por organismos no estágio inicial. No início da decomposição ocorre à formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, o que torna o meio mais ácido em relação ao inicial. Esta fase se caracteriza pela presença de intensa atividade de organismos mesófilos que elevam a temperatura da massa em compostagem à aproximadamente 40 °C e, em decorrência de seu metabolismo, liberam também C orgânico na forma de CO₂ para a atmosfera (TUOMELA et al., 2000; VALENTE et al., 2008).

O teor de umidade é um parâmetro crítico no processo de compostagem (CHUKWIDI et al.; 2016). Tem como influência a taxa de consumo de oxigênio, o espaço livre entre as partículas, a atividade dos organismos e a temperatura do processo (PETRIC et al., 2012).

A umidade desempenha um papel essencial para atividade metabólica e fisiológica dos organismos. A degradabilidade ótima ocorre quando o teor de umidade está entre 40% e 60%.

Se for inferior a 40%, o metabolismo dos organismos é inibido e conseqüentemente, ocorre retardo do processo de decomposição. Em condições contrárias em que o meio apresenta o teor de umidade superior a 60%, ocorre a redução da eficiência do processo pela compactação do material, criando zonas de anaerobiose (PETRIC et al., 2012) e formação de chorume.

O material biodegradado em condições de anaerobiose desprende gás sulfídrico que exala odor desagradável (KIEHL, 1998; SYMANSKI, 2005; COMPOSTING, 2011). Para diminuir o excesso de umidade, podem-se adicionar materiais absorventes, como palhas e serragens. Entretanto, quando o teor de umidade está baixo pode causar desidratação e dificultar o processo biológico (MAKAN et al., 2013).

Por se tratar de um sistema biológico e ocorrer na presença de oxigênio, a aeração controlada permite o desenvolvimento de organismos aeróbios e garante a ausência de organismos anaeróbios. (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

A compostagem corresponde à degradação dos substratos orgânicos na presença de oxigênio, sendo que os principais produtos desse metabolismo biológico são CO₂, H₂O e calor (TUOMELA et al.; 2000; VALENTE, et al, 2009). A aeração no sistema de compostagem é feita através do revolvimento do material de forma que a circulação de ar percorra toda a massa do material, proporcionando aos organismos presentes um ambiente aeróbio para desenvolvimento de suas atividades metabólicas.

A aeração é um fator intimamente ligado à umidade, granulometria e temperatura. Em relação à granulometria quanto menor forem às partículas, maior é a tendência à compactação do material e a conseqüente redução dos espaços para circulação de ar, criando zonas de anaerobiose. A temperatura no processo de compostagem é caracterizada pelas elevadas taxas e através do revolvimento das leiras com a circulação de ar se faz seu controle. Temperaturas na faixa de 65 °C podem eliminar organismos patogênicos, no entanto, valores acima de 65 °C podem matar toda a biota ou até mesmo anular o processo de degradação (TUOMELA et al., 2000).

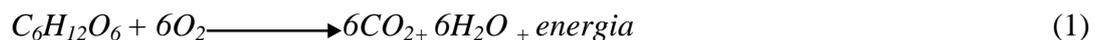
A granulometria é uma importante característica a ser considerada, pois interfere no processo de compostagem. A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno biológico, que atua sobre diversos grupos de organismos responsáveis pela transformação bioquímica da matéria orgânica. Estes organismos têm uma íntima relação com a área de contato a ser degradada. Quanto menor a granulometria, maior é a área exposta a ser digerida, acelerando o processo de decomposição. Partículas grandes retardam a decomposição, devido a sua menor superfície de contato (FERNANDES; SILVA, 1999; VALENTE et al., 2009).

Segundo Almeida; Garbeline e Pinheiro (2013), o tamanho ideal das partículas da massa de compostagem deve situar entre 2 a 5 cm, favorecendo a homogeneização da massa de compostagem, melhoria da porosidade, redução na compactação e o aumento da capacidade de aeração.

3.6 Organismos que participam da transformação da matéria orgânica durante a compostagem

Durante a compostagem, populações de organismos distintos participam da degradação da matéria orgânica os quais são substituídos uns aos outros à medida que às condições ambientais e nutricionais mudam. Porém, outros fatores também influenciam a adaptabilidade dos organismos (LI et al., 2013 ; VÁQUEZ et al., 2015).

A compostagem é um processo biológico aeróbio de transformação bioquímica da matéria orgânica. A glicose é o substrato de mais degradação requerido pela maioria dos organismos heterótrofos. Os organismos aeróbios oxidam completamente a glicose, a partir da seguinte reação 1.



A reação expressa o processo de oxidação celular ou respiração. As transformações de energia durante o processo de compostagem podem ser entendidas como a bioenergética, ou seja, produção de energia através do metabolismo. As transformações biológicas de energia obedecem às leis da termodinâmica. Assim, bactérias, fungos e actinomicetos e demais organismos que participam da biodegradação da matéria orgânica devolvem ao solo e posteriormente, á atmosfera compostos mais simples (TUOMELA et al., 2000; NELSON, 2014; WU et al.; 2017).

O metabolismo bacteriano concentra-se na diversidade bioquímica das reações de oxidação e desintegração do substrato (reações pelas quais moléculas de substrato são degradadas), que as bactérias utilizam para gerar energia (PETER, 1996; MADIGAN, M. T. et al, 2016).

Toda energia química gerada durante a compostagem é resultado da oxidação da matéria orgânica putrescível, que ocorre mediante o metabolismo aeróbio e anaeróbio facultativo, e essa energia é conservada na forma de ATP e de transportadores de elétrons (NADH, NAD, FADH₂), que será utilizada durante as reações anabólicas ou biossintéticas

para a produção de nova biomassa (THOMAS, 2011; NELSON, 2014; MADIGAN, M. T. et al, 2016, 2016).

Durante as fases da compostagem, as reações bioquímicas são catabolizadas por enzimas que degradam a matéria orgânica, gerando produtos finais simples e moléculas que conservam a energia obtida, e assim, podem ser utilizadas pelas bactérias para formação de novas células. A taxa de uma reação catalisada por enzima pode ser obtida, seguindo a conversão do substrato em produtos. À medida que a compostagem prossegue, os microrganismos presentes, secretam ampla gama de enzimas, incluindo celulasas, proteases, fosfatases, arilsulfatases e lipases (TUOMELA et al., 2000; MONDINI et al., 2004; RAUT et al.; 2008), que coletivamente são responsáveis pela transformação da matéria orgânica em composto (AWASTHI et al.; 2018).

Durante a degradação da matéria orgânica ocorre uma alternância de organismos especializados e responsáveis pelas atividades de múltiplas enzimas, bem como pela transformação físico-química (AWASTHI et al.; 2018).

Os organismos que participam do processo de compostagem incluem bactérias, actinomicetos, fungos, e mesoinvertebrados. Eles degradam a matéria orgânica. O monitoramento desses organismos em sucessão ao longo das fases da compostagem é fundamental ao gerenciamento eficaz do processo, taxa de biodegradação e qualidade do composto (TUOMELA et al., 2000; JURADO et al., 2014).

3.6.1 Bactérias e Actinomicetos

As bactérias são microrganismos unicelulares com tamanho entre 0,5 a 3,0 μm . Por causa do seu tamanho, a relação superfície/volume é muito alta, o que permite a transferência rápida de substratos solúveis para dentro da célula. Como resultado, as bactérias geralmente são dominantes em comparação aos microrganismos maiores, como os fungos (TUOMELA, 2000). Desta forma, possuem importante papel na degradação da matéria orgânica. Devido a sua capacidade de biodegradar o material e através da produção de enzimas são capazes de oxidar a matéria orgânica através de seu metabolismo para geração de energia e biomassa (TUOMELA et al., 2000; JURADO et al., 2014).

Bactérias que participam da compostagem são quimioheterótrofas decompositores, também conhecidas como saprófitas ou saprófagas. Muitos cientistas relatam a diversidade bacteriana na compostagem e como esses microrganismos podem ajudar na eficiência e

velocidade do processo (CHANDNA et al., 2013; JURADO et al., 2014; WANG et al., 2015; SANCHEZ et al., 2017).

Os principais gêneros encontrados no processo de compostagem incluem bactérias Gram-positivas, e Gram-negativas tais como: *Staphylococcus*, *Serratia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Kocuria*, *Microbacterium*, *Bacillus* e *Lactobacillus* (TUOMELA et al., 2000; HASSEN et al., 2003; CHRONI et al., 2008; BERNAL et al., 2009; SUNDBERG et al., 2010; WANG et al., 2015; CERDA et al., 2017; SANCHEZ et al., 2017).

As bactérias são responsáveis pela maior parte da decomposição inicial, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes, agregam partículas ao solo e fixam o nitrogênio. São responsáveis também pela geração de calor durante a compostagem, resultado do seu metabolismo exotérmico (BIDONE, 2001). No início da compostagem, as bactérias mesófilas predominam, e à medida que a temperatura atinge faixas superiores a 40 °C são substituídas por bactérias termofílas e outros. Os actinomicetos também fazem parte do grupo das bactérias que participam da compostagem, sendo capazes de degradar a celulose, e solubilizar a lignina, e tolerarem temperaturas e pH elevados (BIDONE, 1999; TUOMELA, 2000; HEIDEMAN, 2007; SANCHEZ et al., 2017).

Os actinomicetos fazem parte de um grande filo de bactérias Gram-positivas filamentosas. São amplamente distribuídas em ecossistemas terrestres e aquáticos. Podem crescer em condições mesofílicas e termofílicas (entre 40 e 65 °C), em pH neutro e alcalino. Desempenham importantes funções no processo degradativo da compostagem. Esta importância está relacionada a sua capacidade de degradar moléculas complexas, como materiais lignocelulósicos, celulose, lignina (TUOMELA et al., 2000; GODDEN et al., 1992). Segundo esses autores, os actinomicetos aparecem predominantemente durante a fase termófila, assim como na fase de maturação.

Os actinomicetos incluem patógenos que acometem animais (*Corynebacterium*, *Mycobacterium* e *Nocardia*), simbiontes de plantas (*Frankia*), bifidobactérias probióticas (*Bifidobacterium*) e gêneros como *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Saccharopolyspora* e *Actinoplanes*, que são fontes importantes de antibióticos e outros produtos naturais bioativos (CHATER, 2014; NIU, 2016). Eles apresentam grande diversidade morfológica, desde cocos simples até formas miceliais complexas, assemelhando-se a fungos (TUOMELA, 2000; NIU, 2016).

As principais espécies de actinomicetos presentes durante a compostagem são *Arthrobacter russicus*, *Brachybacterium paraconglomeratum*, *Corynebacterium casei*,

Microbacterium gubbeenense, *Microbacterium indicum* e *Streptomyces* ssp. (TUOMELA et al.; 2000; JURADO et al., 2014; SUNDBERG et al., 2010).

3.6.2 Fungos e Mesoinvertebrados

Os fungos são microrganismos quimiorganotróficos. Através da produção e secreção de enzimas extracelulares são capazes de digerir materiais poliméricos, como polissacarídeos ou proteínas, transformando-os em monômeros que são assimilados como fonte de carbono e energia (BROCK, 2016). São decompositores importantes e podem ser encontrados durante a fase mesófila e de maturação (SANCHEZ et al., 2017). A temperatura é um dos fatores mais importantes que afetam o crescimento de fungos, bem como, a umidade, fontes de carbono e concentração de nitrogênio e pH (TUOMELA et al., 2000).

Os fungos cumprem um papel essencial durante a compostagem: atuam na degradação de substratos complexos, como a celulose e a lignina (TUOMELA et al., 2000; BROCK, 2016). A maioria dos fungos prefere ambientes ácidos, mas tolera uma ampla faixa de pH, com exceção do filo Basidiomycota, que não cresce bem em pH superior a 7,5 (DIX, 1995; WEBSTER, 1995).

A maioria dos fungos é mesófila, cresce entre 5 °C e 37 °C, com temperatura ótima de 25 a 30 °C (DIX, 1995; WEBSTER, 1995). Tuomela (2000) destaca que durante a compostagem os fungos que predominam na fase termófila são importantes agentes de biodegradação. Os principais gêneros persistentes encontrados por Jurado et al. (2014), incluem *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Gibellulopsis*, *Ochrocladosporium*, *Plectosphaerella*, *Scopulariopsis* e *Candida*.

O gênero *Aspergillus* é comumente encontrado em materiais de compostagem, devido à sua termotolerância e capacidade de degradar uma ampla variedade de resíduos sólidos orgânicos e se adaptar bem a uma ampla gama de condições ambientais (ANASTASI et al., 2005; JURADO et al., 2014). Existem várias espécies do gênero *Aspergillus*, porém, algumas espécies podem causar impactos nocivos à saúde humana ou animal.

As doenças são tipicamente causadas por *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus terreus*, entre outras espécies (PAULUSSEN et al., 2017). Sendo a espécie *Aspergillus fumigatus* responsável por causar uma variedade de reações alérgicas e infecções sistêmicas em humanos (PAULUSSEN et al., 2017).

Durante as últimas décadas, vários trabalhos têm relatado a diversidade de microrganismos aeróbios mesófilos, termotolerantes e termofílicos, abrangendo bactérias, actinomicetos, leveduras e vários outros fungos nos diferentes substratos de compostagem (CHANDNA et al., 2013; JURADO et al., 2014; LIU et al., 2015; WANG et al., 2017). No quadro 6, são expostos microrganismos identificados durante o processo de compostagem.

A compostagem é um processo realizado por diferentes microrganismos em associação, como mostra o quadro 6. No entanto, as mudanças que ocorrem durante a compostagem não podem ser atribuídas apenas aos microrganismos, há interação entre os mesoinvertebrados e a microfauna já presentes no substrato.

Quadro 6. Microrganismos identificados no processo de compostagem de acordo com diferentes autores.

Tipo de Microrganismo	Microrganismo Identificado	Técnica de Identificação	Referências
Bactérias	<i>Filos</i> <i>Proteobactérias</i> , <i>Firmicutes</i> , <i>Chloroflexi</i> , <i>Actinobacteria</i> e <i>Bacteroidetes</i> .	Sequenciamento do gene 16S RNA	Tian et al. (2013)
Bactérias	<i>Gêneros</i> <i>Staphylococcus</i> , <i>Serratia</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Terribacillus</i> , <i>Lisinibacillus</i> , <i>Kocuria</i> , <i>Microbacterium</i> , <i>Acidovorax</i> e <i>Comamonas</i> , <i>Kocuria</i> , <i>Microbacterium</i> , <i>Acidovorax</i> , <i>Comamonas</i> e <i>Bacillus</i>	Caracterização bioquímica e Sequenciamento do gene 16S RNA	Chandna et al. (2013)
Bactérias	<i>Espécies</i> <i>Escherichia coli</i> , <i>Streptococcus fecalis</i> , <i>Estafilococcus</i> spp., <i>Salmonella</i> spp e <i>Shigella</i> .spp	Características morfológicas e propriedades bioquímicas	Hassen et al. (2003)
Bactérias	<i>Espécies</i> <i>Coliformes totais</i> , <i>Escherichia coli</i> e <i>Salmonella</i> spp.	Técnica do Número Mais Provável (MPN)	_Soobhany (2017)
Actinobactérias	<i>Espécies</i> <i>Microbacterium indicum</i> , <i>Microbacterium gubbeenense</i> , <i>Corynebacterium casei</i> , <i>Brachybacterium paraconglomeratum</i> , <i>Arthrobacter ruscicus</i> .	Sequenciamento do gene 16S RNA	Jurado et al. (2017)
Fungos	<i>Gêneros</i> <i>Saccharomyces</i> , <i>Candida</i> e <i>Schizosaccharomyces</i>	Metaproteômica	Liu et al. (2015)
Fungos	<i>Espécies</i> <i>Candida mycetangii</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Cladosporium lignicola</i> , <i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	Sequenciamento do gene 16S RNA	Jurado et al. (2017)
Mesoinvertebrados	<i>Espécie</i> <i>Musca domestica</i> , <i>Hermetia illucens</i>	Caracterização morfológica	Cicková et al (2015)

Fonte: Autora, (2019)

Há quase 100 anos foi proposta a ideia de usar mesoinvertebrados no tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Estudos recentes demonstraram que várias espécies de moscas são eficientes na biodegradação de resíduos orgânicos, como a mosca doméstica (*Musca domestica*) e o soldado negro (*Hermetia illucens*) sendo estas espécies bastante estudadas para este fim (CICKOVÁ et al., 2015; ARAÚJO, 2018).

As larvas de dípteros são comumente observadas nos primeiros estágios da compostagem. São considerados organismos vorazes que se alimentam de uma variedade de substrato orgânico. As larvas têm um ciclo de vida relativamente curto, e após dez dias surge a mosca na sua fase adulta. Todavia, a maior desvantagem da mosca doméstica na compostagem esta atribuída a imagem de um vetor transmissor de patógenos e parasitas (CICKOVÁ et al., 2015; ABDEL-SHAF, 2018; MANSOUR, 2018).

As larvas das moscas soldado negro, podem se desenvolver em uma ampla gama de material em decomposição, incluindo estrume e restos de comida. Apresentam um ciclo de vida maior do que as moscas domésticas, em torno de 14 dias, bem como suas larvas e pupas também são maiores. Assim, maior quantidade de resíduos pode ser utilizada por uma larva em relação à mosca doméstica (CICKOVÁ et al., 2015; ABDEL-SHAF, 2018; MANSOUR, 2018).

Segundo Cicková et al. (2015), a principal contribuição das larvas de moscas para a biodegradação é favorecer a aeração mecânica que resulta em aumento da perda de água, amônia e estabelecer condições para o crescimento de microrganismos aeróbios.

Estudos realizados por Silva (2008) e Araújo (2018) evidenciaram a presença desses organismos durante a fase mesófila da compostagem. Silva (2008) destaca a importância das larvas na degradação da matéria orgânica em estágio de maior umidade.

Pesquisa feita recentemente por Araújo (2018) e Araújo et al. (2019) mostraram a diversidade de mesoinvertebrados durante as diferentes fases da compostagem que incluem as ordens: Diptera (88,7%), Mesostigmata (5,3%), Isopoda (2,5%), Coleoptera (2,4%), Orthoptera (0,6%), e Araneae (0,5%) (ARAÚJO, 2018). Evidenciando-se um tipo de sucessão ecológica entre diferentes grupos de organismos durante o processo de compostagem.

3.6.3 Organismos que atuam como patógenos humanos

O ser humano está exposto constantemente a agentes infecciosos, porém, o seu sistema imune impede a colonização de patógenos. Entretanto, quando ocorre um desequilíbrio,

alguns patógenos, como bactérias, fungos, vírus e protozoários podem proliferar e causar danos ao hospedeiro. As infecções podem ser endógenas e exógenas.

As infecções endógenas podem ocorrer quando o microrganismo é aspirado do trato respiratório superior para o inferior ou quando ele penetra na pele ou em mucosas traumatizadas ou após processo cirúrgico. Por outro lado, nas infecções exógenas, o microrganismo é adquirido do meio ambiente (solo, água, alimento, ar, objetos, picada de insetos) ou de pessoa a pessoa ou animal (MURRAY, 2009; MACHADO, 2004).

Segundo Khanna (2013); e ONU (2019), anualmente são registrados casos de doenças e mortes atribuídas à ingestão de alimentos contaminados. As bactérias são os agentes causadores mais comuns de doenças transmitidas por alimentos seguidas por vírus (KHANNA, 2013).

Estudos sobre a microbiologia de agentes patogênicos humanos em ambientes naturais tem se ampliado, no entanto, ainda requer maiores estudos. Por outro lado, é mais conhecido o comportamento destes microrganismos em seu ambiente específico, ou seja, no corpo humano. Neste sentido, dada à possibilidade de sobrevivência de microrganismos constituintes da microbiota humana, nos resíduos sólidos urbanos é imprescindível a pesquisa sobre estes microrganismos de interesse médico no controle de infecções (SOUSA, 2003; SILVA, 2008).

Algumas bactérias que constituem a microbiota normal do corpo humano podem desenvolver vários quadros infecciosos em indivíduos imunodeprimidos. Além de causarem doenças, são também utilizados como indicadores de contaminação. Os indicadores são utilizados para avaliar as condições gerais de saneamento ou ambientais que podem sinalizar ou indicar a presença potencial de patógenos. Dentre os microrganismos da microbiota humana de maior interesse médico no controle de infecção hospitalar, destacam-se os microrganismos da família *Enterobacteriaceae* (MACHADO, 2004; SABORIDO et al.; 2014).

3.6.4 Enterobactérias

As enterobactérias compreendem um grupo heterogêneo de bacilos Gram-negativos fermentadores de glicose, medindo em geral 0,3-1,6 μm . Os gêneros e as espécies de enterobactérias podem ser diferenciados com base nas suas características bioquímicas. As características que este grupo apresenta definem a família *Enterobacteriaceae*: são bactérias não esporuladas; a maioria possui flagelos peritríquios, enquanto outros são imóveis. São

aeróbios e anaeróbios facultativos, oxidase negativa e catalase positiva, fermentam a glicose com ou sem formação de gás e reduzem nitrato a nitrito. A maioria das espécies se desenvolve bem em temperatura de 37 °C, entretanto, algumas têm o crescimento mais ativo em temperaturas de 25 e 30 °C (GRAGERA, 2002).

A família *Enterobacteriaceae* inclui as bactérias mais estudadas atualmente. São habitantes normais do intestino de indivíduos saudáveis, enquanto, outros membros desta família são encontrados no solo, plantas, água, alimentos, ambientes domésticos e industriais (UMAR, 2012). No entanto, sob certas situações, algumas enterobactérias, são potencialmente patogênicas, infectando seres humanos e animais. O equilíbrio da biota intestinal é mantido pelas interações entre as bactérias e o hospedeiro. (PATERSON, 2012; OLIVEIRA et al.; 2015). As infecções por enterobactérias em pacientes hospitalizados, bem como a sua resistência aos tratamentos com antibióticos tem tornado esse grupo de bactérias um dos mais importantes temas de pesquisa nos últimos anos.

As enterobactérias são as causas mais frequentes de infecções nosocomiais, produzindo grande variedade de quadros clínicos, como infecção do trato urinário, infecção de feridas cirúrgicas e respiratórias. Globalmente, as enterobactérias são responsáveis por um terço das infecções respiratórias, mais da metade das infecções entéricas e da maioria das infecções urinárias (GRAGERA, 2002).

Algumas enterobactérias dentro do gênero *Salmonella* e *Shigella* sempre ocasionam doenças, como febre tifóide, disenteria e quadros de infecção generalizada, meningite ou pneumonia, entre outros. Os gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Klebsiella* são referenciados como patógenos oportunistas, mas que podem causar doenças em pessoas com quadros clínicos debilitados. As principais infecções ocasionadas por esses grupos de bactérias são: intestinais e extraintestinais incluindo diarreias, meningite, pneumonia, feridas e infecções do trato gastrintestinal e urinário (HOLT et al., 1994; KAREN, 2017; KOTLOFF, 2017).

Os membros da família *Enterobacteriaceae* foram amplamente relatados durante os processos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e em outros tipos de resíduos sólidos orgânicos (TUOMELLA et al.; 2000; HASSEN et al.; 2001; CHRONI et al.; 2008; SUNDBERG et al.; 2010; JURADO et al.; 2014; WANG et al.; 2015; CERDA et al.; 2017; SOOBHANY et al.; 2017; SÁNCHEZ et al.; 2017). Sabe-se que a presença das enterobactérias na compostagem é considerada um risco eminente. Por outro lado, esses microrganismos também atuam como biodegradadores da matéria orgânica. É importante destacar que a presença desse grupo de bactéria na compostagem pode ser advinda do próprio

resíduo sólido orgânico utilizado no processo. Devido às condições e nutrientes disponíveis essas bactérias estabelecem seu desenvolvimento. No entanto, ainda são necessários estudos sobre a presença das enterobactérias nos resíduos sólidos orgânicos, tendo em vista a sua importância clínica e sanitária.

Para estimar a qualidade sanitária dos alimentos, os membros da família *Enterobacteriaceae* têm sido adotados como indicadores de higiene mais adequados em padrões internacionais, uma vez que a família inclui as bactérias patogênicas *Salmonella* spp., *Shigella* spp. e *Yersinia* spp., além de bactérias do grupo dos coliformes totais (ERCOLE et al.; 2003; RUMI et al.; 2016). Neste viés, a falha na higienização dos alimentos reflete diretamente nos resíduos sólidos orgânicos que são destinados para compostagem em escala domiciliar.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (2017) estabelece critérios para qualidade ambiental do processo compostagem como: ausência de *Salmonella* ssp. no produto final.

Alguns membros desta família são de importância para a saúde pública. Dentre estes, destaca-se os tipicamente enteropatogênicos ao ser humano (*Salmonella* e *Shigella*) e outros que apresentam apenas alguns sorotipos enteropatogênicos, como é o caso do gênero *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Klebsiella*, *Proteus* e *Yersinia* (MURRAY, 2009).

Salmonella spp. é uma das principais causas de doenças transmitidas por alimentos no mundo. A espécie é bastante diversa, sendo o ser humano e os animais seus principais reservatórios. Os sorotipos *Salmonella typhi* e *Salmonella paratyphi* são responsáveis por causarem inúmeros quadros infecciosos: febre tifóide, infecções entéricas, gastroenterites e septicemias (HOLT et al., 1994; BRASIL, 2011).

A disseminação da *Salmonella* spp. no ambiente ocorre através da sua eliminação com as fezes que contaminam o solo e os corpos d'água. Em condições favoráveis, a sua sobrevivência pode ser longa, em particular na matéria orgânica. Segundo dados do Ministério da Saúde (2011), esses microrganismos podem permanecer viáveis por longos anos em fezes secas, como também podem resistir mais de 28 meses nas fezes de aves, 30 meses no estrume bovino, 280 dias no solo cultivado e 120 dias nas pastagens e efluentes de água residuais.

Os principais veículos de contaminação por *Salmonella* são produtos agrícolas não higienizados, como hortaliças e frutas, alimentos de origem animal, como as carnes cruas, leite e ovos, além de esgotos não tratados. Destaca-se que são bactérias que resistem bem a vários fatores ambientais. A adaptabilidade fisiológica de *Salmonella* é demonstrada por sua habilidade para proliferar em valores ótimos de pH entre 7.0 e 7.5 e com extremos de 3.8 e

9.5, temperatura de 35 °C a 43 °C e com extremos de 5 °C a 46 °C e uma atividade hídrica (> 0,94), ocorrendo variações entre sorotipos e/ou cepas (BRASIL, 2011).

A sua adaptabilidade e resistência a diferentes fatores ambientais torna esses microrganismos o grande vilão no quesito qualidade sanitária, tendo em vista o tratamento adequado para evitar sua disseminação.

A *Salmonella* spp. constituem microrganismos patogênicos de importância clínica e ambiental, cuja dose infectante varia de 10^5 a 10^8 células, porém, em pacientes imunossuprimidos têm sido observadas doses $\leq 10^3$ (BRASIL, 2011).

Ainda destacando *Salmonella* spp., pesquisas realizadas por Hassan et al. (2001) e Sundberg et al. (2010) com compostagem de resíduos sólidos orgânicos, evidenciaram a presença desse patógeno durante o processo. A presença desses microrganismos é considerada um problema de qualidade higiênica do composto (HASSAN et al.; 2001). Segundo Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2011), para segurança do composto final o gênero *Salmonella* tem que estar ausente em 10 gST.

As bactérias do gênero *Klebsiella* estão amplamente distribuídas na natureza, no solo, na água, vegetação, incluindo também esgoto. Elas também fazem parte da biota intestinal normal, mas, geralmente, em números mais baixos em relação à *Escherichia coli*. São patógenos oportunistas comuns para seres humanos e outros animais, que podem causar pneumonia, infecções do trato urinário e bacteremia (PODSCHUN, ULLMANN, 1998; PACZOSA, MECSAS, 2016)

Segundo Kim et al. (2005); Gundogan et al. (2011) e Tominaga (2018), devido aos diferentes habitats e às características, essas bactérias são consideradas reservatórios de genes de resistência a antibióticos na cadeia alimentar e é necessário o monitoramento de alimentos e do ambiente para *K. pneumoniae* e bactérias relacionadas.

Nos últimos anos, as bactérias do grupo da família *Enterobacteriaceae* tem aumentado a resistência a diferentes grupos de antibióticos e tem sido um grande desafio para saúde pública. As infecções por *Klebsiella*, especialmente em hospitais, têm aumentado, devido a cepas resistentes a múltiplos antibióticos. *Klebsiella* é a causa de cerca de 10% das infecções do trato urinário em humanos. Todos os anos, pelo menos dois milhões de pessoas nos EUA desenvolvem quadros infecciosos por bactérias resistentes a diversos antibióticos (MC GUIRA, 2013; PACZOSA, MECSAS, 2016; CASTAÑEDA et al.; 2018). Segundo Sanchez, (2017) algumas cepas de *Klebsiella sp* podem atuar como fixadoras de nitrogênio.

Escherichia coli é um microrganismo bastante estudado e tem sido utilizado como modelo em estudos bioquímicos e na genética (YANG, 2014; WANG, 2014). Esses organismos ocorrem de diversas formas na natureza, variando de cepas benéficas às patogênicas em humanos e animais (VAN ELSAS et al., 2011).

A maioria das cepas de *E. coli* é benéfica para seu hospedeiro no equilíbrio da biota intestinal e absorção de nutrientes. Por outro lado, as cepas patogênicas de *E. coli*, como enterotoxigênica (ETEC), enteropatogênica (EPEC), enteroinvasiva (EIEC) e *E. coli* _O157:H7 enterohemorrágica (EHEC), todas tem a capacidade de causar uma ampla gama de doenças em humanos e animais, desde a diarreia até a infecção da corrente sanguínea (septicemia). Um exemplo é a *E. coli* sorotipo O157:H7 que é bem conhecida, capaz de produzir grandes quantidades de uma ou mais toxinas, responsáveis pela doença colite hemorrágica que já causou a mortalidade de várias pessoas em todo mundo (VAN ELSAS et al.; 2011; FDA/CFSAN, 2012; YANG, 2014; WANG, 2014).

Vale ressaltar que *E. coli* é amplamente utilizada como indicador de qualidade sanitária e quando em concentrações elevadas podem indicar risco, pois patógenos entéricos podem estar presentes.

Shigella spp. é membro da família *Enterobacteriaceae* em forma de bacilos, não móvel e não esporulado. Produz uma enterotoxina semelhante à verotoxina da *E. coli* (O157:H7). O gênero *Shigella* é formado por quatro sorogrupos principais: sorogrupo 1 (*Shigella dysenteriae*), sorogrupo 2 (*Shigella flexneri*), sorogrupo 3 (*Shigella boydii*) e sorogrupo 4 (*Shigella sonnei*) (VIALA, 2004; PHILPOTT, 2004; ASBURY, 2018; SEVILHA, 2018; MORAN, 2018).

Os quatro sorogrupos de *Shigella* são patógenos com alto poder infectante. *Shigella* spp. é uma bactéria invasora do epitélio intestinal e a diarreia por Shigellose apresenta fios de sangue.

Segundo dados da Vigilância Epidemiológica de São Paulo (2013); Bliven (2017); Lampel (2017), as infecções por *Shigella* são responsáveis por cerca de 600.000 mortes no mundo. A maioria das mortes ocorre em crianças menores de dez anos de idade que vivem em áreas com problemas de saneamento básico.

O ser humano é o principal reservatório da *Shigella*. Esses patógenos estão associados a produtos alimentares como, alface batata, atum, camarão, macarrão, frango, leite e derivados. A sua transmissão é geralmente através da via fecal-oral, provavelmente, devido às más práticas de higiene dos preparadores e manipuladores de alimentos (BLIVEN, 2017;

LAMPEL, 2017). A água contaminada por fezes e manipuladores mal higienizados é o principal veículo de contaminação e surtos dessa bactéria (VIGILÂNCIA EPIDEMIOLOGICA, 2013).

Enterobacter é um gênero de bactérias Gram-negativas, anaeróbios facultativos, em forma de bastonete, geralmente móveis e não formadoras de esporos, pertencentes à família *Enterobacteriaceae*. É considerado um grupo heterogêneo e pode ser encontrado em locais variados, incluindo vegetação, solo, água e também nos ambientes doméstico hospitalar e industrial. Além desses nichos, *Enterobacter* foram encontradas em uma ampla variedade de alimentos, incluindo frutas e legumes (frescos, congelados), carne, peixe, ovos, laticínios, fórmulas infantis em pó, grãos, nozes, sementes, farinha, macarrão, chocolate, bebidas. A presença desses contaminantes biológicos nos variados ambientes está relacionada às falhas na higiene e também através de partículas presentes na atmosfera (IVERSEN, 2014).

Duas de suas espécies, *E. aerogenes* e *E. cloacae* são reconhecidas como bactérias oportunistas, mas, são responsáveis por causar infecções nosocomiais de pacientes em unidades de terapia intensiva (MURRAY, 2009; IVERSEN, 2014).

O gênero *Citrobacter* são bastonetes Gram-negativos, anaeróbios facultativos, medindo 1,0 µm de diâmetro e 2,0-6,0 µm de comprimento. As espécies de *Citrobacter* são habitantes primárias do trato intestinal e são frequentemente isolados de fezes humanas e outros animais. Também são encontrados no solo, água, esgoto e alimentos. O gênero *Citrobacter* possui 11 espécies diferentes e três entre elas, como *Citrobacter freundii*, *C. koseri* (*C. diversus*) e *C. amalonaticus*, são conhecidas por causar doenças em humanos. As infecções são comumente relatadas em recém-nascidos, idosos e hospedeiros imunocomprometidos, e incluem infecções do trato respiratório, do trato urinário e infecções da corrente sanguínea (HOLT et al., 1994; UMAR, 2012; KOSHY et al.; 2016).

Os membros do gênero *Serratia* são bastonetes Gram-negativos medindo 0,5-0,8 µm de diâmetro e 0,9–2 µm de comprimento. As principais espécies são *Serratia marcescens*, *S. liquefaciens*, *S. rubidaea*, *S. ficaria*, *S. fonticola*, *S. odorifera*, *S. plymuthica*, *S. grimesii* e *S. proteamaculans*. Essas espécies podem ocorrer no solo, ar, água, superfície de plantas, trato digestivo de insetos e animais e ambiente hospitalar (RAFII, 2014).

Essas bactérias são descritas como patógenos oportunistas e podem causar uma variedade de infecções. A espécie *S. marcescens* tem sido considerada um importante patógeno, responsável por causar infecções nosocomiais em recém-nascidos e pacientes submetidos a procedimentos invasivos (CARBONELL et al., 2003).

Segundo Rafii (2014), as espécies de *Serratia* spp. podem sobreviver em condições adversas como pH que pode variar de 4-9 e teores de umidade baixos e também podem contribuir para a deterioração de alimentos e agir tanto como patógenos de origem alimentar quanto oportunistas.

Proteus spp. constituem bacilos Gram-negativos, não esporulados, oxidase-negativa, anaeróbio facultativo e ativamente móveis, por flagelos peritríquios. Todas as cepas de *Proteus* produzem ácidos a partir da glicose e, a maioria produz pequenas quantidades de gás. Estão amplamente distribuídos na natureza e estão presentes em carnes, esgoto e muito frequentemente nas fezes de humanos, animais, vegetais, no solo, frutas e também esta associado a vetores de doenças como: baratas e moscas (KUSHWAHA; BABU; JUNEJA, 2014).

São organismos saprófitas e geralmente estão associados às infecções humanas, onde agem como patógenos oportunistas. O gênero *Proteus* possui quatro espécies: *P. mirabilis* e *P. vulgaris*, *P. penneri* e *P. myxofaciens*, destacando-se a espécie a *P. mirabilis* que é comumente encontrada e é responsável por 70-90% das infecções humanas. O local comum da infecção por *Proteus* é o trato urinário e as pessoas mais susceptíveis a esse tipo de infecção são crianças e idosos (MURRAY, 2009; KUSHWAHA; BABU; JUNEJA, 2014). Segundo o mesmo autor, esses patógenos são altamente sensíveis ao calor e facilmente mortos por calor úmido a 55 ° C após 1 hora.

O gênero *Yersinia* esta formado por 17 espécies: A *Yersinia pestis*, *Y. pseudotuberculosis* e *Y. enterocolitica* são os patógenos humanos mais conhecidos (MURRAY, 2009; FALCÃO, 2014). Todas as infecções humanas causadas por esses patógenos são zoonóticas, tem os humanos como hospedeiros acidentais. *Yersinia pestis* tem o rato como reservatório natural, sendo o agente casual da peste bubônica e a peste pneumônica. *Y. pseudotuberculosis* causa, principalmente, linfadenite mesentérica e septicemia, e *Y. enterocolitica* é a espécie prevalente entre os humanos, sendo a causa comum de enterocolite.

A causa da gastroenterite está intimamente associada à ingestão de alimentos ou água contaminada (MURRAY, 20011; FALCÃO, 2014). Além das espécies que infectam humanos, é importante destacar as espécies ambientais: *Yersinia intermedia*, *Y. frederiksenii*, *Y. kristensenii*, *Y. aldovae*, *Y. rohdei*, *Y. mollaretii* e *Y. bercovieri* que podem agir como agentes patogênicos oportunistas (FALCÃO, 2014).

São bactérias anaeróbias facultativas, oxidase-negativos, catalase-positivos, não formadores de esporos e são móveis com flagelos pitríquios, com exceção da *Yersinia pestis* que é imóvel, medindo 0,5 a 0,8 mm de diâmetro e 1 a 3 mm de comprimento. Essas

espécies apresentam temperatura ótima de crescimento 25 a 29 °C, mas a maioria das linhagens pode crescer em uma ampla faixa de temperaturas, variando de um mínimo de 4 °C a um máximo de 43 °C. A faixa de pH ótima para todas as espécies é 7,2 a 7,4 (MURRAY, 2009; FALCÃO, 2014).

O gênero *Edwardsiella* possui três espécies, porém, apenas *E. tardia* infecta humanos. Esse microrganismo é encontrado em animais, água doce e peixes marinhos. É considerado um patógeno humano incomum, que pode causar gastroenterite. A ação infecciosa é semelhante à *Salmonella* (SCHLENKER; SURAWICZ, 2009).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização do local da Pesquisa

4.1.1 Local da amostragem

O presente trabalho foi desenvolvido com base na pesquisa quali-quantitativa, do tipo experimental que consiste na elaboração de instrumentos para coleta de dados, submetidos a testes (MARCONI; LAKATOS, 2007).

As amostras de resíduos sólidos orgânicos foram procedentes de 63 famílias que residem no entorno da Igreja Matriz Jesus Libertador, bairro Malvinas, em Campina Grande-PB. Os resíduos sólidos orgânicos foram coletados na fonte geradora e separados dos demais grupos de resíduos, seguindo o princípio da coleta seletiva, conforme descrito na lei 12.305/2010.

A escolha deste bairro foi devido ao fato de já existirem projetos de pesquisas e de extensão na área relacionadas aos resíduos sólidos, desde 2007. Os projetos desenvolvidos nesta localidade foram: Inclusão social dos profissionais da catação, Educação Ambiental e implantação da coleta seletiva em 283 residências, desenvolvimento de composteiras; desenvolvimento de tecnologias sociais e estudos de mesoinvertebrados, Gestão de resíduos sólidos sob a ótica da tecnologia social (COSTA, 2014; NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2016; COSTA, 2016; ARAÚJO, 2018; SOUSA, 2018).

As famílias que cederam os resíduos sólidos orgânicos estão distribuídas em 13 ruas, conforme figura 4.

Para determinar a quantidade de residências para coleta dos resíduos sólidos orgânicos, levou-se em consideração o número de casas que participava da coleta seletiva, totalizando 283 residências. A partir desse número foi adotada uma amostragem aleatória, composta por 63 famílias, correspondendo a 22,6% do total.

sólidos orgânicos ainda não têm destinação correta; sendo encaminhados ao aterro sanitário, situado no distrito de Catolé do Boa Vista-PB.

O convite para participação foi realizado com a proposta de que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares fossem segregados pelos integrantes da família e coletados pelos responsáveis do projeto nos dias previamente agendados. Foram também disponibilizados às famílias sacos plásticos para o acondicionamento dos resíduos sólidos orgânicos produzidos na residência até o dia agendado para o seu recolhimento durante o período de oito dias.

4.2.2 Estruturação e montagem da área experimental

A área experimental, modificado de Araújo (2018), foi instalada ao lado do lab.-GGEA/UEPB (Grupo de Extensão e Pesquisa em Gestão e Educação Ambiental), localizado no Campus I da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Este abrange uma área de 16 m² e sua estrutura é constituída por madeira, lona e telas de proteção. Esta estrutura tem por finalidade impedir as interferências diretas da chuva e insolação, bem como a presença de animais, sobretudo de grande porte (Figura 5).

Figura 5. Área experimental onde foram instalados os sistemas de tratamento aeróbio de resíduo sólido orgânico.

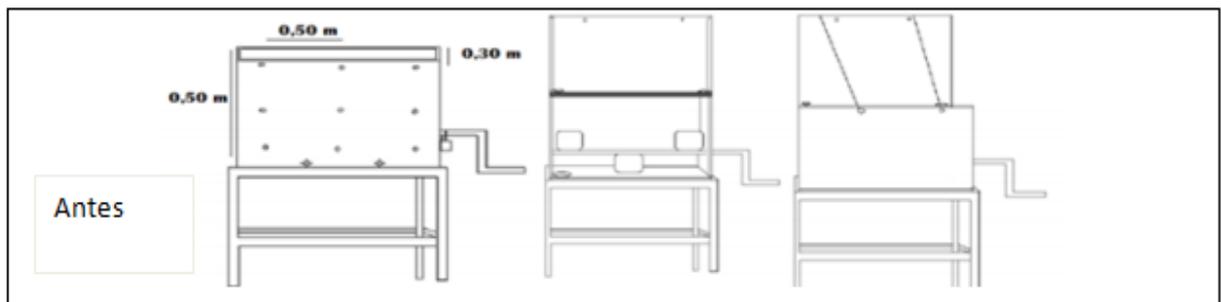


Fonte: Autora (2018)

4.2.3 Desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares

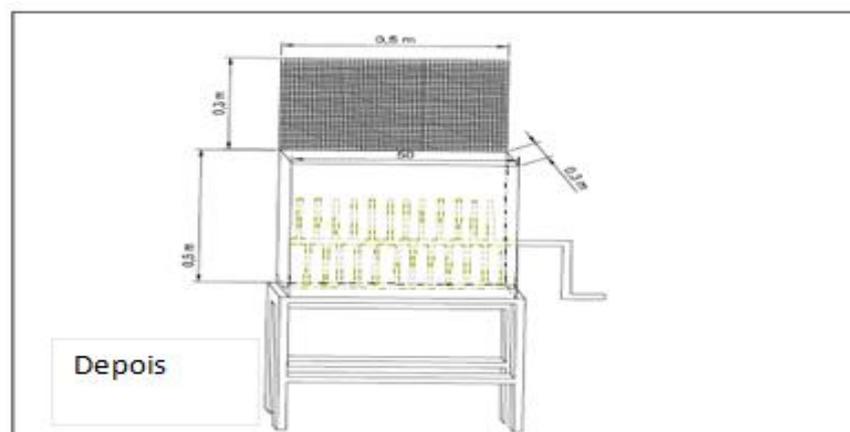
Os sistemas de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares (SITRADERO_{MÓVEL}) foram constituídos por dois modelos de composteiras móveis em triplicata: 1) composteira retangular de alumínio e inox - CAR (Figuras 6 e 7) e composteira cilíndrica de polietileno – CPC (Figura 8).

Figura 6. Esquema da composteira retangular confeccionada em alumínio e aço inoxidável (CAR).



Fonte: Nascimento (2015)

Figura 7. Esquema da composteira (CAR), com modificações na parte interna da manivela.

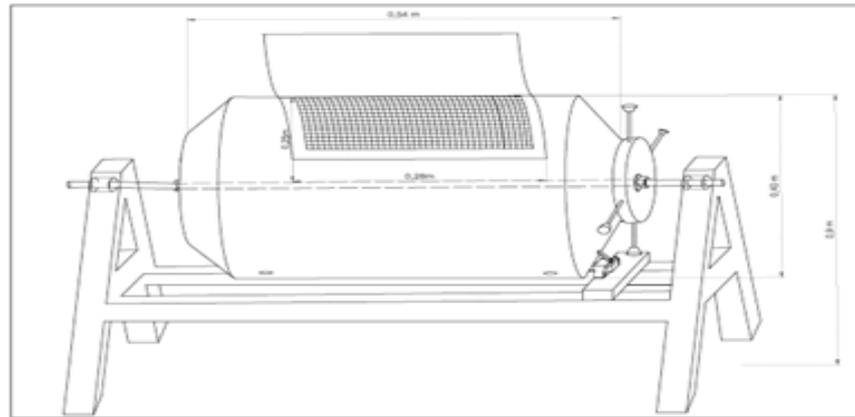


Fonte: Nascimento (2015), adaptado por Gomes (2018)

A partir de testes realizados com o modelo de composteira descrito, verificaram-se entraves em relação ao reviramento do material. Mediante a este impasse, foram realizados novos testes que levaram ao desenvolvimento de um novo modelo. Para confecção, levou-se em consideração o tipo de material e o custo para sua montagem, de forma que atendesse ao princípio da tecnologia social e que possibilitasse a prática da compostagem em pequena

escala e de forma descentralizada. Neste sentido, foi desenvolvida a composteira cilíndrica de polietileno, com roda leme para o revolvimento do material sem desprender muito esforço físico ao operador (figura 8).

Figura 8. Esquema da composteira cilíndrica em polietileno (CPC).



Fonte: Gomes (2018)

Cada composteira foi aplicada em triplicata (Quadro 7) para obter maior confiabilidade dos resultados (CAR₁, CAR₂, CAR₃; CPC₁, CPC₂ e CPC₃). As dimensões das composteiras estão apresentadas no Quadro 7.

Quadro7. Dimensão das composteiras referentes aos sistemas de sistema de Tratamento Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares.

¹ Siglas	Composteiras	Dimensões (m) ¹			Volume (m ³)	Capacidade de carga (kg)	Subsistemas
		l	c	h			
CAR	Aço inoxidável retangular	0,30	0,50	0,50	0,075	30	CAR ₁ CAR ₂ CAR ₃
CPC	Polietileno cilíndrico	0,30	0,54	0,40	0,065	30	CPC ₁ CPC ₂ CPC ₃

Fonte: Nascimento (2015) e modificado por Gomes (2018)

¹ l- largura c- comprimento h- altura

Cada composteira foi alimentada com 26,6 kg de substratos triturados, totalizando 79,8 kg em cada sistema. Desse total, 80% foram resíduos sólidos orgânicos domiciliares e 20% estruturante.

O estruturante usado era composto por materiais não degradados em outros sistemas de compostagem, composto por rejeito e farelo. Essa constituição é resultante do peneiramento após a estabilização da matéria orgânica. A finalidade destes constituintes em sistemas de compostagem é favorecer a aeração, o teor de umidade adequado à ação dos organismos autóctones e o equilíbrio na relação C/N.

4.2.4 Coleta dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares nas residências selecionadas

A coleta das amostras ocorreu durante um período de oito dias, seguindo-se o calendário da coleta do serviço público de limpeza urbana (terça-feira, quinta-feira e sábado). Foram coletados 330 kg de resíduos sólidos orgânicos nas 63 casas selecionadas. O total das amostras foi obtido a partir da realização de quatro coletas.

A coleta contou com o apoio dos catadores de materiais recicláveis associados à ARENSA (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Comunidade Nossa Senhora Aparecida) que atuam na área onde foram desenvolvidas pesquisas e onde já foram feitas pesquisas anteriores (COSTA 2014; NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2016; COSTA, 2016; ARAÚJO, 2018; SOUSA 2018).

Os resíduos sólidos orgânicos foram coletados em sacos plásticos cedidos pelos pesquisadores, sendo estes separados dos demais resíduos sólidos e após cada coleta foram encaminhados ao Lab-GGEA/UEPB, Campus I. Neste local, os resíduos sólidos orgânicos foram pesados e armazenados durante oito dias, o que correspondeu ao período de coleta.

Os resíduos sólidos orgânicos coletados apresentaram composição bastante heterogênea. Constituíram-se de cascas de ovos, cascas de diferentes tipos de frutas e de verduras, restos de comidas, pó de café, palhas, sabugos de milho e folhas secas.

Após a caracterização, estes materiais foram triturados, visando reduzir o tamanho de suas partículas e favorecer a ação dos organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, sobretudo, dos microrganismos. O equipamento utilizado como triturador é da marca TRAPP 200, eficiente na trituração de produtos de origem orgânica (figura 9A; 9B).

Após o término da trituração, o material foi colocado em uma lona para formar uma mistura homogênea da amostra total (A). Este material foi dividido em quatro partes (B) para

favorecer o acréscimo do material estruturante, formado por rejeito e farelo resultantes do experimento de Araújo (2018). Durante a mistura houve todo cuidado para que o material ficasse bastante homogeneizado, de modo a favorecer a formação do substrato a ser tratado o mais uniforme possível. Deste foram retiradas três amostras compostas, resultando em 36 subamostras que foram submetidas à análise física, química e biológica do substrato inicial (A1; A2; A3), conforme propôs Araújo (2018) e Nascimento (2015).

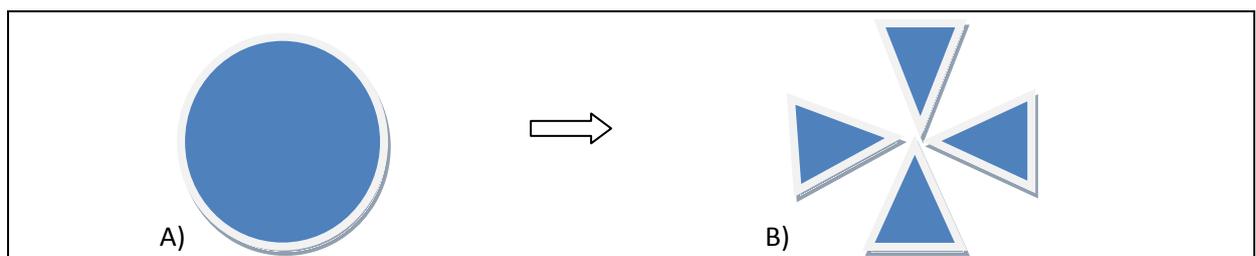
Figura 9. Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos. **A:** trituração dos resíduos sólidos orgânicos coletados, **B:** homogeneização dos resíduos sólidos orgânicos triturados.



Fonte: Gomes (2018)

O método empregado para determinar a composição das amostras de resíduos sólidos orgânicos domiciliares de forma representativa foi o de quarteamento múltiplo (NASCIMENTO et al., 2017; ARAÚJO, 2018), organizado de acordo com Figura 10.

Figura 10. Esquema do método de quarteamento múltiplo aplicado às amostras de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.



Fonte: Adaptado de Nascimento (2015) e Nascimento et al. (2017)

4.3 Monitoramento dos sistemas de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares

As análises foram realizadas no Lab-GGEA e no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Biologia (UEPB), ambos situados no Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS), da UEPB, Campus I e no laboratório do Setor de Ciências do Solo da Universidade Federal da Paraíba, na cidade de Areia-PB. No quadro 8 são citados os parâmetros analisados e a frequência de monitoramento.

O monitoramento dos sistemas foi realizado a partir de variáveis físicas, químicas e biológicas. O conhecimento e entendimento das variáveis são fundamentais ao funcionamento adequado da compostagem.

Quadro 8. Caracterização físico-química e biológica dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

	Parâmetros	Frequência	Método Utilizado	Fonte
Físico	Temperatura (°C)	Diariamente até 15° dia	Aferição por termômetro mercúrio	APHA (2005)
		Semanal		
	Teor de umidade (%)	Semanal	Gravimétrico	Silva (2005)
Químico	pH (Unidade)	Semanal	Potenciométrico	APHA (2005)
	Carbono Orgânico Total (%COT)	Inicial e Final	Kiehl (1998) 1,8xSTV	Goldin (1987)
	Sólidos Totais Voláteis (%ST)	Semanal	Gravimétrico	Silva (2008)
	Potássio (%ST)	Inicial e Final	Fotometria de chama	Okumura et al.; (2004)
	Nitrogênio total (%NTK)	Inicial e Final	Método Kjeldhal	Tedesco et al., (1995)
	Fósforo Total (%ST)	Inicial e Final	Espectrofotométrico com ácido ascórbico	Tedesco et al., (1995)
Biológico	Ovos de Helminthos (ovos/gST)	Inicial e Final	Meyer (1978) adaptado por Silva (2008)	Silva (2008)
	Enterobactérias (UFC/g)	Semanal	Semeadura em Placas	APHA (2012)

Fonte: Araújo (2017) adaptado por Gomes (2018)

4.3.1 Análise das variáveis físicas dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares

Para garantir a oxigenação nas diferentes profundidades (superfície, centro e base) foram realizados reviramentos três vezes na semana durante os primeiros dias do processo de compostagem, devido ao alto teor de umidade. Com a diminuição do teor de umidade, que ocorreu na terceira semana, os dias de reviramento do material foram reduzidos de três para dois (terças e quintas-feiras). Os dias planejados para o reviramento (terças e quintas-feiras) estiveram relacionados com o dia em que foi montado o sistema, de modo que possibilitasse a observação de todas as mudanças ao longo do processo.

O reviramento nos sistemas foi realizado com o uso de uma manivela em CAR e um leme em CPC. Sua função era proporcionar a circulação de ar em toda a massa do material e possibilitar a ação dos organismos aeróbios, diminuindo as zonas de anaerobioses e o teor de umidade, evitando os inconvenientes deste tipo de tratamento: mau cheiro, geração de metano e produção de chorume. Além de favorecer a homogeneização do substrato, o reviramento é importante para garantir a ação dos organismos responsáveis pela biodegradação dos resíduos sólidos orgânicos.

O monitoramento da temperatura (°C) ocorreu diariamente e sempre no mesmo horário (09h00min) da manhã. O horário foi determinado a partir da hora em que foi iniciada a montagem do experimento, de maneira que permitisse identificar as fases da compostagem (mesofílica, termofílica e maturação) e assim, entender as transformações que ocorriam ao longo do processo.

Para aferição da temperatura foram utilizados termômetros de mercúrio em três pontos do substrato: superfície, centro e base, obtendo-se a média da temperatura diária. Também foi aferida a temperatura ambiente do local de instalação dos sistemas, visando comparar com as médias obtidas nos sistemas em estudo.

Para as análises do teor de umidade, seguiu-se o método de Goldin (1987) e Nascimento (2015) e Araújo (2018). As amostras foram pesadas na balança de precisão e encaminhadas para estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Em seguida, essas amostras foram esfriadas em dessecador e pesadas novamente. O percentual para teor de umidade foi então calculado, conforme fórmula 2.

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{(P0-PC)-(P1-PC)}{Pa} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

P0 = peso da amostra in natura (g)
 PC = peso do cadinho (g)
 P1 = peso da amostra após secagem (g)
 Pa = peso da amostra (g)

O teor de umidade desempenha um papel importante no comportamento do sistema, e por se tratar de um sistema biológico aeróbio, os organismos precisam de quantidades de água adequadas para o seu desenvolvimento, garantindo assim, o funcionamento do experimento. Dessa forma, o experimento foi regulado através de alguns procedimentos necessários, tais como: adição de água e revolvimento do sistema.

4.3.2 Análise das variáveis químicas.

As análises das variáveis químicas realizadas neste trabalho estão citadas no quadro 8. Para análise de pH foram utilizadas 25 g do substrato, diluídos em 125 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada e a medição foi feita com o pHmetro.

Para determinação do percentual de sólidos fixos, foram pesados 25 g da amostra de resíduos sólidos orgânicos, acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados em uma temperatura de 550 °C, por 2 h. Após esse período, a amostra foi pesada e retornada à mufla por mais uma hora, repetindo o procedimento até obter o valor das cinzas P2 (NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2018), conforme fórmula 3:

$$\text{STF (\%)} = \frac{(\text{P2-PC})}{\text{ST}} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

P2 = peso da amostra calcinada (g)
 P = peso do cadinho (g)
 ST = unidade de sólidos totais

A diferença entre sólidos totais e sólidos fixos corresponde aos sólidos totais voláteis, conforme cita Nascimento (2015), conforme formula 4.

$$\text{STV (\%)} = \frac{(\text{ST-SF})}{\text{ST}} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

ST = unidade de sólidos totais
 SF = unidade de sólidos fixos

Para resíduos sólidos orgânicos, o emprego do método da mufla permite estimar o teor de carbono orgânico total dos resíduos compostados, sendo necessário para isso, o fator de 1,8 para conversão do percentual de sólidos totais voláteis em carbono orgânico total, conforme sugerem Jiménez e García (1992) e Kiehl (1998).

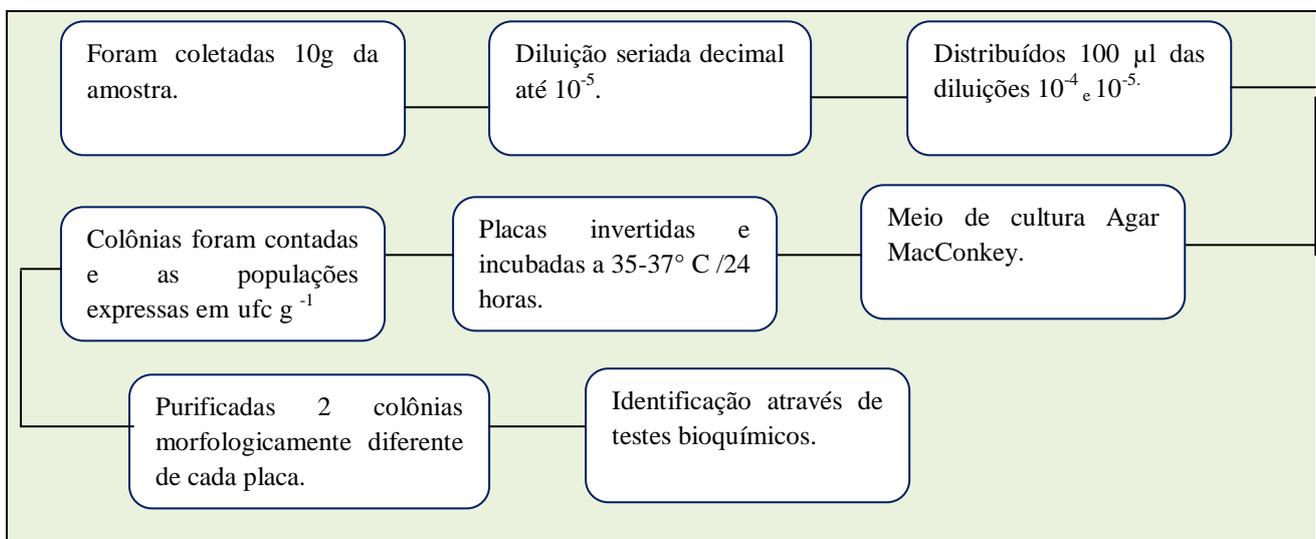
4.3.3 Caracterização biológica e qualidade sanitária dos resíduos orgânicos domiciliares

A análise da qualidade sanitária foi feita por meio da análise qualitativa e quantitativa de bactérias da família *Enterobacteriaceae* e da presença ou ausência de ovos viáveis de helmintos (Ovos/gST) (Anexo 1).

4.3.4 Isolamento e contagem de bactérias da família *Enterobacteriaceae*

Para caracterizar a diversidade de enterobactérias no processo de compostagem, foram monitorados os sistemas de tratamento (composteiras) desde a fase inicial (montagem) até o final do processo. As amostras foram coletadas semanalmente de agosto a novembro de 2018, perfazendo um total de dez coletas (Figura 11).

Figura 11. Procedimentos metodológicos utilizados para contagem e isolamento de enterobactérias.



Fonte: Autora (2019)

Para obtenção das amostras, foram coletadas pequenas alíquotas em diferentes pontos e profundidade para formarem uma amostra de aproximadamente 10 g (LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2013). Este material foi armazenado e ligeiramente homogeneizado em sacos plásticos com zíper e encaminhado para o laboratório onde foram processados.

As análises microbiológicas foram realizadas através do método de diluição seriada decimal, conforme Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 30 de 12/11/2010 (BRASIL, 2010).

Inicialmente, foi produzida uma suspensão de 10 g de resíduo bruto em 90 mL de solução fisiológica estéril a 0,9% e filtrada em filtro de polietileno. A partir desta suspensão foram utilizadas diluições seriadas até 10^{-5} , transferindo-se 1 mL da diluição anterior para outros 9 mL de solução fisiológica estéril a 0,9%.

Após cada diluição foram descartadas as pipetas e os procedimentos foram realizados sob condições assépticas.

Foi utilizado o Agar MacConkey para isolamento e contagem de Enterobactérias, o Agar SS foi adotado para isolamento de espécies dos gêneros *Salmonella* e *Shigella* (ANVISA, 2004; OPLUSTIL et al.; 2010; CHANDNA et al.; 2013). No entanto, observou-se que em Agar SS crescem vários tipos de colônias. Não sendo específico apenas para *Salmonella* e *Shigella*, como era esperado.

Foram distribuídos 100 µl das diluições 10^4 e 10^5 , em duplicata, através da técnica de espalhamento com a alça de Drigalsk, em placas de Petri, contendo cada um dos meios citados anteriormente. Realizada a inoculação, as placas foram invertidas e incubadas a 35-37° C por 24 horas em estufa bacteriológica. Após esse período as colônias foram contadas e as populações expressas em termos de UFC g⁻¹.

Para o cálculo do total das colônias foi aplicada a média da contagem das placas em duplicata semeadas com alíquotas de cada uma das diluições; o resultado foi multiplicado pelo fator da diluição da amostra. Foram contadas as placas que apresentavam um número de colônias entre 30 a 300 UFC.

Foram purificadas duas colônias morfológicamente diferentes de cada placa contendo os meios MacConkey e Ágar SS. Após a purificação, as culturas passaram por uma bateria de provas bioquímicas para identificação dos principais gêneros e espécies presentes (Anexo 2).

A determinação dos gêneros e espécies isoladas foi realizada a partir de kits específicos para Enterobactérias, contendo diferentes meios de cultura. Para facilitar a classificação, os kits eram organizados em cinco meios de cultura que continham as provas bioquímicas. De acordo com os kits, os meios eram classificados como: **Meio EPM:** produção de gás a partir da glicose, produção de gás sulfídrico (H₂S), hidrólise da ureia e desaminação do triptofano; **Meio MIO:** motilidade, indol e ornitina; **Meio RHAMNOSE.** **Meio LMI:** lisina, Motilidade e indol; **Meio CITRATO DE SIMMONS.**

4.3.5 Análises dos Dados

A diversidade das enterobactérias presente no processo de compostagem foi analisada através do índice Shannon-Weaver (conforme a fórmula 5) e a correlação entre os parâmetros avaliados foi feito por meio do teste de Pearson através do software Microsoft Excel

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (5)$$

Onde:

n_i = O número dos indivíduos em cada espécie

S = O número de espécies, chamado também de riqueza

N = O número total de todos os indivíduos

P_i = A abundância relativa de cada espécie, calculada pela proporção dos indivíduos de uma espécie pelo número total dos indivíduos na comunidade. $\frac{n_i}{N}$

$$\sum_{i=1}^S n_i$$

4.3.6. Considerações Éticas

A presente pesquisa foi desenvolvida mediante a aprovação e o consentimento dos participantes envolvidos, conforme descrito na resolução nº. 466/2012 (BRASIL, 2012) do Conselho Nacional de Saúde/MS, que assegura os direitos e deveres da comunidade científica em relação aos sujeitos da pesquisa e ao Estado e dá continuidade às atividades desenvolvidas por Sousa (2018) e Araújo (2018). Destaca-se que o trabalho de Sousa (2018) envolveu ações gerais aplicadas em conjunto com Araújo (2018), sendo submetido ao Comitê de Ética e aprovado por meio do parecer nº 73948017.3.00005187 (Anexo 3).

Neste trabalho, porém, seguiram-se as determinações previstas na resolução nº. 466/2012 (BRASIL, 2012), a exemplo da elaboração de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido em linguagem acessível às famílias participantes (Anexo 4), bem como um Termo de Autorização Institucional (Anexo 5), Termo de Compromisso de Pesquisador Responsável (Anexo 6) e Folha de Rosto (Anexo 7). As informações coletadas das famílias seguiram em sigilo para assegurar a integridade das mesmas, conforme descrito na resolução nº. 466/2012 (BRASIL, 2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Desenvolvimento e adaptação de sistemas para o tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos com um dispositivo de aeração mecânica

Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares constituem uma fonte valiosa de nutrientes quando utilizados de maneira eficiente. Na ausência de tratamento, torna-se uma fonte com elevado potencial de provocar danos ao ambiente e à saúde humana.

O tratamento da parcela orgânica em sistema aeróbio, descentralizado, móvel, de baixo custo e de fácil operação atende aos anseios do público envolvido neste trabalho e aos princípios da tecnologia social. Logo, estudando-se os modelos de composteiras desenvolvidos por Nascimento (2016) e Araújo (2018), observaram-se limitações referentes ao custo de confecção e ao reviramento do substrato que demandavam o uso de instrumentos agrícolas, tais como: pás e espátulas, e considerável esforço físico do operador.

Visando superar as limitações mencionadas foi estudado e confeccionado um novo modelo de composteira (CPC), a partir de tambor de plástico (polietileno) usado, com capacidade de 40 L, tampa negra, com uma base em madeira reutilizada e uma roda de leme para o revolvimento do substrato, acessório que propiciou menor esforço físico. Resultando num modelo de composteira cilíndrica de polietileno com roda de leme para o reviramento (Figura 12 e 13).

Figura 12. Composteira em polietileno com configuração cilíndrica (CPC).



Fonte: Autora (2019)

Figura 13. Material adotado para confecção de composteira móvel de polietileno com configuração cilíndrica.



Fonte: Autora (2019)

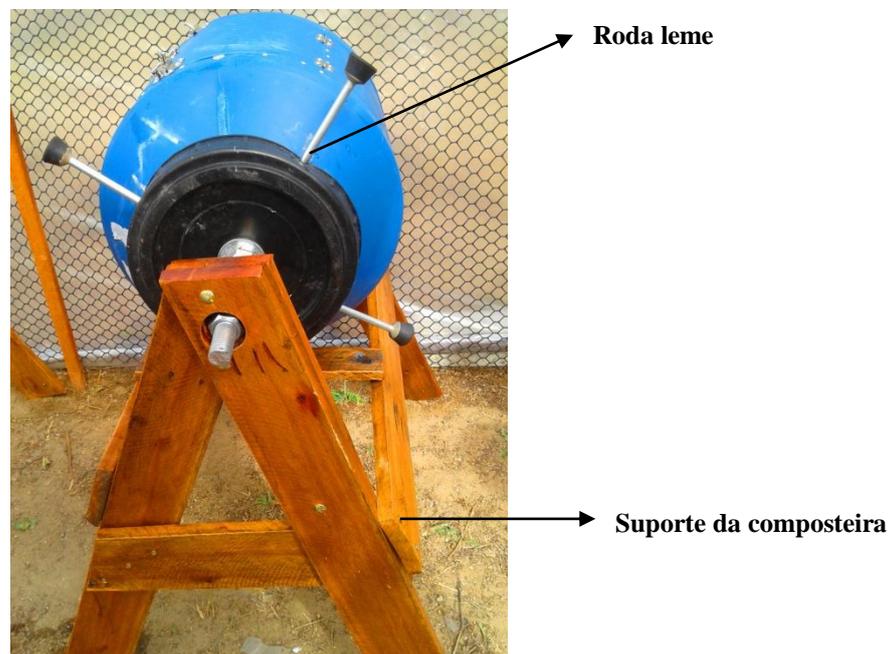
Para a confecção desse modelo foram realizadas pesquisas de mercado em relação aos valores dos materiais e à disponibilidade no mercado. Após o levantamento, foi feita a escolha do material para montagem da composteira. Os foram empregados tambores de 40 L de polietileno utilizados comercialmente para armazenamento de azeitonas (figura 13). Esse material é bastante acessível e de baixo custo. O valor total para confecção das composteiras foi de R\$ 500,00. Foi considerada também a durabilidade do material e a resistência aos fatores ambientais.

A configuração cilíndrica do sistema permite que os resíduos sólidos orgânicos se distribuam uniformemente, sem a formação de regiões isoladas, favorecendo o maior contato entre as partículas no momento do reviramento.

A adoção da roda de leme constitui um diferencial, comparando-se aos modelos propostos por Nascimento (2016) e Araújo (2018), por facilitar o reviramento do substrato sem contato com instrumentos agrícolas, o que evita contaminação, e por demandar menor esforço físico, favorecendo, desse modo, a sua adoção pelos moradores do bairro.

Para diminuir o esforço físico e facilitar o revolvimento, foram utilizados dois rolamentos nas laterais do suporte ligados a uma barra roscada. O movimento é auxiliado por roda leme (figura 14).

Figura 14. Modelo da roda leme adotada para reviramento do substrato em composteira cilíndrica de polietileno.



Fonte: Autora (2019)

Para confecção da roda de leme, foi utilizada a tampa do tambor e nele foram acoplados quatro parafusos sextavados, zincados, de 15 cm, e borrachas na parte superior de cada parafuso para dar suporte no momento do reviramento.

A composteira de polietileno cilíndrica apresenta ainda uma porta na parte superior que conta com três dobradiças (figura 15) que permitem abrir e fechar no momento do reviramento. Foi confeccionada uma tela de polietileno removível que fica acoplada à porta para evitar a entrada de organismos indesejáveis e perda de umidade e para possibilitar a entrada de ar (figura 16). Esse modelo também conta com um sistema de trava na parte inferior para garantir a sua estabilidade no momento do reviramento e dois orifícios na parte superior para saída de gás e dois orifícios na parte inferior para saída de chorume, acaso ocorra processo de anaerobiose, fato indesejado para o tipo de sistema adotado.

Figura 15. Tampa com dobradiças para auxiliar no reviramento da composteira de polietileno cilíndrica com roda de leme para reviramento.



Fonte: Autora (2019)

Figura 16. Confeção da tampa de polietileno acoplada à porta da composteira cilíndrica com roda de leme para reviramento.

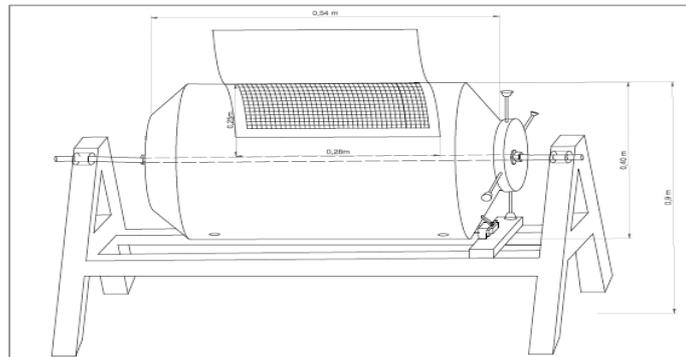


Cobertura em polietino,
para aeração do sistema.

Fonte: Autora (2019)

A composteira de polietileno cilíndrica é constituída por um compartimento, medindo 0,54 m de comprimento, 0,30 m de largura e 0,40 m de altura, com capacidade volumétrica de 0,065 m³ ou 30 kg (Figura 17).

Figura 17. Dimensões da composteira de polietileno cilíndrica com roda de leme para reviramento.



Fonte: Autora (2019)

Para a montagem do suporte da composteira, foi utilizado pallet de madeira, por ser um material de baixo custo e fácil acesso. Levou-se em consideração as questões ambientais, contribuindo-se com a reutilização desse tipo de material, evitando-se, por conseguinte, que fosse transformado em rejeito. Além de pallets, foi utilizada madeira de eucalipto, a qual apresenta vantagens por não causar dano ambiental e possuir boa qualidade e durabilidade (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2017).

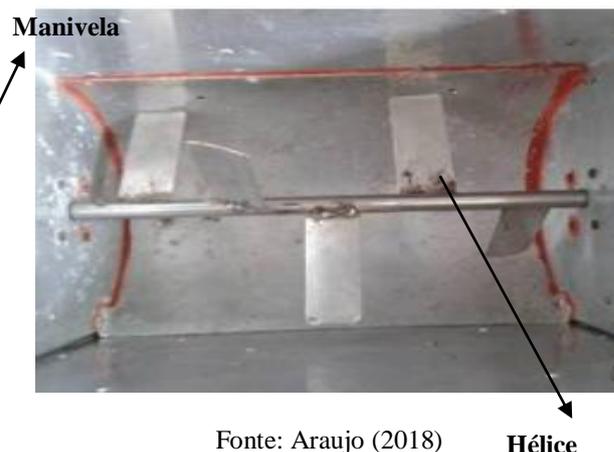
O modelo de composteiras em alumínio e aço inoxidável retangular (CAR), desenvolvido por Nascimento (2015), apresentava limitações que impediam o reviramento mecânico do resíduo orgânico em tratamento, sendo necessário o auxílio de uma espátula (figura 18). Araújo (2018) utilizou o mesmo modelo de composteira, com adaptações na parte interna, a exemplo de uma hélice acoplada a uma manivela, no entanto, não obteve o resultado esperado (figura 19), permanecendo o entrave relativo ao reviramento.

Figura 18. Estruturação da parte interna da composteira CAR correspondente à manivela.



Fonte: Nascimento (2015)

Figura 19. Adaptação da parte interna aplicada à composteira CAR.



Fonte: Araujo (2018)

Hélice

Neste trabalho deu-se atenção a essa problemática, com a realização de mudança na estrutura interna da composteira (Figura 20). A alteração foi efetivada nas hélices que ficaram em diferentes posições, de maneira que à medida que adentrasse no material, provocasse a aeração e facilitasse o revolvimento.

Figura 20. Adaptações aplicadas à estrutura interna da composteira CAR



Fonte: Araújo (2018) adaptado por Gomes (2018)

Aumento no numero de pás em sentido diferentes, configurando uma hélice.

Após a estruturação, foram feitos testes que confirmaram a eficiência do reviramento, todavia, seguiu-se usando a espátula para organizar o substrato em forma de pilha, evitando-se a dissipação de calor.

5.2 Caracterização dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos e diversos artigos científicos mostram que o Brasil gera em média $183.481,50 \text{ t.dia}^{-1}$ de resíduos sólidos urbanos, sendo que 31,9% são recicláveis secos (papel, papelão, plástico, metal e vidro) e 51,4% são recicláveis úmidos, matéria orgânica (BRASIL, 2012).

Os resultados obtidos nesta pesquisa destacam uma geração significativa (82,7 kg/coleta) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares que ainda não tem nenhuma forma de tratamento adotada pelos moradores e, principalmente, pela gestão municipal (tabela 2). Este

dado se aproxima dos valores registrados pelo Sistema Nacional de Informação de Saneamento-SNIS (2015) que estima para Campina Grande a geração *per capita* média de 0,64 kg/habitante.dia.

É importante destacar que este dado reflete apenas uma pequena parcela da quantidade de resíduos orgânicos gerada diariamente nas cidades brasileiras e que ainda não tem a disposição ambientalmente adequada.

Tabela 2. Quantificação dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados pelas famílias participante da pesquisa.

Coleta/Semana	Quantidade (kg)
1 ^a	103,9
2 ^a	70,7
3 ^a	74,0
4 ^a	82,4
Total	331,0
Média	82,7
Desv.pad.	14,9

Fonte: Autora (2019)

De acordo com Nascimento (2015) e Araújo (2018), a composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no bairro Malvinas, apresenta um elevado percentual de matéria orgânica em torno de 68% e 49%, respectivamente.

A significativa parcela orgânica que é gerada na área de estudo e a necessidade de um destino ambientalmente correto justificam os investimentos para promover a implementação da gestão integrada de resíduos sólidos na área, assim como, para ampliar para as demais áreas do bairro e do município, fato já estabelecido na Lei Complementar 087/2014 que instituiu a Política Municipal de Resíduos Sólidos de Campina Grande (CAMPINA GRANDE, 2014).

Neste sentido, torna-se evidente que o tratamento da fração orgânica é indispensável à eficiência da gestão ambiental das municipalidades brasileiras, tendo em vista os efeitos negativos sobre meio ambiente, sobre o exercício profissional dos catadores de materiais recicláveis e, sobretudo, à saúde pública, quando estes resíduos sólidos são misturados aos demais resíduos e direcionados aos aterros sanitários, aterros controlados e/ou lixões.

Os resíduos sólidos orgânicos, embora detenham potencial para provocar impactos negativos sobre a saúde ambiental e humana, quando são tratados se transformam em fonte de nutrientes para os organismos autotróficos, mitigando-se grande parte dos seus impactos adversos, além de possibilitar a ciclagem da matéria e o uso eficiente da energia.

Ressalta-se que a separação na fonte geradora cumpre os níveis mais avançados de reciclagem da matéria e da redução da perda de energia.

Considerando-se as leis naturais e o cenário de crise ambiental, é indispensável evitar que matéria e energia se transformem em lixo ou rejeito. A Alemanha é um exemplo no quesito gestão, uma vez que é pioneira na adoção de medidas destinadas a resolver problemas que envolvem os resíduos sólidos (JURAS, 2005; ZANG et al.; 2013; APA, 2014).

5.3 Caracterização física, química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Os dados apresentados na tabela 3 mostram que os resíduos sólidos orgânicos apresentaram pH ácido (5,2), resultantes dos materiais utilizados como matéria-prima na compostagem, como cascas de frutas e restos de comida, que são de natureza ácida.

Esses resultados são semelhantes aos relatados por Brito (2008) e Cappai et al. (2014) que identificaram valores iniciais de pH para resíduos alimentares, os quais foram 5,8 e 5,4, respectivamente. Segundo Rodrigues et al. (2006) e Valente et al. (2009), a faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos organismos responsáveis pela compostagem fica entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontra ativas nesta faixa de pH. Por outro lado, Carneiros (1995) afirma que pH ácido diminui a atividade de bactérias e actinomicetos durante a compostagem. Araújo (2018), porém, encontrou valores de pH na faixa de 4,6, evidenciando que não houve problemas no desenvolvimento da compostagem por apresentar pH abaixo da faixa citada por Rodrigues et al. (2006) e Valente et al. (2009), já que durante a compostagem ocorrem inúmeras transformações que regularam a acidez, gerando um produto final com pH básico, entre 8,1 e 8,3.

Tabela 3. Caracterização física, química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares submetidos ao tratamento aeróbio biológico.

Parâmetros	Valor
pH	5,2
Teor de umidade (%)	72
STV (%ST)	83
COT (%ST)	40
N (%ST)	1
P (%ST)	0,01
K (%ST)	0,01
Ovos helmintos (ovos/gST)	4,1
Enterobactérias (UFC/g)	$5,6 \times 10^7$

Nos resíduos sólidos orgânicos analisados, verificou-se teor de umidade elevado (72%), indicando que a maior parte da massa dos resíduos sólidos orgânicos é composta por água. O nível de umidade acima de 70% proporciona decomposição lenta e reduz a penetração do oxigênio, devido à compactação do material. Dessa forma, limita a atividade metabólica dos organismos na compostagem, como afirmam Richard et al. (2002) e Valente et al. (2009).

O teor de umidade registrado neste trabalho foi semelhante ao encontrado por Nascimento (2015) que obteve os níveis de umidade entre 71,7 a 72,5% e Margaritis et. al. (2017) que registraram 75,89%.

Para regular o alto teor de umidade constatado nesta pesquisa, além do emprego de 20% de estruturantes, o reviramento foi fundamental, uma vez que permitiu a entrada de oxigênio na massa de material em compostagem. A partir do controle de umidade perceberam-se mudanças nos níveis de temperatura, consequência da atividade metabólica dos organismos, constatando-se que a umidade interfere diretamente nesse parâmetro.

Em relação aos sólidos totais voláteis, os resíduos sólidos orgânicos coletados apresentaram, como esperado, alto percentual (valor médio=83%ST), cuja constituição é predominantemente orgânica. Dessa forma, esse tipo resíduo é caracterizado como uma fonte rica em nutriente que pode ficar disponível aos organismos autotrófico quando são estabilizados e transformados em matéria inorgânica.

Quando esses materiais são dispostos de maneira inadequada favorece o desenvolvimento de microrganismos que podem causar doenças para a população, bem como a atração de vetores que podem disseminar organismos patogênicos.

Em pesquisa realizada por Guermandi (2015) com compostagem de resíduos sólidos urbanos, foram registrados valores de sólidos totais voláteis variando entre 81 a 90%, corroborando com os dados obtidos neste trabalho.

A relação C/N no início do sistema foi de 40:1, valor superior à faixa recomendada pela literatura 25:1 a 35:1 (KIEHL, 1998; BIDONE, 2001). No entanto, a relação C/N registrada por Yang et al. (2015) e Araújo (2018) não prejudicou o processo (20:1 e 42:1, respectivamente), uma vez que os autores atingiram os objetivos previstos para compostagem.

A relação carbono/nitrogênio (C/N) é essencial para o desenvolvimento dos organismos durante a compostagem, pois fornece a fonte de carbono e nitrogênio necessária ao crescimento (CERDA et al., 2017). Neste sentido, a relação C/N é uma medida do grau de decomposição, devido à degradação de carbono para CO₂ durante o estágio de elevada taxa metabólica. Logo, a relação C/N diminui ao longo do processo de compostagem, conforme relatado por Yang et al. (2015).

Constatou-se que a interdependência dos parâmetros pH, STV e umidade tem forte influência sobre a atividade metabólica dos organismos que realizam a compostagem, requerendo dessa forma, o monitoramento e controle desses parâmetros, visando favorecer o tratamento da matéria orgânica, seguindo-se os princípios da tecnologia, foco deste trabalho.

Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares apresentaram uma carga patogênica elevada, 4,1 ovos/gST, especialmente ao ponderar a dose infectante (1) e a sua alta resistência ao estresse ambiental, como afirma Neves (2005).

Os resultados encontrados para esta pesquisa diferiram do trabalho de Araújo (2018), que registrou valores superiores de ovos de helmintos (14,3 ovos/gST), entretanto, apresentaram-se próximos aos dados obtidos por Silva et al. (2009) e Nascimento et al. (2017) ao estudarem a prevalência de ovos de helmintos em resíduos sólidos orgânicos domiciliares em bairros situados em Campina Grande-PB.

A mudança nas concentrações de ovos de helmintos pode estar relacionada à constituição do material coletado, bem como ao modo de higienização dos alimentos utilizados pelos manuseadores. Os ovos de helmintos são frequentemente encontrados em hortaliças, frutas e plantas, incluindo as flores.

A presença de ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos é um ponto bastante preocupante, levando em consideração a alta incidência, a baixa dose infectante e a alta resistência às condições ambientais adversas (METCALF; EDDY, 2003, SILVA, 2008).

Dentre os ovos de helmintos identificados, prevaleceram os de *Ascaris lumbricoide* (70%), seguido de *Hymenopsis nana* (20%) e *Enterobius vermiculares* (10%).

Ponderando-se a prevalência de ovos de *Ascaris lumbricoides* (70%) e a sua alta resistência às condições ambientais adversas, favorecida pelos seus aspectos morfológicos e

fisiológicos, reitera-se a necessidade de evitar que estes organismos completem o seu ciclo de vida, o que pode ser alcançado por meio de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos.

Da mesma forma, a presença de enterobactérias nos resíduos sólidos orgânicos é um alerta, já que esse grupo de bactéria é um indicador de provável contaminação fecal. Outro ponto inquietante é o fato deste grupo está entre os agentes patogênicos mais comuns que infectam seres humanos em todo mundo (GRAGERA, 2002). Nos resíduos sólidos orgânicos coletados diretamente na fonte (as residências) foram encontrados valores médios de $5,6 \times 10^7$ UFC/g de enterobactérias.

Wu et al. (2018) ao estudarem as mudanças bacterianas durante a deterioração dos resíduos alimentares encontraram valores semelhantes ao quantificar bactérias heterótrofas, $5,2 \times 10^7$ UFC/g.

Dentre as bactérias Gram-negativas pertencentes à família *Enterobacteriaceae*, foi registrada a prevalência dos gêneros *Proteus* (35,4%), *Citrobacter* (25,9%) e *Enterobacter* (14,1%), correspondendo a 75,4 % das enterobactérias identificadas nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares nesta pesquisa.

A presença de enterobactérias em resíduos sólidos orgânicos é relatada na literatura como indicadoras de patógenos. Por outro lado, não há dados suficientes que relatem a sua importância e funcionalidade neste tipo resíduo, haja vista a sua importância clínica e sanitária, como afirmam Wu et al. (2018).

De acordo com Soobhany (2017), a presença de enterobactérias é um indicativo de possível presença de organismos patogênicos, o que pode tornar esses resíduos uma fonte potencialmente danosa ao meio ambiente e à saúde humana (SOOBHANY, 2017).

Este grupo de bactérias, apesar de estar entre os organismos que mais causam doenças em todo mundo, podem desempenhar outras funções que permitam mudanças favoráveis ao ambiente onde atuam. No ambiente, a maioria dos membros das enterobactérias é importante para a degradação da matéria orgânica, todavia, poucos estudos se concentram neste aspecto. As chances de causarem doenças irão depender da dose infectante, idade e a resposta imunológica do indivíduo.

Uma provável explicação para presença das enterobactérias nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares é que estas bactérias já estavam presentes no produto alimentício original ou não foram cumpridas barreiras sanitárias.

Os resultados obtidos nesta pesquisa para pH, umidade, STV e ovos de helmintos deferiram dos dados relatados por Araújo (2018) ao estudar organismos que participam das diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Essa

diferença pode estar relacionada à composição do material coletado, uma vez que a matéria-prima influencia sobre os parâmetros físicos, químicos e biológicos. Estas características, por um lado, mostram a péssima qualidade sanitária, por outro, apontam para a necessidade de reciclagem por meio do tratamento biológico aeróbio, como propôs este trabalho.

Por muito tempo os resíduos sólidos orgânicos foram considerados inofensivos, sendo descartados de qualquer forma, sem levar em consideração os danos que poderiam ocasionar ao meio ambiente e à sociedade, conforme alertou Silva (2008). No entanto, ao observar os dados expostos por meio da Tabela 3, referentes às características dos resíduos sólidos orgânicos coletados segregados nas residências das famílias que participaram deste projeto, constata-se que o alto teor de umidade (72%ST) e de sólidos totais voláteis (83%ST), somado à quantidade de ovos de helmintos (4,1 ovos/gST) e de enterobactérias $5,6 \times 10^7$ UFC/g são características que evidenciam os problemas que podem ser acarretados quando este tipo de resíduo não é tratado.

Quando estes resíduos são dispostos de maneira inadequada no ambiente, tornam-se criadouros para uma diversidade de organismos com elevada carga patogênica, podendo desencadear várias doenças. Como forma de eliminar os impactos negativos causados pela disposição inadequada desses resíduos, o princípio da responsabilidade compartilhada cumpre um importante papel, uma vez que cabe à sociedade cuidar do resíduo que gera e convém aos gestores públicos favorecer este cuidado.

Lançar no meio ambiente os resíduos sólidos orgânicos sem nenhuma preocupação, simplesmente pelo fato de serem gerados em residências, constitui uma atitude imatura que contribui, sobretudo, para aumentar os problemas de saúde que atingem atualmente os seres humanos. Sabe-se, porém, que grande parte da sociedade humana, em especial dos gestores públicos desconhece estas características, haja vista que detém os seus olhares para os resíduos de serviços de saúde.

A ausência de conhecimento sobre os resíduos sólidos de forma geral impõe o cumprimento do que prevê o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, na Lei 9795/1999 e na Lei 12.305/2010, no que se refere ao papel da Educação Ambiental. É necessária a elaboração de programas em Educação Ambiental, por meio dos órgãos municipais competentes, de modo que a gestão integrada de resíduos sólidos seja posta em prática, favorecendo mudanças essenciais que contemplem o meio ambiente e à sociedade.

5.4 Tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em sistemas descentralizados.

Para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos foram utilizados dois sistemas em triplicata: composteira de polietileno cilíndrica (CPC) e composteira de alumínio retangular (CAR), totalizando seis composteiras móveis.

As composteiras CPC alcançaram a estabilização em apenas 56 dias, enquanto que as composteiras CAR demandaram maior tempo, em torno de 76 dias.

Diferente de outros trabalhos desenvolvidos no mesmo bairro (NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2018) ocorreu considerável redução do tempo necessário ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, possivelmente em decorrência da configuração das composteiras, trituração e composição do substrato.

Destaca-se que as composteiras de polietileno cilíndricas apresentaram otimização do tempo necessário ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Aponta-se que a configuração das composteiras CPC, somada a forma de aeração, roda de leme, favoreceu a ação mais efetiva dos organismos, acelerando o processo de estabilização.

O monitoramento do sistema formado pelos dois tipos de composteiras, CPC e CAR, de forma criteriosa foi essencial ao funcionamento adequado desses sistemas, de maneira que ao final do processo, obteve-se compostos higienizados e estabilizados.

5.4.1 Análise físico-química dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares

A temperatura é utilizada como indicador universal para o monitoramento da compostagem (WANG et al., 2015). Os dois tipos de composteiras aplicados para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos apresentaram mudanças nos níveis de temperatura, conforme Figuras 21 e 22.

O valor médio da temperatura foi calculado a partir da aferição em nove pontos diferentes do material em cada sistema, alternando-as entre a superfície, centro e base.

No início do experimento os valores de temperatura correspondentes aos nove pontos da leira de compostagem encontraram-se baixos, próximos à temperatura ambiente para os sistemas CPC e CAR. Isso é presumível, devido ao alto teor de umidade registrado, o que reduz a permeabilidade do substrato, limitando assim, a atividade dos organismos aeróbios.

Figura 21. Temperatura média registrada no sistema de tratamento de compostagem, composteiras de alumínio retangular (CAR).

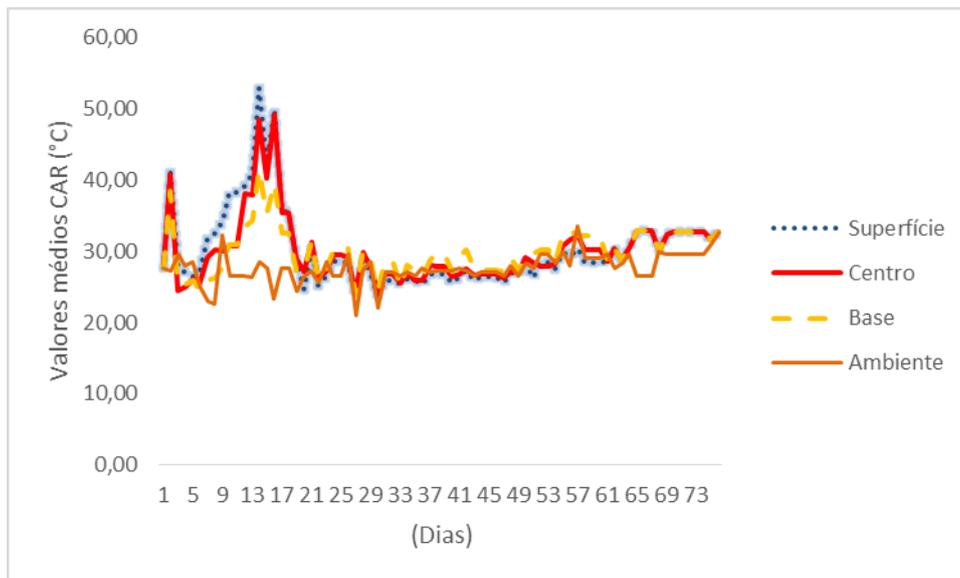
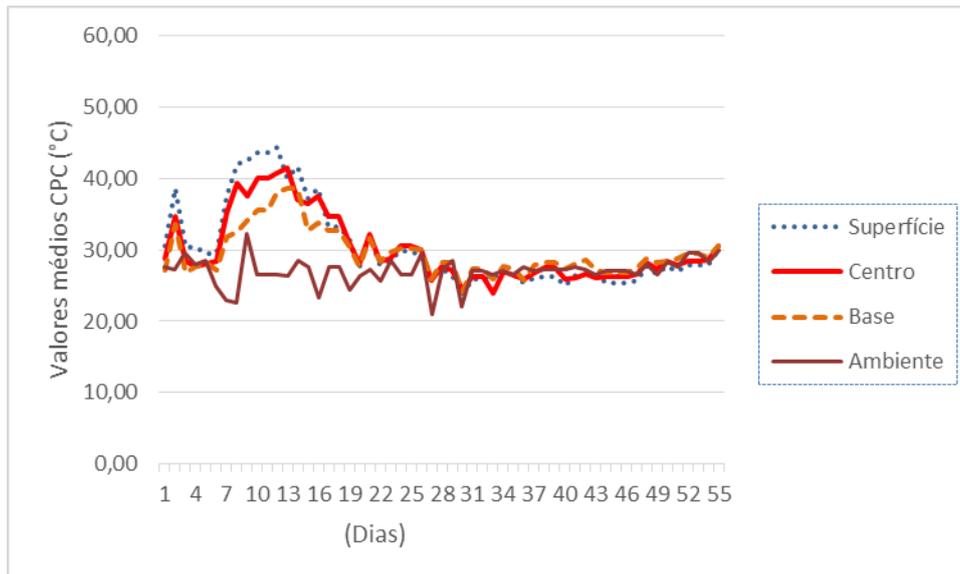


Figura 22. Temperatura média registrada no sistema de tratamento de compostagem, composteiras de polietileno cilíndrica (CPC).



Ao longo do processo, a temperatura em ambos os sistemas de compostagem aumentou, como previsto. Essa elevação nos níveis de temperatura é resultado da atividade dos organismos que utilizam compostos solúveis e prontamente assimiláveis, tais como açúcares, aminoácidos e lipídios presentes nas matérias-primas utilizadas para a compostagem (BERNAL et al., 2009; INSAM; BERTOLDI, 2007; TROY et al., 2012). A atividade

metabólica dos organismos gera reações exotérmicas que aumentam a temperatura de compostagem, que pode atingir 65 a 85 °C, como afirmam Sanchez et al. (2017).

Os valores máximos de temperatura foram diferentes para os dois sistemas de tratamento de compostagem, indicando que a degradação e os organismos presentes nos materiais em compostagem também variaram, provavelmente em consequência do material e da configuração das composteiras. Do 13° ao 18° dia, as faixas de temperaturas médias registradas para os sistemas CAR variaram entre 40 e 50° C, já para o sistema CPC as temperaturas médias variaram entre 40 e 43 °C. As altas temperaturas verificadas caracterizaram a fase termófila (figuras 21 e 22). O sistema CAR alcançou as maiores faixas de temperatura, o que pode está relacionado ao tipo de sistema, bem como à atividade metabólica dos organismos presentes.

Temperaturas superiores a 40 °C correspondem à fase termófila da compostagem, fundamental ao desenvolvimento de organismos que irão atuar sobre a matéria orgânica, degradando as moléculas mais complexas. Nesta fase, às elevadas temperaturas registradas possibilitam a higienização dos resíduos sólidos orgânicos, ocasionando a eliminação de eventuais organismos patogênicos presentes.

Os sistemas em estudo não atingiram as faixas de temperaturas consideradas ótimas por muitos pesquisadores, que ficam entre 55 °C e 60 °C. Por outro lado, permaneceram com temperaturas acima de 40 °C por mais de quatro dias, e segundo Rebolledo et al. (2008) e Chandna et al. (2013), esse nível de temperatura por períodos superiores há três dias é capaz de inibir os organismos patogênicos, atingindo os padrões de saneamento. Seguindo o perfil da compostagem, à medida que a matéria orgânica era degradada, a temperatura dos sistemas diminuiu gradualmente até atingirem níveis similares a temperatura ambiente, a fase denominada de maturação.

Resultados similares foram encontrados por Chandna et al. (2013) que avaliaram a diversidade bacteriana durante a compostagem de subprodutos agrícolas, e obtiveram faixas de temperatura entre 40 e 50 °C.

Araújo (2018) estudou os organismos que participam das diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e registrou faixas de temperaturas entre 49 e 50 °C, durante o período de 20 dias.

Segundo Wang et al. (2015), a diminuição da temperatura ocorre quando a atividade dos organismos é reduzida após esgotar todas as substâncias facilmente disponíveis. O sistema de tratamento CPC foi o primeiro a entrar na fase de maturação em um período de 56 dias.

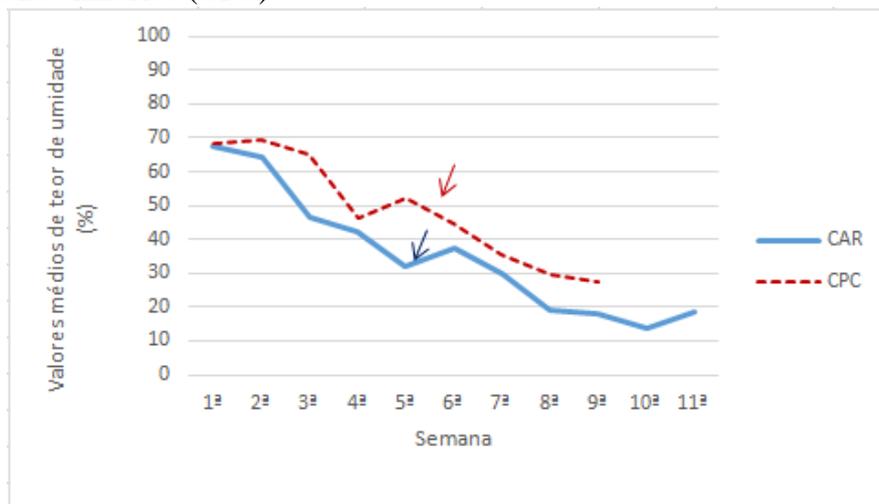
A temperatura é um parâmetro indispensável para o andamento adequado da compostagem, mas para obter os níveis de temperaturas adequados é preciso controlar os teores de umidade, de maneira que os valores não estejam baixos nem elevados a ponto de interferir na atividade metabólica dos organismos aeróbios presentes na compostagem.

5.4.2 Umidade

A umidade é essencial para atividade metabólica e fisiológica dos diferentes organismos presentes na compostagem. Richard et al. (2002) e Margarida et al. (2017) afirmam que os níveis baixos de umidade inibem a ação dos organismos, enquanto que o excesso de umidade proporciona decomposição lenta e condições de anaerobiose durante a compostagem.

A umidade inicial registrada para ambos os sistemas de tratamento foi de 72%, valor considerado acima do ideal pela literatura (figura 23). Segundo Shammas e Wang, (2009) e Sanchez et al. (2017), para o desenvolvimento adequado dos organismos, a umidade das matérias-primas deve situar-se entre 55 e 65%. O alto teor de umidade constatado para esta pesquisa está relacionado à constituição dos resíduos sólidos orgânicos provenientes de ambientes domésticos, que é composto basicamente de água, como cascas de frutas, legumes e restos de comida.

Figura 23. Valores médios referentes ao teor de umidade do sistema, dos sistemas de tratamento, composteiras de aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e composteiras de polietileno cilíndrica (CPC).



Legenda: setas indicam os dias em que foi adicionada água em cada sistema. Azul no sistema CAR; vermelho no sistema CPC.

O alto teor de umidade não foi um problema para este tipo de tratamento, considerando as variações que ocorrem ao longo da compostagem por meio da atividade biológica dos organismos. As taxas altas de umidade também ajudaram a reduzir as taxas de evaporação ocasionadas pelas altas temperaturas ambientes da região, uma vez que os sistemas foram instalados em escala real. Os sistemas ficaram suscetíveis às variações da umidade relativa do ar, temperatura ambiente e exposição à radiação.

Resultados semelhantes foram encontrados por Wang et al. (2015) ao avaliarem a relação entre diversidade bacteriana e os parâmetros ambientais durante a compostagem de diferentes substratos, obtendo valores de umidade entre 73,19% a 77,32%. Margarida et al. (2017) trabalharam com a compostagem doméstica utilizando diferentes minerais e registraram valores de umidade entre 69,56% e 74,82%.

O teor de umidade ideal para o funcionamento adequado da compostagem para muitos pesquisadores situa-se entre 55 e 65%, mas, segundo Batistas e Batista (2007) existe diferença entre o tipo de material e o teor de umidade utilizado na compostagem. Os materiais que requerem teor de umidade diferenciado são galhos, casca de arroz, palhas, espiga de milho, entre outros. A umidade para estes tipos de resíduos fica entre 75% a 90%.

O trabalho realizado por Araújo (2018), em Campina Grande-PB, com resíduos sólidos orgânicos domiciliares reafirma este dado. Em sua pesquisa, o teor de umidade inicial foi de 90%, cujo material era constituído basicamente por resíduos de milho e galhos. Segundo a autora, este teor de umidade foi adequado, pois evitou a evaporação excessiva e proporcionou a ação e o desenvolvimento de mesoinvertebrados.

Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares utilizados nesta pesquisa foram triturados para facilitar a atividade dos organismos autóctones. Após a trituração foram adicionados 20% de estruturantes (resíduos de folhas e restos de materiais não degradados em outros sistemas de compostagem), visando reduzir a umidade, aumentar a oxigenação, evitar compactação e conseqüentemente, evitar a formação de zonas de anaerobiose.

Dado o alto nível da umidade registrado no início do processo, a aeração manual foi fundamental, executada três vezes na semana, durante os primeiros sete dias e normalizado com dois reviramentos durante todo o processo.

O aumento do número de reviramentos aplicado nos dias de maior umidade da compostagem proporcionou a penetração do oxigênio no interior dos materiais em compostagem, facilitando a ação dos organismos aeróbios.

Verificou-se que os níveis elevados de umidade inicial adiaram a fase termófila. Após a regulação da umidade, foi constatado o aumento da temperatura e da densidade de enterobactérias. Foi observada, também, a presença frequente de mesoinvertebrados e fungos nas fases iniciais e finais da compostagem, o que evidencia uma sucessão ecológica com diferentes faixas de tolerância à umidade.

Os sistemas em estudos atingiram altas temperaturas durante a segunda e terceira semana da compostagem. Após o estágio que caracteriza a fase termófila, o teor de umidade foi substancialmente reduzido, pela ação dos organismos e pela a evaporação da água, haja vista que foram registrados dias bastante quentes. Com isso, foi necessário adicionar 1,5 L de água em ambos os sistemas para regular a umidade. A água foi adicionada nas composteiras CAR e CPC na 5ª semana (figura 23).

A configuração do sistema de tratamento também influenciou na manutenção dos teores de umidade. Nos sistemas CPC, houve menor perda de água, enquanto que no sistema CAR, as taxas de evaporação foram maiores. O sistema CAR ficava mais suscetível às variações ambientais, por ser um sistema aberto, coberto apenas com telas de proteção.

No estágio final do processo, observou-se que a umidade caiu significativamente nas composteiras CAR, atingindo valor próximo a 19%, enquanto que nas composteiras CPC, atingiu valor próximo a 30%. Essa redução influenciou na diversidade das enterobactérias em estudo, inibindo seu crescimento.

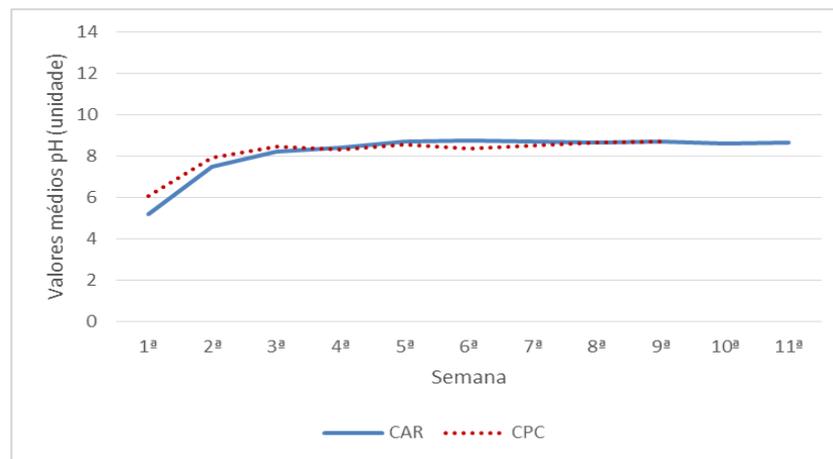
5.4.3 pH

As mudanças de pH registradas durante a compostagem estão representadas na figura 24. Os sistemas de tratamento CAR e CPC iniciaram com o pH de 5,23, indicando que os materiais em compostagem apresentavam caráter ácido. Segundo Gajalakshmi e Abbasi, (2008) o pH inicial é ácido, devido à degradação de compostos facilmente degradáveis e à formação de ácidos orgânicos.

Foi observado, durante a faixa de pH ácido, a presença frequente de fungos em ambos sistemas. Na segunda semana, o pH ainda se manteve com valores considerados ácidos para CAR (5,2). Mas, para as composteiras CPC foi registrada níveis de pH próximos neutro (6, 11), segundo a escala de pH (Figura 24).

A ação de diferentes organismos e subsequentemente oxidação do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal resultou no aumento do pH na compostagem (VALENTE et al., 2009). Na 3ª semana do experimento, o pH aumentou chegando a níveis alcalinos, 8,23 para o sistema CAR e 8,49 para o sistema CPC, caracterizando a compostagem em um processo de mudanças rápidas, tendo vista as variações de pH, umidade e temperatura que ocorreram no curto período de tempo.

Figura 24. Valores de pH ao longo do processo de compostagem dos sistemas de tratamento, composteiras de aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e composteiras de polietileno cilíndrica (CPC).



No final da compostagem, quando o composto já apresentava níveis de estabilização, foram observados níveis de pH entre 8,69 e 8,75 para as composteiras CAR e CPC, respectivamente. As faixas de pH registradas foram semelhantes para os dois sistemas, bem como os valores seguiram um padrão similar aos relatados por Symanski, (2005), com valores de pH entre 6,5 e 9,0, Margarida et al. (2017), com valores de pH entre 5 e 8,86; Araújo (2018), entre 4,62 e 8,4, que trabalharam com resíduos sólidos orgânicos provenientes também de residências.

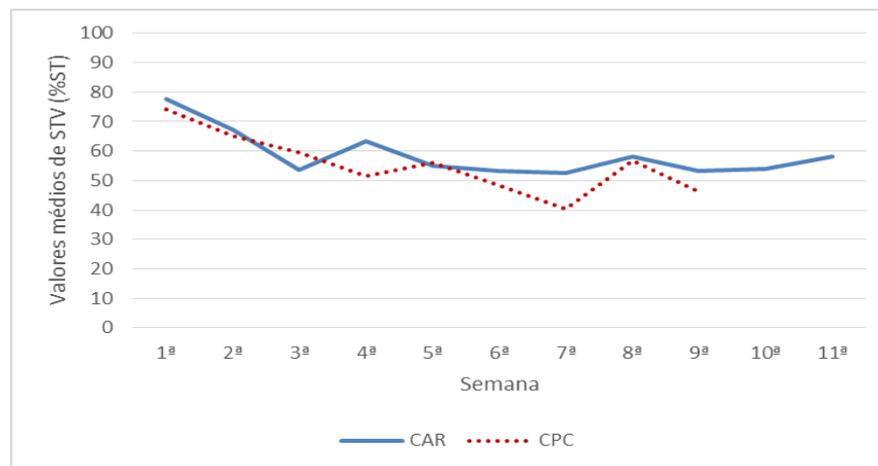
Segundo a literatura, o valor final do pH do composto é amplamente utilizado para avaliar a qualidade dos produtos de compostagem, porque influencia no pH do solo e a biodisponibilidade de nutrientes para plantas após a sua aplicação (WANG et al., 2015). Ainda conforme os autores, o valor de pH final ideal para o composto encontra-se entre 6,9 e 8,3. Os valores de pH encontrados nesta pesquisa estão próximos à faixa considerada ideal para o composto, produto final da compostagem.

5.5 Sólidos totais voláteis (STV)

Por meio deste parâmetro foi possível acompanhar a degradação da matéria orgânica ao longo do processo de compostagem. No início da compostagem, os valores de sólidos totais voláteis observados foram de 83% para os sistemas CAR e CPC. A partir da segunda semana foi observada a redução de sólidos totais voláteis, atingindo um percentual de 67,2% para CAR e 65,1% para CPC, como mostra a figura 25.

O decaimento gradual da matéria orgânica durante a compostagem mostra que nos sistemas de tratamento continuam conteúdo orgânico facilmente degradável, como açúcares, proteínas e lipídios, o que resultou em maior atividade dos organismos presentes, aumentando a velocidade de estabilização do composto.

Figura 25. Valores médios de STV (%ST) observados ao longo processo de compostagem para os sistemas de tratamento, composteiras de aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e composteiras de polietileno cilíndrica (CPC).



Foi verificado na 4ª semana o aumento de sólidos totais voláteis. Uma explicação para esse acréscimo pode estar relacionada à constituição do material coletado para as análises. Ou seja, o substrato antes de ser coletado passa pelo revolvimento para homogeneização das camadas, e durante o processo, pode ter ocorrido a coleta de materiais complexos, cuja degradação é mais difícil, logo, retardada.

No final da compostagem foram verificados percentuais médios de 58% em CAR e 46,4% em CPC. Esses valores médios, associados aos baixos teores de umidade refletiram diretamente na disponibilidade de nutrientes, limitando neste período, a atividade dos

organismos, e possivelmente a diversidade de enterobactérias, objeto de estudo desta pesquisa.

Constatou-se que a trituração dos resíduos sólidos orgânicos e a configuração empregada para os sistemas de tratamento influenciaram no tempo de estabilização da matéria orgânica. A duração do tempo de compostagem relatada na literatura está na faixa de 60 a 120 dias. Em contraste, esta pesquisa obteve tempo inferior. Nas composteiras CAR a estabilização aconteceu em 76 dias e nas composteiras CPC em 56 dias.

Quando os resíduos não são triturados, a duração da compostagem pode persistir por mais tempo, como mostra a pesquisa realizada por Araújo (2018) que utilizou dois modelos de composteiras: aço inoxidável e alumínio retangular (CAR) e a composteira de concreto retangular (CCR), obtendo tempos de estabilização diferentes, entre 102 e 93 dias.

5.6 Contagem de enterobactérias nos diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares

A compostagem é um processo que envolve a ação de vários organismos, que por sua vez, contribuem para degradação da matéria orgânica *in natura* em matéria inorgânica. As enterobactérias fazem parte desse grupo de organismos que degrada a matéria orgânica durante a compostagem. Essas bactérias ajudam na transformação e na concentração de nutrientes no composto e no solo, como constatado pela pesquisa de Sanchez et al. (2017).

Durante os estágios iniciais do processo de compostagem foi verificada pequena variação na densidade de enterobactérias entre os sistemas CAR e CPC, conforme dados apresentados na tabela 4. A mudança na quantidade de enterobactérias nos dois sistemas reafirma que a configuração das composteiras e a interdependência dos parâmetros físicos e químicos influenciaram na densidade de enterobactérias durante o processo de compostagem.

Tabela 4. Valores médios da contagem do número de enterobactérias nos diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares ao longo das coletas de amostras.

Coletas	Enterobactérias (UFC/g ⁻¹)	
	Sistema (CAR)	Sistema CPC
1	8,1x 10 ⁷	7,9 x10 ⁷
2	1,2 x 10 ⁸	1,3 x 10 ⁹
3	6,9 x 10 ⁷	7,8 x 10 ⁷
4	5,0x 10 ⁷	6,2 x 10 ⁷
5	1,7 x 10 ⁷	2,7 x 10 ⁷
6	6,0 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁷
7	3,0 x 10 ⁶	5,0 x 10 ⁶
8	3,5x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁶
9	1,5 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁶
10	0	0

Em relação ao número de colônias de enterobactérias não foram identificadas na primeira semana da compostagem diferenças significativas entres os sistemas CAR e CPC. A contagem desse grupo de bactéria foi de $8,1 \times 10^7$ UFC g⁻¹ para CAR e $1,2 \times 10^7$ UFC/g para CPC.

Constatou-se que o número máximo de enterobactérias ocorreu na fase mesófila. Esse aumento foi verificado a partir da segunda coleta da compostagem. Foram registradas $1,2 \times 10^8$ UFC/g nos sistema CAR e $1,3 \times 10^9$ UFC/g no sistema CPC. A disponibilidade de nutrientes e as condições favoráveis proporcionaram o crescimento dessas bactérias durante o processo.

Quando o processo de compostagem atingiu a fase termófila, ocorreu uma queda na contagem das enterobactérias, comumente relatada na literatura. A diminuição da densidade de enterobactérias continuou decaindo até a nona semana, no final da compostagem não foi detectado nenhum crescimento.

A ausência dessas bactérias no final da compostagem está relacionada à depreciação dos nutrientes disponíveis e às mudanças dos parâmetros físicos e químicos durante a compostagem, decorrido da ação dos diferentes organismos autóctones. Nos estágios finais da compostagem, as condições tornaram-se limitantes para o desenvolvimento dessas bactérias, devido às variações que ocorreram, tais como: nível de temperatura superior a 40 °C por mais de quatro dias nos dois sistemas de tratamento. Considera-se que estes organismos são mesófilos e que toleram níveis de temperaturas abaixo dessa faixa. A umidade também variou durante o processo, chegando a 19% para o sistema CAR e 30% para o

sistema CPC. Outro fator limitante foi a quantidade de sólidos totais voláteis que decaiu gradualmente durante o processo, diminuindo a quantidade de nutriente disponíveis.

Chandna et al. (2013) que avaliaram a diversidade bacteriana durante a compostagem de subprodutos agrícolas, destacaram em sua pesquisa a ausência das enterobactérias no produto final da compostagem. Para estes autores, esse grupo pode indicar presença de organismos patogênicos e tornar o composto impróprio para uso.

Muitas pesquisas tratam a presença de enterobactérias na compostagem como bactérias indicadoras de qualidade sanitária, mas não há dados que relatem o papel desempenhado por essas bactérias na compostagem.

Esta pesquisa foi realizada em escala doméstica, com resíduos já separados na fonte e acondicionados em sacos plásticos higienizados, o que deixa evidente que essas bactérias já estavam presentes no alimento *in natura* e se mantiveram ao longo da compostagem, estando ausentes apenas no final, indicando que essas bactérias podem ajudar no processo degradativo da matéria orgânica, assim como, competem por nutrientes com outros grupos de organismos presentes na compostagem.

5.7 Identificação das enterobactérias nos diferentes sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

As enterobactérias foram isoladas e caracterizadas bioquimicamente, o que permitiu estabelecer um perfil dessas bactérias na compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

As espécies isoladas, do grupo das bactérias Gram-negativas pertenciam à ordem *Enterobacteriales*. Os resultados apresentados na tabela 5 apontam para a considerável diversidade desse grupo de bactéria. Entre as 85 colônias isoladas neste trabalho, foram identificados 9 gêneros e entre eles, 15 espécies.

Tabela 5. Total de gêneros de enterobactérias e o número de isolados de cada gênero ao longo das coletas realizadas nos sistemas de tratamento CAR e CPC na compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Espécies	Nº de colônias isoladas			%
	CAR	CPC	Total	
<i>Citrobacter freudii</i>	5	4	9	10,6
<i>Citrobacter diversus</i>	6	6	12	14,1
<i>Citrobacter amalonaticus</i>	0	1	1	1,2
<i>Enterobacter gergoviae</i>	3	3	6	7,1
<i>Enterobacter aerogenes</i>	2	1	3	3,5
<i>Enterobacter sakazakii</i>	1	0	1	1,2
<i>Enterobacter clocea</i>	0	2	2	2,3
<i>Escherichia coli</i>	5	5	10	11,8
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	3	5	6
<i>Morganella spp</i>	0	1	1	1,2
<i>Proteus mirabilis</i>	12	16	28	32,9
<i>Proteus vulgaris</i>	0	2	2	2,3
<i>Providencia spp.</i>	0	1	1	1,2
<i>Serratia spp.</i>	1	1	2	2,3
<i>Salmonella spp.</i>	2	0	2	2,3
Total	39	46	85	100

Muitos dos gêneros identificados nesta pesquisa, também foram encontrados nos trabalhos de Chroni et al. (2008), Chandna et al. (2013), Jurado et al. (2014), Wang et al. (2015) e Cerda et al. (2017), ao estudarem a presença bacteriana durante o processo de compostagem de diferentes matérias primas.

Os resultados deste trabalho, porém, diferencia-se dos encontrados na literatura, porque foi estudado apenas um grupo de bactérias. O interesse em estudar o grupo de enterobactérias advém dos poucos trabalhos publicados sobre a sua diversidade e permanência durante a compostagem, bem como do seu papel neste processo. Há, no entanto, vários trabalhos que discutem a sua importância na saúde pública.

Dos nove gêneros identificados, apenas o *Proteus* permaneceu do início da compostagem até as fases finais. Apenas na última coleta não foram encontrados indivíduos do gênero *Proteus* nos dois sistemas de tratamentos estudados.

Os gêneros que apresentaram maior número de isolados foram *Proteus* (35,2%), *Citrobacter* (25,9%), *Enterobacter* (14,1%) e *Escherichia* (11,8%) que juntos correspondem a 87 % do total de isolados.

As figuras 26 e 27 mostram a variação no número de isolados destes gêneros, que foram mais representativos, ao longo das coletas realizadas semanalmente.

Figura 26. Número de gêneros, quantitativamente mais representativos identificado no sistema de tratamento CAR.

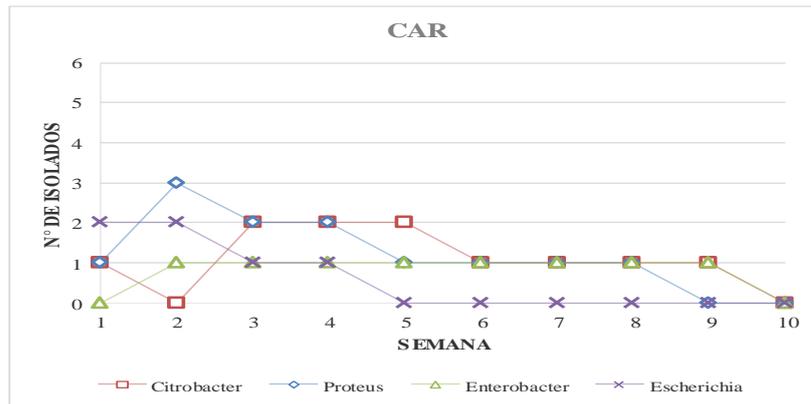
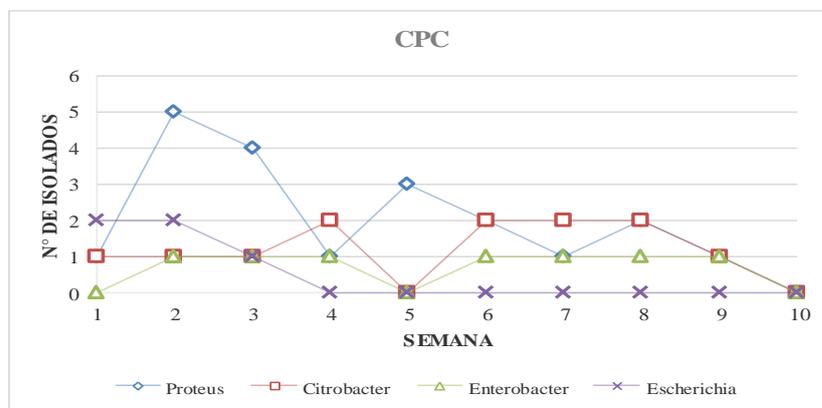


Figura 27. Número de gêneros, quantitativamente mais representativos, identificado no sistema de tratamento CPC.



Neste trabalho o gênero *Proteus* foi dominante, diferindo dos resultados obtidos por Symanski (2005), que verificou o domínio do gênero *Enterobacter* na comunidade bacteriana presente nas leiras da compostagem, o que mostra que a comunidade bacteriana na compostagem é bem complexa e varia de acordo com o substrato utilizado.

Foi verificado que não houve diferenças estatísticas consideráveis entre os sistemas de tratamento em relação ao número de isolados por gêneros, de acordo com a tabela 5.

Pode-se observar que os diferentes gêneros de enterobactérias variaram de uma semana para outra entre os sistemas. No sistema CAR os gêneros *Citrobacter* e *Proteus*, foram dominantes, permaneceram até a 8ª semana, esses gêneros tiveram maior incidência na 2ª e 4ª semana, e posteriormente, houve um declínio até o final do processo, conforme a figura 25.

No sistema CPC, o gênero *Proteus* apresentou alta incidência na 2ª semana permanecendo até 5ª semana, posteriormente houve decaimento no numero de isolados,

resultando na ausência desse gênero no final da compostagem (figura 27). Esse declínio pode estar relacionado à falta de nutrientes e às mudanças dos parâmetros físicos e químicos ao longo da compostagem. Essas bactérias são importantes deterioradoras da matéria orgânica; degradam principalmente açúcares, proteínas e lipídios.

Os membros do gênero *Citrobacter* podem estar presentes no intestino humano ou em ambientes como solo, água, esgoto e alimentos (UMAR, 2012). Este gênero esteve presente na maioria das coletas nos dois tratamentos, predominando da 3ª a 5ª semana para o sistema CAR e da 4ª a 7ª semana para o sistema CPC (figura 26 e 27), demonstrando posteriormente um declínio desse gênero nas últimas semanas, chegando à ausência desse gênero no final da compostagem.

Dentro deste gênero foram identificadas três espécies *Citrobacter freudii*, *Citrobacter diversus* e *Citrobacter amalonaticus*. As espécies *Citrobacter freudii*, *Citrobacter diversus* são patógenos oportunistas, podendo causar gastroenterites e meningites em indivíduos imunodeprimidos (RANJAN N.K; RANJAN N, 2013). *Citrobacter* é um dos gêneros que faz parte do grupo dos coliformes totais, o que evidencia uma provável contaminação fecal.

O gênero *Proteus* está distribuído amplamente na natureza e constitui uma parte importante na degradação da matéria orgânica. Eles estão constantemente presentes em carne e esgoto podres e muito frequentemente, nas fezes de humanos, animais e pragas, como baratas e moscas (KUSHWAHA K; BABU D; JUNEJA V.K, 2014).

Proteus esteve presente na maioria das coletas nos dois tratamentos. No sistema de tratamento CPC, esse gênero predominou, com maior incidência na 2ª e 3ª semana (figura 26). A partir da 6ª semana, sua incidência foi decaindo até o final do processo. Esse gênero apresentou alta incidência durante a compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Este resultado diferiu dos dados frequentemente encontrados na literatura (HASSEN et al., 2001; SUNDBERG et al., 2010; CHANDNA et al., 2013; WANG et al., 2015). Os gêneros comumente relatados são *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Escherichia spp*. Em contraste, esta pesquisa identificou a predominância do gênero *Proteus*.

Dentro desse gênero foram identificadas duas espécies *Proteus mirabilis* e *Proteus vulgaris*. Esses microrganismos estão associados a uma variedade de infecções. *P. mirabilis* é o mais frequentemente encontrado e responsável por 70% a 90% das infecções humanas (KUSHWAHA K; BABU D; JUNEJA V.K, 2014). A presença de *Proteus spp*. nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares sugere que estes tenham sido armazenados de forma inadequada ou contaminados com material fecal. Por outro lado, a sua presença é um

indicativo para um microrganismo resistente, responsável pela degradação de diferentes matérias-primas na compostagem.

Os exemplares do gênero *Enterobacter* podem estar presentes no intestino humano e de animais, como também podem ser isolados de ambientes (solo, água e plantas), ambientes clínicos, domésticos e industriais, bem como alimentos (IVERSEN, 2014). Este gênero foi notado no sistema de tratamento CAR a partir da 2ª semana, permanecendo até a 9ª semana (figura 25).

No sistema de tratamento CPC, esses microrganismos também foram isolados na 2ª semana, permanecendo até a 9ª semana (figura 27), não sendo mais isolados no final do processo.

Dentro desse gênero foram identificadas quatro espécies *Enterobacter gergoviae*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacea*, *Enterobacter sakazakii*. Essas bactérias são a causa crescente de doenças oportunistas e nosocomiais em ambientes hospitalares. É importante destacar que apenas *Enterobacter sakazakii* são considerados patógenos de origem alimentar.

Esse gênero faz parte do grupo dos coliformes totais, logo, a sua presença também é um indicador de provável contaminação fecal.

O gênero *Escherichia* foi o quarto mais abundante isolado ao longo da compostagem. Foi identificada apenas a espécie *Escherichia coli*. Este gênero foi registrado apenas no início da compostagem, nas três primeiras semanas do sistema de tratamento CPC, e no sistema de tratamento CAR permaneceu até a 3ª semana. Esse gênero é reconhecido como parte da microbiota intestinal de animais de sangue quente, porém, alguns subgrupos de *E. coli* podem ser patogênicos.

E. coli é uma espécie bioindicadora muito utilizada para verificação e quantificação de coliformes fecais em diferentes amostras de matéria prima (HASSEN et al., 2001; SYMANSKI, 2005; CHRONI et al., 2008). *E. coli* não foi isolada no final da compostagem, garantindo a qualidade sanitária do produto final.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento o número máximo permissível para *E. coli* no produto final é de 100 NMP/g (BRASIL, 2004).

Os gêneros *Salmonella*, *Serratia*, *Providencia*, *Morganella* e *Klebsiella* foram registrados em menor número de isolados entre os sistemas de tratamento CAR e CPC. A contaminação dos resíduos sólidos orgânicos por *Salmonella* é tida como um dos maiores problemas, levando-se em consideração a qualidade do produto. Isso provavelmente ocorreu

porque essas bactérias estão presentes em vários ambientes e tem a capacidade de crescimento rápido. As salmonelas decorrem de resíduos alimentares, essencialmente de carnes, aves, leite e derivados.

Segundo Sidhu et al. (2001) as temperaturas altas, a falta de nutrientes e a competição com os demais organismos são fatores responsáveis da eliminação da *Salmonella* no composto.

O gênero *Salmonella* foi verificado apenas no sistema CAR nas duas primeiras semanas de coleta, não sendo mais isolado nas demais semanas, comprovando a eficiência em relação aos aspectos sanitários dos dois sistemas de tratamento adotado para os resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

O gênero *Serratia* geralmente está envolvido com a deterioração de alimentos, sendo encontrados em ovos, carnes e bebidas. Essas bactérias também são importantes, porque são considerados patógenos oportunistas que podem causar varias infecções, incluindo feridas e infecções do trato urinário e pneumonia (RAFII, 2014).

Este gênero de bactéria foi isolada apenas na 4ª semana, no sistema de tratamento CAR e CPC, não sendo mais identificado nas coletas seguintes. Dentro desse gênero foi identificada apenas a espécie *Serratia marcescens*.

Os membros do gênero *Providencia* são encontrados em diferentes reservatórios de animais (ser humano, moscas, pássaros, gatos), como também podem ser isolados de ambiente, como o solo, água e esgoto. São patogênicos para os seres humanos, que se encontram com quadros clínicos debilitados, podendo desencadear diarreia, além de infecções do trato urinário. A presença desses organismos na compostagem é um indicativo de contaminação do produto original; outra explicação é contaminação por vetores como moscas, já que essas bactérias têm esses animais como reservatório.

Durante a compostagem indivíduos do gênero *Providencia* foram identificados apenas na 5ª semana no sistema de tratamento CPC, não havendo mais isolados dessas bactérias nas semanas seguintes. Dentro desse gênero foi isolada apenas a espécie *Providencia alcalifaciens*.

Os gêneros *Morganella* são comumente isolados do ambiente e também tem como reservatório os seres humanos e animais. São patogênicos e podem causar infecções urinárias e nosocomial ao ser humano. Foi identificada apenas a espécie *Morganella morganii*, no sistema de tratamento CPC, durante a 4ª semana. Por sua vez, esse gênero não foi isolado no sistema CAR, como também não esteve presente nas coletas seguintes.

Essas flutuações de gêneros e espécies de uma semana para outra podem ocorrer devido às mudanças dos parâmetros físico-químicos (quadro 9 e 10), além da sucessão ecológica que ocorre durante a compostagem, uma vez que competem entre si por nutrientes.

Os membros do gênero *Klebsiella* são encontrados em fezes de seres humanos, em ambientes hospitalares, podendo causar vários tipos de infecções e tem sido destaque pelos seus variados e emergentes mecanismos de resistência. Podem ser isolados também de ambientes incluindo solo, água, frutas e vegetais.

A frequência de isolamento de *Klebsiella* foi pequena e variou entre as semanas. No sistema CAR esse gênero esteve presente na 2^a e 5^a semana, enquanto que no sistema CPC foi isolado entre a 4^a e 7^a semana.

Desse gênero foi identificada a espécie *Klebsiella oxytoca*. Essa espécie é considerada um patógeno oportunista que podem causar bacteremia e infecções do trato urinário. A presença dessa bactéria na compostagem é um indicativo de provável contaminação fecal, o que mostra que não foram cumpridas as barreiras sanitárias necessárias. Essa contaminação pode ter ocorrido por meio do armazenamento, manuseio dos alimentos, ou tipo de irrigação utilizado. Outra possibilidade é que estas bactérias já estavam presentes no produto *in natura*.

Quadro 9. Relação dos parâmetros físicos e químicos com a variação das espécies de enterobactérias identificadas semanalmente durante a compostagem no sistema de tratamento CAR.

CAR					
Semana	Temperatura (°C)	Umidade (%)	pH	STV (%ST)	Espécies de Enterobactérias
1°	28,65	67,33	5,2	77,6	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella</i> spp. <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> ..
2°	35,63	64,53	7,5	67,2	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella</i> spp. <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Proteus mirabilis</i>
3°	34,34	46,53	8,24	53,6	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter freudii</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> .
4°	27,79	42	8,44	63,5	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter freudii</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Serratia</i> spp.
5°	26,41	31,87	8,75	55	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> .
6°	27,49	37,2	8,77	53,4	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus penneri</i> , <i>Citrobacter freudii</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> .

Quadro 9. Relação dos parâmetros físicos e químicos com a variação das espécies de enterobactérias identificadas semanalmente durante a compostagem no sistema de tratamento CAR.

(Continuação....)

CAR					
Semana	Temperatura (°C)	Umidade (%)	pH	STV (%ST)	Espécies de Enterobactérias
7°	26,93	30	8,73	52,5	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter freudii</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter sakazakii</i> .
8°	29,27	18,93	8,66	58,1	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter freudii</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> .
9°	30,04	18	8,75	53,4	<i>Citrobacter freudii</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> .
10°	32,02	13,47	8,63	54,1	Não foi detectado crescimento

Fonte: Autora (2019)

Quadro 10. Relação dos parâmetros físicos e químicos com a variação das espécies de enterobactérias identificadas semanalmente durante a compostagem no sistema de tratamento CPC.

CPC					
Semana	Temperatura (°C)	Umidade (%)	pH	STV (%ST)	Espécies de Enterobactérias
1°	30,50	68,13	6,11	74,1	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter cloacea</i> , <i>Citrobacter freudii</i> .
2°	39,44	69,2	7,94	65,1	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> .
3°	32,87	65,33	8,49	59,4	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> .
4°	28,73	46,27	8,35	51,6	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Marganella morganii</i>
5°	26,27	52	8,6	55,9	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Enterobacter cloacea</i> , <i>Providencia alcalifaciens</i> , <i>Serratia marcescens</i> .
6°	26,80	44,53	8,37	48,3	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Citrobacter amalanaticus</i>
7°	26,77	35,73	8,52	40,2	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> . <i>Citrobacter freudii</i> .
8°	28,93	29,6	8,67	56,6	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Citrobacter diversus</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i> . <i>Citrobacter freudii</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i>
9°	29,54	27,6	8,75	46,4	<i>Proteus mirabilis</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> <i>Citrobacter freudii</i>
10°	29,60	-	-	-	Não foi detectado crescimento

Fonte: Autora (2019)

Estes resultados apontam para um grupo de bactérias com alta capacidade de se adaptar às mudanças dos parâmetros químicos e físicos, já que foram isoladas durante todo o processo. Os gêneros que mostram maior resistência às mudanças foram *Proteus*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. No entanto, novos estudos sobre a resistência dessas bactérias na compostagem são necessários.

No composto final não foi isolado nenhum grupo de bactéria da família *Enterobacteriaceae*. A baixa umidade, a falta de nutrientes e a competição com outros organismos na compostagem podem ter inibido o crescimento dessas bactérias.

5.8 Avaliação da diversidade de enterobactérias nos sistemas de tratamento aeróbio de resíduo sólidos orgânicos domiciliares.

O presente trabalho verificou que não houve expressivas quantidades de gêneros de enterobactérias nos sistemas estudados. Isso ocorreu possivelmente, porque a matéria-prima utilizada em cada tratamento continha uma comunidade de bactéria semelhante.

Através do índice de Shannon-Weaver foi calculada a diversidade de enterobactérias nas semanas de funcionamento da compostagem, conforme as tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Diversidade de enterobactérias por coleta no sistema CAR, ao longo do processo de compostagem.

Enterobactérias	Coletas CAR								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Gêneros	4	4	4	3	4	3	3	3	2
Espécie	4	4	5	4	5	4	4	3	2
Índice	1,24	1,32	1,56	1,33	1,56	1,38	1,33	1,09	0,69

*C- indica coletas semanais

Tabela 7. Diversidade de enterobactérias por coleta no sistema CPC, ao longo do processo de compostagem.

Enterobactérias	Coletas CPC								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Gêneros	4	2	4	5	4	3	4	2	3
Espécie	5	2	4	5	5	4	5	3	3
Índice	1,56	0,45	1,24	1,56	1,56	1,32	1,56	1,03	1,09

*C - indica coletas semanais

Observa-se que os índices variaram de 0,69 a 1,56 para o sistema CAR e 0,45 a 1,56 para o sistema CPC. A menor diversidade encontrada foi na segunda semana, no item C2 no sistema CPC, onde prevaleceu a incidência do gênero *Proteus* spp. Nas demais coletas foi verificada maior heterogeneidade de gêneros. Nos estágios finais da compostagem foi

constatada baixa ocorrência de números de isolados de gêneros e espécies diferentes. Os isolados que permaneceram até o final da compostagem são resistentes às variações físicas, químicas e biológicas que ocorreram durante a compostagem. Os gêneros quantitativamente dominantes foram *Proteus*, *Citrobacter* e *Enterobacter*.

5.9 Correlação entre enterobactérias e parâmetros físicos e químicos nos sistemas CAR e CPC

Todos os organismos apresentam faixas ótimas de desenvolvimento, como também apresentam níveis toleráveis a várias condições do meio que estão inseridas. Dessa forma, garante a sobrevivência e/ou eliminação dos organismos que não apresentarem adaptação às diferentes condições ambientais. Nesta perspectiva, foi aplicado o Teste Pearson para avaliar a correlação entre a presença das enterobactérias na compostagem com os principais parâmetros físicos e químicos e o mesmo mostrou-se relevante.

O teste mostrou que as variáveis estudadas (enterobactérias e os parâmetros físicos e químicos), apresentaram correlação positiva o que indica que são dependentes um do outro, e correlação negativa movem-se em direções opostas (tabela8).

Tabela 8. Correlação entre as enterobactérias e os parâmetros físico-químicos monitorados nos sistemas CPC e CAR.

Parâmetros	Teste de Correlação de Pearson			
	CPC		CAR	
	Valor r	Classificação	Valor r	Classificação
pH	-0,66	Moderado	-0,51	Moderado
Umidade (%)	0,91	Forte	0,90	Forte
STV (% ST)	0,63	Moderado	0,73	Moderado
Temperatura (° C)	0,67	Moderado	0,66	Moderado

As variações dos parâmetros durante a compostagem influenciaram na densidade das enterobactérias, limitando o seu crescimento. Os sistemas em estudo não apresentaram diferenças significativas, referentes aos graus de correlações identificados: forte e moderado.

A correlação negativa (moderado) identificada foi entre enterobactérias e pH, indicando que as duas variáveis se movem em direções opostas, observando-se que à medida que valores pH aumentavam, o número de enterobactérias diminuía. Dessa forma, constatou-se que níveis de pH básico não favorecem o desenvolvimento das espécies de bactérias registradas no presente trabalho.

Em relação ao teor de umidade, os dois sistemas apresentaram correlação positiva forte com as enterobactérias. O alto teor de umidade dificulta a oxigenação e limita o crescimento de bactérias aeróbias, criando condições para desenvolvimento de bactérias anaeróbias, da mesma forma, quando os valores de umidade estão baixos, a atividade bacteriana também é limitada.

O monitoramento da umidade nos primeiros dias da compostagem foi crucial para o andamento adequado do sistema, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento das bactérias.

Tanto o excesso, como os baixos teores de umidade influenciaram na densidade de enterobactérias. A faixa ideal registrada para o crescimento máximo de enterobactérias foi de 69,2% para o sistema CPC e 64,53% para o sistema CAR. Os teores de umidade começaram a diminuir a partir da 3ª semana para o sistema CAR, com valor de 46,53%, e a partir da 4ª semana para o sistema CPC, com valor de 46,27%, (quadro 10). Essa diminuição dos teores de umidade influenciou na densidade das enterobactérias que tiveram seu crescimento limitado.

A correlação positiva verificada para as variáveis enterobacterias e STV foi classificada como moderada, o que expressa influencia sobre essas bactérias durante a compostagem.

À medida que a matéria orgânica era degradada, a concentração de nutrientes ficava mais escassa, limitando o desenvolvimento das enterobactérias. Assim como, os parâmetros pH, umidade e STV, a temperatura correlacionou positivamente com a presença de enterobacterias durante a compostagem. Em ambos os sistemas, observaram-se coeficiente de correlação moderado para as enterobactérias.

A temperatura tem influência no crescimento das bactérias, haja vista que o crescimento é dependente de reações químicas que é alterada pela temperatura. As enterobacterias toleram temperaturas mesófilas, na faixa de 40 °C, entretanto, acima dessa temperatura o seu crescimento é limitado. Neste sentido, pode-se afirmar que os altos níveis de temperatura registrados (acima de 40 °C) nesse trabalho, contribuíram para limitar o crescimento das bactérias, bem como os parâmetros físicos e químicos influenciaram na presença e eliminação das enterobactérias na compostagem.

Sendo assim, pode-se afirmar que o conhecimento dessas variáveis contribuiu para o monitoramento adequado dos sistemas de compostagem.

6 Avaliação da qualidade agrônômica do composto orgânico.

Cada sistema de tratamento foi alimentado com 26,6 kg de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, totalizando 79,8 kg por tipo de sistema. Esses resíduos passaram por várias transformações físicas, químicas e biológicas ao longo da compostagem, alcançando no final a estabilização da matéria orgânica. Com a estabilização foi realizado o procedimento de desmontagem. Para desmontagem foi necessário higienizar todos os equipamentos utilizados para evitar contaminação do composto.

Após a desmontagem, o material estabilizado foi passado em peneira de 4 mm, seguido em peneira de 2 mm, obtendo-se rejeito e compostos tipo farelo e pó (Tabela 9), conforme a Instrução Normativa nº25, de 23 de julho de 2009 e Instrução Normativa nº, de 7 de abril de 2016 (BRASIL, 2009; 2016).

A quantidade de composto orgânico gerada nos dois tratamentos foi 25,1 kg, com percentual de transformação de 16,3% para o sistema CPC e 16,2% para o sistema CAR (tabela 9), evidenciando-se que entre os sistemas não ocorreu diferença estatística significativa. No entanto, ponderando-se o composto tipo pó, o sistema CAR mostrou-se mais eficiente, gerando maior quantidade deste tipo de composto.

Tabela 9. Valores médios referentes ao balanço de massa de CPC e CAR.

Sistemas	Massa (kg)		Natureza Física do Composto (kg)				Transformação (%)
	Inicial	Retirada	Rejeito	Farelo	Pó	Total	
CPC	79,80	2,66	7,2	2,8	2,6	12,6	16,3
CAR	79,89	2,54	6,3	2,8	3,4	12,5	16,2
Total	159,6	5,2	13,5	5,6	6,0	25,1	32,5

Tanto o sistema CPC, quanto o sistema CAR gerou quantidade significativa de rejeitos, constituindo 57% do composto em CPC e 50,4% em CAR. O menor percentual de rejeito, indicou maior percentual de transformação dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares em composto tipo pó.

Os altos valores gerados de rejeitos estão relacionados aos materiais de difícil degradação, confirmados na sua própria constituição: ossos, galhos e caroços de frutas. Os rejeitos poderão ser utilizados em outros sistemas como estruturante, contribuindo para o controle do teor de umidade, além de favorecer áreas de oxigenação ao longo do sistema, fato que acelera o processo de compostagem.

Como forma de avaliar a qualidade do composto foram analisadas as características físicas, químicas e sanitárias (Tabela 10), conforme estabelecido pela Instrução Normativa

para fertilizantes orgânicos n° 25, de 23 de julho de 2009 e pela Instrução Normativa n° 7, de abril de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009; 2016).

Tabela 10. Características físicas, químicas e sanitárias do composto orgânico.

Características	Resíduos sólidos orgânicos domiciliares	Composto Orgânico		Faixa indicativa ¹
		CAR	CPC	
pH	5,2	8,7	8,8	> 6,5
Umidade (%)	72	19	30	< 50
STV (%ST)	83	48	46	40
COT (%ST)	40	26	25	8 < 25
N (%ST)	1	0,04	0,04	> 1
K (%ST)	0,02	0,03	0,03	>1
P (%ST)	0,02	0,01	0,01	>1
Helminhos (ovos/gST)	4,1	0,00	0,00	1
Enterobactérias (UFC/g)	$5,6 \times 10^7$	0	0	0

¹ Instrução Normativa n°25 de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009) e Instrução Normativa n° 7 de abril de 2016 (BRASIL, 2016).

Fonte: autora (2019)

Como pode ser observado por meio dos dados expostos na tabela 10, os valores de pH e umidade estão de acordo com às exigências da Instrução Normativa n° 25, de 23 de julho de 2009, que estabelece os níveis adequados para o uso do composto orgânico na agricultura.

Os valores alcalinos de pH encontrados são favoráveis, uma vez que podem ser utilizados para diminuir a acidez do solo. Já os valores de sólidos totais voláteis ficaram acima do exigido, pela Normativa, constatando assim, que existe ainda teor de matéria orgânica a ser decomposto.

Os principais nutrientes para as plantas são o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), também chamados de macronutrientes, tendo relação direta sobre o seu crescimento, floração e equilíbrio da água na mesma. Observa-se que os resultados encontrados em concentração de macronutrientes estão abaixo dos valores exigidos pela normativa. Pesquisa realizada por Araujo (2018), também registrou concentrações de macronutrientes (N), (P) e (K) abaixo dos valores exigidos pela Instrução Normativa n°25 de 23 de julho de 2009, indicando que o baixo teor na concentração desses minerais está possivelmente relacionado aos hábitos alimentares da população estudada.

No início do funcionamento do experimento foi registrada a presença de organismos patogênicos, como a *Salmonella* e ovos de helmintos, como também organismos indicadores de provável contaminação fecal, pertencente à família *Enterobacteriaceae*, como a *Escherichia coli* e *Enterobacter*, *Citrobacter*. No entanto, no composto não foram encontrados ovos de helmintos viáveis e enterobactérias, atendendo às exigências estabelecidas pela Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009) e nº. 7 de 12 de abril de 2016 (BRASIL, 2016), constatando-se assim que os sistemas estudados foram eficientes na sanitização dos resíduos sólidos orgânicos.

A presença de ovos de helmintos viáveis e *Salmonella* pode comprometer a qualidade sanitária do composto final, caso não haja o monitoramento adequado. Para que o produto resultante da compostagem seja utilizado na agricultura, a Instrução Normativa nº 7 de 12 de abril de 2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabelece o limite de 1 ovos/gST para composto e ausência de *Salmonella*.

7 CONCLUSÕES

Os resíduos sólidos orgânicos coletados separados diretamente da fonte geradora, as residências, apresentaram características físicas, químicas e sanitárias que refletem a necessidade de tratar estes resíduos antes de sua destinação final. O alto teor de umidade (72%ST) e de sólidos totais voláteis (83%ST), somada à quantidade de ovos de helmintos (4,1 ovos/gST) e de enterobactérias ($5,6 \times 10^7$ UFC/g) são características que evidenciam os problemas que podem ser acarretados quando este tipo de resíduo não é tratado.

Os sistemas adotados para tratamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, confeccionados com materiais distintos (CAR- aço inox e alumínio e CPC- polietileno), configurações diferentes (retangular e cilíndrico) e acessórios díspares para homogeneização e reviramento (manivela e roda de leme) apresentaram comportamentos diversificados para composição física, química e biológica e no tempo de estabilização da matéria orgânica (56 dias para CPC e 76 dias para CAR).

O tempo de estabilização dos resíduos sólidos orgânicos no sistema CPC (56 dias) foi inferior a média de tempo registrada na literatura (60 a 120 dias).

No sistema de composteira de aço inox e alumínio retangular (CAR) foram registrados valores médios de temperaturas mais elevados, comparado ao sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC). Por outro lado, o sistema CPC, conservou melhor a umidade e reduziu o tempo para estabilização da matéria orgânica (56 dias para estabilização).

Foi verificada alta concentração de ovos de helmintos viáveis nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Dentre os ovos de helmintos identificados, prevaleceram os de *Ascaris lumbricoide* (70%), seguido de *Hymenopsis nana* (20%) e *Enterobius vermiculares* (10%). A média de ovos de helmintos no início foi de 4,1 ovos/gST. As faixas de temperatura acima de 40 °C dos sistemas foram fundamentais à eliminação de ovos de helmintos, não sendo registrado no composto final, composto tipo pó, garantindo um produto com qualidade sanitária.

Foram encontradas enterobactérias durante o processo de compostagem nos dois sistemas de tratamento, com pequenas variações para densidade enterobactérias entre os dois sistemas. A contagem desse grupo de bactéria foi de $8,1 \times 10^7$ a $1,5 \times 10^6$ UFC g⁻¹ para CAR e $1,2 \times 10^7$ a $1,0 \times 10^6$ UFC/g para CPC. No produto final, composto tipo pó, não foram registradas colônias de enterobactérias, apontando-se para o alcance de um dos objetivos da compostagem, a higienização ou sanitização.

Durante o período de tratamento, foi identificada uma considerável diversidade de enterobactérias, com variações entre os sistemas CAR e CPC. Entre as 85 colônias isoladas neste trabalho, 39 foram no sistema CAR e 46 no sistema CPC, indicando que o material empregado e a configuração das composteiras influenciaram sobre densidade e diversidade de enterobactérias.

Foram identificados nove gêneros e quinze espécies: *Citrobacter* (25,9 %), *Enterobacter* (14,1%), *Escherichia* (11,8%), *Klebsiella* (6%), *Morganella* (1,2%) *Proteus* (35,2%), *Providencia* (1,2%), *Serratia* (2,3%), *Salmonella* (2,3%). Aponta-se que estas bactérias desempenham importante papel na degradação da matéria orgânica, favorecendo a estabilização do material em tratamento.

Constatou-se que as maiores taxas de crescimento das enterobactérias ocorreram na fase mesofílica. As variações na densidade e diversidade das enterobactérias seguiram em conformidade com as mudanças das características físicas e químicas do substrato ao longo da compostagem.

De acordo com os dados coletados, conclui-se que há diversidade de enterobactérias nas diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, correlacionando-se com as mudanças físicas e químicas do substrato.

8 RECOMENDAÇÕES

A compostagem é um sistema biológico de mudanças rápidas, de fácil aplicabilidade, e sustentável. Para garantir um produto final higienizado e sanitizado é necessário o monitoramento do sistema, bem como proporcionar as condições favoráveis para este fim. Neste sentido, esta pesquisa verificou alguns entraves e como forma de aprimorar os resultados, recomenda-se:

- 1- Realizar novos estudos para verificar a resistência das enterobactérias durante a compostagem de resíduo sólido orgânico domiciliar.
- 2- Efetuar a trituração dos estruturantes empregados no substrato inicial.
- 3- Realizar estudos para aprimorar os sistemas e otimizar o reviramento, de maneira que não haja necessidade da utilização de outros acessórios, como espátula, pá, dentre outros.
- 4- Aumentar o número de reviramentos durante as duas primeiras semanas da compostagem, em caso de altos teores de umidade.
- 5- Rever o modelo de tampa do sistema CAR, haja vista que o atual favorece a perda excessiva de umidade.

REFERÊNCIAS

- ANASTASI A.; VARESE, G. C.; MARCHISIO, V. F. Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. **Mycologia**, v 97, p.33–44, 2005.
- ANDRADE, R. M; FERREIRA, J. A. A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil frente às questões da Globalização. **Revista Eletrônica do Prodema**, v, 6, p.7-22, 2011.
- ARAB, G.; RAZAVIARANI, V.; SHENG, Z.; LIU, Y.; MCCARTNEY, D. Benefits to decomposition rates when using digestate as compost co-feedstock: Part II – Focus on microbial community dynamics. **Waste Management**, V, 68, p.85-95, 2017.
- ARAÚJO, E. C. S. **Avaliação das estratégias aplicadas a gestão integrada de resíduo sólidos no bairro das Malvinas**. 2016. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, 2016.
- ARAÚJO, E. C. S. **Organismos que participam das diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares**. 2018. 176 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB: UEPB, 2018.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington, DC: APHA-WEF, 2005.
- BERTOLDI, M.; VALLINI, G. The biology of composting: a review. **Waste Manage** v. 1, p. 157–176, 1983.
- BERNAL, M.P.; C. PAREDES, M.A. SANCHEZ-MONEDERO AND J. CEGARRA. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 91-99, 1998.
- BATISTA, J. G. F.; BATISTA, E. R. B. **Compostagem: Utilização em horticultura**. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, Açores, 252 p. 2007.
- BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, p. 5444–5453, 2009.
- BLIVEN, H; LANPEL, K. A. **Foodborne diseases**. Elsevier, p 171-188, 2017.
- BRASIL. **Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde** / Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde**. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009**. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília-DF: Ministério de Agricultura, 2009.
- BRASIL. **Política Nacional de Resíduos sólidos**. Lei 12.305/2010. Brasília, 2010.

BRASIL. **Manual técnico de diagnóstico laboratorial de *Salmonella* spp.**: Secretaria de Vigilância em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz. Laboratório de Referência Nacional de Enteroinfecções Bacterianas, Instituto Adolfo Lutz. – Brasília, Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos sólidos**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2012.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 7 de 12 de abril de 2016**. limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas Brasília-DF: Ministério de Agricultura, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica comunitária e institucional de resíduos orgânicos**: manual de orientação/ Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília, DF: MMA, 2017.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Ministério do Meio Ambiente, 2017.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 199

BIDONE, F. R. A. 2001. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Rio de Janeiro. Brasil, 2001.

BRITO, M. J. C. **Processo de Compostagem de Resíduos Urbanos em Pequena Escala e Potencial de Utilização do Composto como Substrato**. 2008, 124f. Dissertação (Mestrado em engenharia de Processo) – Universidade Tiradentes, 2008.

CASTALDI, P.; GARAU, G.; MELIS, P. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions. **Waste Manage.**, Kidlington, v. 28, n. 3, p. 534- 540, 2008.

CAMPITELLI, P. **Calidad de compost y vermiconpuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas**. p. 231. Tese (Doutorado) - Universidade Nacional de Córdoba, Córdoba, 2010.

CELLIER, A., FRANCOU, C., HOUOT, S., BALLINI, C., GAUQUELIN, T., BALDY, V. Use of urban composts for the regeneration of a burnt Mediterranean soil: a laboratory approach. *J. Environ. Manage.* v. 95, p. 238–244, 2012.

CERDA, A; ARTOLA, A; FONT, X; BARRENA, R; GEA, T; SÁNCHEZ, A. Composting of food wastes: Status and challenges. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 57–67, 2017.

CICKOVÁ, H.; NEWTON, G.L.; LACY, R.C.; KOZANEK, M. The use of fly larvae for organic waste treatment. A Review. **Waste Management**, v, 35, p. 68-80, 2015.

COSTA, M. P. **Viabilização do exercício profissional de catadores e catadoras de materiais recicláveis que atuam no bairro Malvinas, em Campina Grande-PB**. 2014. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Paraíba, 2014.

COSTA, M. P. **Alternativas para coleta seletiva e viabilização do exercício profissional de catadores e catadoras de materiais recicláveis, no bairro das Malvinas.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

CHANDNA, P; NAIN, L; SINGH, S; KUHAD, R.C. Assessment of bacterial diversity during composting of agricultural byproducts. **BMC Microbiology**, v,13, 2013.

CHRONI, C; KYRIACOU, A; MANIOS, T; LASARIDI, K.E; Investigation of the microbial community structure and activity as indicators of compost stability and composting process evolution. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 3745–3750, 2008.

CHAYB, E.F. **Estudo comparativo da contaminação por micro-organismos patogênicos em resíduos sólidos domiciliares e de saúde em Uberlândia – MG.** Dissertação (mestrado)-Universidade Camilo Castelo Branco, 2014.

CHUKWUDI O.; ONWOSI V. C.; IGBOKWE J. N.; ODIMBA I. E. EKE MARY O.; NWANKWOALA I. N.; IROH L. I. E. Waste stabilization composting technology: on methods, challenges and future perspectives, **Journal of Environmental Management**, 2016.

DIX, N. J., WEBSTER, J. **Fungal Ecology**. Chapman & Hall, Cambridge, Great Britain, 1995.

DONN, S., WHEATLEY, R., MCKENZIE, B., LOADES, K., HALLETT, P. Improved soil fertility from compost amendment increases growth and reinforcement of surface soil on slopes. **Ecological Engineering**. v. 71, p. 458–465, 2014.

EJAZ, N; AKHTAR, N; NISAR, H; ALI NAEEM, U. Environmental impacts of improper solid waste management in developing countries: a case study of Rawalpindi City. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 142, 2010.

ELVING, J. Pathogen Inactivation and Regrowth in Organic Waste during Biological Treatment. **Uppsala**, 2009.

FALCÃO, J. P. Yersinia. **Food Science**, v2, p. 831-837, 2014.

FULEKY, G., BENEDEK, S. Composting to recycle biowaste. *In*: Lichtfouse, E. (Ed.), *Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science*. Springer, Netherlands, p. 319–346, 2010.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Commun. Soil Science. Plant*, 1987.

GRAGERA, A. B. Infecciones por enterobacterias. **Elsevier**, v.8, p. 3385-3397, 2002.

GIGLOTTI, G., VALENTINI, F., ERRIQUENS, F. G., SAID-PULLICINO, D. Evaluating the efficiency of the composting process: a comparison of different parameters. **Geophys. Research**, v,7, 2005.

GAJALAKSHMI, S., ABBASI, S.A. Solid waste management by composting: state of the art. *Crit. Rev. Environ. Science. Technology*. v.38, n.5, p.311–400,2008.

HOLT, J. G.; KRIEG, N. R.; SNEATH, P. H. A.; STALEY, J. T.; WILLIAMS, S. T. Facultatively anaerobic gram-negative rods. *In: Bergey's Manual of determinative bacteriology*. 9. ed., Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. 787p.

HASSEN, A; BELGUITH, K; JEDIDI, N; CHERIFIF, A; CHERIF, M; BOUDABOUS A. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioreource Techonology*, v. 80, 2001.

HAMILTON, S. F; THOMAS, W.P; SUNDING, D; ZILBERMAN, D. Environmental policy with collective waste disposal. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 66, 337–346, 2013.

INSAM, H.; BERTOLDI, M. *Compost science and technology*. Amsterdam: Elsevier, chap. 3, p. 29, 2007.

IPCC. *Waste Generation, Compositions and Management Data*. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO/UNEP, 2006.

IVERSEN, C. *Enterobacter*. Elsevier, v,1. p.598–603, 2014.

JURADO, M; LÓPEZ, M. J; SUÁREZ-ESTRELLA, F; VARGAS-GARCÍA, M. C; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A; MORENO, J. Exploiting composting biodiversity: Study of the persistent and biotechnologically relevant microorganisms from lignocellulose-based composting. *Bioresource Technology*, v. 162. p. 283–293, 2014.

LIANG, C.; DAS, K. C.; MCCLENDON, R. W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, v. 86, p. 131–137, 2003.

LI, Z., LU, H., REN, L., HE, L., Experimental and modeling approaches for food waste composting: a review. *Chemosphere* v, 93, p.1247–1257, 2013.

LIU, D.; LI, M.; XI, B.; ZHAO, Y.; SONG, C.; ZHU, C. Metaproteomics reveals major microbial players and their biodegradation functions in a large scale aerobic composting plant. *Microbial Biotechnol*, v.8, p. 950–960, 2015.

KIEHL, E. J. *Manual de Compostagem*. Piracicaba: Editora Ceres, 1998.

KIEHL, E. J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. São Paulo: Editado pelo autor, 4° edição, p.1, 2004.

KONEMAN, E. W.; ALLEN, S. D.; JANDA, W. M. (2008). *Diagnóstico microbiológico: texto e atlas colorido*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Médica e Científica, 2008.

KUSHWAHA, K; BABU, D; JUNEJA, K. Proteus. *Food science*, v. 2, p. 238-243, 2014.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. Técnicas de Pesquisa: **planejamento e execução de pesquisas amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 4^a ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MACHADO, C.F. **Avaliação da presença de microrganismos indicadores de contaminação e patogênicos em líquidos lixiviados do aterro sanitário de belo horizonte**. 2004.140p. Dissertação (Programa de Pósgraduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais). Minas Gerais-MG, 2004.

MURRAY, P R.; ROSENTHAL, K.S.; PFALLER, M. A. **Microbiologia médica**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

MAROSZ, A. Effect of green waste compost and mycorrhizal fungi on calcium, potassium, and sodium uptake of woody plants grown under salt stress. **Water, Air, Soil Pollution**, v, 223, p.787–800, 2012.

MARBARA, V. A. A. **Identificação de fungos filamentosos presentes em um reator de resíduos sólidos urbanos**. 2015. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil e ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, 2015.

MADIGAN, MICHAEL T. ET AL. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2016

MARGARITIS, M; PSARRAS, K; PANARETOU, V; THANOS, A.G; MALAMIS, D; SOTIROPOULOS, A. Improvement of home composting process of food waste using different minerals. **Waste Management**, v. 73, 2017.

MISRA, R. V.; ROY, R. N.; HIRAOKA, H. **On-farm composting methods**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p.51, 2003.

MILIOS, L. Municipal waste management in Sweden. **Etc/Scp**, n. February, p. 17, 2013a.

MORA, J.R. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad de los suelos. **Revista Luna Azul**. p. 9-10, 1–6, 2006.

MC GUIRA, S. **Strategies to Prevent Obesity and Other Chronic Diseases: The CDC Guide to Strategies to Support Breastfeeding Mothers and Babies**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, 2013.

NASCIMENTO, C. R. **Alternativas tecnológicas para viabilização do exercício profissional e inclusão social de catadores de materiais recicláveis**. 2015. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, 2015.

NASCIMENTO, R; SILVA, M. M. P; ARAUJO, E. C. S; COSTA, M.P; SILVA, A. V. Avaliação de sistema de tratamento aeróbio descentralizado móvel de resíduos sólidos orgânicos domiciliares no bairro Malvinas, Campina Grande-PB. **ANAIS**. Congresso Abes Fenasan, São Paulo, 2017.

NIU, G. Genomics-Driven Natural Product Discovery in Actinomycetes. **Trends in Biotechnology**, 2018, Vol, 36.

ONU. Doenças transmissíveis pela comida matam 420 mil pessoas por ano no mundo. **Nações Unidas Brasil**, 10 de jun. de 2019. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/doencas-transmissiveis-pela-comida-matam-420-mil-pessoas-por-ano-no-mundo-diz-onu/> > . Acesso em: 25 de agosto de 2019.

OSORIO, N.W. Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. In: Marín, M., Arcila, P.J. (Eds.), *Materia Orgánica, Biología del Suelo y Productividad Agrícola*. Sociedad **Colombiana de la Ciencia Del Suelo, Armenia, Colombia**, p. 43–71, 2009.

OPLUSTIL, C. et al. **Procedimentos básicos em microbiologia clínica**. 3ed. São Paulo: Sarvier, 2010.

OLIVEIRA NETO, R.; SOUZA, L.E.; PETTER, C.O. Avaliação da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos no Brasil em comparação com países desenvolvidos. **Remoa**, v, 13, p. 3702-3712, 2014.

OLIVEIRA, E.C.A.; SARTORI, R.H.; GARCEZ, T.B. **Compostagem. Disponível Em** : <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf>. Acesso em : 24 de julho de 2019.

PASCIAK, M.; KRZYSZTOF PAWLIK, K.; GAMIAN, A.; SZPONAR, B.; SKÓRA, J., GUTAROWSKA, B. An airborne actinobacteria *Nocardiosis alba* isolated from bioaerosol of a mushroom compost facility. **Aerobiologia** v,30, p.413–422, 2014.

PAULUSSEN, C .; JOHN, E. H.; SERGIO, A. P.; WILLIAM, C. N.; PHILIP, G. H.; DAVID, B.; HANS, R.; BART , L. Microbial Biotechnology Special Issue Invitation on ‘Biotechnological Potential of Eurotiale Fungi’ – minireview. **Microbial Biotechnology**, v, 10, p. 296–322, 2017.

RICHARD, T., N. TRAUTMANN, M. KRASNY, S. Fredenburg and C. Stuart. **The science and engineering of composting**. The Cornell composting website, Cornell University, 2002.

RAUT, M. P.; WILLIAN, PRINCE. S.P.M.; BHATTACHARYYA, J.K.; CHAKRABARTI, T; DEVOTTA, D. Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste – A compost maturity analysis perspective. **Bioresource Technology**, 2008,v. 99.

REBOLLIDO, R.; MARTÍNEZ, J.; AGUILERA, Y.; MELCHOR, K. KOERNER, I.; STEGMANN, R. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. **Applied ecology and environmental research**, v.6, n.3, p.61-67, 2008.

RAFI, F. Serratia. **Food Science**,v, 2, p. 371-375, 2014.

RAMOS-CASTANEDA, J.A.; RUANO-RAVINA, A.; BARBOSA-LORENZO, R.; PAILLIER-GONZALEZ, J.E.; SALDANA-CAMPOS, J.; SALINAS, D.F.; LEMOS-LUENGAS, E.V. Mortality due to KPC carbapenemase-producing *Klebsiella pneumoniae* infections: Systematic review and meta-analysis Mortality due to KPC *Klebsiella pneumoniae* infections. **Journal of Infection**, v, 76, p. 438–448, 2018.

RODRIGUES, M.S., F.C. DA SILVA, L.P. BARREIRA E A. KOVACS. 2006. **Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos**. In: Spadotto, C.A.; RIBEIRO, W.C. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. Botucatu:FEPAF, p.63-94, 2006.

RUSSO, M.A.T. **Tratamento de resíduo sólidos**. Coimbra: faculdade de Ciências e Tecnologia , Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2003. Apostila.

SABORIDO,D.G.; Guerrero, P.P.; Blasco, E.R.; Holgado, I.R. Formas clínicas de infecciones por enterobacterias. **Medicine**, 2014.

SIDHU J; GIBBSRA; HO GE; UNKOVICH I. The role of indigenous microorganisms in suppression of Salmonella regrowth in composted biosolids. **Water Research**. oxford, v.35, n.4, p.913-20, 2001.

SANTOS, A. R. Metodologia científica: **a construção do conhecimento**. 6^aed. Rio de Janeiro: DP&A, 2004.

SANTOS, B. D. Alternativas mitigadoras de riscos ocupacionais no exercício profissional de catadores de materiais recicláveis vinculados à Arensa, Campina Grande-PB. 2016. 126f. Mestrado (Dissertação em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

SARKER, A.; KASHEM, A.; OSMAN, K.T. Influence of city finished compost and nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) fertilizer on yield, nutrient uptake and nutrient use efficiency of radish (*Raphanus sativus* L.) in an acid soil. **Int. J. Agr. Sci.** V, 2, p. 315–321, 2012.

SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste Management**, v. 69, 2017.

SHILEV, S.; NAYDENOV, M.; VANCHEVA, V.; ALADJADJIYAN, A. Composting of food and agricultural wastes. **Springer**, p. 283–301, 2007

SHAMMAS, N.K., WANG, L.K. **Biosolids composting**.Totowa, NJ, USA, p. 669–713, 2009

SILVA, M. M. P. **Tratamentos de lodos de tanques sépticos por co-compostagem para os municípios do semiárido Paraibano: alternativa para mitigação de impactos ambientais**. 2008. 220f. Tese de Doutorado[Curso de Pós-Graduação em recursos Naturais]- Universidade Federal de Campina Grande-PB, 2008.

SOUZA, F. M. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2^aed. Editora UFLA, 2006.

SOUSA, J. T; LEITE, V. D.; SILVA, M. M. P.; LOPES, W. S. ; CEBALLOS, S.O.B . Tecnologia de tratamento de lodo de tanque séptico unifamiliar conjuntamente com resíduos

sólidos orgânicos aplicada em municípios do semiárido paraibano- **Tectraloro**,2017, v. 8, p. 7-37.

SHEN, Z.; ZHONG, S.; WANG, Y.; WANG, B.; MEI, X., LI, R.; RUAN, Y.; SHEN, Q. Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality. **Eur. J. Soil Biol.** V, 57, p. 1–8, 2013

SCHLENKER, C.; SURAWICZ, C.M. Emerging gastrointestinal tract infections. **Elsevier**, v. 23, p. 89-99, 2009.

SYMANSKY, C. S. Caracterização de Bactérias Mésofilas presente no Processo de Compostagem.2005.113f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SUNDBERG, C.; SMARS, S.; JONSSON, H. Low pH as inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. **Bioresource Technology**,v, 95, p.145–150, 2004.

SUNDBERG, C.; FRANKE-WHITTLE, I. H.; KAUPPI, S.; YU, D.; ROMANTSCHUK, M.; INSAM, H.; JÖNSSON, H. Characterisation of source-separated household waste intended for composting. **Bioresource Technology**, v, 102, 2010.

SUÁREZ-ESTRELLA, F.; JURADO, M. M.; VARGAS-GARCÍA, M. C.; LÓPEZ, M. J., MORENO, J. Isolation of bio-protective microbial agents from eco-composts. **Biological Control** v, 67, p. 66–74, 2013.

SOOBHANY, N. Preliminary evaluation of pathogenic bacteria loading on organic Municipal Solid Waste compost and vermicompost. **Journal of Environmental Management**, v, 206, 2017.

TRAUTMANN, N. M.; KRASNY, M. **Composting in the classroom**: scientific inquiry for high school students. 126p. 1996

TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITAVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, V, 72, p.169-183, 2000.

TIAN, W.; SUN, Q.; ZHANG, Z.; CHEN, D.; LI, C.; SHEN, Q., SHEN, B. Succession of bacterial communities during composting process as detected by 16S rRNA clone libraries analysis. *Int. Biodeterior.* **Biodegradation**, v, 78, p.58–66, 2013.

TING, A.S.Y., HERMANTO, A., PEH, K.L. Indigenous actinomycetes from empty fruit bunch compost of oil palm: evaluation on enzymatic and antagonistic properties. **Biocatal. Agricultural Biotechnology**, v. 3, p. 310–315, 2014.

UMAR, S. Citrobacter Infection and Wnt signaling. **NIH Public Access**, 2012.

UMWEALTH BUNDESAMT. **Organic-waste treatment**. Disponível em: <<http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/wastedisposal/organic-waste-treatment#textpart-1>>. Acesso em: 25 agosto 2018.

USEPA. **Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2012** US Environmental Protection Agency. [s.l.: s.n.].

Disponível em: <www.epa.gov/wastes>.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR.; CABRERA, B. R. P.; MORAES, P. O.; E LOPES, D. C. N. Fatores que Afetam o Desenvolvimento da Compostagem de Resíduos Orgânicos. **Archivos Zootecnia**, v,58, p.59-85, 2009.

VAN ELSAS, J. D; SEMENOV, A.V; COSTA, R; TREVORS, J. T. **Survival of Escherichia coli in the environment: fundamental and public health aspects**. The ISME Journal, v, 5, p. 173–183, 2011.

VÁZQUEZ, M.A.; SEM, R.; SOTO, M. Physico-chemical and biological characteristics of compost from decentralised composting programmes. **Bioresource Technology**, v, 198, p.520-532, 2015.

VILLAMIZAR, S. C. Avaliação da qualidade microbiológica de um composto produzido a partir de resíduos animais e vegetais. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

WANG, X.; CUI, H.; SHI, J.; ZHAO, X.; ZHAO, Y.; WEI, Z. Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. **Bioresource Technology**, v.198, p.395-402, 2015.

WANG, X.; ZHAO, Y.; WANG, H.; ZHAO, X.; CUI, H.; WEI, Z. Reducing nitrogen loss and phytotoxicity during beer vinasse composting with biochar addition. **Waste Manage.** v.61, 150–156, 2017.

WU, J.Q.; ZHAO, Y.; QI, HS.; ZHAO, X,Y.; YANG, T.X.; DU, Y.Q.; ZHANG, H.; WEI, Z.M. Identifying the key factors that affect the formation of humic substance during different materials composting. **Bioresource Technology**, v, 244, p.1193-1196, 2017.

WU, S.; XU, S.; CHEN, X; SUN, H.; HU, M.; BAI, Z.; ZHUANG, G; ZHUANG, X. Changes in bacterial communities during food waste deterioration. **Scientific Reports**, v. 8. 2018.

YANG, X; WANG, H. **Pathogenic E. coli**. Canada: Elsevier, v.1, p.695-701. 2014.

YANG, G.; LI, H.; SHI, Y. WANG. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Waste Manage.** v,36, p.70–76, 2015.

XIE, K.; XU, P.; YANG, S.; LU, Y.; JIANG, R.; GU, W.; LI, W.; SUN, L. Effects of supplementary composts on microbial communities and rice productivity in cold water paddy fields. **J. Microbiol. Biotechnol.** V, 24, p. 1–23, 2014.

ZAYED, G.; ABDEL-MOTAAL, H. Bio-active composts from rice straw enriched with rock phosphate and their effect on the phosphorous nutrition and microbial community in rhizosphere of cowpea. **Bioresour. Technol.** V, 96, p. 929– 935, 2005

ZHANG, X.; CAO, Y.; TIAN, Y.; LI, J. Short-term compost application increases rhizosphere soil carbon mineralization and stimulates root growth in long-term continuouslycropped cucumber. **Scientia. Horticulturae.** V, 175, p. 269–277, 2014.

ZAPATA, R. D. El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad. *In*: Marín, M., Arcila, P.J. (Eds.), *Materia Orgánica, Biología del Suelo y Productividad Agrícola*. **Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Armenia, Colombia**, p.33–42, 2009.

ZAMBON, M.M. **alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos urbanos: um estudo de caso na cidade de Florianópolis**. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

ANEXOS

Anexo 1 Procedimento de análise de ovos de helmintos em resíduos sólidos orgânicos e co-substrato (SILVA, 2008).

Mediante o alto percentual de sólidos totais presente nos resíduos sólidos orgânicos e no co-substrato em relação ao lodo de esgoto, são indispensáveis realizar modificações ao método. Estas modificações garantem maior eficiência, e, portanto, confiabilidade aos resultados. As adaptações, porém, ocorrem apenas no início do processo, e referem-se à filtração dupla da amostra em análise.

Pesam-se 25 g de resíduos orgânicos e/ou co-substrato num becker de 150mL

- Acrescentam-se 50 mL de solução de água sanitária (1:1) e homogeneiza-se com auxílio de um bastão de vidro, realizando a limpeza dos resíduos e desprendendo ovos de helmintos. Este procedimento deve ser rigoroso, de forma a permitir a recuperação de maior número possível de ovos de helmintos.
- Filtram-se os resíduos em filtro de polietileno num segundo becker de 150 mL, lavando-os com solução de água sanitária.
- Transferem-se os resíduos retidos no filtro para o primeiro becker e realiza-se a segunda lavagem ainda com solução de água sanitária .
- Filtram-se os resíduos pela segunda vez, no segundo becker, formando neste momento uma única amostra. Descartam-se os resíduos retidos que ficaram retidos no filtro durante a segunda lavagem com solução de água sanitária.
- Transfere-se o material filtrado (líquido) contido no segundo becker para os tubos de centrífuga (50 mL), lavando com atenção o becker, para não perder ovos de helmintos, tendo o cuidado para não exceder na utilização de solução de água sanitária. O total de solução de água sanitária utilizada para as duas filtragens e lavagens não deve ultrapassar a 150 mL (Geralmente, são necessários neste momento três tubos de centrífuga).
- Levam-se os tubos de centrífugas com as amostras preparadas a centrifugação por cinco minutos a 2400 rpm; 13
- Descarta-se o sobrenadante dos tubos de centrífuga, evitando a perda de material sólido decantado, pois este material pode conter ovos de helmintos;

- Organizam-se lado a lado os três tubos de centrífugas que correspondem as mesmas amostras e desprende-se o sedimento de cada tubo com um pouco de água de torneira, em seguida, transferem-se os sedimentos correspondentes as mesmas amostras para um único tubo de centrífuga. Esta transferência deve ser realizada de forma cuidadosa para não perder sedimentos. A utilização de água de torneira e o processo de homogeneização propiciam esta transferência. Ter a devida atenção para não deixar sedimento no fundo do tubo.
- Lavam-se as paredes do tubo com água de torneira, para recuperar todos os sedimentos presentes e acrescenta-se 2 mL de detergente Tween 80. Realiza-se a homogeneização de preferência no vortex. O total de água de torneira usada mais o detergente Tween 80 não deve ultrapassar a 50 mL (total correspondente ao um tubo de centrífuga). Ter cuidado para não perder sedimentos que estão impregnados as paredes dos referidos tubos.
- Encaminha-se o tubo de centrifuga a centrifugação por cinco minutos a 2400 rpm;
- Descarta-se o sobrenadante, evitando perder material decantado e acrescenta-se água de torneira, visando realizar a lavagem para retirar o excesso de detergente Tween 80;
- Encaminha-se o tubo de centrífuga a centrifugação por cinco minutos a 2400 rpm • Descarta-se o sobrenadante e adiciona-se água de torneira mais uma vez, repetindo-se o mesmo procedimento de lavagem com a finalidade de retirar o excesso de detergente Tween 80;
- Encaminha o tubo de centrífuga a centrifugação por cinco minutos a 2400 rpm
- Descarta-se o sobrenadante¹ e acrescenta-se aos poucos ao sedimento solução de sulfato de Zinco até completar a capacidade do tubo de centrífuga (50 mL). À medida que é adicionado o sulfato de Zinco, realiza-se ao desprendimento dos sedimentos que estão impregnados no fundo do tubo e nas paredes; em seguida, homogeneíza-se com auxílio do vortex; O sulfato de Zinco tem por objetivo permitir a flotação dos ovos de helmintos; ou seja, propiciar que os ovos sejam suspensos;
- Leva-se o tubo a centrifugação por dois minutos a 2400 rpm; ter o cuidado para não descartar neste momento o sobrenadante (lembrar que no sobrenadante podem estar os ovos de helmintos); • Filtra-se o sobrenadante em membrana de filtro com diâmetro de 45 µm

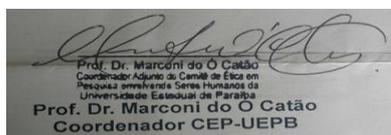
- Lavam-se as paredes do equipamento de filtração com água de torneira para evitar a perda de ovos de helmintos. (pode interferir nos resultados).
- Retira-se a membrana filtrante e coloca-se numa placa de petri pequena cobrindo com solução de sulfato de zinco; este procedimento permitirá a suspensão dos ovos filtrados.
- Raspa-se cuidadosamente com uma lamínula a membrana filtrante para remover os ovos de helmintos que possivelmente foram filtrados. 14
- Lava-se a membrana filtrante e a lamínula com solução de sulfato de zinco; não devendo exceder 5 mL;
- Transfere-se a amostra para um tubo de centrífuga, previamente identificado, rinsando a placa de petri e a membrana de filtração com solução de sulfato de zinco. O volume final não deve ultrapassar a 10 mL;
- Anota-se o volume final, pois este fará parte da fórmula que calculará o número de ovos de helmintos identificado;
- Para distinguir ovos viáveis dos não viáveis, adiciona-se uma gota de solução de safranina (0,5 mL) e homogeneiza-se bem, de preferência no vortex; rapidamente enche-se os dois compartimentos da Câmara de MacMaster (volume por compartimento: 0,15 mL; volume total da Câmara: 0,30 mL)
- Coloca-se sob a lente (primeiro a 10X, depois 40X) do microscópio e esperam-se alguns segundos até a flotação;
- Visualizam-se, identificam-se e contam-se os ovos, anotando-se e distinguindo-se os viáveis dos não viáveis;
- Finaliza-se a análise aplicando o número de ovos identificado a seguinte formula:
- $Z = N \times VF = \text{ovos/gMS} (VC + ST)$

Onde: Z=número total de ovos presentes na amostra; N= número de ovos identificados; VF= volume final; VC= volume da câmara (0,30 mL); ST= sólidos totais presentes na amostra

Anexo 2-Principais provas bioquímicas utilizada na diferenciação de Enterobactéria

Gênero	Espécie	Indol	CIT	H ₂ S	Hidrolise da ureia	FEN	Desc.Lis	Ornitina	Mot (36°C)	Glicose ácido	Glicose (Gás)
	<i>Escherichia coli</i>	+	-	-	-	-	+	+/-	+	+	+
	<i>Shigela spp</i>	+/-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	<i>Shigella sonnei</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
	<i>Edwardsiella tarda</i>	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+
<i>Salmonella</i>	<i>Salmonella ssp</i>	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
<i>S. enterica</i>	<i>Subsp.arizonae</i>	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
<i>Citrobacter</i>	<i>freundii</i>	+/-	+/-	+/-	d	-	-	-	+/-	+	+/-
	<i>koseri</i>	+	+	-	+/-	-	-	+	+	+	+
	<i>amalonaticus</i>	+	+	-	+/-	-	-	+	+	+	+
<i>Hafnia</i>	<i>alvei</i>	-	-	-	-	-	+	+	+/-	+	+
<i>Enterobacter</i>	<i>Aerogenes</i>	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+
	<i>Cloacae</i>	-	+	-	+/-	-	-	+	+	+	+
	<i>Gergoviae</i>	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+
	<i>sakazakii</i>	+/-	+	-	-	d	-	+	+	+	+
<i>Klebsiella</i>	<i>Oxytoca</i>	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+
	<i>Pneumoniae subsp. pneumoniae</i>	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+
	<i>Pneumoniae subsp. Ozaenae</i>	-	+/-	-	-	-	d	-	-	+	d
	<i>Pneumoniae subsp. rhinoscleromatis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pantoea</i>	<i>Agglomerans</i>	+/-	d	-	+/-	+/-	-	-	+/-	+	+/-
	<i>dispersa</i>	-	+	-	-	-	-	-	+/-	+	-
<i>Raoultella</i>	<i>ornithinolytica</i>	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+
<i>Serratia</i>	<i>Marcescens</i>	-	+	-	+/-	-	+	+	+	+	d
	<i>Liquefaciens</i>	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+/-
	<i>rubidaea</i>	-	+	-	-	-	d	-	+/-	+	+
<i>Proteus</i>	<i>mirabilis</i>	-	+/-	+	+	+	-	+	+	+	+
	<i>vulgaris</i>	+	+/-	+	+	+	-	-	+	+	+/-
	<i>penneri</i>	-	+/-	+/-	+	+	-	-	+/-	+	+/-
<i>Morganella</i>	<i>morganni subsp.morganii</i>	+	-	+/-	+	+	-	+	+	+	+
<i>Providencia</i>	<i>rettgeri</i>	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-
	<i>stuartii</i>	+	+	-	+/-	+	-	-	+/-	+	-
	<i>alcalifaciens</i>	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+/-
<i>Yersinia</i>	<i>enterocolitica</i>	d	-	-	+/-	-	-	+	-	+	-

Fonte: Konemam, (2008) d=depende (40-60%), +/- maioria é positiva, -/+ maioria é negativa

Anexo 3 - Parecer do Comitê de Ética**COMISSÃO NACIONAL DE ÉTICA EM PESQUISA****PARECER DO RELATOR: (11) N. do CAAE 73948017.3.0000.5187**

Título: GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO BAIRRO MALVINAS EM CAMPINA GRANDE-PB: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.

Pesquisador: Matheus Urtiga Sousa

Data da relatoria: 22 de agosto de 2017

Apresentação do Projeto:

O Projeto de Pesquisa intitulado “GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO BAIRRO MALVINAS EM CAMPINA GRANDE-PB: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS” apresenta-se como proposta de pesquisa cujo objetivo geral se remete: “Desenvolver e Implementar um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos no bairro Malvinas no município de Campina Grande – PB, sob a ótica da tecnologia social”.

Objetivo da Pesquisa: Investigar, Avaliar, Desenvolver e Implementar um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos no bairro Malvinas no município de Campina Grande – PB, sob a ótica da tecnologia social.

Objetivo Secundário: Diagnosticar as tecnologias, no tocante à coleta, transporte, triagem, acondicionamento, disposição final dos resíduos sólidos pelos catadores de materiais recicláveis organizados em associação. Ampliar e avaliar o emprego da coleta seletiva desses tipos de resíduos no bairro Malvinas. Avaliar os impactos positivos a partir do desenvolvimento de tecnologias alternativas para a efetivação do modelo de gestão integrada de resíduos sólidos.

Avaliação dos Riscos e Benefícios: O presente estudo importa baixo risco relativo ao desenvolvimento. Contudo, a equipe científica atuará de modo a amenizar quaisquer eventos dessa ordem. Destarte, pode-se afirmar que está em pleno acordo com as recomendações da Resolução 466/212 do CNS quanto aos participantes, concorde aval do Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos (CEP-UEPB). Quanto às exposições de imagens, dados coletados e sigilos dos participantes, importando destacar-se que o TCLE deve enaltecer a necessidade do estudo, de ponta, com fins de contribuições no desenvolvimento e aplicação de alternativas tecnológicas, tomando-se

por base os princípios da tecnologia social irá favorecer a gestão integrada de resíduos sólidos, reduzindo os impactos negativos sobre a saúde humana e mitigará os riscos ocupacionais intrínsecos ao exercício profissional de catadores de materiais recicláveis em municípios paraibanos., e, ainda, com respaldo social e de retorno acadêmico.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa: A presente proposta de pesquisa é de suma importância quanto papel e atribuições das Instituições de Ensino Superior (IES), mormente pesquisa, estando dentro do perfil das pesquisas de construção do ensino-aprendizagem significativa, perfilando a formação profissional baseada na tríade conhecimento-habilidade-competência, preconizada pelo MEC. Portanto, tem retorno social, caráter de pesquisa científica e, contribuição na formação de pós-graduados em áreas da Ciências e Tecnologia Ambiental, bem como dentre outras áreas afins do saber científico.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O pesquisador apresentou dentro da conformidade e quanto requisito da Resolução de n. 466/2012 do CNS todos os documentos necessários e obrigatórios, não havendo pendências entre eles.

Recomendações: Estando o presente Projeto de Pesquisa apropriado para Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental, em nível de mestrado da UEPB, face recomendações e Protocolo do CEP UEPB, bem como conforme a Resolução de n. 466/2012 do CNS, em que a pesquisa tem o aval e Parecer do Comitê de Ética, portanto, há de seguir o Cronograma proposto para o ano de 2017. Não necessitando de recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações: Pelo exposto, estando no presente momento em conformidade com o Protocolo do CEP UEPB, bem como em consonância com os critérios da Resolução 466/2012 do CNS, sou pela APROVAÇÃO do Projeto de Pesquisa para fim de Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação da UEPB. Salvo melhor juízo.

Situação do projeto: Aprovado

Campina Grande, 22 de agosto de 2017.

Relator: 11

Anexo 4- Termo de Consentimento e Livre Esclarecimento

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO-TCLE

Pelo presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido eu, Matheus Urtiga Sousa, em pleno exercício dos meus direitos me disponho a participar da Pesquisa “GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO BAIRRO MALVINAS EM CAMPINA GRANDE-PB: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS”. Declaro ser esclarecido e estar de acordo com os seguintes pontos: O trabalho: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares no bairro Malvinas em Campina Grande –PB: Alternativas Tecnológicas, terá como objetivos: Diagnosticar as tecnologias, no tocante à coleta, transporte, triagem, acondicionamento, disposição final dos resíduos sólidos pelos catadores de materiais recicláveis organizados em associação; ampliar e avaliar o emprego da coleta seletiva desses tipos de resíduos no bairro Malvinas; desenvolver tecnologias alternativas que favoreçam o processo de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares; avaliar os impactos positivos a partir do desenvolvimento de tecnologias alternativas para a efetivação do modelo de gestão integrada de resíduos sólidos. Ao voluntário só caberá à autorização para utilização dos dados coletados e não haverá nenhum risco ou desconforto ao voluntário.

Ao pesquisador caberá o desenvolvimento da pesquisa de forma confidencial, revelando os resultados ao médico, indivíduo e/ou familiares, se assim o desejarem. Não haverá utilização de nenhum indivíduo como grupo placebo, visto não haver procedimento terapêutico neste trabalho científico. O voluntário poderá se recusar a participar, ou retirar seu consentimento a qualquer momento da realização do trabalho ora proposto, não havendo qualquer penalização ou prejuízo para o mesmo. Será garantido o sigilo dos resultados obtidos neste trabalho, assegurando assim a privacidade dos participantes em manter tais resultados em caráter confidencial. Não haverá qualquer despesa ou ônus financeiro aos participantes voluntários deste projeto científico e não haverá qualquer procedimento que possa incorrer em danos físicos ou financeiros ao voluntário e, portanto, não haveria necessidade de indenização por parte da equipe científica e/ou da Instituição responsável. Qualquer dúvida ou solicitação de esclarecimentos, o participante poderá contatar a equipe científica no número (083) 3333-1436 com Professora Dra. Mônica ou (83) 98705-4361 com Matheus Urtiga. Ao final da

pesquisa, se for do meu interesse, terei livre acesso ao conteúdo da mesma, podendo discutir os dados, com o pesquisador, vale salientar que este documento será impresso em duas vias e uma delas ficará em minha posse. Desta forma, uma vez tendo lido e entendido tais esclarecimentos e, por estar de pleno acordo com o teor do mesmo, dato e assino este termo de consentimento livre e esclarecido.

Pesquisador responsável

Participante da pesquisa

Assinatura Dactiloscópica

Anexo 5 -Termo de Autorização Institucional

ASSOCIAÇÃO DE CATADORES E CATADORAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS DA
COMUNIDADE NOSSA SENHORA APARECIDA – ARENSA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Estamos cientes da intenção da realização do projeto intitulado Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares no bairro Malvinas em Campina Grande-PB: Alternativas Tecnológicas, desenvolvido pelo aluno Matheus Urtiga Sousa, do Programa de Pós-graduação em ciência e tecnologia Ambiental - PPGCTA, sob a orientação da professora Dra. Mônica Maria Pereira da Silva.

Campina Grande, _____ de _____ de 2017.

Dalvanira de Melo Silva
Presidente

José Roberto Borges dos Santos
Vice-Presidente

Anexo 6- Termo de Compromisso do Pesquisador Responsável

TERMO DE COMPROMISSO DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL (TCPR)

Eu, Matheus Urtiga Sousa, declaro estar ciente das normas e resoluções que norteiam a pesquisa envolvendo seres humanos e que o projeto **GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO BAIRRO MALVINAS EM CAMPINA GRANDE-PB: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS**, sob minha responsabilidade será desenvolvido em conformidade com a Resolução 466/12, do Conselho Nacional de Saúde, respeitando a autonomia do indivíduo, a beneficência, a não maleficência, a justiça e equidade. Garantindo assim o zelo das informações e o total respeito aos indivíduos pesquisados. Ainda, nestes termos, assumo o compromisso de:

- Apresentar os relatórios e/ou esclarecimentos que forem solicitados pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual da Paraíba;
- Tornar os resultados desta pesquisa públicos sejam eles favoráveis ou não;
- Comunicar ao Comitê de Ética da UEPB qualquer alteração no projeto de pesquisa em forma de relatório, comunicação protocolada ou alterações encaminhadas via Plataforma Brasil.
- Reconduzir a pesquisa ao Comitê de Ética após o seu término para obter autorização de publicação.

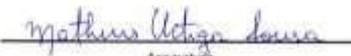
.....,de.....de

.....

Assinatura da Orientadora

.....
Assinatura do responsável pelo projeto

Anexo 7-Folha de Rosto para Pesquisa envolvendo Seres Humanos

 MINISTÉRIO DA SAÚDE - Conselho Nacional de Saúde - Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP FOLHA DE ROSTO PARA PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS			
1. Projeto de Pesquisa: GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO BARRIO MALVINAS EM CAMPINA GRANDE-PB: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.			
2. Número de Participantes da Pesquisa: 220			
3. Área Temática:			
4. Área do Conhecimento: Ciências e Tecnologias Ambientais.			
PESQUISADOR RESPONSÁVEL			
5. Nome: MATHEUS URTIGA SOUSA			
6. CPF: 084.783.304-18	7. Endereço (Rua, n.º): EDUARDO DE OLIVEIRA LOBO CATOLE 500, Apartamento 301 A CAMPINA GRANDE PARAIBA 58410173		
8. Nacionalidade: BRASILEIRO	9. Telefone: 83987054381	10. Outro Telefone:	11. Email: matheusurtiga@gmail.com
<p>Termo de Compromisso: Declaro que conheço e cumpro os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas complementares. Comprometo-me a utilizar os materiais e dados coletados exclusivamente para os fins previstos no protocolo e a publicar os resultados sejam eles favoráveis ou não. Aceito as responsabilidades pela condução científica do projeto acima. Tenho ciência que essa folha será anexada ao projeto devidamente assinada por todos os responsáveis e fará parte integrante da documentação do mesmo.</p>			
Data: <u>13</u> / <u>03</u> / <u>2017</u>		 Assinatura	
INSTITUIÇÃO PROPONENTE			
12. Nome: Universidade Estadual da Paraíba - UEPB	13. CNPJ:	14. Unidade/Orgão: UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA	
15. Telefone: (83) 3315-6058	16. Outro Telefone:		
<p>Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaro que conheço e cumpro os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas Complementares e como esta instituição tem condições para o desenvolvimento deste projeto, autorizo sua execução.</p>			
Responsável: <u>JOSÉ TEIXEIRA DE SOUSA</u>	CPF: <u>131 401 2116-49</u>		
Cargo/Função: <u>COORDENADOR DO PPGETA</u>	 ASSINATURA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA PRPGP José Teixeira de Sousa-120.291.0 Coordenador PPGETA		
Data: <u>17</u> / <u>03</u> / <u>2017</u>		Assinatura	
PATROCINADOR PRINCIPAL			
Não se aplica.			

APÊNDICE 1



INFORMATIVO/CONVITE

Com o intuito de contribuir para diminuição dos problemas ambientais, sobretudo, aqueles relacionados aos resíduos sólidos, estamos dando continuidade ao nosso projeto.

Em etapas anteriores, com a participação efetiva dos moradores do bairro Malvinas, conseguimos vários resultados positivos, dentre os quais, destacamos:

- Formação de líderes comunitários em Educação Ambiental para gestão de resíduos sólidos;
- Implantação da coleta seletiva em 342 residências situadas no entorno da Paróquia Jesus L'bertador (270) e da Feirinha (72).
- Encaminhamento dos resíduos sólidos recicláveis secos à ARENSA (Associação de Catadores de materiais recicláveis da Comunidade Nossa Senhora Aparecida): média mensal de 1.456,88 kg.
- Higienização dos resíduos sólidos recicláveis secos por cerca 60% daqueles que praticam a coleta seletiva.
- Contribuição para aumento da renda mensal obtida pela ARENSA: média mensal de R\$ 1.392,52.
- Desenvolvimento de coletores internos e externos para favorecer a coleta seletiva.
- Construção de carrinhos para transporte de resíduos sólidos recicláveis secos pelos catadores de materiais recicláveis.
- Desenvolvimento de composteiras para tratamento biológico aeróbico de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.
- Confeção de tecnologia para triagem de materiais recicláveis no galpão, sede da ARENSA.
- Realização de Eventos para divulgação e oferecimento de ações voltadas ao bem estar dos moradores do bairro Malvinas.
- Mitigação de impactos negativos sobre a saúde ambiental e humana.

voltadas ao bem estar dos moradores do bairro Malvinas.

- Mitigação de impactos negativos sobre a saúde ambiental e humana.

O ato cotidiano de separar os resíduos sólidos gerados em nossa residência proporciona diferentes impactos positivos (ganhos). Destacamos neste projeto dez benefícios:

1. Diminui os problemas ambientais;
2. Reduz os gastos públicos com coleta, transporte e aterramento dos resíduos sólidos;
3. Gera renda aos catadores de materiais recicláveis;
4. Elimina os criadouros do mosquito *Aedes aegypti*;
5. Reduz o número de pessoas acometidas por doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, como por exemplo: dengue, zika e chikungunya;
6. Favorece a reciclagem da matéria;
7. Diminui o gasto com energia;
8. Melhora a qualidade de vida da população;
9. Torna o ambiente mais limpo e agradável;
10. Contribui para a saúde ambiental e humana.



Estratégias em Educação Ambiental aplicadas aos líderes comunitários no Bairro Malvinas, Campina Grande-PB. A: curso de formação em Educação Ambiental para catadores de materiais recicláveis; B: curso de formação em Educação Ambiental para catadores de materiais recicláveis; C: visita à associação ASCARE-JP; D: Seminário atraindo boas novas para colher um futuro sustentável. Fonte: Araújo (2019).

Ao tratar os resíduos sólidos orgânicos estamos transformando problema em solução!

Agradecemos antecipadamente a sua participação! Cuidar do meio ambiente, é cuidar das coisas de Deus!

CONTINUAÇÃO DO NOSSO PROJETO

Nesta nova etapa (5ª etapa), vamos continuar com a coleta seletiva porta a porta, já realizada pela ARENSA e trataremos, em escala experimental, os resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados pelas famílias cadastradas por meio de biotecnologia.

Esta tecnologia consistirá de um sistema formado por dois tipos de composteiras com manivela (aço inox e polietileno), em triplicata (três repetições).

Para montagem do sistema experimental precisaremos da ajuda das famílias que já praticam a coleta seletiva no Bairro Malvinas.

COMO VOCÊS PODEM AJUDAR?

Separando os resíduos sólidos orgânicos que produzem diariamente, acondicionando em sacola plástica e destinando à ARENSA nos dias previamente agendados (calendário).

ARENSA nos dias previamente agendados (calendário).

DIAS PLANEJADOS PARA COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Dia	2018	
	Julho	Agosto
Domingos		
Segunda-feira		
Terça-feira	31	
Quarta-feira		
Quinta-feira		31
Sexta-feira		
Sábado		31

QUE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS SERÃO TRATADOS?

Restos de comida
Casca de frutas
Casca de verduras
Folhas
Flores
Casca de ovos
Pó de café



EQUIPE TÉCNICA

Ivanise Gomes
(Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental/GGEA/PPGCTA/UEPB)

Fernando Farias
(Graduando em Ciências Biológicas/GGEA/DBCCBS/UEPB)

Profa. Dra. Monica Maria Pereira da Silva
(GGEA/DB/CCBS/UEPB - Orientadora e Coordenadora do projeto)

Profa. Dra. Adrienne Teixeira Barros
(GGEA/DB/CCBS/UEPB - coorientadora)

Referências

JACQUES, E. C. S. Organismo que produz o tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos em cilindros, campo grande-pb. 2016. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB: UEPB, 2016.

COSTA, M. P. Alternativas para coleta seletiva e viabilização do comércio profissional de catadores e catadoras de materiais recicláveis, no bairro das Malvinas. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB: UEPB, 2016.

MARCEMENTO, C. B. Alternativas tecnológicas para viabilização do comércio profissional e inclusão social de catadores de materiais recicláveis. 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB: UEPB, 2015.

SANTOS SOBRINHO, J. D. Viabilidade de aplicação de coleta seletiva para as ruas no entorno da feirinha, bairro malvinas, em campina grande-pb. Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. 65 f. (Licenciatura em Ciências Biológicas). Campina Grande-PB: UEPB, 2018.

SOUZA, M. U. Gestão de resíduos sólidos sob a ótica da tecnologia seletiva: uma experiência em Campina Grande-PB. 2018. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB: UEPB, 2018.

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS REALIZADA NO BAIRRO MALVINAS, CAMPINA GRANDE-PB



Ah! aqui nos ajudou o Senhor!